



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา
ของน้ำลำไย

ชื่อนิสิต นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์ 6032589323
นางสาวพัสวี นฤมลฤทธิไกร 6032544023

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไย

โดย

นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์

นางสาวพัสวีย์ นฤมลฤทธิไกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2563

Effect of UV radiation on quality and shelf life of longan juice

Isaya Kijpatanasilp

Pasavee Narumonlittikrai

Project Advisor

Assistant Professor Kitipong Assatarakul, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

หัวข้องานวิจัย ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไย
โดย นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์
นางสาวพัสวี นฤมลฤทธิไกร
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล
ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประจำปีการศึกษา 2563



(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชนานวงค์)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อโครงการ	ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไย
โดย	นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์ นางสาวพัสวี นฤมลฤทธิไกร
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของรังสียูวี ($0-149.76 \text{ J/cm}^2$) ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา) จลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ สมบัติทางเคมีและกายภาพ (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความชื้น และค่าสี) ของน้ำลำไย และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ ($72 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 นาที) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณรังสียูวีที่เพิ่มขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น โดยรังสียูวีที่ 149.76 J/cm^2 สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 2.80 ± 0.16 และ $4.14 \pm 0.01 \text{ log CFU/mL}$ ตามลำดับ และการพาสเจอร์ไรซ์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราได้ไม่น้อยกว่า 3 และ 4 log CFU/mL ตามลำดับ โดยการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เป็นไปตามจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (first-order kinetic) โดยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination; R^2) มีค่าระหว่าง 0.9741-0.9850 และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constant; k) มีค่าระหว่าง 0.0267-0.0614 เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีและกายภาพพบว่ารังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความชื้น ค่า L^* และค่า a^* ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ค่า b^* ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสียูวีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การพาสเจอร์ไรซ์ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ค่า pH และค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ความชื้น ค่า a^* ค่า b^* ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรามิแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากเกณฑ์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ไม่เกิน 10^5 CFU/mL) จึงสามารถประมาณอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6, 9 และไม่น้อยกว่า 15 วันตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าน้ำลำไยที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์

Project Title	Effect of UV radiation on quality and shelf life of longan juice
Student	Isaya Kijpatanasilp Pasavee Narumonlittikrai
Study Program	Bachelor of Science in Food Technology
Advisor	Assistant Professor Kitipong Assatarakul, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate the effects of UV radiation (0-149.76 J/cm²) on microbial inhibition (total plate count and yeast and mold count), the kinetic model of microbial reduction and physicochemical properties (total phenolic compound, total flavonoid content, antioxidant activity by DPPH and FRAP assay, pH, titratable acidity, total soluble solid, turbidity and color) of longan juice and to investigate the alteration in quality of fresh (control), UV-treated (74.88 J/cm²) and pasteurized (72 °C, 1 min) longan juice during cold storage at 4°C. Results showed that the higher UV dose resulted in more microbial reduction. At the highest UV dose (149.76 J/cm²), total plate count and yeast and mold count were reduced by 2.80±0.16 and 4.14±0.01 log reduction (CFU/mL), respectively. Regarding to pasteurization, it resulted in ≥3 and ≥4 log reduction (CFU/mL) in total plate count and yeast and mold count, respectively. Kinetics of microbial reduction were best-fitted by first-order kinetic model with coefficient of determination (R²) values and rate constants (k) ranging from 0.9741-0.9850 and 0.0267-0.0614, respectively. After UV treatment, there was no significant difference in total phenolic compound, pH, titratable acidity, total soluble solid, turbidity, L* and a*; whereas, b*, total flavonoid content, antioxidant activity by DPPH and FRAP assay were slightly decreased when UV dose increased. However, there was a significant decrease (p≤0.05) in total flavonoid content and antioxidant activity by DPPH and FRAP assay after pasteurization. The alteration in quality during cold storage investigation revealed that there was a decreasing trend in total phenolic compound, total flavonoid content, antioxidant activity by DPPH and FRAP assay, pH and L*; while, titratable acidity, turbidity, a*, b*, total plate count and yeast and mold count tended to increase during storage. According to the maximum limit population for microbial shelf life (10⁵ CFU/mL), the shelf life of fresh, UV-treated and pasteurized longan juice was approximately 6, 9 and ≥15 days, respectively. Additionally, UV-treated longan juice showed a greater in total phenolic compound, total flavonoid content and antioxidant activity by DPPH and FRAP assay compared to pasteurized sample.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิตของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยนี้ได้เงินอุดหนุนโครงการจากงบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2563 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัครกุล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัครกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนการช่วยเหลือและแก้ไขตรวจทานข้อผิดพลาดต่าง ๆ เพื่อให้เล่มงานวิจัยวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงให้ข้อคิดอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล อาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชา 2314499 Senior Project ที่เป็นอาจารย์ผู้ชี้แนะแนวทางการปฏิบัติการ และประสานงานเอกสารต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและติดตามงานนิสิตตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความรู้อันมีค่าและประสบการณ์การทำงานปฏิบัติการแก่ผู้วิจัยตลอดหลักสูตร ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิ เจ้าของตำราทุกเล่มที่ผู้วิจัยนำมาอ้างอิงประกอบในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณหัวหน้าห้องปฏิบัติการและบุคลากรในห้องปฏิบัติการ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ปฏิบัติการ อุปกรณ์เครื่องมือ และความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงการให้กำลังใจและการช่วยเหลือที่ดีในทุกด้านตลอดการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

ด้วยความเคารพอย่างสูง
นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์
นางสาวพัสวี นฤมลฤทธิไกร

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขต/แนวคิดของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ลำไย	3
2.1.1 ลำต้น	3
2.1.2 ใบ	3
2.1.3 ช่อดอก	3
2.1.4 ดอก	4
2.1.5 ผล	4
2.2 การแปรรูปอาหาร	7
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	7
2.2.2 กระบวนการพาสเจอไรซ์	8
2.3 รังสียูวี	9
2.3.1 กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี	9
2.3.2 งานวิจัยเกี่ยวกับรังสียูวี	10
2.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์	13
2.4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์	13
2.4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง	13
2.4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสอง	13
2.5 สารประกอบฟีนอลิก	14
2.5.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก	15
2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ	15
2.6.1 กลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระ	16
2.6.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร	18
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	20
3.1 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และจลนพลศาสตร์ การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย	22
3.2 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย	23

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	24
3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	25
4.1 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และจลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย	25
4.2 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย	32
4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	61
ภาคผนวก ค	70
ประวัติผู้วิจัย	72

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1	คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 g ของเนื้อลำไยสด	5
ตารางที่ 2	สารประกอบฟีนอลิกในลำไย	5
ตารางที่ 3	สารฟลาโวนอยด์ในผลลำไย	6
ตารางที่ 4	สมบัติทางเคมีและกายภาพต่าง ๆ ในน้ำแอมป์เปลที่ผ่านการฉายรังสียูวีเทียบกับน้ำแอมป์เปลสด	11
ตารางที่ 5	ผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ในผลไม้ชนิดต่าง ๆ	12
ตารางที่ 6	กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกในพืชตามโครงสร้างทางเคมี	15
ตารางที่ 7	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	26
ตารางที่ 8	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำลำไย	29
ตารางที่ 9	ค่าสีของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	37
ตารางที่ 10	ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และความชื้นของน้ำลำไย	38
ตารางที่ ข.1	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการเจือจางด้วย methanol	63

สารบัญรูปลภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	9
รูปที่ 2 โครงสร้างของ DNA ก่อนและหลังการฉายรังสียูวี	10
รูปที่ 3 กลไกการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมันโดยวิตามินอี	17
รูปที่ 4 กลไกการจับโลหะที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์	18
รูปที่ 5 โครงสร้างของ BHA	19
รูปที่ 6 โครงสร้างของ BHT	19
รูปที่ 7 โครงสร้างของ TBHQ	19
รูปที่ 8 โครงสร้างของ EDTA	19
รูปที่ 9 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี	22
รูปที่ 10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	27
รูปที่ 11 ปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	27
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	30
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและ \ln [ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด]	30
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและปริมาณยีสต์และรา	31
รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและ \ln [ปริมาณยีสต์และรา]	31
รูปที่ 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	33
รูปที่ 17 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	34
รูปที่ 18 โครงสร้างของสาร DPPH	35
รูปที่ 19 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	36
รูปที่ 20 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์	36
รูปที่ 21 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	40
รูปที่ 22 ปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	41
รูปที่ 23 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	42
รูปที่ 24 ค่า pH ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	43
รูปที่ 25 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	43
รูปที่ 26 ค่า L^* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	44

รูปที่ 27 ค่า a* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	45
รูปที่ 28 ค่า b* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	45
รูปที่ 29 ความขุ่นของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	46
รูปที่ 30 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	48
รูปที่ 31 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	48
รูปที่ 32 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	49
รูปที่ 33 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	49
รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox สำหรับวิธี DPPH	64
รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox สำหรับวิธี FRAP	66
รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid	67
รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน quercetin	69

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้น ๆ ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย และเป็นที่ยอมรับของชาวไทยและต่างประเทศ เพราะมีรสชาติหวานอร่อย แต่ปัจจุบันกลับพบว่าเกษตรกรประสบปัญหาลำไยล้นตลาดและมีราคาถูกลงในทุกปี เนื่องจากเมื่อผลลำไยสุกเต็มที่หากเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ทัน ผลลำไยจะร่วงหล่นจากต้นทำให้สูญเสียมูลค่าได้ จากการศึกษาพบว่าลำไยอุดมไปด้วยสารอาหารที่ดีต่อสุขภาพ มีคุณสมบัติเป็นยา อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยการบริโภคลำไยนิยมบริโภคทั้งในรูปแบบผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น ลำไยอบแห้ง ลำไยแช่อิ่ม ลำไยแช่แข็ง ลำไยดอง และลำไยกวน (ทำจากลำไยแห้ง) แต่การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำลำไยสดยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากน้ำลำไยสดเก็บรักษาได้ไม่นานและเสื่อมเสียได้ง่าย ปัจจุบันการใช้ความร้อน (pasteurization) ในการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้เป็นที่นิยมอย่างมาก แต่จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏของน้ำผลไม้ จึงมีการหาวิธีอื่น ๆ มาทดแทนการใช้ความร้อน โดยมีงานวิจัยรายงานว่า การใช้รังสียูวีสามารถช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาและยังรักษาคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงคงลักษณะปรากฏของน้ำผลไม้ ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการใช้รังสียูวีจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนการใช้ความร้อนได้

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของรังสียูวีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไย เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการรักษาสุขภาพ อีกทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับของสด และยังคงคุณค่าของสารอาหารต่าง ๆ ไว้ได้ รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับลำไย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และจลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย
2. เพื่อศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

ขอบเขต/แนวคิดของการวิจัย

1. การศึกษาการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และจลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย โดยแปรปริมาณความเข้มของรังสียูวี 7 ระดับ ได้แก่ 0.00 (ตัวอย่างควบคุม), 4.68, 9.36, 18.72, 37.44, 74.88 และ 149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 72±1 °C เป็นเวลา 1 นาที
2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไยเมื่อแปรปริมาณความเข้มของรังสียูวี 7 ระดับ ได้แก่ 0.00 (ตัวอย่างควบคุม), 4.68, 9.36, 18.72, 37.44, 74.88 และ 149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 72±1 °C เป็นเวลา 1 นาที
3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm² และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ (72±1 °C, 1 นาที) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไยโดยการใช้รังสียูวี
2. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อื่น ๆ เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และคงคุณภาพของน้ำผลไม้ไว้ได้ รวมทั้งสามารถยืดอายุการเก็บรักษา
3. ได้ผลิตภัณฑ์แปรรูปที่เพิ่มมูลค่าให้กับลำไย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลำไย

ลำไยเป็นไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อนที่มีลักษณะคล้ายลิ้นจี่และเงาะ อยู่ในวงศ์ (order) Sapindaceae สกุล (family) Sapindaceae หรือ Soapberry ซึ่งมีพืชที่อยู่ในวงศ์นี้ถึง 130 สกุล (genus) ประมาณ 1,100 ชนิด (species) เดิมลำไยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Euphoria longana* Lamk. และต่อมาได้เปลี่ยนเป็น *Dimocarpus longan* Lour. พืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกับลำไย ได้แก่ ลำไยเถา (*Dimocarpus longan* var. *obtusum* Leenth.), เงาะ (*Nephelium lappaceum* Linn.), คอแลน (*N. hypoleucum* Kurz.), เงาะขนสั้น (*N. Matabile* Bl.), เงาะดิเรก (*N. malaiense* Bl.), คอแลนนครราชสีมา (*Xerospermum intermedium* Radlk.) และลำไยป่า (*Paranephelium longifoliolatum* Lec.)

2.1.1 ลำต้น

ลำไยเป็นไม้ยืนต้นทรงพุ่มแผ่กว้าง มีตั้งแต่ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ปลูจากเมล็ดมีลำต้นสูงตรง เมื่อปลูจากกิ่งตอนมีทรงพุ่มแผ่กว้าง เมื่อเจริญเติบโตเต็มสูง 10-12 m เปลือกลำต้น สีน้ำตาลหรือสีเทาปนน้ำตาล แตกเป็นสะเก็ดและมีร่องขรุขระ กิ่งกลมและเนื้อไม้มักเปราะทำให้กิ่งหักง่าย

2.1.2 ใบ

ใบลำไยเป็นใบรวม ที่มีใบย่อยอยู่บนก้านใบรวมกัน (pinnately compound leaves) จำนวน 3-5 คู่ ก้านใบรวมยาวประมาณ 20-30 cm ใบย่อยจัดเรียงตัวในลักษณะตรงข้ามหรือแบบสลับกัน ก้านใบย่อยยาว 4-6 cm ใบย่อยเป็นรูปรีหรือรูปหอก ใบกว้าง 3-6 cm และยาว 10-15 cm ขอบใบเรียบไม่มีหยักและไม่มีม้วน ใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ปลายใบมักแหลมและฐานใบค่อนข้างป้าน ด้านหลังใบมีสีเขียวเข้มเป็นมันมากกว่าด้านท้องใบ เส้นแขนงแตกจากเส้นกลางใบและเห็นได้ชัดเจน

2.1.3 ช่อดอก

ลำไยออกดอกที่ปลายยอดที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว โดยเปลี่ยนจากตาใบเป็นตาดอก แต่บางครั้งช่อดอกก็อาจเกิดจากตาข้างของกิ่งก็ได้ ตั้งแต่เริ่มเห็นช่อดอกด้วยตาเปล่าจนก้านช่อดอกพัฒนาจนยาวเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 45-50 วัน ขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิ โดยช่วงที่มีอากาศหนาวเย็นช่อดอกจะพัฒนาช้ากว่าช่วงที่มีอุณหภูมิอุ่นหรือสูงขึ้น ช่อดอกของลำไยเป็นแบบ compound dichasia ที่จัดเรียงดอกแบบ panicle กล่าวคือ แตกก้านดอกแขนงออกไปจากก้านที่หนึ่งและแต่ละก้านย่อยนั้นแตกแขนงต่ออีกครั้ง ช่อดอกยาว 15 –50 cm ในแต่ละช่อดอกมีทั้งดอกสมบูรณ์เพศและดอกไม่สมบูรณ์เพศ แต่ละช่อดอกมีดอกประมาณ 3,000 ดอกขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อม

2.1.4 ดอก

ดอกมีสีครีมและเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-8 mm ก้านดอกยาว 1-2 mm กลีบดอกมี 5 กลีบ บางเรียวยาวเล็ก สีขาวหม่นและเรียงตัวเยื้องกัน กลีบรองดอกมี 5 กลีบเช่นกัน สีเขียวปนน้ำตาล หนาและแข็ง ขนาดกว้างกว่า กลีบดอก 3-5 เท่า ที่ฐานของกลีบรองดอกมีต่อมน้ำหวาน ดอกกล้าแยแบ่งออกได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. ดอกตัวผู้ (staminate flower) มีเกสรตัวผู้ 6-8 อัน เรียงเป็นชั้นเดียวอยู่บนจานรองดอกที่มีสีน้ำตาลอ่อนและมีลักษณะอ้วนน้ำ ก้านเกสรตัวผู้ (filament) มีขน สีขาวขุ่น ยาวประมาณ 3 mm อับเกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลืองอ่อน กว้างประมาณ 1 mm ยาวประมาณ 1.5 mm มี 2 หยักและปริแตกตามยาว ปลดปล่อยละอองเกสรตัวผู้ (pollen grain) ละอองเกสรตัวผู้ที่แตกออกมานั้นมีสีเหลืองอ่อน รูปยาวรี เปลี่ยนเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือกลมรีเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวหรือยกบนยอดเกสรตัวเมีย ละอองเกสรตัวผู้ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 27-30 μm มี 3 ขั้ว แต่ท่อละอองเกสรตัวผู้มักงอกมาจากขั้วเดียวเท่านั้น

2. ดอกกระเทยที่ทำหน้าที่เป็นดอกตัวเมียหรือดอกตัวเมีย (pistillate flower) เป็นดอกที่เกสรตัวเมียพัฒนาจนสมบูรณ์และเห็นได้ชัด ประกอบด้วยรังไข่ที่มีขนปกคลุม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-2.5 mm ตั้งอยู่ตรงกลางของจานรองดอก รังไข่มี 2 พู (bicarpellate) และแต่ละพุมี่ไข่ (ovule) จำนวน 1 ใบ แต่เพียงพูเดียวเท่านั้นที่พัฒนาต่อไปเป็นผลกล้าโย ส่วนอีกพูหนึ่งจะค่อยๆแห้งผ่อและร่วงหล่นไป แต่บางครั้งอาจพบไขในทั้ง 2 พูพัฒนาเป็นผลได้ ก้านเกสรตัวเมีย (style) ยาว 4-5 mm ปลายยอดเกสรตัวเมีย (stigma) แยกเป็น 2 แฉก และมีน้ำหวานที่จานรองดอกเมื่อดอกบานเต็มที่หรือพร้อมรับละอองเกสร ซึ่งมักจะเป็นในช่วงเช้าตรู่ ในดอกชนิดนี้ยังมีเกสรตัวผู้ที่มีก้านเกสรสั้นๆ จำนวน 6-8 อันล้อมรอบรังไข่ แต่อับเกสรตัวผู้มักเป็นหมันคือไม่ปริแตกหรือไม่มีละอองเกสรตัวผู้และค่อย ๆ แห้งตายหลังจากดอกบาน

3. ดอกกระเทยที่ทำหน้าที่เป็นดอกตัวผู้ (hermaphrodite flower) มีลักษณะคล้ายคลึงกับดอกกระเทยที่ทำหน้าที่เป็นดอกตัวเมียมาก แต่ดอกชนิดนี้มีอับเกสรตัวผู้ที่ไม่เป็นหมันและผลิตละอองเกสรตัวผู้ที่สมบูรณ์เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ มักไม่ค่อยพบดอกชนิดนี้ในสภาพธรรมชาติ

2.1.5 ผล

ผลกล้าโยเป็นผลเดี่ยว เริ่มติดผลจนเก็บเกี่ยวผลได้ใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือนขึ้นกับชนิดพันธุ์และสภาพแวดล้อม เช่น หากมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของผลต่ำ เป็นต้น เปลือกผลเจริญมาจากผนังรังไข่และเริ่มพัฒนาไปพร้อม ๆ กับเมล็ด เมื่อระยะเวลาผ่านไปเมล็ดจะหยุดการพัฒนา แต่เปลือกผลยังมีการพัฒนาต่อจนเก็บเกี่ยวผลได้ ผลกล้าโยรูปร่างค่อนข้างกลมหรือกลมแป้น ขนาดของผลแตกต่างกัน เปลือกผลสีเหลืองปนน้ำตาลหรือน้ำตาลแดง เนื้อของกล้าโย (aril) พัฒนามาจากเนื้อเยื่อรอบ ๆ ก้านของเมล็ด (funiculus) ขึ้นมาโอบจนรอบเมล็ด เนื้อกล้าโยสีขาวขุ่นหรือสีชมพูเรื่อ ๆ มีรสหวานและมีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ อีกทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากงานวิจัยพบว่ากล้าโยมีสรรพคุณทางยาและยังถูกใช้ในสูตรยาจีนโบราณ เป็นตัวยาในการบรรเทาอาการปวดประสาทและอาการบวม อีกทั้งอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก (ตารางที่ 2) และฟลาโวนอยด์ (ตารางที่ 3) ซึ่งมีฤทธิ์การต้าน

อนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดภาวะเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระดับเซลล์ส่งผลให้มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง รวมถึงยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) (Rangkadilok และคณะ, 2007)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 g ของเนื้อลำไยสด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (%)
ค่าความชื้น (%)	14.81
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	55.22-38.12
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	16.10-85.30
โปรตีน (g/100 g)	2.1
ไขมัน (%)	1.0
ไฟเบอร์ (g/100 g)	4.0
เถ้า (g/100 g)	7.0
แคโรทีน ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	20
ไรโบฟลาวิน (mg/100 g)	14.0
วิตามินเค (mg/100 g)	5.196
วิตามินซี (mg/100 g)	7.163-12.43
เรตินอล ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	3.0
วิตามินบี 1 (mg/100 g)	1.0
วิตามินบี 3 (mg/100 g)	3.1

(ที่มา: Yang และคณะ, 2011)

ตารางที่ 2 สารประกอบฟีนอลิกในลำไย

สารประกอบทางเคมี	แหล่งที่พบ	ปริมาณ
Gallic acid	เนื้อ, เมล็ด	1287.5±71.9 $\mu\text{g}/\text{g}$ dry weight
Ellagic acid	เนื้อ, เมล็ด	0.15–0.83 mg/g
Chlorogenic acid	เนื้อ	2.90±0.06 mg/100 g
Caffeic acid	เนื้อ	19.78±1.90 $\mu\text{g}/100\text{ g}$
Ferulic acid	เนื้อ	1.92–88.7 $\mu\text{g}/100\text{ g}$
4-Methylcatechol	เนื้อ	1699.6±56.4 $\mu\text{g}/\text{g}$ dry weight
Syringic acid	เนื้อ	9.76±1.08 $\mu\text{g}/100\text{ g}$
Protocatechuic acid	เนื้อ	277.5±2.2 $\mu\text{g}/\text{g}$ dry weight

(ที่มา: Xiaofang และคณะ, 2020)

ตารางที่ 3 สารฟลาโวนอยด์ในผลลำไย

สารประกอบทางเคมี	แหล่งที่พบ	ปริมาณ
(-)-Epicatechin	เปลือก, เนื้อ	1443.4±19.0 µg/g dry weight
Kaempferol	เนื้อ	2.90±0.06 mg/100 g
Isoquercitrin	เนื้อ	174.3±17.4 µg/g dry weight
Epicatechin	เนื้อ	0.14–1.81 mg/100 g

(ที่มา: Xiaofang และคณะ, 2020)

ปัจจุบันมีผลการศึกษาวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าลำไยมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ คือ สารประกอบฟีนอลิก เช่น gallic acid, ellagic acid และ corilagin เป็นต้น โดยมีงานวิจัยพบว่า gallic acid สามารถลดจำนวนเซลล์มะเร็งปอดของหนูในหลอดทดลอง ($IC_{50} \approx 200 \mu M$) และพบว่าเมื่อใช้ gallic acid ร่วมกับยาต้านมะเร็ง เช่น cisplatin จะทำให้การรักษาเซลล์มะเร็งปอดมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Kawada และคณะ, 2001) นอกจากนี้ gallic acid ยังสามารถป้องกันความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันใน DNA ของเซลล์ ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (Fan and Lou, 2004) และยังมีฤทธิ์ต้านการแข็งตัวของเลือดได้ดีกว่าสาร quercetin ในเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ (Caco-2) และเซลล์ WB-F344 (เซลล์เม็ดเลือดขาว) ในอาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified eagle medium (DMEM) (Lee และคณะ, 2005)

ellagic acid มีความเป็นพิษและมีฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง รวมถึงกระตุ้นโปรแกรมการตาย (apoptosis) ของเซลล์มะเร็ง เช่น Caco-2, MCF-7, Hs578T และ DU 145 โดยไม่มีผลข้างเคียงต่อเซลล์ปกติของมนุษย์ (Losso และคณะ, 2004) นอกจากนี้ ellagic acid ยังสามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์ได้ในระยะ G1 ภายใน 48 ชั่วโมง รวมถึงยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์โดยรวมด้วย และกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์มะเร็งปากมดลูก (CaSki) หลังจาก 72 ชั่วโมงของการรักษา (Saleem และคณะ, 2002) จากงานวิจัยที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า ellagic acid สามารถใช้เป็นสารเคมีบำบัดได้

corilagin มีความสามารถในการลดความดันโลหิตในหนูที่มีความดันโลหิตสูง (SHR) โดยยับยั้งการหลั่งของสารสื่อประสาท noradrenaline หรือ vasorelaxation โดยตรง (Lin และคณะ, 1995) นอกจากนี้ corilagin ยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Candida glabrata* (Latte และ Kolodziej, 2000) รวมถึงยับยั้งการจำลองของไวรัส HIV-1 ในเซลล์ HeLa CD4⁺ (Notka และคณะ, 2003) และยังช่วยลดระดับความทนทานต่อยาต้านแบคทีเรีย beta-lactams ของ methicillin-resistance *Staphylococcus aureus* (MRSA) (Shiota และคณะ, 2004)

2.2 การแปรรูปอาหาร

การแปรรูปอาหาร คือกระบวนการและเทคนิคที่ใช้เปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นอาหาร ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในสภาพที่เหมาะสม มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้การแปรรูปอาหารทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ ซึ่งการแปรรูปอาหารทำได้หลายวิธี เช่น การแปรรูปด้วยความร้อน การแปรรูปด้วยความเย็น การทำแห้ง และการหมัก เป็นต้น

หลักการสำคัญในการแปรรูปอาหาร คือควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โดยการแปรรูปอาหารเน้นควบคุมปริมาณจุลินทรีย์เป็นหลัก เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดเป็นจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค นอกจากนี้จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น การแปรรูปอาหารจึงต้องมีการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.2.1.1 สารอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโต ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ ดังนั้นอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการจะเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย

2.2.1.2 ความชื้นในอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต ซึ่งในอาหารมีองค์ประกอบของน้ำ โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำที่ถูกยึดไว้ด้วยพันธะทางเคมีภายในโมเลกุลของอาหาร เรียกว่า น้ำผูกพัน (bound water) และน้ำที่เกาะอยู่กับอาหารอย่างหลวม ๆ เรียกว่า น้ำอิสระ (free water) โดยน้ำอิสระเป็นน้ำที่จุลินทรีย์นำมาใช้ในการเจริญเติบโตซึ่งสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity; a_w) โดยอาหารที่มีค่า a_w ต่ำสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าอาหารที่มีค่า a_w สูง จุลินทรีย์ส่วนมากไม่สามารถเจริญได้ หากอาหารนั้นมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.91 ในขณะที่เราสามารถเจริญได้ในอาหารที่ค่า a_w เพียง 0.80

2.2.1.3 ค่า pH

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยและการดูดซึมอาหาร ค่า pH จึงมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะเจริญได้ดีในช่วง pH 6.0-8.0 ยีสต์เจริญได้ดีในช่วง pH 4.5-6.0 และเชื้อราที่สร้างเส้นใยเจริญได้ดีในช่วง pH 3.5-4.0 ค่า pH เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน เนื่องจากค่า pH มีผลต่อจุลินทรีย์ที่เจริญในอาหาร โดยค่า pH จะเป็นตัวบ่งชี้การสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ที่เจริญในอาหารจึงสามารถแบ่งประเภทของอาหารตามสภาพความเป็นกรดได้ 2 ประเภท คือ อาหารที่มีความเป็นกรด (acid food) ซึ่งมีค่า pH < 4.6 และ $a_w > 0.85$ และอาหารที่มีค่า pH ต่ำ (low acid food) ซึ่งมีค่า pH > 4.6 และ $a_w < 0.85$ โดยการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่สร้างสปอร์หรือจุลินทรีย์ธรรมดาได้สำหรับอาหารที่มีความเป็นกรด

และอาหารที่มีค่า pH ต่ำ แต่สำหรับอาหารที่มีค่า pH ต่ำจำเป็นต้องผ่านการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไรซ์ภายใต้ความดัน คือ ใช้ความร้อนสูงกว่า 100 °C เพื่อทำลายสปอร์

2.2.1.4 ออกซิเจน

จุลินทรีย์ถูกจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (aerobes) จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (anaerobes) และจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญเติบโต (microaerophile) โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ได้แก่ เชื้อราทุกชนิด และแบคทีเรียกลุ่มบาซิลลัส (bacilli) ส่วนจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออาหารในภาชนะที่บรรจุปิดสนิท โดยเฉพาะอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ได้แก่ *Clostridium botulinum* สำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญเติบโต ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่มแลคติก เช่น *Lactobacillus* sp.

2.2.1.5 อุณหภูมิในการเก็บรักษา

จุลินทรีย์ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต โดยสามารถแบ่งจุลินทรีย์ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 0-30 °C ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารที่เก็บแบบแช่เย็น กลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 35-37 °C จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและสร้างสารพิษในอาหาร และกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (thermophiles) ซึ่งคือมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 40-70 °C จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารในภาชนะที่บรรจุปิดสนิทชนิดสร้างกรดแต่ไม่สร้างก๊าซ สำหรับยีสต์และราสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง

2.2.2 กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์เป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน โดยวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ก่อโรครวมทั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย การพาสเจอร์ไรซ์สามารถทำลายยีสต์ รา และแบคทีเรียที่ไม่ทนความร้อนได้ แต่ยังไม่เพียงพอที่จะทำลายแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria) และสปอร์ของแบคทีเรีย จึงต้องเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วที่อุณหภูมิต่ำ โดยกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ มี 2 วิธี ได้แก่

1. วิธีใช้ความร้อนต่ำและเวลานาน (low temperature long time; LTLT)

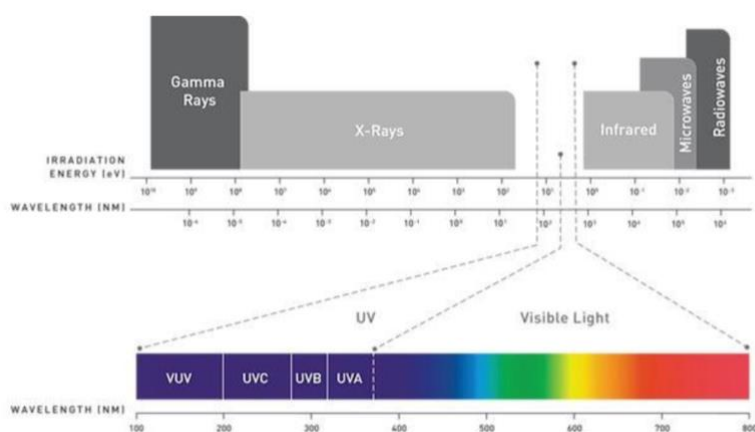
เป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงแต่ใช้เวลาในการให้ความร้อนนาน เช่น การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-65 °C เป็นเวลา 30 นาที

2. วิธีใช้ความร้อนสูงและเวลาสั้น (high temperature short time; HTST)

เป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีแรก แต่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่า เช่น การใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 °C เป็นเวลา 15 วินาที และนิยมใช้กับระบบต่อเนื่อง เช่น การผลิตน้ำนมและน้ำผลไม้

2.3 รังสียูวี

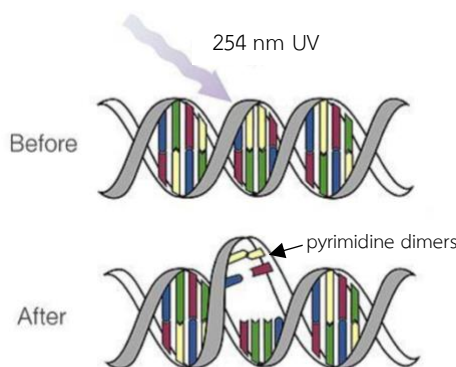
รังสียูวี (ultraviolet light) เป็นรังสีชนิด non-ionizing radiation คือ ไม่ทำให้อะตอมของโมเลกุลหรือสารแตกตัวเป็นไอออน รังสียูวีเป็นช่วงหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-400 nm แบ่งได้ 4 ชนิดตามความยาวคลื่น ได้แก่ รังสี UV-A, รังสี UV-B, รังสี UV-C และรังสี vacuum-UV แสดงดังรูปที่ 1 โดยรังสี UV-A มีความยาวคลื่นในช่วง 320-400 nm ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของผิวหนัง ทำให้ผิวมีสีที่เข้มขึ้น ในขณะที่รังสี UV-B มีความยาวคลื่นในช่วง 280-320 nm ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการไหม้ของผิวหนัง และก่อให้เกิดมะเร็งได้ เนื่องจากรังสี UV-B ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อ deoxyribonucleic acid (DNA) ส่งผลให้เซลล์เกิดการเสียหายได้ นอกจากนี้รังสี vacuum-UV มีความยาวคลื่นในช่วง 100-200 nm ซึ่งสามารถถูกดูดซับได้โดยสารทั่วไป เคลื่อนที่ได้ในสภาวะสุญญากาศเท่านั้น และรังสี UV-C มีความยาวคลื่นในช่วง 200-280 nm ซึ่งเป็นช่วงที่เรียกว่า germicidal range รังสี UV-C มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด มีพลังงานสูงและมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการฆ่าจุลินทรีย์ในอาหาร เนื่องจากสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายชนิด ทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร ดังนั้นอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้รังสียูวีจึงมีความปลอดภัย และมีอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยการฉายรังสียูวีจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารด้านต่าง ๆ เช่น สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา



รูปที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Suntechleds, 2019)

2.3.1 กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี

การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวีเกิดจากการดูดซับรังสียูวีของ DNA โดยนิยมใช้ความยาวคลื่นที่ 254 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่กรดนิวคลีอิกสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (maximum adsorption) โดยรังสียูวีจะทำให้เกิดการเชื่อมข้าม (crosslinking) ระหว่างเบส pyrimidine nucleoside 2 ชนิด คือ กรดอะมิโนไทมีน (thymine) และกรดอะมิโนไซโตซีน (cytosine) ในสาย DNA เดียวกัน ทำให้เกิด pyrimidine dimers แสดงดังรูปที่ 2 โดยการเกิด dimers จะทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเบส purine ในสาย DNA หนึ่ง กับ DNA สายตรงข้ามแย่ง และทำให้ DNA ไม่สามารถเกิดการจำลองตัวเอง (replication) รวมถึงไม่สามารถเกิดการถอดรหัส (transcription) ได้ เป็นผลให้การทำงานของเซลล์จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดลงและตายในที่สุด ปริมาณของการเชื่อมข้ามระหว่างเบส pyrimidine จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้ เพราะการเกิดการเชื่อมข้ามนั้นสามารถผันกลับได้ เนื่องจากกระบวนการซ่อมแซมตนเองของเอนไซม์ในเซลล์ จุลินทรีย์จึงสามารถฟื้นตัวได้ โดยในระยะแรกที่เริ่มการฉายรังสียูวี การเชื่อมข้ามจะเกิดได้มาก และหากการเชื่อมข้ามเกิดมากกว่าการซ่อมแซมตัวเองจะส่งผลให้เซลล์ตาย ดังนั้นจึงควรใช้ปริมาณความเข้มของรังสีให้มากพอ อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มของรังสียูวีที่ใช้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ยังขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ด้วย



รูปที่ 2 โครงสร้างของ DNA ก่อนและหลังการฉายรังสียูวี (Suntechleds, 2019)

2.3.2 งานวิจัยเกี่ยวกับรังสียูวี

2.3.2.1 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ปัจจุบันน้ำผลไม้กำลังเป็นเครื่องดื่มที่มีความนิยมอย่างมาก เนื่องจากน้ำผลไม้เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย อีกทั้งบริโภคง่ายและสะดวก ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้จึงมุ่งหวังที่จะรักษาสมบัติเคมีกายภาพ รสชาติ รวมถึงสารอาหารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ความขุ่น และค่าสี เป็นสมบัติสำคัญที่บ่งชี้ถึง

คุณภาพโดยรวมของน้ำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพต่าง ๆ อาทิเช่น

Tran และ Farid (2004) ศึกษาผลของการใช้รังสียูวีในกระบวนการแปรรูปน้ำส้มต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่า pH และค่าสี พบว่า ทั้งค่าสี และค่า pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านการฉายรังสียูวี

Caminiti และคณะ (2012) รายงานว่า รังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ $2.66-53.10 \text{ J/cm}^2$ ไม่ส่งผลต่อค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำแอปเปิล แต่ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำแอปเปิลลดลง

Juarez-Enriquez และคณะ (2016) ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำแอปเปิลที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้มของรังสี เท่ากับ 0.032 W/cm^2 และน้ำแอปเปิลสด และพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่า pH ค่าความเข้มสี (chroma) ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในน้ำแอปเปิลที่ผ่านการฉายรังสียูวีเมื่อเทียบกับน้ำแอปเปิลสด ในขณะที่รังสียูวีส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าสี (hue) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีและกายภาพต่าง ๆ ของน้ำแอปเปิลที่ผ่านการฉายรังสียูวีเทียบกับน้ำแอปเปิลสด

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	น้ำแอปเปิลสด	น้ำแอปเปิลที่ผ่านการฉายรังสียูวี
ค่า pH	3.74 ± 0.01^a	3.54 ± 0.03^b
ปริมาณกรดทั้งหมด (mg/mL)	6.19 ± 0.04^a	6.06 ± 0.04^a
วิตามินซี (ppm)	119.22 ± 5.04^a	121.16 ± 0.75^a
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ ($^{\circ}\text{Brix}$)	17.97 ± 0.06^a	18.05 ± 0.07^a
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (mM)	10.99 ± 0.16^a	9.85 ± 0.96^b
ค่าความเข้มของสี	3.29 ± 1.21^a	10.50 ± 1.32^a
ค่าสี	81.37 ± 0.59^a	87.57 ± 0.51^b

*a และ b: อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

(ที่มา: Edmundo และคณะ, 2016)

2.3.2.2 ผลของรังสียูวีต่อปริมาณจุลินทรีย์

รังสียูวีสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายชนิด ทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย จุลินทรีย์ที่ก่อโรคที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ เช่น *E. coli* O157:H7 และ *S. Typhimurium* เป็นต้น จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย เช่น ยีสต์ (*S. cerevisiae* และ *P. fermentans*) และรา โดยปริมาณของรังสียูวีที่ใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์จะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5

Basaran และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของรังสียูวีซี (UV-C) ที่ปริมาณความเข้มของรังสียูวี 14 mJ/cm² เพื่อยับยั้งการเจริญของ *E. coli* O157:H7 ในตัวอย่างน้ำแอปเปิลไซเดอร์ โดยรายงานว่ารังสียูวีสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ 7.19 log CFU/mL เมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำแอปเปิลไซเดอร์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสียูวี

ตารางที่ 5 ผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ในผลไม้ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำผลไม้	ปริมาณรังสียูวี	จุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบ	การยับยั้งจุลินทรีย์ (log reduction)	เอกสารอ้างอิง
น้ำแอปเปิลไซเดอร์	19.4 mJ/cm ²	<i>E. coli</i> K12	<2.0	Koutchma และคณะ (2004)
	14.0 mJ/cm ²	<i>E. coli</i> O157:H7	7.2	Basaran และคณะ (2004)
น้ำแอปเปิลผสมน้ำแครนเบอร์รี่	5.3 J/cm ²	<i>P. fermentans</i>	<2.0	Palgan และคณะ (2011)
	5.3 J/cm ²	<i>E. coli</i>	6.0	(2011)
น้ำแอปเปิล	2.66 mJ/cm ²	<i>E. coli</i> ATCC 25922	6.22	Gayan และคณะ (2011)
น้ำองุ่น	280 mJ/cm ² , 24 min	yeasts	3	Kaya และคณะ (2015)
น้ำองุ่นแดง	3672.0 J/L	<i>S. cerevisiae</i>	>5.0	Fredericks และคณะ (2011)
น้ำส้ม	1607.0 J/L	yeast and mold	<1.0	Keyser และคณะ (2008)
น้ำเกรปฟรุต	14.0 mJ/cm ²	<i>S. cerevisiae</i>	1.4	Geveke และ Torres (2012)
น้ำแตงโม	2.7-37.5 J /mL	aerobic bacteria	1.5	Feng และคณะ (2013)
น้ำแก้วมังกร	1.0 kJ/m ²	<i>Z. bailii</i>	1.8	Ochoa และคณะ (2013)
น้ำสับปะรด	10.76 mJ/cm ²	aerobic bacteria	1.9	Shamsudin และคณะ (2014)
น้ำทับทิม	62.4 J /mL	<i>E. coli</i>	6.2	Pala และคณะ (2011)

(ที่มา: Nor และคณะ, 2016)

2.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและกลไกของปฏิกิริยา โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งจากปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยมักใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการอธิบายและทำนายพฤติกรรมของจุลินทรีย์ในสภาวะต่าง ๆ (Fakruddin และคณะ, 2011) นอกจากนี้สามารถใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์เพื่อระบุขนาดของปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก รวมถึงปัจจัยจากกระบวนการแปรรูป ต่อการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นแบบจำลองจลนพลศาสตร์จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแปรรูป และอัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ (Ngadi และคณะ, 2003) โดยมีแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลง เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่ โดยที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้น แสดงดังสมการ 2.1

$$Y = Y_0 - k_0x \quad [2.1]$$

โดยที่ Y_0 และ Y คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ
 k_0 คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์
 x คือ ปริมาณของตัวแปร

2.4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งตัวเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปยกกำลังหนึ่ง แสดงดังสมการ 2.2

$$\ln[Y] = \ln[Y_0] - k_1x \quad [2.2]$$

โดยที่ Y_0 และ Y คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ
 k_1 คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
 x คือ ปริมาณของตัวแปร

2.4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสอง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งตัวเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปยกกำลังสอง หรือมีปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองตัวที่มีความเข้มข้นเท่ากัน (มีอันดับรวมปฏิกิริยาเท่ากับสอง) แสดงดังสมการ 2.3

$$1/[Y] = 1/[Y_0] + k_2x \quad [2.3]$$

โดยที่ Y_0 และ Y คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ
 k_2 คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง
 x คือ ปริมาณของตัวแปร

2.5 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) เป็นสารเคมีกลุ่มใหญ่ที่พืชสร้างเพื่อการเจริญเติบโต พบมากในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น บร็อคโคลี่ แครอท แอปเปิล กล้วย ลิ้นจี่ มะม่วง เบอร์รี่ และองุ่น เป็นต้น และยังพบได้ในเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ ชา และไวน์ เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกที่มักพบได้ในอาหาร ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแทนนิน (tannin) สารประกอบกลุ่มนี้เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ซึ่งประกอบไปด้วยวง aromatic หนึ่งวงหรือมากกว่า และหมู่ไฮดรอกซิลหนึ่งหมู่หรือมากกว่าในโครงสร้างหลัก (backbone) มีโครงสร้างตั้งแต่ไม่ซับซ้อนจนถึงโครงสร้างที่มีความซับซ้อนอย่างมาก (Bravo, 1998) ตัวอย่างของสารประกอบเหล่านี้ เช่น flavonoids, gallic acid, ellagic acid, corilagin, catechin และ caffeic acid เป็นต้น ด้วยโครงสร้างที่มีความหลากหลาย สารประกอบกลุ่มนี้จึงมักถูกเรียกว่า พอลิฟีนอล (polyphenol) ส่วนมากในธรรมชาติมักพบสารประกอบฟีนอลิกจับอยู่กับโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) และพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชัน เช่น เอสเทอร์ (ester) และ เมทิล-เอสเทอร์ (methyl ester) แม้ว่าสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างหลากหลายที่พบได้ในธรรมชาติ สารประกอบกลุ่มนี้สามารถแบ่งกลุ่มได้ตามโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารพิษเคมีซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ของพืช การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค และยังช่วยให้พืชมีสีและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ (Alasalvar และคณะ, 2001) สารประกอบฟีนอลิกมีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย เช่น ป้องกันการแพ้ ป้องกันไขมันในเลือดสูง ป้องกันการอักเสบ ยับยั้งจุลินทรีย์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันหลอดเลือดสมองตีบ เป็นต้น (Benavente-Garcia และคณะ, 1997; Manach และคณะ, 2005; Middleton และคณะ, 2000; Puupponen-Pimiä และคณะ, 2001; Samman และคณะ, 1998) โดยสมบัติที่สำคัญของสารประกอบฟีนอลิก คือ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 6 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกในพืชตามโครงสร้างทางเคมี

กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก	โครงสร้าง
Simple phenolics, benzoquinones	C ₆
Hydroxybenzoic acids	C ₆ -C ₁
Acetophenones, phenylacetic acids	C ₆ -C ₂
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C ₆ -C ₃
Napthoquinones	C ₆ -C ₄
Xanthones	C ₆ -C ₁ -C ₆
Stilbenes, anthraquinones	C ₆ -C ₂ -C ₆
Flavonoids, isoflavonoids	C ₆ -C ₃ -C ₆
Lignans, neolignans	(C ₆ -C ₃) ₂
Biflavonoids	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂
Lignins	(C ₆ -C ₃) _n
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n

(ที่มา: Balasundram และคณะ, 2006)

2.5.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ โดยให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน หรือจับโลหะที่เร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ (chelate metal cations) (Afanas'ev และคณะ, 1989; Amarowicz และคณะ, 2004) ทั้งนี้ โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ และการจับโลหะที่เร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ กล่าวคือมีความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและฤทธิ์การทำงาน (structure-activity relationships) เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกรดฟีนอล (phenol acid) จะขึ้นอยู่กับจำนวน และตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับของปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxylation) ด้วย เช่น trihydroxylated gallic acid ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3- และ 5- ด้วยหมู่เมทอกซิล (methoxyl) ใน syringic acid จะทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง (Balasundram และคณะ, 2006)

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารหรือโมเลกุลที่สามารถยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับโมเลกุลอื่นได้ และเป็นสารที่มีในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารที่ต้องการชะลอหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)

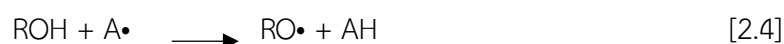
อนุมูลอิสระ (free radical) คือ โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวในวงนอกสุด ทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาก โดยสามารถให้หรือรับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นได้ ส่งผลให้โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนและกลายเป็นอนุมูลอิสระโมเลกุลใหม่ และสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นซึ่งเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) อนุมูลอิสระที่ว่องไวนี้ เรียกว่า reactive species (RS) และอนุมูลอิสระที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า reactive oxygen species (ROS) เช่น superoxide radical anion ($O^{2-•}$), hydroxyl radical ($HO•$), peroxy radical ($ROO•$), alkoxy radical ($RO•$) และ nitric oxide ($NO•$) เป็นต้น อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเมื่อร่างกายสัมผัสกับรังสี มลพิษทางอากาศ ภาวะออกซิเจนเป็นพิษ การสูบบุหรี่ และการดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น โดย ROS ที่เกิดขึ้นนั้นว่องไวมากและสามารถทำปฏิกิริยาทันทีกับโมเลกุลข้างเคียง ก่อให้เกิดความเสียหายกับสารชีวโมเลกุลที่สำคัญ เช่น กรดนิวคลีอิก ไขมัน โปรตีน polyunsaturated fatty acid (PUFA) และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ความเสียหายจากสารชีวโมเลกุลเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคต่าง ๆ มากมายได้ นอกจาก ROS แล้ว อนุมูลอิสระยังมีหลายรูปแบบ โดยอาจพบอนุมูลอิสระในรูปของ reactive chlorine species และ reactive nitrogen species ตามโมเลกุลที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรืออาจพบได้ในรูปของ lipid radical หรือ genetic radical จากที่กล่าวมา RS นั้นไม่จำเป็นจะต้องอยู่ในรูปของ free radical เสมอไป สารประกอบบางโมเลกุลที่อาจอยู่ในรูป non-radical แต่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อาทิเช่น เมื่อโมเลกุลออกซิเจนถูกกระตุ้นด้วยแสง UV จะเกิดเป็น singlet oxygen ซึ่งเป็น oxidizing agent ที่มีความว่องไวกว่า superoxide radical anion

2.6.1 กลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้ 5 ชนิด คือ 1. radical scavenging ซึ่งสามารถดักจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น 2. singlet oxygen quenching ซึ่งยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen 3. chain breaking ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง 4. metal chelating ซึ่งคือโมเลกุลที่จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นสาเหตุให้เกิดอนุมูลอิสระได้ และ 5. enzyme inhibition ซึ่งคือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ โดยมีกลไกการยับยั้งปฏิกิริยา ดังนี้

1. radical scavenging

โมเลกุลชนิดนี้สามารถจับอนุมูลอิสระโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5



จากสมการที่ 2.4: ROH และ RO• คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระก่อนและหลังให้ไฮโดรเจน

A และ AH คือ โมเลกุล radical ก่อนและหลังได้รับไฮโดรเจน

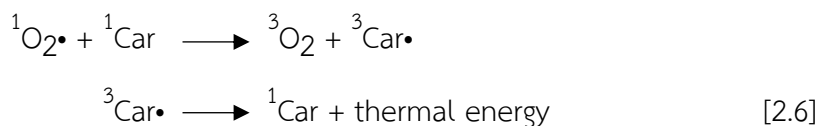
จากสมการที่ 2.5: RO• คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระก่อนให้อิเล็กตรอน

A คือ โมเลกุล radical ก่อนให้อิเล็กตรอน

ROA คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระหลังจากให้อิเล็กตรอนแก่โมเลกุล radical

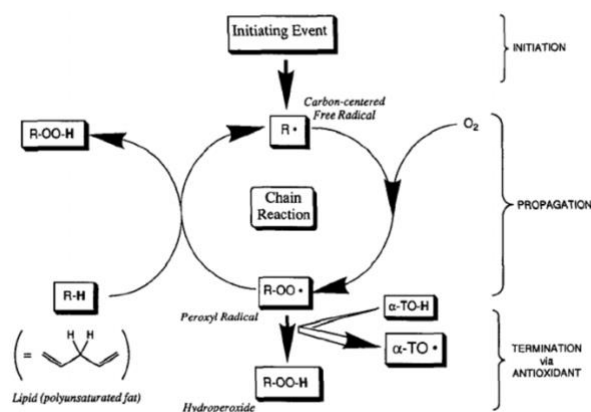
2. singlet oxygen quenching

สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen ได้โดยการเปลี่ยน singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) ให้อยู่ในรูป triplet oxygen ($^3\text{O}_2$) และปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน ดังสมการที่ 2.6 โดยแคโรทีนอยด์ (Car) 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับ singlet oxygen ได้ถึง 1,000 โมเลกุล (Sies และคณะ, 1992)



3. chain breaking

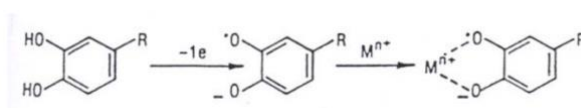
วิตามินอี (α -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันโครงสร้างของไขมันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเยื่อหุ้มเซลล์ จากการถูกทำลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูลอิสระ peroxy radical (ROO•) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กลไกการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมันโดยวิตามินอี (Burton และ Traber, 1983)

4. metal chelating

โลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (pro-oxidant) เช่น Fe^{2+} และ Cu^{2+} โดยโลหะดังกล่าวสามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดอนุมูลอิสระได้หลายประเภทในร่างกาย เช่น peroxy radical, hydroxyl radical และ alkyl radical รวมถึง singlet oxygen ดังนั้นการใช้สารที่สามารถจับโลหะหนักเหล่านี้จะช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ สารดังกล่าว ได้แก่ ฟลาโวนอยด์, กรดฟอสฟอริก และกรดซิตริก เป็นต้น กลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กลไกการจับโลหะที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์ (ปณัฐฐา ไชยมุติ, 2547)

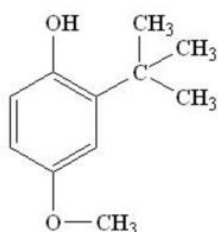
5. enzyme inhibition

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิก (phenolic acid) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase ได้ โดยเข้าจับกับไอออนของเหล็ก ซึ่งเป็น cofactor ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (ปณัฐฐา ไชยมุติ, 2547)

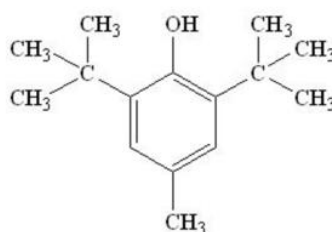
2.6.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive)

สารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ และสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ ได้แก่ สารพฤกษเคมี (phytochemical) เช่น สารประกอบฟีนอลิก, ยูจีนอล (eugenol), วิตามินซี (vitamin C), วิตามินอี (vitamin E), กรดซิตริก (citric acid) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นต้น ยูจีนอลพบได้ในกานพลู ข่า และตะไคร้ นอกจากนี้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ยูจีนอลยังสามารถยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหารได้ รวมถึงจุลินทรีย์ก่อโรคหลายชนิด วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) พบได้ในผลไม้สดหลายชนิด เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม (citrus) ฝรั่ง เซอร์รี่ มะขามป้อม และผักบุงจีน เป็นต้น วิตามินซีสามารถละลายน้ำได้ดีและคงตัวในสภาวะที่เป็นกรด สลายตัวง่ายเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ นอกจากนี้การสัมผัสกับแสงและออกซิเจนส่งผลต่อการสลายตัวของวิตามินซีเช่นกัน วิตามินอี หรือ โทโคฟีรอล (tocopherol) เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน พบได้ในผักใบเขียวและเมล็ดธัญพืชทั้งเมล็ด เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันการหืน ทำให้เม็ดเลือดแดงแข็งแรงและป้องกันการเป็นหมัน กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน (weak acid) พบได้ในอาหารหลายชนิด ได้แก่ พืชตระกูลส้มและมะนาว เป็นต้น แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่ให้สี (coloring agent) มีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceuticals) นอกจากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยชะลอ

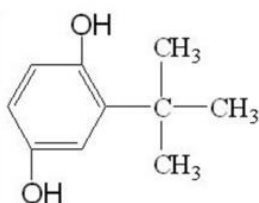
การเสื่อมเสียของเซลล์แล้วยังช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารที่เป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ แอนโทไซยานินสามารถละลายน้ำได้ดี ไม่เสถียร สลายตัวง่ายด้วยกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน รวมถึงออกซิเจนและแสง และสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น BHA (butylated hydroxyanisole), BHT (butylated hydroxytoluene), TBHQ (tertiary butylhydroquinone) และ EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) เป็นต้น BHA เป็นวัตถุเจือปนอาหารใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการหืน (rancidity) ของไขมันและน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) โครงสร้างของสาร BHA แสดงดังรูปที่ 5 BHT เป็นสารประกอบฟีนอลิกเป็นวัตถุเจือปนอาหารใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการหืนของไขมันและน้ำมัน เช่นเดียวกับ BHA มักใช้กับน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery) และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (meat product) เป็นต้น โครงสร้างของสาร BHT แสดงดังรูปที่ 6 TBHQ เป็นวัตถุเจือปนอาหารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ใช้เพื่อป้องกันการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน TBHQ สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายในไขมันได้ปานกลาง มักใช้กับอาหารทอด ไขมัน และน้ำมันพืช เป็นต้น โครงสร้างของสาร TBHQ แสดงดังรูปที่ 7 EDTA เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติเป็น chelating agent สามารถสร้างพันธะจับกับโลหะได้ 4-6 พันธะ เกิดเป็นสาร chelate โดยใช้เพื่อเป็นสารจับโลหะ (sequestrant) ป้องกันการหืน (antioxidant) ป้องกันการเปลี่ยนสี (color retention agent) รวมถึงเป็นสารกันเสีย โดยโครงสร้างของสาร EDTA แสดงดังรูปที่ 8



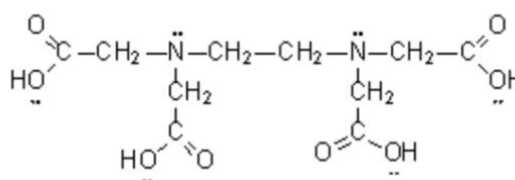
รูป 5 โครงสร้างของ BHA



รูปที่ 6 โครงสร้างของ BHT



รูปที่ 7 โครงสร้างของ TBHQ



รูปที่ 8 โครงสร้างของ EDTA

(รูปที่ 5, 6, 7 และ 8 ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมี

2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Fluka, USA)
2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) (Merck, Germany)
6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) (Fluka, Denmark)
Aluminium chloride (AlCl_3) (Ajax Finechem, Australia)
Ethanol95% ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) (A. R. grade, Qrec, New Zealand)
Folin-ciocalteu reagent (Carlo Erba, France)
Ferric chloride (Fisher Scientific, England)
Gallic acid (Sigma-Aldrich, USA)
Hydrochloric acid (HCl) (Merck, Germany)
Methanol(CH_3OH) (Fisher Scientific, UK)
Phenolphthalein (Fluka, Germany)
Potassium chloride (KCl) (Ajax Finechem, New Zealand)
Quercetin (Sigma-Aldrich, USA)
Sodium acetate trihydrate ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Ajax Finechem, New Zealand)
Sodium carbonate (Na_2CO_3) (Dae-jung Chemicals & Metals, South Korea)
Sodium chloride (NaCl) (Ajax Finechem, Australia)
Sodium hydroxide (NaOH) (Qrec, New Zealand)
Tartaric acid (Ajax Finechem, Australia)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

EC broth (Himedia Laboratories, India)
Potato Dextrose Agar (Himedia Laboratories, India)
Plate Count Agar (Himedia Laboratories, India)
จานเลี้ยงเชื้อพลาสติก ขนาด 15x90 mm (Himedia Laboratories, India)

เครื่องมือ

- เครื่อง Autoclave (Tomy, SX-700, Japan)
- เครื่อง Centrifuge machine (Hettich, Rotanta 460R, England)
- เครื่องวัดสี Chroma Meters (Konica Minolta, CR-400 Series, Japan)
- เครื่อง Hand-held Refractometer (Atago, Master M-Series, Japan)
- เครื่อง Juice extractor (Electrolux, EMB3500S, Sweden)
- เครื่อง pH meter (Mettler Toledo, Switzerland)
- เครื่อง Spectrophotometer (Thermo Scientific™ GENESYS 20, USA)
- เครื่อง UV-sterilizer (Treatton, Taiwan)
- เครื่อง Vortex mixer (Scientific Industries, G560E, USA)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ML1602, Switzerland)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ML204, Switzerland)
- ตู้แช่แข็ง (Sanyo, MDF-U5411, Japan)
- ตู้บ่มเชื้อ (Binder, WTB Series, Germany)

การเตรียมตัวอย่างน้ำลำไย

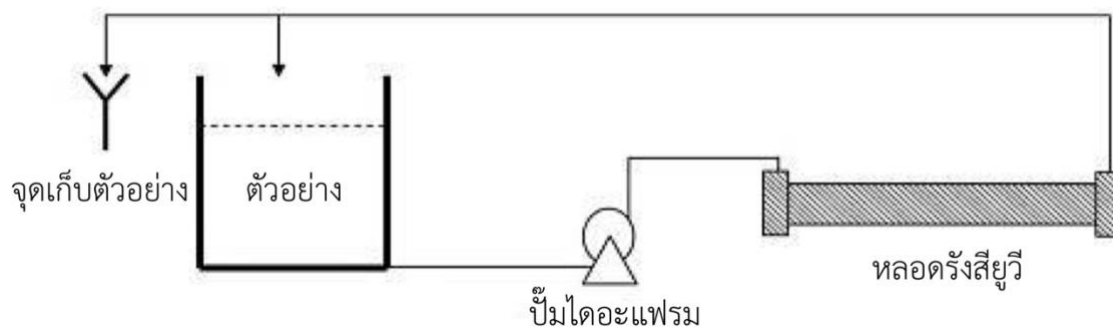
ซื้อลำไยแช่แข็งที่ผลิตโดย บริษัท สหปรมาจันบุรีอุตสาหกรรมอาหาร จำกัด จากห้าง Makro ที่ผ่านการปลอกเปลือกและคว้านเมล็ดออก จากนั้นนำมาคั้นน้ำลำไยด้วยเครื่องสกัดน้ำผลไม้ (Electrolux, EMB3500S, Sweden) ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างรวมกับน้ำในอัตราส่วนเนื้อลำไยต่อน้ำเท่ากับ 4 ต่อ 3 (w/w) จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง และเหวี่ยงแยกน้ำลำไยด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich, Rotanta 460R, England) โดยใช้ความเร็ว 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที บรรจุน้ำลำไยที่เตรียมได้ในขวดสีชาขนาด 1 L หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 ± 1 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีประกอบด้วย บั๊มไดอะแฟรม (AQ&Q, China) และเครื่อง UV sterilizer โดยบั๊มไดอะแฟรมจะสูบตัวอย่างจะไหลด้วยอัตราการไหล (flow rate) เท่ากับ 20.8 mL/s ผ่านเข้าเครื่อง UV sterilizer ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.74 cm และมีความยาว 22 cm ภายในกระบอกสแตนเลสมีหลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm และมีความยาว 24.50 cm หุ้มล้อมรอบหลอดรังสียูวีขนาด 6 W (Treatton, Taiwan) เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับหลอดยูวี และทำให้ตัวอย่างไหลในลักษณะฟิล์มบาง 1.87 cm แสดงดังรูปที่ 3.1 และสามารถคำนวณปริมาณรังสีจากสมการ 3.1-3.3

	UV dosage	= Intensity x Exposure time	[3.1]
โดย	Intensity	= Total UV output / Surface area	[3.2]
และ	Exposure Time	= Volume of sample / Flow rate	[3.3]

เมื่อ	Intensity	คือ	ความเข้มของรังสียูวี (W/cm^2)
	Total UV output	คือ	กำลังไฟฟ้าทั้งหมดของหลอดยูวี (W)
	Surface area	คือ	พื้นที่ผิวหลอดยูวี (cm^2)
	Exposure time	คือ	ระยะเวลาที่ตัวอย่างสัมผัสกับรังสียูวี (s)
	Volume of sample	คือ	ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)
	Flow rate	คือ	อัตราการไหลของตัวอย่าง (mL/s)



รูปที่ 9 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี (Keyser และคณะ, 2008)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และจลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย

บ่มน้ำลำไยที่ผ่านการเตรียมที่อุณหภูมิ $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำลำไย แล้วแบ่งน้ำลำไยเป็น 2 ส่วน สำหรับการฉายรังสียูวีและการพาสเจอไรซ์ โดยนำน้ำลำไยส่วนของการฉายรังสียูวีไปผ่านด้วยเครื่อง UV sterilizer (Treatton, Taiwan) แปรปริมาณความเข้มของรังสียูวี 7 ระดับ 0.00 (ตัวอย่างควบคุม), 4.68, 9.36, 18.72, 37.44, 74.88 และ 149.76 J/cm^2 และนำน้ำลำไยส่วนของการพาสเจอไรซ์มาให้ความร้อนที่ $72\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของตัวอย่าง ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โดยใช้เทคนิค pour plate (ภาคผนวก ค.1)
- วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold count) โดยใช้เทคนิค spread plate (ภาคผนวก ค.2)

ใช้ข้อมูลจากการศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ สำหรับการศึกษากลอนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณรังสียูวีสำหรับกลอนพลศาสตร์อันดับศูนย์และหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.4-3.5

$$\text{กลอนพลศาสตร์อันดับศูนย์} \quad N = N_0 - k_0x \quad [3.4]$$

$$\text{กลอนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง} \quad \ln [N] = \ln [N_0] - k_1x \quad [3.5]$$

โดย N = ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลือรอด
(number of surviving microorganisms, CFU/mL)

N_0 = ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น
(initial number of microorganisms, CFU/mL)

k_0 และ k_1 = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง ตามลำดับ

x = ปริมาณรังสียูวี (J/cm^2)

3.2 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย

แตงน้ำลำไยที่ผ่านการเตรียมเป็น 2 ส่วน สำหรับการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์ โดยนำน้ำลำไยส่วนของการฉายรังสียูวีไปผ่านด้วยเครื่อง UV sterilizer (Treatton, Taiwan) แปรปริมาณความเข้มของรังสียูวี 7 ระดับ 0.00 (ตัวอย่างควบคุม), 4.68, 9.36, 18.72, 37.44, 74.88 และ 149.76 J/cm^2 และนำน้ำลำไยส่วนของการพาสเจอร์ไรซ์มาให้ความร้อนที่ 72 ± 1 °C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่าง ดังนี้

- ค่าสีโดยใช้เครื่อง chroma meter ระบบ CIE LAB (L^* , a^* , b^*) (ภาคผนวก ก.1)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (ภาคผนวก ข.6)
- ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetry (ภาคผนวก ข.7)
- ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity (ภาคผนวก ข.4)
- ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) (ภาคผนวก ข.5)
- ค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter (ภาคผนวก ข.1)
- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้โดยไทเทรตกับสารละลาย 1 N NaOH (ภาคผนวก ข.3)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้โดยใช้ digital hand refractometer (ภาคผนวก ข.2)
- ความขุ่นด้วยวิธี spectrophotometry (ภาคผนวก ก.2)

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เตรียมตัวอย่างน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm² และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ (72±1 °C, 1 นาที) บรรจุในขวดแก้วใสปิดฝาสนิทขนาด 100 mL แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ทุก 3 วัน ดังนี้

- สมบัติทางจุลชีววิทยา ตามข้อ 3.1
- สมบัติทางเคมีและกายภาพ ตามข้อ 3.2

3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) สำหรับการประเมินผลด้านสมบัติทางเคมีและกายภาพ และจุลินทรีย์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และจลนพลศาสตร์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไย

จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำลำไย โดยสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในด้านสมบัติทางเคมีและกายภาพ ส่งผลให้น้ำผลไม้มีอายุการเก็บรักษาสั้น อีกทั้งอาจก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยจากจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในน้ำลำไยซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (Delshadi และคณะ, 2021) ดังนั้นจึงมีการใช้ความร้อนเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อโรคให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และจากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่ารังสียูวีสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้เช่นกัน จึงมีการใช้รังสียูวีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทดแทนการใช้ความร้อน จากการศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำลำไยที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ โดยการฉายรังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0-149.76 J/cm² และการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำลำไยทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.86-6.45 และ 1.91-6.42 log CFU/mL ตามลำดับ และพบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) หลังจากการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์ (ตารางที่ 7 และรูปที่ 10 และ 11) โดยน้ำลำไยสด (ตัวอย่างควบคุม) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเริ่มต้นเท่ากับ 6.45 ± 0.27 และ 6.42 ± 0.12 log CFU/mL ตามลำดับ ที่ปริมาณรังสีสูงสุด (149.76 J/cm²) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราได้เท่ากับ 2.80 ± 0.16 และ 4.14 ± 0.01 log CFU/mL ตามลำดับ โดยตัวอย่างน้ำลำไยสดมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเหลือเท่ากับ 3.64 ± 0.43 และ 2.29 ± 0.12 log CFU/mL ตามลำดับ เนื่องจากการฉายรังสียูวีส่งผลให้ DNA ของจุลินทรีย์ดูดซับโฟตอนหรือพลังงานแสง ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างเบส pyrimidine (cytosine และ thymine) ที่ติดกันบนสาย DNA เดียวกัน (Tran และ Farid, 2004) เกิดเป็นโครงสร้าง pyrimidine dimers โดยโครงสร้างนี้สามารถป้องกันการถอดรหัส (transcription) และการแปลรหัส (translation) ของ DNA ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pala และ Toklucu (2011a) ที่ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.50-62.40 J/mL) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำทับทิม โดยรายงานว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสียูวีปริมาณสูงขึ้นไปจะสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้มากขึ้น โดยรังสียูวีที่ปริมาณสูงสุด (62.40 J/mL) ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำทับทิมควบคุม 1.80 และ 1.45 log CFU/mL ตามลำดับ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ของรังสียูวีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ การส่องผ่านของรังสียูวี (UV light transmittance) ความหนืด และความขุ่น โดยความขุ่นและการส่องผ่านของรังสียูวีในน้ำผลไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ น้ำผลไม้ที่มีความขุ่นมากจะมีการส่องผ่านของรังสียูวีต่ำ ส่งผลให้มีปริมาณรังสีในการ

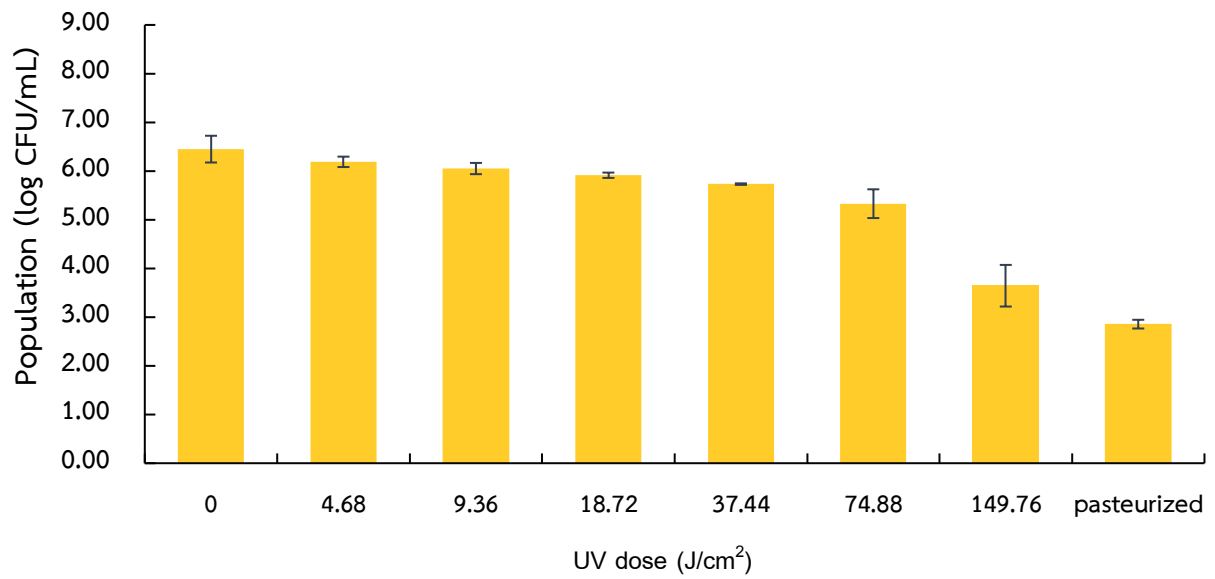
ทำลายจุลินทรีย์ลดลง เนื่องจากอนุภาคต่าง ๆ สามารถดูดซับรังสียูวีและสามารถทำให้เกิดการกระเจิงของรังสีได้ และจุลินทรีย์สามารถรวมตัวกับอนุภาค โดยอนุภาคเหล่านั้นจะป้องกันจุลินทรีย์จากรังสียูวี (Koutchma, 2021) เมื่อพิจารณาผลของการพาสเจอร์ไรซ์ต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์เปรียบเทียบกับฉายรังสียูวี พบว่าการพาสเจอร์ไรซ์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราได้มากกว่ารังสียูวีที่ปริมาณรังสีสูงสุด โดยสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราได้เท่ากับ 3.63 ± 0.38 และ 4.56 ± 0.28 log CFU/mL ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถทำลายโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดนิวคลีอิกและโปรตีน ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ จึงทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tandon และคณะ (2007) ที่ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (14 mJ/cm^2) และการพาสเจอร์ไรซ์ (hot-filled ที่อุณหภูมิ 63°C) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำแอปเปิลไซเดอร์ ซึ่งรายงานว่า การพาสเจอร์ไรซ์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้มากกว่าการฉายรังสียูวี โดยการพาสเจอร์ไรซ์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ในช่วงกว้าง ($2.0\text{-}4.4$ log CFU/mL) ในขณะที่รังสียูวีลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราได้เท่ากับ 1.9 และ 1.6 log CFU/mL ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์

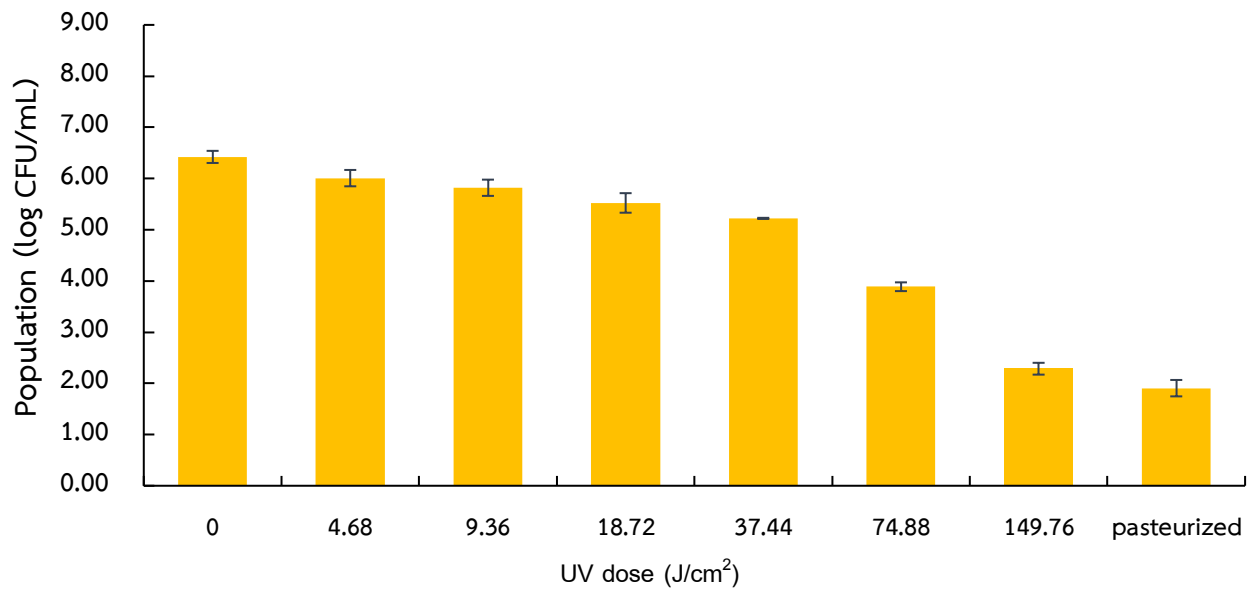
Treatment	Total plate count		Yeast and mold count	
	population (log CFU/mL)	log reduction (log CFU/mL)	population (log CFU/mL)	log reduction (log CFU/mL)
control	$6.45^a \pm 0.27$	0.00 ± 0.00	$6.42^a \pm 0.12$	0.00 ± 0.00
UV 4.68 J/cm^2	$6.19^{ab} \pm 0.11$	0.26 ± 0.16	$6.01^b \pm 0.16$	0.42 ± 0.04
UV 9.36 J/cm^2	$6.05^{ab} \pm 0.12$	0.39 ± 0.15	$5.82^{bc} \pm 0.16$	0.60 ± 0.04
UV 18.72 J/cm^2	$5.91^{ab} \pm 0.05$	0.53 ± 0.21	$5.52^{cd} \pm 0.19$	0.90 ± 0.07
UV 37.44 J/cm^2	$5.73^{bc} \pm 0.02$	0.71 ± 0.28	$5.22^d \pm 0.01$	1.20 ± 0.10
UV 74.88 J/cm^2	$5.33^c \pm 0.30$	1.12 ± 0.03	$3.89^e \pm 0.09$	2.55 ± 0.05
UV 149.76 J/cm^2	$3.64^d \pm 0.43$	2.80 ± 0.16	$2.29^f \pm 0.12$	4.14 ± 0.01
pasteurized	$2.86^e \pm 0.09$	3.63 ± 0.38	$1.91^g \pm 0.16$	4.56 ± 0.28

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

a-f คือ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์



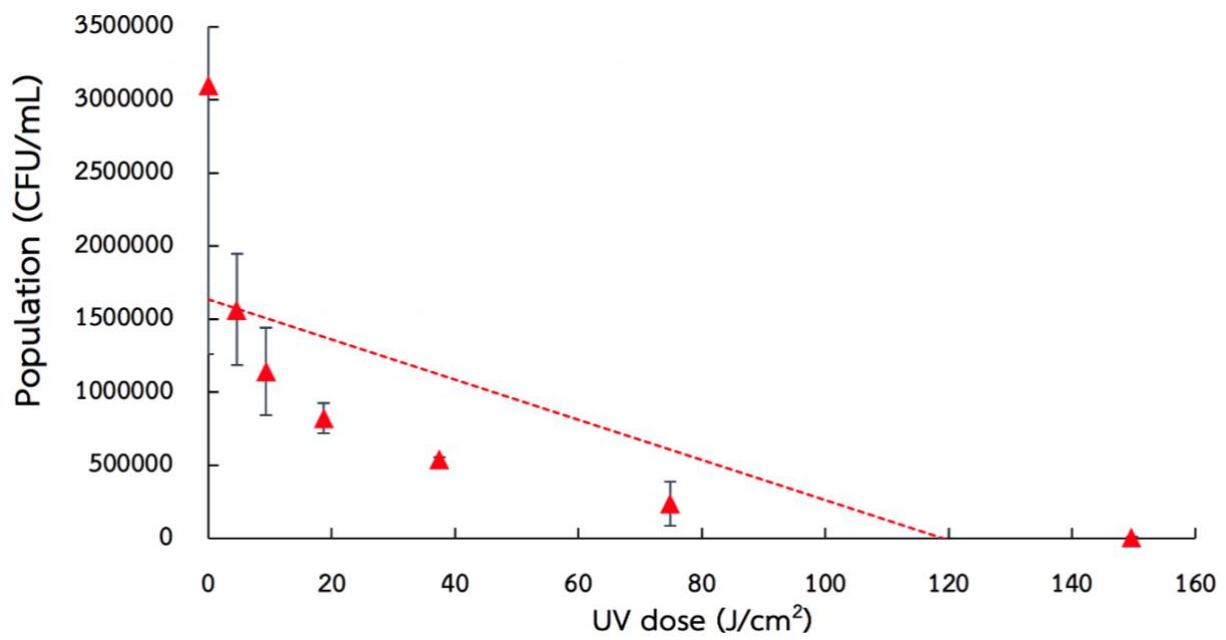
รูปที่ 11 ปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มาศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และรา โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีกับ \ln [ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา] (รูปที่ 12-15) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination; R^2) ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งมีค่าระหว่าง 0.9741-0.9850 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ที่มีค่าระหว่าง 0.3536-0.5040 ดังแสดงในตารางที่ 8 จากผลการทดลองพบว่าการลดปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราเป็นไปตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Visuthiwan และ Assatarakul (2021) ที่ศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการลดปริมาณจุลินทรีย์และสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำลิ้นจี่ด้วยรังสียูวี ($0-74.88 \text{ J/cm}^2$) ซึ่งรายงานว่าการลดปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเป็นไปตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9759-0.9935 ในขณะที่แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.3223-0.3471

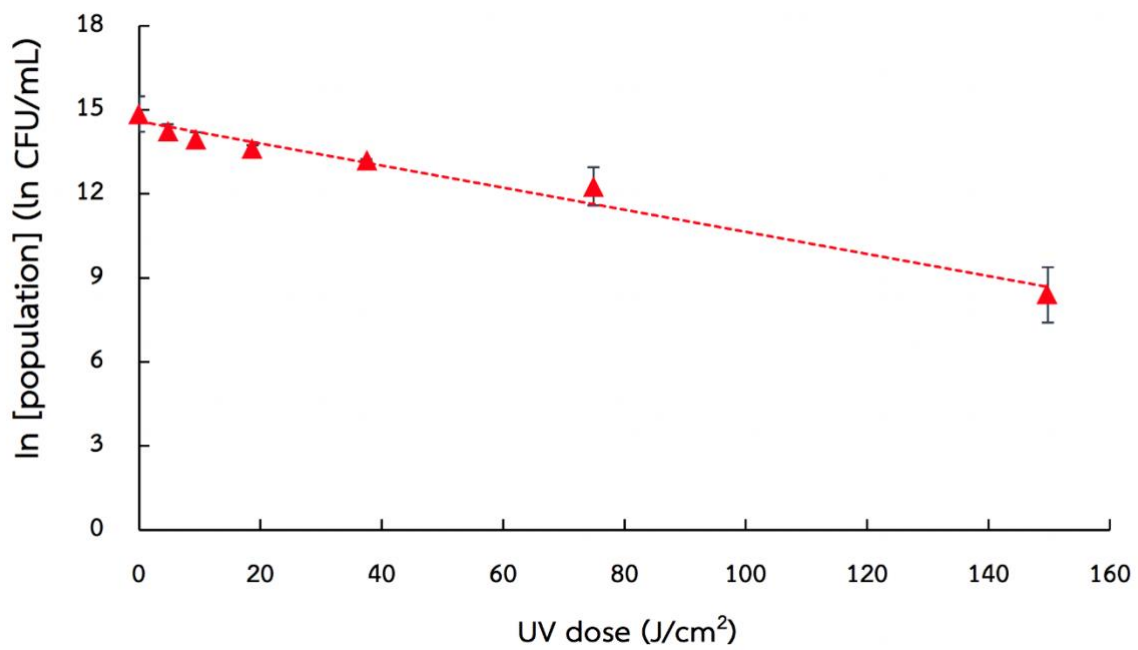
เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constant; k) ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา (ตารางที่ 8) พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรามีค่าเท่ากับ 0.0395 และ 0.0614 ตามลำดับ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการยับยั้งปริมาณยีสต์และรามีค่ามากกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการยับยั้งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จึงสรุปว่ายีสต์และรามีความไวต่อรังสียูวีมากกว่าแบคทีเรียในน้ำลำไย เนื่องจากน้ำลำไยมีสารฟลาโวนอยด์ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ยับยั้งรา (antifungal activity) ปริมาณมาก เช่น corilagin, gallic acid, chlorogenic acid และ ellagic acid เป็นต้น โดยสารประกอบเหล่านี้สามารถสลายและยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์ที่มี chitin เป็นองค์ประกอบหลักของรา (Nguyen และคณะ, 2013; Rangkadilok และคณะ, 2012) ทำให้รังสียูวีสามารถทะลุผ่านเซลล์ของราได้มากขึ้น ส่งผลให้รามีความไวต่อรังสียูวีมากขึ้น นอกจากนี้ Andrade และคณะ (2018) ที่ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งราจากสารสกัดผงแวกซ์จากใบ carnauba และรายงานว่สารสกัดผงแวกซ์จากใบ carnauba มีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เช่น gallic acid, catechin และ chlorogenic acid ที่มีฤทธิ์ยับยั้งรา ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมปติทางจุลชีวิทยาในน้ำลำไย

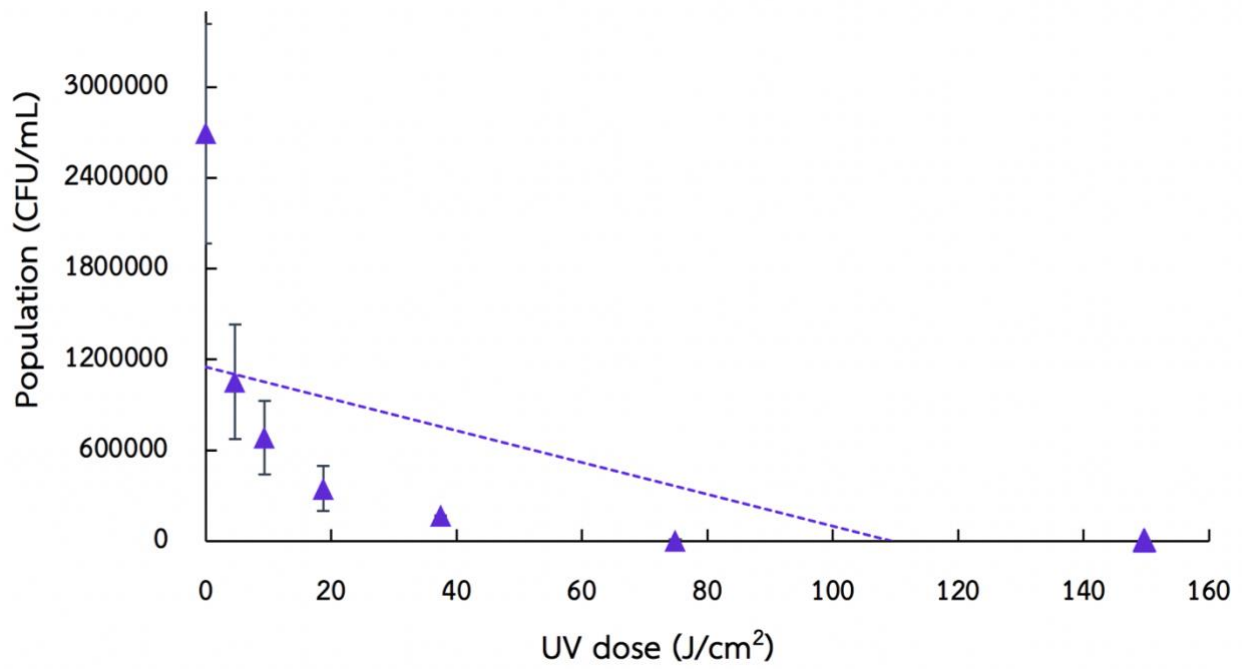
Microbiological property	Zero-order model		First-order model	
	coefficient of determination (R^2)	rate constant (k_0)	coefficient of determination (R^2)	rate constant (k_1)
total plate count	0.5040	13728	0.9741	0.0395
yeast and mold count	0.3536	10519	0.9850	0.0614



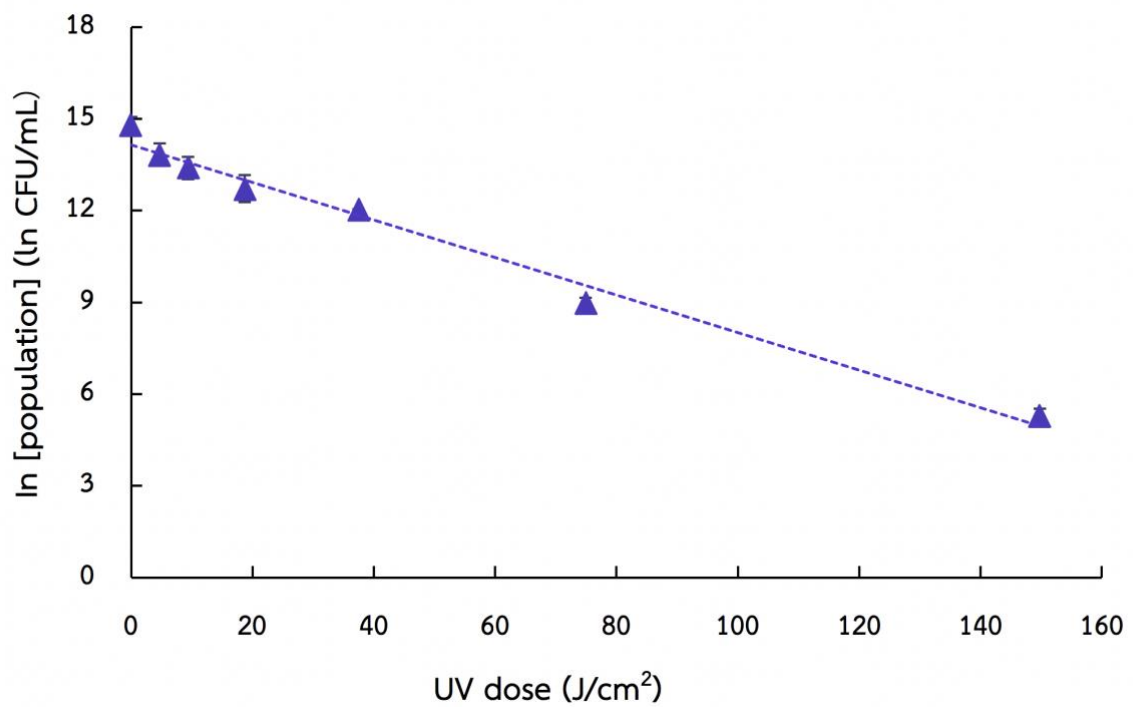
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด



รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและ ln [ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด]



รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและปริมาณยีสต์และรา

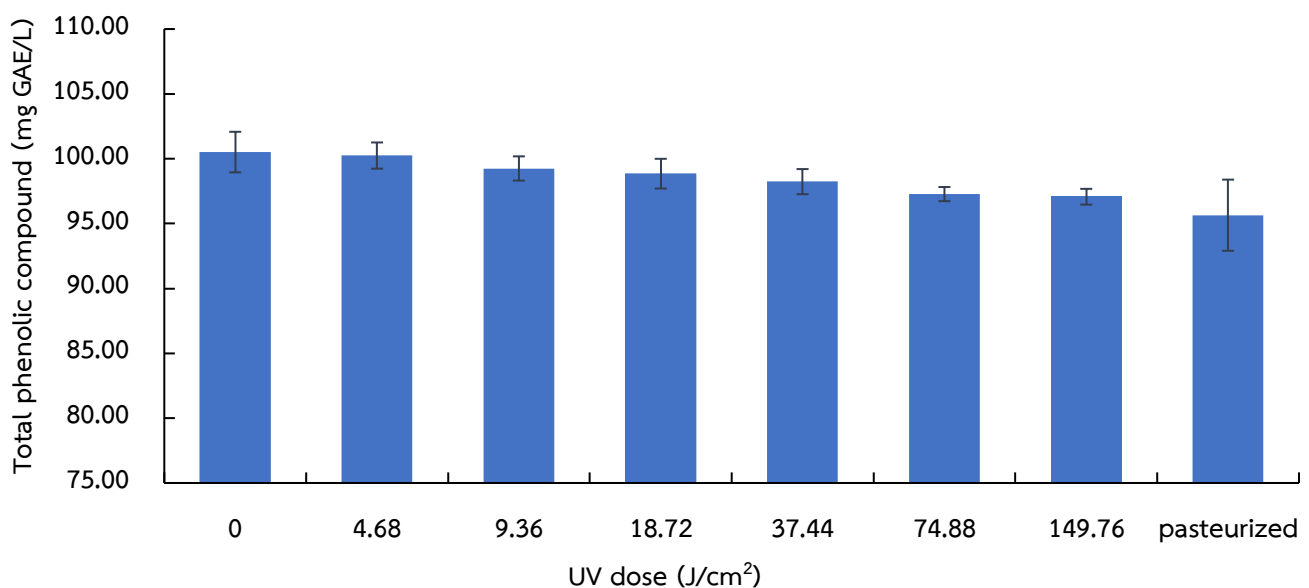


รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสียูวีและ ln [ปริมาณยีสต์และรา]

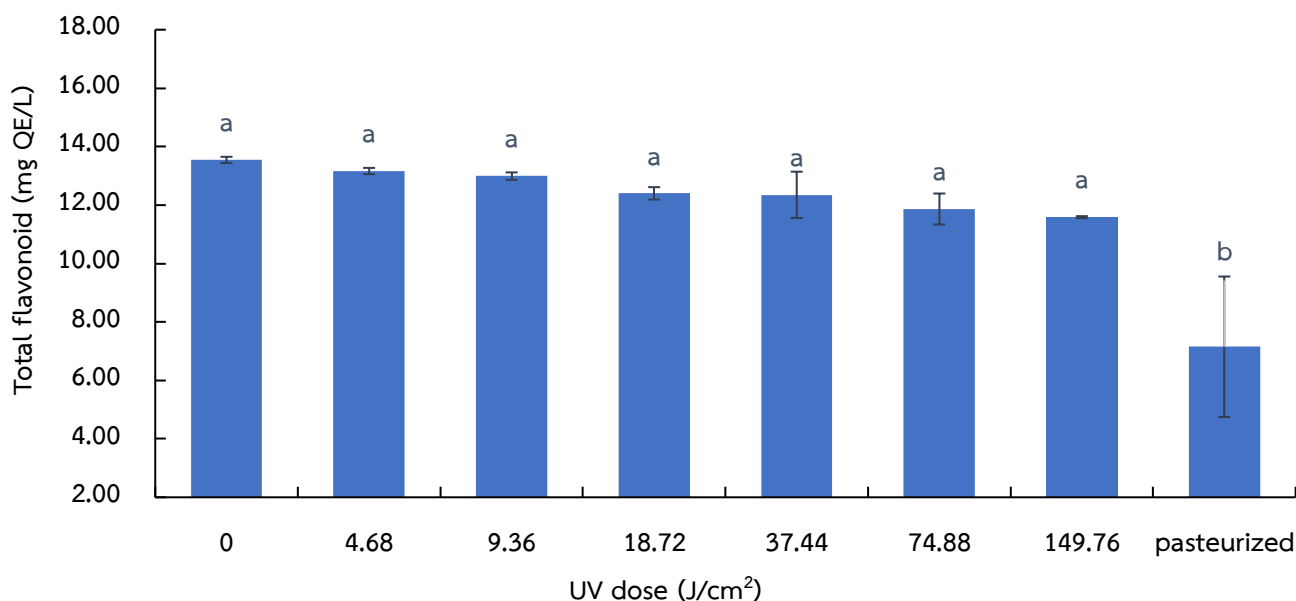
4.2 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย

สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในน้ำลำไย ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ปรับภูมิคุ้มกัน (immunomodulatory) และต้านเนื้องอกที่แบ่งตัวผิดปกติ (antitumor effect) เป็นต้น กระบวนการแปรรูปทางการค้า (commercial processing) และการเก็บรักษามักส่งผลต่อสารประกอบเหล่านี้ เนื่องจากสารเหล่านี้มีความไวต่อ ความร้อน แสง และกระบวนการทางกายภาพและเคมีต่าง ๆ ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์จึงเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่สำคัญของคุณภาพน้ำผลไม้ (Debelo และคณะ, 2020; Santos และคณะ, 2021; Zhang และคณะ, 2020) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลำไยควบคุมและน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0-149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 95.65-100.52 mg GAE/L และ 7.15-13.55 mg QE/L ตามลำดับ (รูปที่ 16 และ 17) โดยน้ำลำไยควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 100.52±1.56 mg GAE/L และ 13.55±0.11 mg QE/L ตามลำดับ เมื่อปริมาณรังสียูวีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยที่ปริมาณรังสีสูงสุด (149.76 J/cm²) ส่งผลให้น้ำลำไยควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าลดลง 3.43% และ 14.46% ตามลำดับ และมีปริมาณคงเหลือเท่ากับ 97.07±0.61 mg GAE/L และ 11.59±0.04 mg QE/L ตามลำดับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ochoa-Velasco และ Beltrán (2013) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำแก้วมังกร โดยรายงานว่า การฉายรังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลงอาจเป็นผลจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก โดยการเกิด photo-oxidation หรือ photo-induced molecular rearrangement ทำให้ออกซิเจนเปลี่ยนโครงสร้างไปอยู่ในรูป phenoxy radical ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการมีปริมาณออกซิเจนสูงในน้ำลำไยระหว่างการสูบน้ำเข้าระบบด้วยปั๊ม (Islam และคณะ, 2016; Riganakos และคณะ, 2017) นอกจากนี้ Islam และคณะ (2016) รายงานว่าเมื่อฉายรังสียูวี 0-240 mJ/cm² ในน้ำแอปเปิล ส่งผลให้ (-)-epicatechin มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) โดย (-)-epicatechin จะเกิด epimerization เปลี่ยนโครงสร้างเป็นไอโซเมอร์ของ (-)-epicatechin ในสภาวะที่ค่า pH มากกว่า 6 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ เนื่องจาก (-)-epicatechin เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีปริมาณมากในน้ำลำไย (Zhang และคณะ, 2020) เมื่อเปรียบเทียบการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยมีค่าลดลงจากน้ำลำไยควบคุมเท่ากับ 4.84% และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 95.65±2.74 mg GAE/L ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pala และ Toklucu (2013) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ประสาทสัมผัส จุลชีววิทยา และอายุการเก็บ

รักษาของน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวี (12.03-48.12 kJ/L) และการพาสเจอร์ไรซ์ (90°C, 2 นาที) โดยรายงาน ว่าน้ำส้มพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณรังสี สูงสุด (48.12 kJ/L) ซึ่งน้ำส้มพาสเจอร์ไรซ์และน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 48.12 kJ/L มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1095.75 ± 43.35 mg GAE/L และ 1089.75 ± 43.35 GAE/L ตามลำดับ เนื่องจากความร้อน (high-temperature short-time; HTST) สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ สารประกอบฟีนอลิกและเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น quinones ซึ่งเป็น intermediate ของปฏิกิริยา non-enzymatic browning (Nayak และคณะ, 2015; Zhang และคณะ, 2020) และพบว่าน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มี ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าลดลงจากน้ำลำไยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าลดลงเท่ากับ 47.23% และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดคงเหลือเท่ากับ 7.15 ± 2.40 mg QE/L ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santhirasegaram และคณะ (2015) ที่ศึกษาผลของรังสียูวี (3.525 J/m²) ต่อคุณภาพของน้ำมะม่วง Chokanan เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ (90 ± 1 °C, 60 วินาที) ซึ่งรายงานว่าน้ำมะม่วงพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยกว่าน้ำมะม่วงที่ผ่านการฉายรังสียูวีอย่าง มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมะม่วงพาสเจอร์ไรซ์และน้ำมะม่วงที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณฟลาโวนอยด์ ทั้งหมดเท่ากับ 6.52 ± 0.15 mg CE/100 mL และ 7.83 ± 0.12 CE/100 mL ตามลำดับ



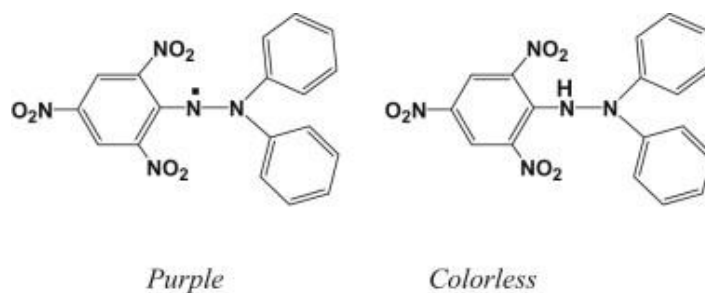
รูปที่ 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์



รูปที่ 17 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์

เมื่อพิจารณาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำลำไยที่รังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0-149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที มีค่าอยู่ในช่วง 313.87-352.95 mM TE/100 mL และ 189.04-205.39 mM TE/100 mL ตามลำดับ (รูปที่ 19 และ 20) โดยการฉายรังสียูวีปริมาณสูงขึ้นและการพาสเจอร์ไรซ์ ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการพาสเจอร์ไรซ์ส่งผลให้ตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีปริมาณสูงสุด (149.76 J/cm²) มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ 322.27 ± 0.64 และ 194.47 ± 1.26 mM TE/100 mL ตามลำดับ ในขณะที่น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ 313.87 ± 5.46 และ 189.04 ± 0.34 mM TE/100 mL ตามลำดับ โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงเมื่อผ่านทั้งสองกระบวนการ โดยให้ผลไปในทางเดียวกับการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มสำคัญที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำลำไย โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goh และคณะ (2012) ที่ศึกษาผลของความร้อน (97 °C, 5 นาที) และรังสียูวี (7.5 mJ/cm²) ต่อเสถียรภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยรายงานว่าน้ำสับปะรดที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าน้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรซ์ โดยกลไกการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH คือการวิเคราะห์ความสามารถในการให้อิโตรเจนของสารต้านอนุมูลอิสระ (สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์) แก่ DPPH radical เพื่อให้เกิดความเสถียร โดย DPPH จะทำหน้าที่เป็น radical ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีสีม่วงเข้ม สามารถเกิดปฏิกิริยากับกับ radical ตัวอื่น อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจน

อะตอม ทำให้สีจางลง ดังสมการ 4.1 และ 4.2 และ รูปที่ 18 (Santhirasegaram และคณะ, 2015; Schaich และคณะ, 2015) และกลไกการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP คือการวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา reduction ของสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+} โดยเมื่อรับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระ จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{2+} โดยจะแสดงสีน้ำเงินเข้ม (Zhong และ Shahidi, 2015) แสดงดังสมการ 4.3



รูปที่ 18 โครงสร้างของสาร DPPH (Schaich และคณะ, 2015)



โดย DPPH• คือ โมเลกุล DPPH radical (สีม่วง)

DPPH(H), DPPH⁻ คือ โมเลกุล DPPH หลังจากรับไฮโดรเจนและอิเล็กตรอน ตามลำดับ (ไม่มีสี)

Phe-OH, Phe-O•, Phe-O⁻ คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระ

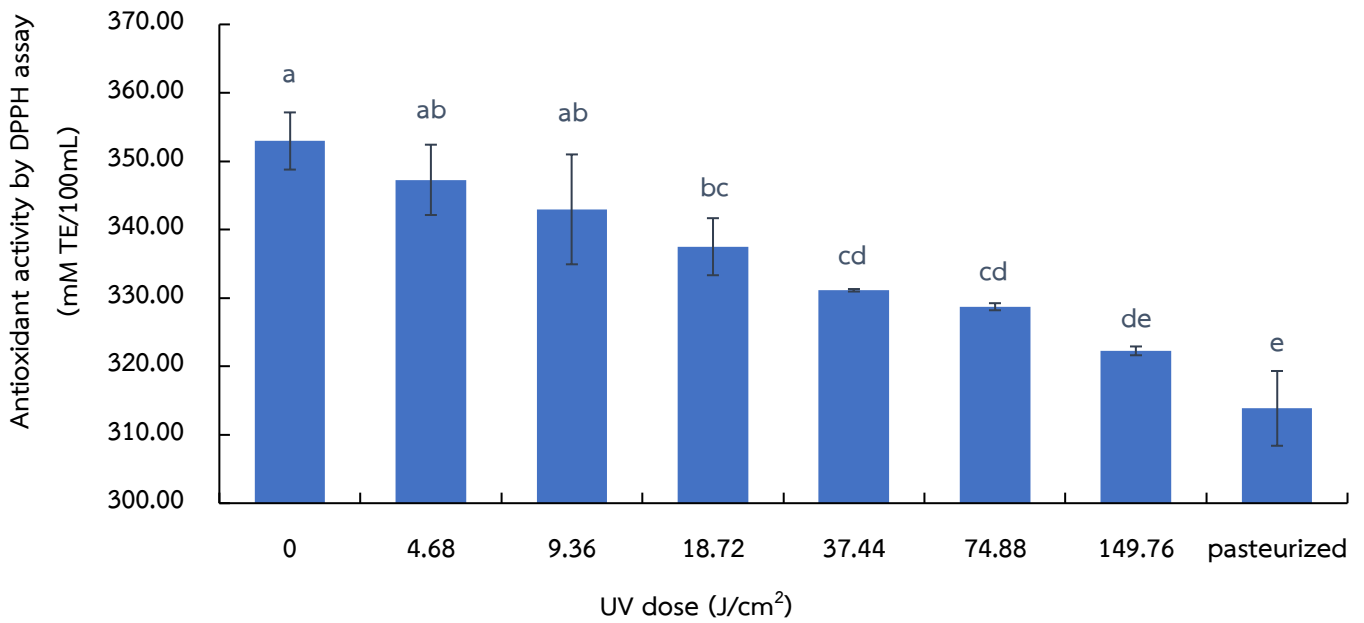


โดย antioxidant คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระ

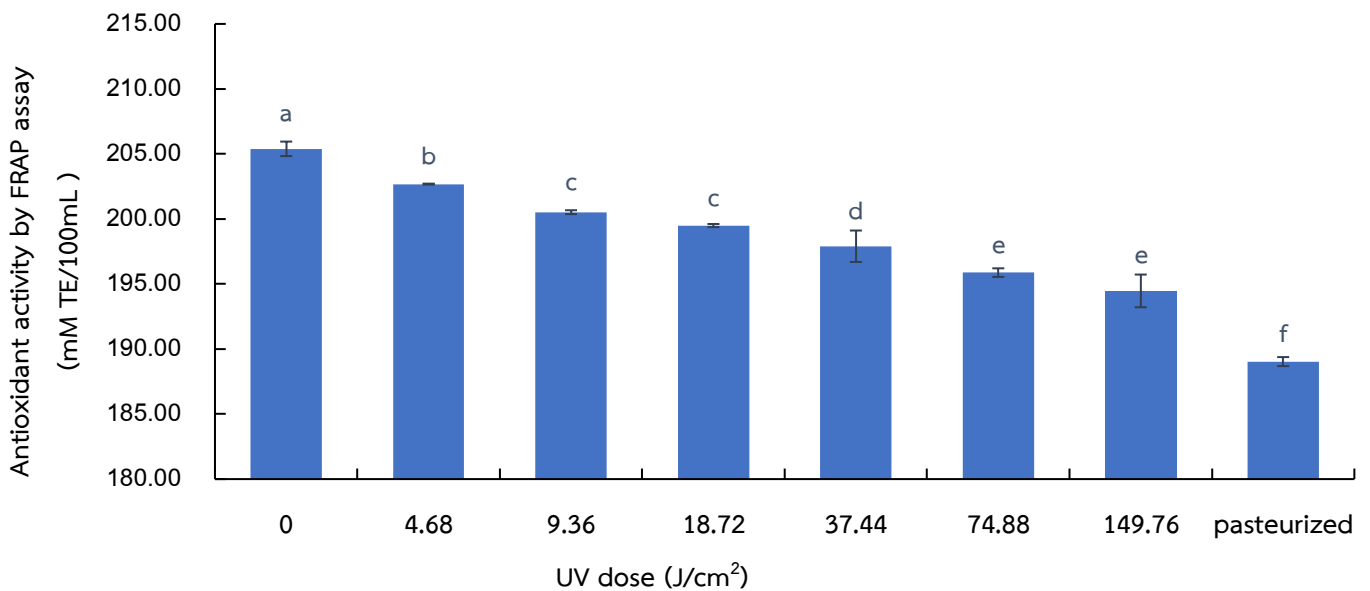
oxidized antioxidant คือ โมเลกุลสารต้านอนุมูลอิสระที่ถูกออกซิไดซ์

Fe^{3+} -TPTZ คือ สารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine

Fe^{2+} -TPTZ คือ สารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine



รูปที่ 19 อิทธิพลการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์



รูปที่ 20 อิทธิพลการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์

สีของน้ำผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคและเป็นอีกหนึ่งตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญของน้ำผลไม้ (Geraldi และคณะ, 2021) ผลการวิเคราะห์สีแสดงด้วยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง ค่า a^* (ค่าบวก คือ สีแดง, ค่าลบ คือ สีเขียว) และ b^* (ค่าบวก คือ สีเหลือง, ค่าลบ คือ สีฟ้า) จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0-149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับน้ำพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ค่า L^* มีค่าอยู่ในช่วง 92.09-96.86 ค่า a^* มีค่าอยู่ในช่วง -3.34-(-1.67) และค่า b^* มีค่าอยู่ในช่วง 24.77-27.57 (ตารางที่ 9) โดยพบว่าปริมาณรังสียูวีที่เพิ่มขึ้นและการพาสเจอร์ไรซ์ ส่งผลให้ค่า L^* ลดลง และค่า a^* เพิ่มขึ้น อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ส่งผลให้ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaya และคณะ (2015) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีและความร้อนต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำเลมอนผสมเมลอน โดยรายงานว่าน้ำเลมอนผสมเมลอนหลังจากผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์มีค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเม็ดสีในน้ำลำไยสามารถดูดซับรังสียูวี ส่งผลให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ (enzymatic browning) ทำให้เกิดการสลายตัวของเม็ดสีในน้ำลำไย (Riganakos และคณะ, 2017) และเมื่อเปรียบเทียบการพาสเจอร์ไรซ์พบว่าน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ ค่า L^* และ b^* ต่ำกว่าน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี แต่มีค่า a^* สูงกว่า ทำให้น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีสีคล้ำและแดงกว่าน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี ทั้งนี้ ถึงแม้ว่าความร้อนจะสามารถยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ได้ แต่อาจเกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning โดยความร้อนจะเร่งปฏิกิริยาให้ leucoanthocyanins ในน้ำลำไยเปลี่ยนโครงสร้างไปเกิดเป็นสาร anthocyanidins ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น นอกจากนี้สีน้ำตาลอาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard condensation, caramelization และการสลายตัวของเม็ดสีในน้ำลำไย (Chaikham และ Apichartsrangkoon, 2012)

ตารางที่ 9 ค่าสีของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์

Treatment	Color values		
	L^* ns	a^* ns	b^*
control	96.86±0.91	-3.34±0.76	27.57 ^a ±0.06
UV 144.68 J/cm ²	96.56±0.83	-3.05±0.78	27.18 ^a ±0.46
UV 149.36 J/cm ²	96.08±0.59	-2.73±1.03	26.77 ^a ±0.62
UV 118.72 J/cm ²	95.62±0.91	-2.65±0.92	26.46 ^{ab} ±0.84
UV 137.44 J/cm ²	94.42±2.34	-2.21±1.00	26.26 ^{ab} ±0.23
UV 174.88 J/cm ²	93.57±2.97	-2.26±0.36	24.73 ^{bc} ±0.66
UV 149.76 J/cm ²	92.52±2.81	-1.90±0.57	24.10 ^c ±1.32
pasteurized	92.09±2.92	-1.67±0.23	23.77 ^c ±1.04

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และความขุ่นของน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0-149.76 J/cm² เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่าค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และความขุ่นของน้ำลำไยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทุก ๆ ตัวอย่างเมื่อปริมาณรังสียูวีเพิ่มขึ้น โดยค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 6.99-7.06 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าอยู่ในช่วง 7.75-7.86 °Brix ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.027-0.028% malic acid และความขุ่นมีค่าอยู่ในช่วง 74.72-74.91% (ตารางที่ 10) จึงสรุปได้ว่ารังสียูวีที่ 0-149.76 J/cm² และการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที ไม่ส่งผลต่อค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และความขุ่นของน้ำลำไย โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pala และ Toklucu (2011b) ที่ศึกษาผลของรังสียูวี (12.50-62.40 J/mL) และการพาสเจอร์ไรซ์ (90 °C, 2 นาที) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและคุณภาพของน้ำทับทิม ซึ่งพบว่าค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทุกตัวอย่างน้ำทับทิม

ตารางที่ 10 ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความขุ่นของน้ำลำไย

Treatment	pH value ^{ns}	total soluble	titratable acidity ^{ns} (% malic acid)	turbidity ^{ns} (%)
		solid ^{ns} (°Brix)		
control	7.00±0.01	7.75±0.07	0.027±0.001	74.81±0.03
UV 144.68 J/cm ²	6.99±0.04	7.85±0.00	0.028±0.002	74.73±0.06
UV 149.36 J/cm ²	6.99±0.03	7.80±0.14	0.027±0.001	74.69±0.06
UV 118.72 J/cm ²	7.02±0.05	7.83±0.11	0.028±0.002	74.77±0.06
UV 137.44 J/cm ²	7.00±0.05	7.83±0.18	0.028±0.002	74.72±0.11
UV 174.88 J/cm ²	7.06±0.01	7.85±0.14	0.027±0.001	74.78±0.08
UV 149.76 J/cm ²	7.02±0.04	7.93±0.11	0.028±0.002	74.79±0.12
pasteurized	7.00±0.01	7.86±0.02	0.028±0.002	74.91±0.12

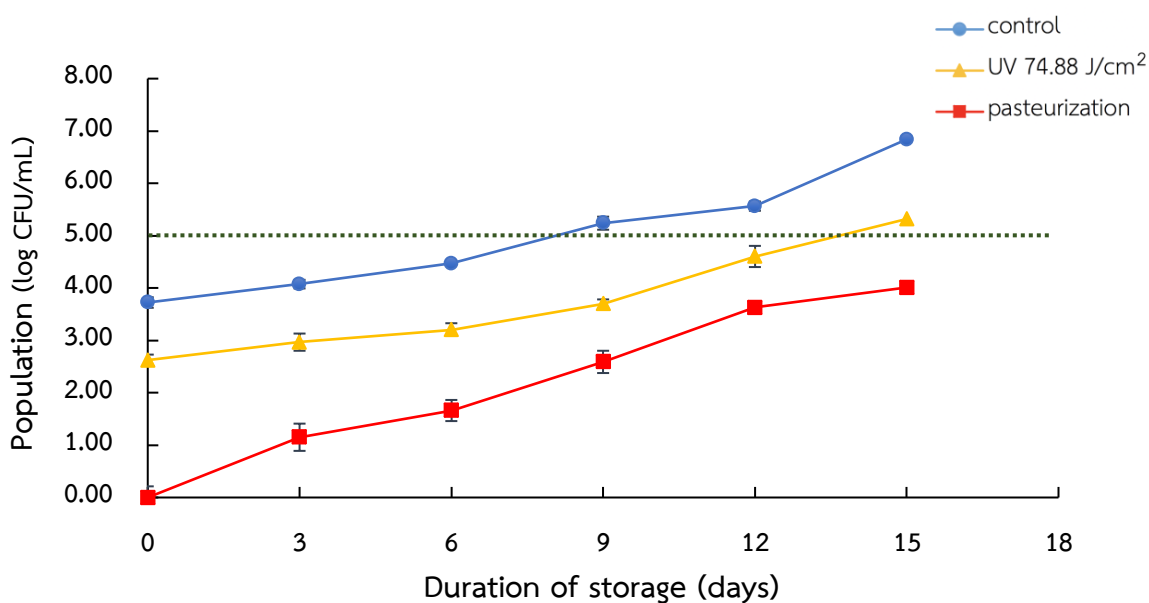
หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในน้ำผลไม้เป็นตัวบ่งชี้สุขอนามัยและกรรมวิธีในการผลิต เนื่องจากน้ำผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผลไม้เป็นผลผลิตทางเกษตร มักมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์สูง โดยจุลินทรีย์สามารถก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งยังสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำผลไม้ได้ ปริมาณจุลินทรีย์จึงมีผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ จำเป็นต้องมีการใช้กระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (นพมาศ สะพุ, 2551) จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm² และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-6.84 CFU/mL (รูปที่ 21) โดย Assatarakul (2015) รายงานว่า *Alicyclobacillus* spp. เป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำผลไม้ และต้องควบคุมให้มีปริมาณไม่เกิน 5 log CFU/mL จึงมีการกำหนดอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไยโดยใช้เกณฑ์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 5 log CFU/mL โดยวันเริ่มต้น (วันที่ 0) น้ำลำไยควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.72±0.01 log CFU/mL และรังสียูวีที่ปริมาณ 74.88 J/cm² สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลำไยควบคุมได้เท่ากับ 1.10±0.14 log CFU/mL ทำให้น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 2.62±0.13 log CFU/mL และการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่น้อยกว่า 3.72 log CFU/mL ทำให้น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น <1 log CFU/mL การฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรซ์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.1307/2557 (ฉบับที่ 1945) ที่กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1 × 10⁴ CFU/mL เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ทุกตัวอย่างมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 9 ของการเก็บรักษา น้ำลำไยควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.24±0.03 log CFU/mL ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดที่การเสื่อมเสีย (5 log CFU/mL) ในขณะที่น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าเกณฑ์กำหนดที่การเสื่อมเสีย โดยมีค่าเท่ากับ 3.40±0.12 และ 2.60±0.20 log CFU/mL ตามลำดับ และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 15) น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดที่การเสื่อมเสีย (5 log CFU/mL) โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.32±0.20 log CFU/mL ในขณะที่น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าเกณฑ์การที่กำหนดเสื่อมเสีย จึงสามารถประมาณอายุการเก็บรักษาของน้ำลำไยทั้งสามตัวอย่างได้ โดยน้ำลำไยควบคุมมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6 วัน น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 12 วัน และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 °C ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santhirasegaram และคณะ (2015) ที่ศึกษาผลของรังสียูวี (3.525 J/m²) ต่อคุณภาพของน้ำมะม่วง Chokanan เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรซ์ (90±1 °C, 60 วินาที) โดยรายงานว่ น้ำมะม่วงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่างเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อุณหภูมิต่ำมักส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี (biochemical reaction) ของจุลินทรีย์ โดยจะเกิดปฏิกิริยามากขึ้น

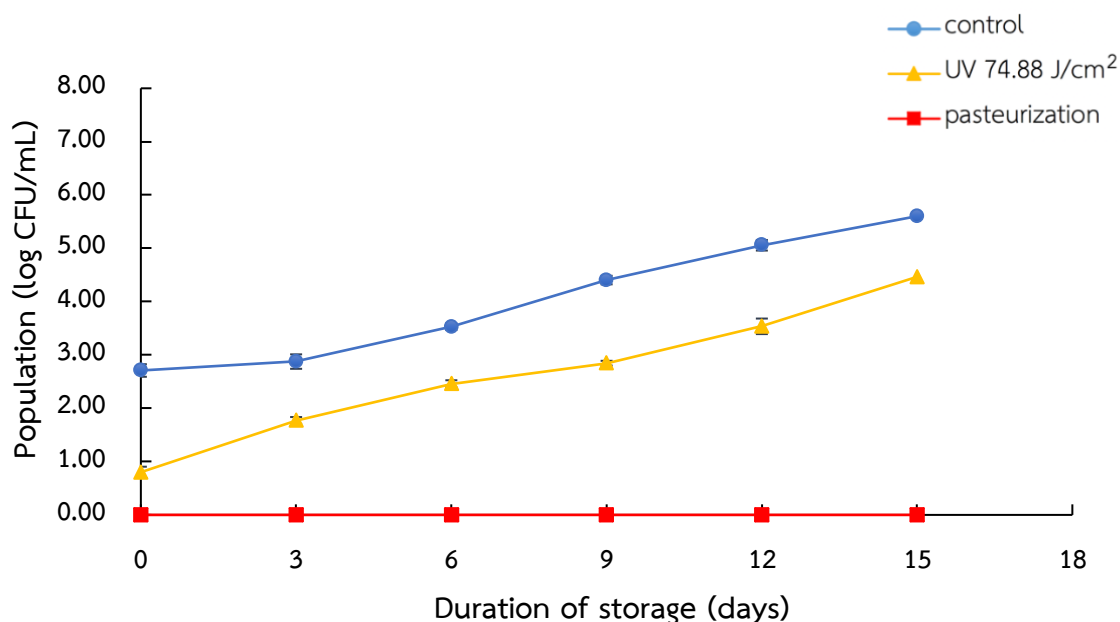
หรือน้อยลง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญของแบคทีเรียแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 4 °C จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria) มักมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง โดยอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในเซลล์ เช่น ความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป และการเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ของเอนไซม์ในเซลล์ลดลง แต่จะทำให้เอนไซม์ในเซลล์ของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophilic bacteria) ทำงานได้ดีขึ้น โดยส่วนมากแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำจะเป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต (obligate aerobes) ซึ่งสามารถเจริญได้ดีเนื่องจากออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้ดียิ่งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้น้ำผลไม้มีปริมาณออกซิเจนมากขึ้น และเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ (Herbert และ Sutherland, 2000; Sperber, 2009)



รูปที่ 21 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

การเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมักเกิดจากกิจกรรมของยีสต์ และการเพิ่มปริมาณของยีสต์และราส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรสชาติ การสร้างเส้นใยของรา และการสร้างเอนไซม์ เช่น amylase, protease และ pectinases เป็นต้น (Chia และคณะ, 2012) จากการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm² และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณยีสต์และราที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-5.60 log CFU/mL (รูปที่ 22) โดยวันเริ่มต้น (วันที่ 0) น้ำลำไยควบคุมมีปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 2.71±0.17 log CFU/mL รังสียูวีที่ปริมาณ 74.88 J/cm² สามารถลดปริมาณยีสต์และราจากน้ำลำไยควบคุมได้เท่ากับ 1.91±0.12 log CFU/mL ทำให้น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณยีสต์และราเริ่มต้นเท่ากับ 0.80±0.28 log CFU/mL และการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดปริมาณยีสต์และราทั้งหมดได้ไม่น้อยกว่า 2.71 log CFU/mL ทำให้น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณยีสต์และราเริ่มต้น <1 log

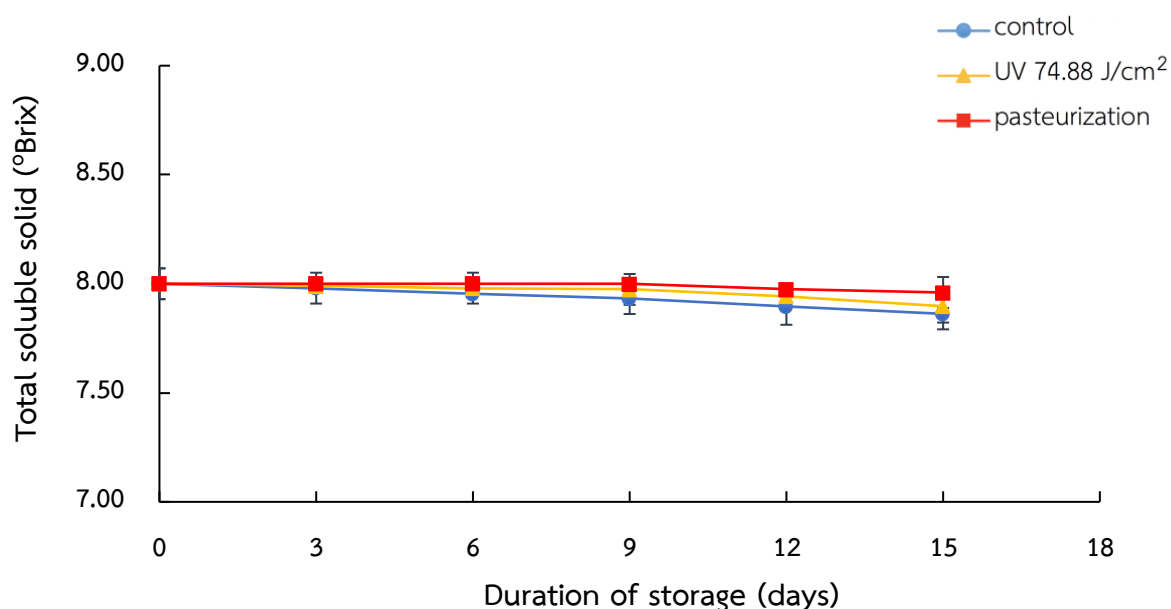
CFU/mL การฉายรังสียูวีและการพาสเจอร์ไรส์สามารถลดปริมาณยีสต์และราให้ต่ำกว่าเกณฑ์จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 356) พ.ศ. 2556 เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท ที่กำหนดให้เครื่องดื่มที่มีหรือทำจากผลไม้ พืชหรือผัก ตรวจพบยีสต์และเชื้อราได้น้อยกว่า 100 ในเครื่องดื่ม 1 mL โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น้ำลำไยควบคุมและน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ไม่พบการเจริญของยีสต์และราในน้ำลำไยพาสเจอร์ไรส์ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่ 15) น้ำลำไยทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณยีสต์และราทั้งหมดเท่ากับ 5.60 ± 0.10 , 4.46 ± 0.15 และ <1 log CFU/mL ตามลำดับ โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Visuthiwan และ Assatarakul (2021) ที่ศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการลดปริมาณจุลินทรีย์และสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำลำไยด้วยรังสียูวี ($0-74.88$ J/cm²) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งรายงานว่ายีสต์และรามีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (35 วัน) ในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวี แต่ไม่พบการเจริญของยีสต์และราในตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์



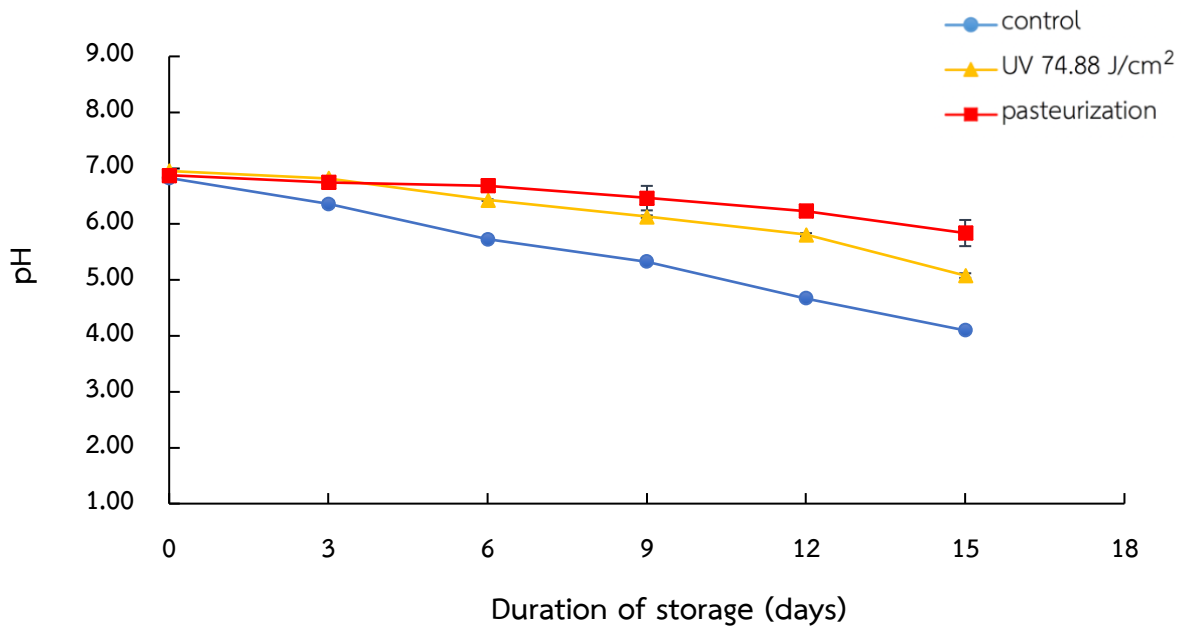
รูปที่ 22 ปริมาณยีสต์และราของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มักแสดงถึงปริมาณน้ำตาลในน้ำผลไม้ โดยน้ำตาลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อรสชาติและสมบัติทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ (organoleptic properties) (Nadeem และคณะ, 2018) รูปที่ 23, 24 และ 25 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ค่า pH และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่เปลี่ยนแปลงของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm² และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 1 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.86-8.00 ค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 4.10-6.95 และ

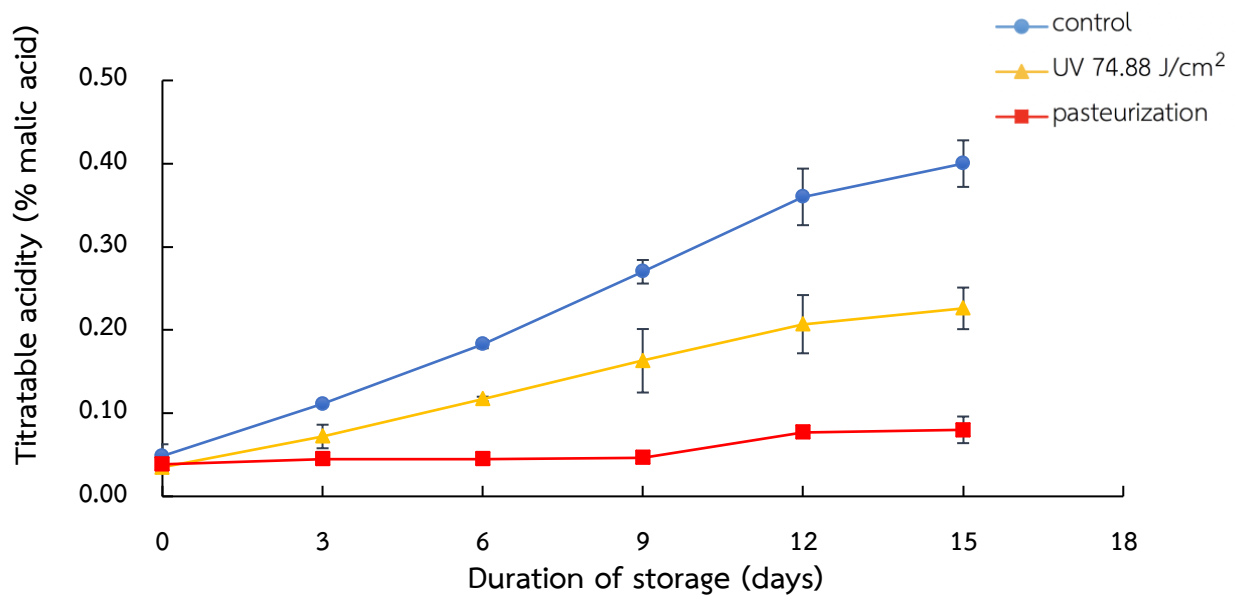
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.40 โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ทุกตัวอย่างมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และค่า pH ลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 8.00 ± 0.01 ค่า pH เริ่มต้นเท่า 6.83 ± 0.01 , 6.95 ± 0.03 และ 6.88 ± 0.01 ตามลำดับ และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เริ่มต้นเท่ากับ 0.05 ± 0.01 , 0.04 ± 0.01 และ 0.04 ± 0.01 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่ 15) ตัวอย่างมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 7.86 ± 0.04 , 7.97 ± 0.01 และ 7.96 ± 0.03 ตามลำดับ มีค่า pH เท่ากับ 4.10 ± 0.03 , 5.08 ± 0.01 และ 5.84 ± 0.01 ตามลำดับ และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 0.40 ± 0.05 , 0.23 ± 0.02 และ 0.08 ± 0.01 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Chia และคณะ (2012) ที่ศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อคุณภาพของน้ำสับประรดที่ผ่านการฉายรังสียูวี (53.42 mJ/cm^2) และการใช้ความร้อน (80°C , 10 นาที) ซึ่งพบว่าน้ำสับประรดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และมีค่า pH ลดลง แต่มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำลำไยสามารถหมักน้ำตาล ทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลกลูโคสผ่านวิถีทางชีวเคมี (biological pathway) และได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอินทรีย์ จึงเป็นผลให้น้ำลำไยมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้น และมีค่า pH ลดลง ซึ่งมีค่า pH เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเช่นกัน (Unluturk และ Atilgan, 2015)



รูปที่ 23 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

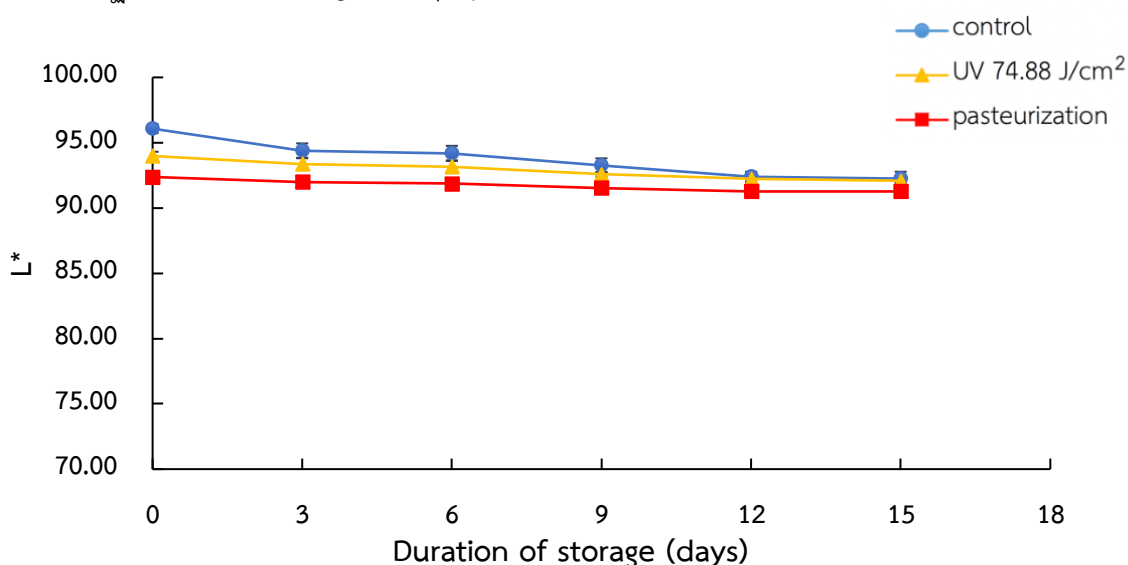


รูปที่ 24 ค่า pH ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

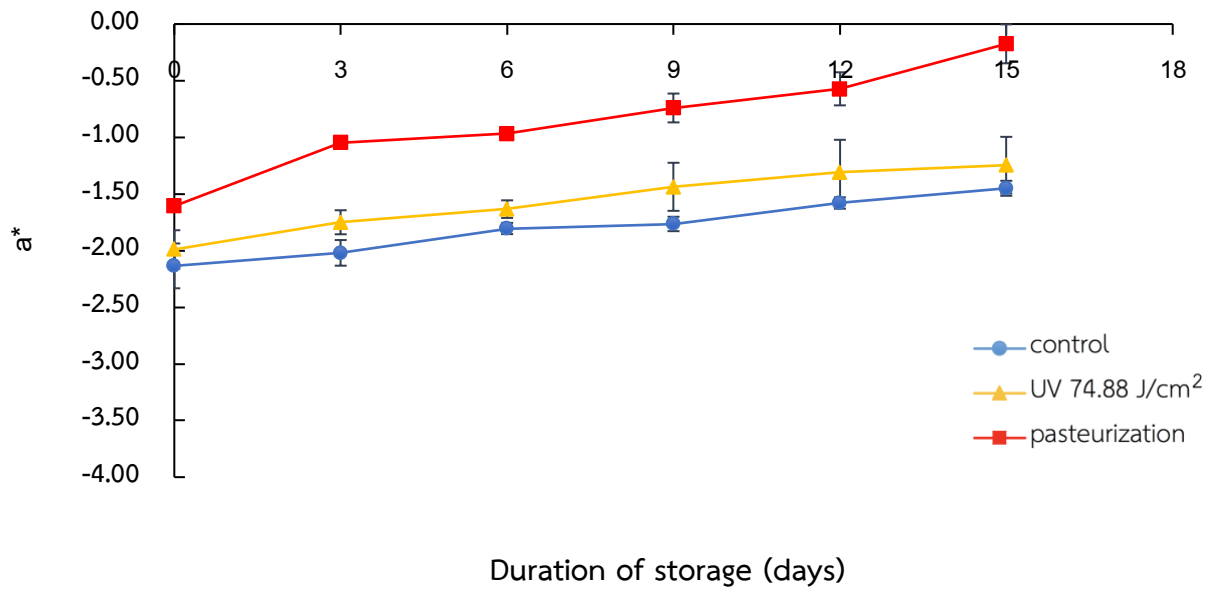


รูปที่ 25 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

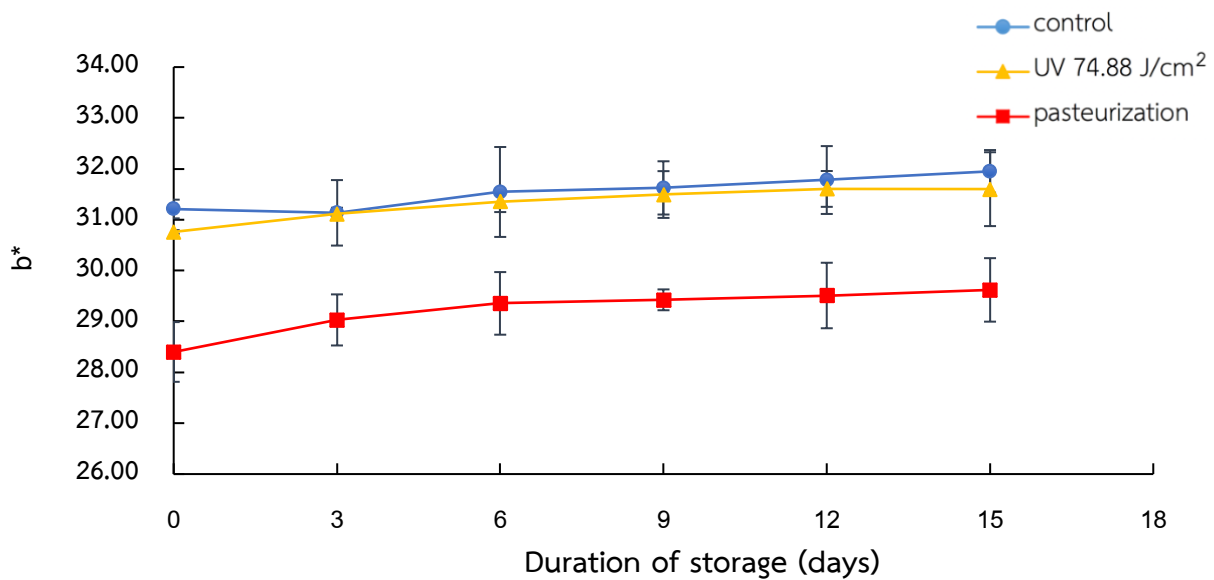
สีของน้ำผลไม้เป็นปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคเห็นในผลิตภัณฑ์ โดยผู้บริโภคสามารถรับรู้รสชาติ รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการผ่านสีของน้ำผลไม้ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้สียังสามารถแสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าปัจจัยอื่น ๆ โดยบ่งชี้ได้ถึงความสุขของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงของสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการปนเปื้อนต่าง ๆ (Caminiti และคณะ, 2010) สีเป็นสมบัติทางกายภาพของน้ำลำไยที่วิเคราะห์ด้วยระบบ CIE L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* เมื่อมีค่าเท่ากับ 0 แสดงสีดำ จนถึงค่าเท่ากับ 100 แสดงสีขาว ค่า a^* เมื่อมีค่าบวกแสดงสีแดงและค่าลบแสดงสีเขียว และค่า b^* เมื่อมีค่าบวกแสดงสีเหลืองและค่าลบแสดงสีน้ำเงิน จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีในตัวอย่งน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 1 นาที ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสี L^* , a^* และ b^* เปลี่ยนแปลงไป โดยค่า L^* มีค่าอยู่ในช่วง 91.27-96.08 ค่า a^* มีค่าอยู่ในช่วง -2.14-(-0.18) และค่า b^* มีค่าอยู่ในช่วง 28.40-31.95 แสดงดังรูปที่ 26, 27 และ 28 โดยค่า L^* ของน้ำลำไยทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยในน้ำลำไยบางส่วนจับตัวตกตะกอน จึงส่งผลให้น้ำลำไยมีความสว่างลดลง (Chia และคณะ, 2012) และเมื่อเปรียบเทียบค่า L^* ของทุกตัวอย่างพบว่า น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีค่า L^* ต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำลำไยทุกตัวอย่างมีสีแดงและสีเหลืองมากขึ้น และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีค่า a^* และ b^* มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาและอายุการเก็บรักษาของน้ำองุ่นขาวคั้นสดที่ผ่านการฉายรังสียูวี (1.24 J/cm^2) และพบว่าค่า L^* ของทุกตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่า L^* ที่ลดลงและค่า a^* และ b^* ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำลำไยทุกตัวอย่างมีสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของเม็ดสีหรือเกิดผลิตภัณฑ์ให้สีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard (Aguiló-Aquayo และคณะ, 2008)



รูปที่ 26 ค่า L^* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

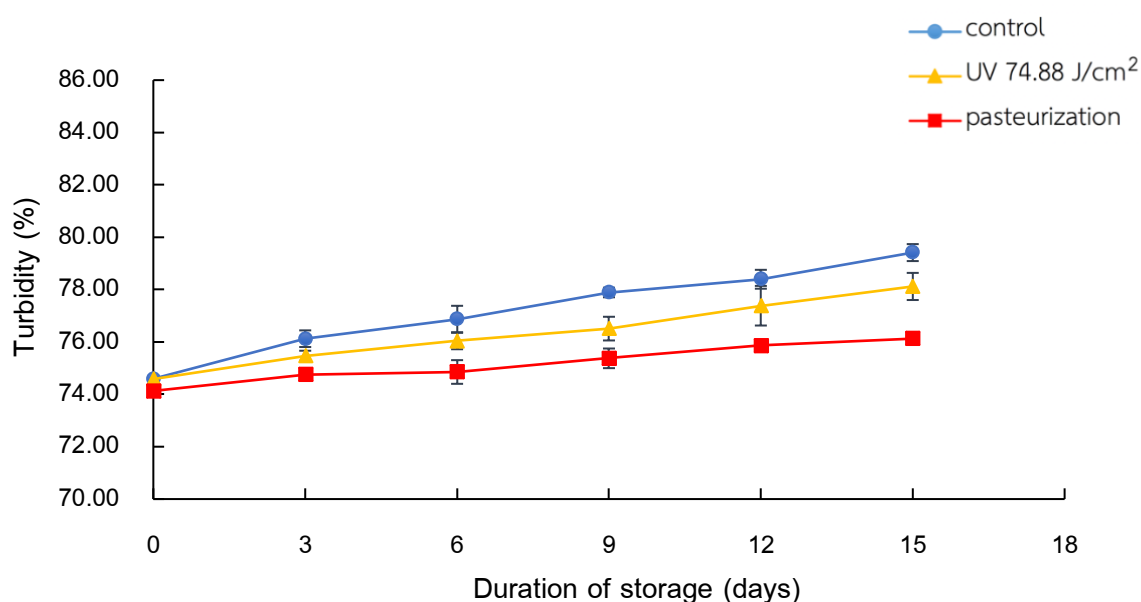


รูปที่ 27 ค่า a^* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 28 ค่า b^* ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

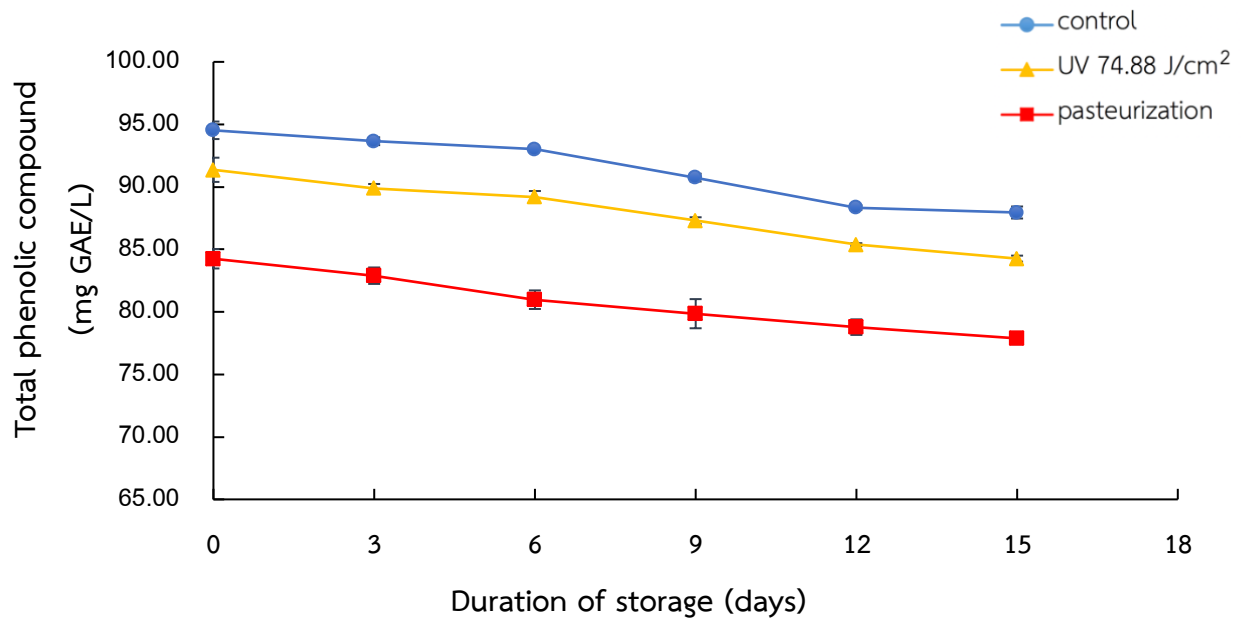
รูปที่ 29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ $72 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 นาที ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยพบว่าความขุ่นของตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง $74.13\text{-}79.41\%$ โดยความขุ่นของทุกตัวอย่างน้ำลำไยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยน้ำลำไยควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นมากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นมากกว่าน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีและน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าความขุ่นในตัวอย่างน้ำลำไยเป็นผลมาจากการเจริญของยีสต์และแบคทีเรียต่าง ๆ ซึ่งสามารถสร้างสารทุติยภูมิที่ส่งผลให้น้ำลำไยเสื่อมเสียและทำให้เกิดตะกอนที่มองเห็นได้ในเครื่องดื่ม (Chia และคณะ, 2012) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaya และคณะ (2015) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีและความร้อนต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำเลมอนผสมเมลอน โดยรายงานว่ามีผลให้เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำเลมอนผสมเมลอนทุกตัวอย่างมีความขุ่นเพิ่มขึ้น



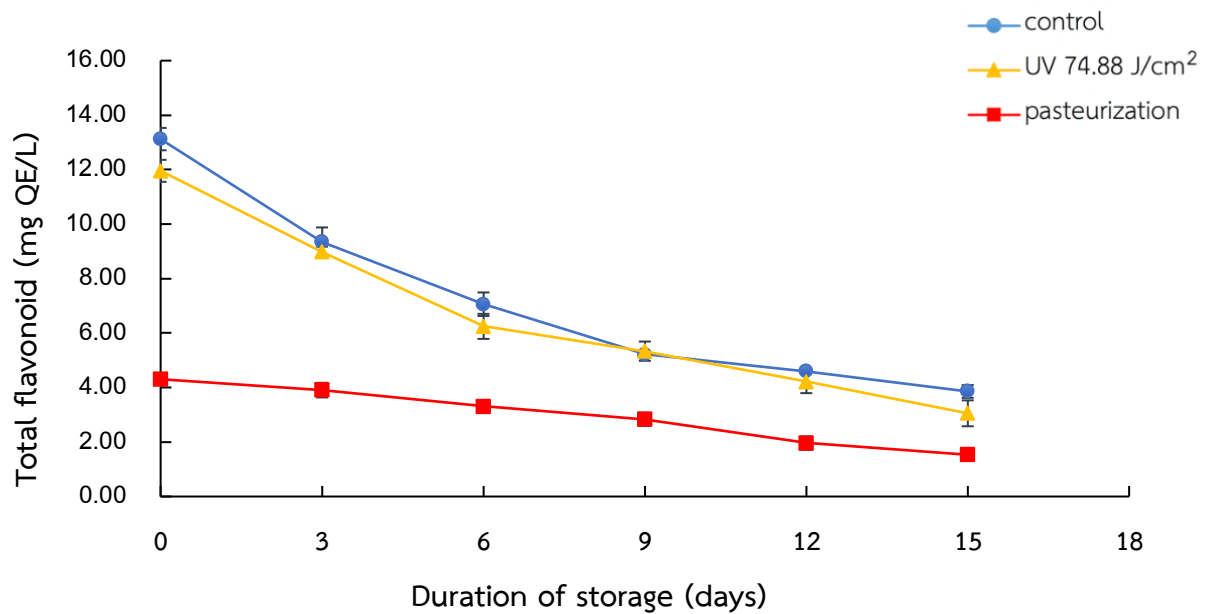
รูปที่ 29 ความขุ่นของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$

สารประกอบฟีนอลิก คือ ผลิตภัณฑ์จาก secondary metabolism ของพืช ซึ่งเป็นสารพิษเคมีที่พบมากในผักและผลไม้ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และการวิจัยทางคลินิก (clinical study) รายงานว่าสารประกอบเหล่านี้มีส่วนช่วยในการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) การกลายพันธุ์ของเซลล์ (mutagenesis) และการก่อมะเร็ง (carcinogenesis) เป็นต้น นอกจากนี้สารฟลาโวนอยด์ที่เป็นสารในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ปรับภูมิคุ้มกัน (immunomodulator activity) เป็นต้น โดยสารประกอบเหล่านี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำให้มีการบริโภคอาหารที่มีสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ของน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่

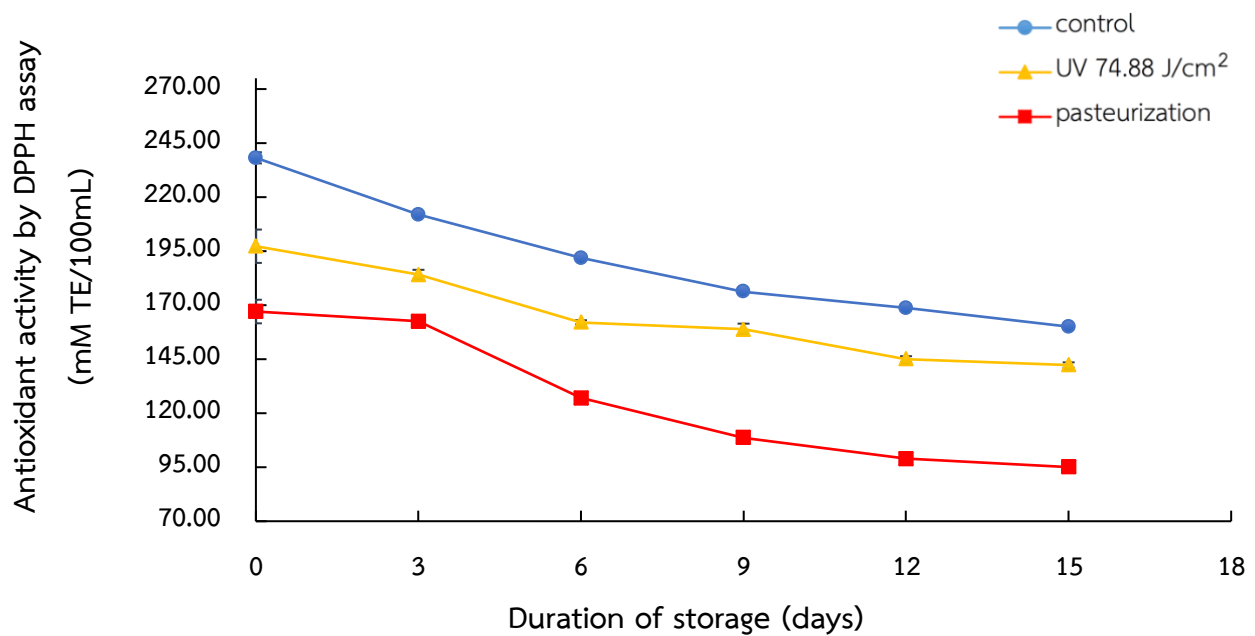
ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ $72 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง $69.88\text{-}94.53 \text{ (mg GAE/L)}$ ปริมาณ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง $1.53\text{-}13.12 \text{ (mg QE/L)}$ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นส่งผล ให้ทุกตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลง (รูปที่ 30 และ 31) โดยน้ำลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดเริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 94.53 ± 0.70 , 91.37 ± 0.57 และ $84.25\pm 0.78 \text{ mg GAE/L}$ ตามลำดับ มี ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 13.12 ± 0.38 , 11.96 ± 0.78 และ $4.30\pm 0.16 \text{ mg QE/L}$ ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่ 15) ตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 87.95 ± 0.20 , 84.26 ± 0.14 และ $69.88\pm 0.37 \text{ mg GAE/L}$ ตามลำดับ มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 3.86 ± 0.24 , 3.05 ± 0.48 และ $1.53\pm 0.03 \text{ mg QE/L}$ ตามลำดับ โดยการลดลงของปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีอาจเป็นผลจากเอนไซม์ที่เหลืออยู่ (polyphenol oxidase และ peroxidase) ซึ่งเอนไซม์นี้ทำให้เกิดการสลายตัวด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกใน ระหว่างการเก็บรักษา (Barba และคณะ, 2012) ทั้งนี้ความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ต่าง ๆ ได้ น้ำลำไย พาสเจอร์ไรซ์จึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงทั้งหมดเนื่องจากการสลายตัวด้วยปฏิกิริยา ออกซิเดชันและปฏิกิริยา polymerization ของสารประกอบฟีนอลิก (Cao และคณะ, 2012) และเนื่องจาก สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจึงส่งผลให้ น้ำลำไยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ลดลง นอกจากนี้ Klimczak และคณะ (2007) กล่าวว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในระหว่างการ เก็บรักษา โดยรูปที่ 32 และ 33 แสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำ ลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $95.05\text{-}238.18 \text{ mM TE/100 mL}$ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง $116.49\text{-}203.21 \text{ mM TE/100 mL}$ โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของลำไยควบคุม น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวี และ น้ำลำไยพาสเจอร์ไรซ์เริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าเท่ากับ 238.18 ± 1.29 , 197.27 ± 1.57 และ $167.05\pm 1.89 \text{ mM TE/100 mL}$ ในขณะที่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 203.21 ± 1.60 , 187.95 ± 2.35 และ $150.73\pm 0.16 \text{ mM TE/100 mL}$ ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (วันที่ 15) น้ำลำไยทุกตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 160.05 ± 0.18 , 142.27 ± 1.25 และ $95.05\pm 1.06 \text{ mM TE/100 mL}$ ตามลำดับ และมีฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 160.23 ± 1.48 , 142.24 ± 1.25 และ $116.49\pm 0.49 \text{ mM TE/100 mL}$ ตามลำดับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Nornisa และคณะ (2018) ที่ศึกษาผลของรังสียูวี (15-60 นาที) ต่อคุณภาพของน้ำส้มผสม แครอทและขึ้นฉ่าย โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งรายงานว่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ทำให้น้ำส้มผสมแครอทและ ขึ้นฉ่ายมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง



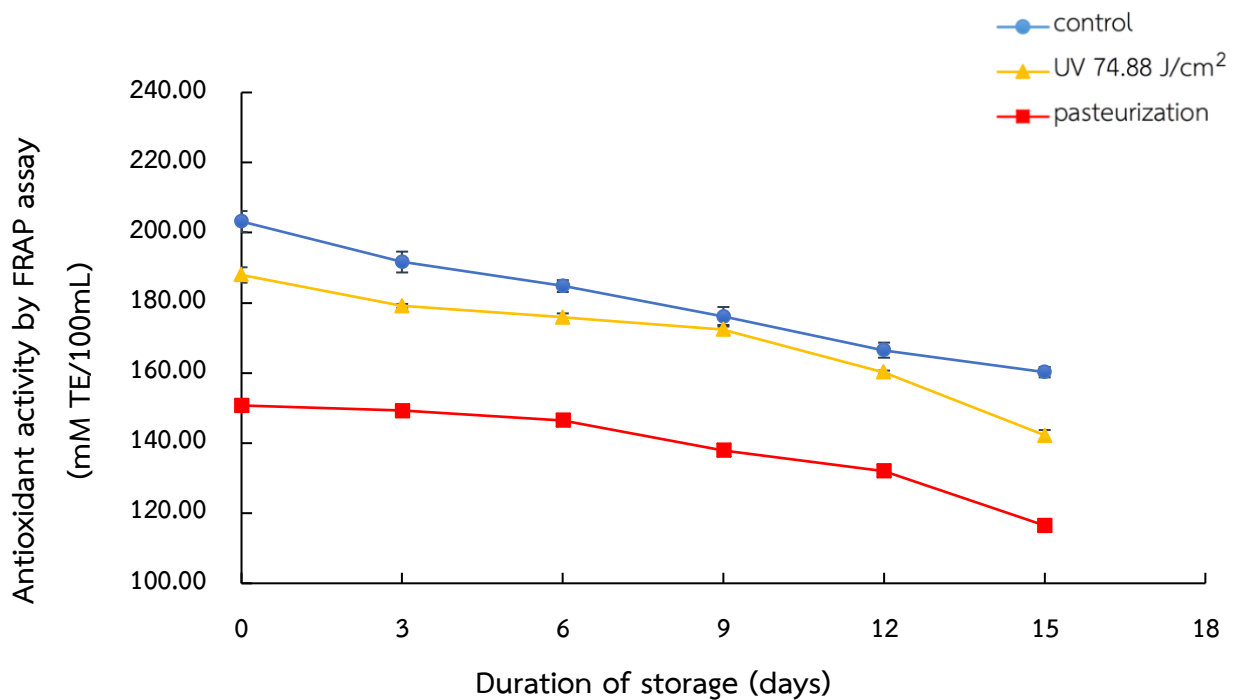
รูปที่ 30 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 31 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 32 การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 33 การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

รังสียูวีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยที่ปริมาณรังสียูวีสูงสุด (149.76 J/cm^2) ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการยับยั้งการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (first order kinetic) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.9741 และ 0.9850 ตามลำดับ และมีค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา (rate constant; k) เท่ากับ 0.0267 และ 0.0614 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำลำไย พบว่าเมื่อปริมาณรังสียูวีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP และค่า b^* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ความขุ่น ค่า L^* และ ค่า a^* ($p > 0.05$) โดยน้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าน้ำลำไยที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลำไยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ค่า pH และค่า L^* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ความขุ่น ค่า a^* ค่า b^* ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรามิแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ น้ำลำไยที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 74.88 J/cm^2 มีอายุการเก็บรักษามากกว่าน้ำลำไยสด (ตัวอย่างควบคุม) ประมาณ 6 วัน

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ คือ ควรมีการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม ศึกษาอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น (มากกว่า 15 วัน) และศึกษาการประยุกต์ใช้รังสียูวีร่วมกับความร้อนต่ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษา

เอกสารอ้างอิง

- กิติพงศ์ อัครกุล. รังสียูวี:เทคโนโลยีใหม่สำหรับอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ Ultraviolet Radiation: An Emerging Technology for Juice Industry วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. ปีที่ 10: หน้า 51-57.
- นพมาศ สะพุ. (2551). น้ำผลไม้ คุณค่าแฝงอันตราย. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2564, จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2552_57_179_P40_42.pdf.
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2562). Antioxidant / สารต้านออกซิเดชัน. ค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 2563, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant>.
- ปณัฏฐา ไชยมุติ. (2547). อนุมูลอิสระ (free radicals). ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2563, จาก http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2906/7/241434_ch1.pdf
- พระราชบัญญัติ พ.ศ.2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 356 (พ.ศ. 2556) ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 87 ง (ลงวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2556)
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ก. (2546). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำผลไม้รวมเข้มข้น. มผช. 1307/ 2557.
- วราวุฒิ ครุสง. (2538). จุลชีววิทยาในกระบวนการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 210.
- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2562). หลักการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา (Principles of food processing to extend product's shelf life) วารสารอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปีที่49: หน้า 12-19.
- สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. (2547). หลักการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน: หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะบรรจุ ปิดสนิทด้วยความร้อน. สถาบันอาหาร. หน้า 286.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed.): Gaithersburg, Md., AOAC International.
- Afanas'ev, I.B., Dorozhko, A.I., Brodskii, A.V., Kostyuk, V.A., and Potapovitch, A.I. (1989). Chelating and free scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation. *Biochemical Pharmacology*. 38: 1763–1769.

- Alasalvar, C., Grigor, J.M., Zhang, D., Quantick, P.C., and Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 1410-1416.
- Amarowicz. (2004). Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food Chemistry*. 84: 551-562.
- Andrade, L. B. S., Julião, M. S. S., Cruz, R. C. V., Rodriues, T. H. S., Fontenelle R. O. S., and Sliva, A. L. C. (2018). Antioxidant and antifungal activities of carnauba wax powder extracts. *Industral Crops and Products*. 125: 220-227.
- Balasundram, N., Sundram, K., and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence and potential uses. *Food Chemistry*. 99(1): 191-203.
- Bao, Y., Yueming, J., John, S., Feng, C., and Muhammad, A. (2011). Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit. *Food Research International*. 44(7): 1837-1842.
- Barba, F.J., Jäger, H., Meneses, N., Esteve, M. J., Frigola, A., and Knorr, D. (2012). Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 14: 18-24.
- Basaran, N., Quintero-Ramos, A., Moake, M.M., Churey, J.J., and Worobo, R.W. (2004). Influence of apple cultivars on inactivation of different strains of *Escherichia coli* O157:H7 in apple cider by UV irradiation. *Applied and Environmental Microbiology*. 70: 6061-6065.
- Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F.R., Ortuno, A., and Del Rio, J.A. (1997). Uses and properties of citrus flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 4505-4515.
- Benzie, I. F. F., and Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239(1): 70-76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*. 28(1): 25-30.

- Burton, G.W., Hughes, L., and Ingold, K.U. (1983). Antioxidants activity of phenols related to vitamin E. Are there chain-breaking antioxidants better than α -tocopherol. *Journal of American Chemical Society*. 105: 5950-5951.
- Caminiti, I.M., Palgan, I., Munoz, A., Noci, F., Whyte, P., and Morgan, D.J. (2012). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food Bioprocess Technology*. 5: 680-686.
- Cao, X., Bi, X., Huang, W., Wu, J., Hu, X., and Liao X. (2012). Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 16: 181-190.
- Chaikham, P., and Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. *Food Chemistry*. 134(4): 2194-2200.
- Chia, S. L., Rosnah, S., Noranizan, M. A., and Wan Ramli, W. D. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized pineapple juices. *International Food Research Journal*. 19(3): 1001-1010.
- Clotteau M. S. (2009). *Alicyclobacillus* spp. Control in the Fruit Juice Industry. *Food beverage*.
- Debelo, H., Li, M. and Ferruzzi, M. G. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Current Opinion in Food Science*. 32: 90-102.
- Delshadi, R., Bahrami, A., Assadpour, E., Williams, L., and Jafari, S. M. (2021). Nano/microencapsulated natural antimicrobials to control the spoilage microorganisms and pathogens in different food products. *Food Control*. 128: 108180.
- Dewanti–Hariyadi, R. (2013). Microbiological quality and safety of fruit juices. *Food Review International*. 1(1).
- Donsingha, S., and Assatarakul, K. (2018). Kinetics model of microbial degradation by UV radiation and shelf life of coconut water. *Food Control*. 92: 162-168.
- Edmundo, J.E., Salmeron I., Nestor, G.M., and Enrique, O.R. (2016). Ultraviolet irradiation effect on apple juice bioactive compounds during shelf storage. *Food Bioprocess Technology*. 5: 680–686.

- Fan, P., and Lou, H. (2004). Effects of polyphenols from grape seeds on oxidative damage to cellular DNA. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 267: 67-74.
- Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., and Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-c treatment in Teflon-coil on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 19: 133-139.
- Fredericks, I.N., du Toit, M., and Krugel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *International Journal of Food Microbiology*. 28: 510–517.
- Herbert, R. A., and Sutherland, J. P. (2000). Chill storage. In B. M. Lund, T. C. Baird-Parker, and G. W. Gould (Eds). *The Microbiological Safety and Quality of Food*. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers. 101-121.
- Gayán, E., Serrano, M., Monfort, S., Alvarez, I., and Condon, S. (2013). Pasteurization of apple juice contaminated with *Escherichia coli* by a combined UV-mild temperature treatment. *Food Bioprocess Technologies*. 6(11): 3006–3016.
- Geraldi, M. V., Cazarin, C. B. B., Dias-Audibert, F. L., Pereira, G. A., Carvalho, G. G., Kabuki, D. Y., Catharino R. R., Pastore, G. M., Behrens, J. H., Christianini, M., and Júnior, M. R. M. (2021). Influence of high isostatic pressure and thermal pasteurization on chemical composition, color, antioxidant properties and sensory evaluation of jabuticaba juice. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 139: 110548.
- Geveke, D.J., and Torres, D. (2011). Pasteurization of grapefruit juice using a centrifugal ultraviolet light irradiator. *Journal of Food Engineering*. 111: 241–246.
- Goh, S. G., Noranizan, M., Leong, C. M., Sew, C. C., and Sobhi, B. (2012). Effect of thermal and ultraviolet treatments on the stability of antioxidant compounds in single strength pineapple juice throughout refrigerated storage. *International Food Research Journal*. 19(3): 1131-1136.
- Islam S. I., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., Xiao, H., and Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34: 344-351.

- Kawada, M., Ohno Y., Ikoma, T., Yuugetu, H., Asai T., Watanabe, M., Yasuda, N., Akao, S., Takemura, G., Minatoguchi, S., Gotoh, K., Fujiwara, H., and Fukuda, K. (2001). Anti-tumor effect of gallic acid on LL-2 lung cancer cells transplanted in mice. *Anticancer Drugs*. 12(10): 847-852.
- Kaya, Z., and Unluturk, S. (2015). Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV-C system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 33: 282–288.
- Kaya, Z., Yildiz, S., and Ünlütürk, S. (2015). Effect of UV-C irradiation and heat treatment on the shelf life stability of a lemon–melon juice blend: multivariate statistical approach. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 29: 230-239.
- Keith, W.W. (2007). Woodhead publishing in food science, technology and nutrition. Handbook of waste management and co-product recovery in food processing. 1: 479-481.
- Keyser, M., Muller, I.A., Cilliers, F.P., Nel, W., and Gouws, P.A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 348–354.
- Klimczak, I., Małecka, M., Szlachta, M., and Gliszczyńska-Świątło, A. (2007). Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20(3-4): 313-322.
- Koutchma, T., Keller, S., Parisi, B., and Chirtel, S. (2004). Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 5: 179-189.
- Koutchma, T. (2021). Theoretical Evaluation and Practical Validation in UVC Preservation of Opaque Food Liquids and Beverages. *Innovative Food Processing Technologies*. 136-145.
- Latte, K.P., and Kolodziej, N. (2000). Antifungal effects of hydrolysable tannins and related compounds on dermatophytes, mould fungi and yeasts. *Journal of Zeitschrift für Naturforschung*. 55c: 467.

- Lee, B.H., Jeong, S.M., Lee, J.H., Kim, J.H., Yoon, I.S., Choi, S.H., Lee, S.M., Chang, C.G., and Kim, H.C. (2005). Quercetin inhibits the 5-hydroxytryptamine type 3 receptor-mediated ion current by interacting with pre-transmembrane domain I. *Molecular Cells*. 20: 69-73.
- Lin, T.C., Hsu, F.L., and Cheng, J.T. (1995). Antihypertensive effect of corilagin in the rat. *Journal of Physiology and Pharmacology*. 73(10): 1425-1429.
- Losso, J. N., Bansode, R. R., Trappey, A., Bawadi, H. A., and Truax, R. (2004). In vitro anti-proliferation activities of ellagic acid. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 15(11): 672-678.
- Middleton, E., Kandaswami, C., and Theoharides, T.C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. *Pharmacological Reviews*. 52: 673-751.
- Nadeem, M., Ubaid, N., Qureshi, T. M., Munir, M., and Mehmood, A. (2018). Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*. 45: 1-6.
- Nayak, B., Rui H. L., and Juming, T. (2015). Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains-A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55(7): 887-918.
- Nguyen, D. M. C., Seo, D. J., Lee, H. B., Kim, I. S., Kim, K. Y., Park, R. D., and Jung, W. J. (2013). Antifungal activity of gallic acid purified from *Terminalia nigrovenulosa* bark against *Fusarium solani*. *Microbial Pathogenesis*. 56: 8-15.
- Nor, N.A.K.S., Rosnah, S., Russly, A.R., and Noranizan, M.A. (2016). Fruit juice production using Ultraviolet pasteurization: A review. *Advanced Technology in Beverage Processing*. 2(3): 22.
- Nornnisa, N., Somasundram, C., and Razali. (2018). The effects of UV-C treatment on the quality of orange, carrot and celery juice blend. *Journal of Food Science and Nutrition*. 01(03): 1-7.

- Notka, F., Meier, G.R., and Wagner, R. (2003). Inhibition of wild-type human immunodeficiency virus and reverse transcriptase inhibitor-resistant variants by *Phyllanthus amarus*. *Antiviral Research*. 58: 175-186.
- Ochoa-Velasco, C. E., and Guerrero Beltran, J. A. (2013). Short-wave Ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice inoculated with *Zygosaccharomyces bailii*. *Journal of Food Engineering*. 117(1): 34–41.
- Pala, C.U., and Toklucu, A.K. (2011a). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(6): 790-795.
- Pala, C.U., and Toklucu, A.K. (2011b). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *Food Science and Technology*. 50(2): 426-431.
- Palgan, I., Caminiti A., Munoz, F., Noci, P., Whyte, D. J., Morgan, D.A., and J.G. Lyng. (2011). Combined effect of selected non-thermal technologies on *Escherichia coli* and *Pichia fermentans* inactivation in an apple and cranberry juice blend and on product shelf life. *International Journal of Food Microbiology*. 151(1): 1-6.
- Puupponen-Pimiä, R., Nohynek, L., Meier, C., Kähkönen, M., Heinonen, M., Hopia, A., and Oksman-Caldentey, K.M. (2001). Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. *Journal of Applied Microbiology*. 90: 494–507.
- Rangkadilok, N., Sitthimonchai, S., Worasuttayangkurn, L., Mahidol, C., Ruchirawat, M., and Satayavivad, J. (2007). Evaluation of free radical scavenging and antityrosinase activities of standardized longan fruit extract. *Food and Chemical Toxicology*. 45(2): 328-336.
- Rangkadilok, N., Tongchusak, S., Boonhok, R., Chaiyaroj, S. C., Junyaprasert, V. B., Buajeeb, W., Akanimanee, J., Raksasuk, T., Suddhasthira, T., and Satayavivad, J. (2012). In vitro antifungal activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed extract. *Fitoterapia*. 83(3): 545-553.
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., and Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and Thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 42: 165-172.

- Santhirasegaram, V., Razali, Zuliana., George, D. S., and Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Food and Bioproducts Processing*. 94: 313-321.
- Santos, D. F. C., Souza, M. A., Almeida, A. Q., and Carvalho, I. M. M. (2021). Polyphenols and Processing degree of food (NOVA system): Determining the association in a university menu. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 23: 100292.
- Sastry, S.K., Datta, K.A., and Worobo, R.W. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science*. 65(8): 90-92.
- Schaich, K. M., Tian, X., and Xie, J. (2015). Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *Journal of Functional Foods*. 14: 111-125.
- Shamsudin, R., Noranizan, M.A., Yap, P.Y., and Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10: 166-171.
- Shiota, S., Shimizu, M., Sugiyama, J., Morita, Y., Mizushima, T., and Tsuchiya, T. (2004). Mechanisms of action of corilagin and tellimagrandin I that remarkably potentiate the activity of beta-lactams against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Microbiology Immunology*. 48(1): 67-73.
- Sies, H., Stahl W., and Sundquist, A. R. (1992). Antioxidant functions of vitamins. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 669(1): 7-20.
- Suntechleds. UVA VS UVB VS UVC Light. ค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2563, จาก <https://www.suntechleds.com/info/uva-vs-uvb-vs-uvc-light-37584822.html>.
- Tandon, K., Worobo, R. W., Churey, J. J., and Padilla-Zakour, O. I. (2007). Storage quality of pasteurized and UV treated apple cider. *Journal of Food Processing and Preservation*. 27(1): 21-35.
- Tran, M.T.T., and Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 5(4): 495-502.

- Unluturk, S., and Atilgan, M. R. (2015). Microbial Safety and Shelf Life of UV-C Treated Freshly Squeezed White Grape Juice. *Journal of Food Science*. 80(8).
- Valko M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Mazur, M., and Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 39: 44-84.
- Visuthiwan, S., and Assatarakul, K. (2021). Kinetic modeling of microbial degradation and antioxidant reduction in lychee juice subjected to UV radiation and shelf life during cold storage. *Food Control*. 123: 107770.
- William, H. S., and Michael, P. D. (2009). Introduction to the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages. *Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages*. *Food Microbiology and Food Safety*. 1-40.
- Zhang, X., Guo, S., HO, C.T., and Bai, N. (2020). Phytochemical constituents and biological activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit: a review. *Food Science and Human Wellness*. 9(2): 95-102.
- Zhong, Y., and Shahidi, F. (2015). 12-Methods for the assessment of antioxidant activity in foods. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. 287-333.

ภาคผนวก ก.
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 ค่าสีตามระบบ CIE

วัดสีของน้ำลำไยด้วยเครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า L^* , a^* และ b^* และก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง

โดยที่ ค่า L^* แสดงถึง ค่าความสว่าง
 ค่า a^* แสดงถึง ค่าสีแดงและสีเขียว
 ค่า a^* เป็นบวก แสดงถึง สีแดง
 ค่า a^* เป็นลบ แสดงถึง สีเขียว
 ค่า b^* แสดงถึง ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน
 ค่า b^* เป็นบวก แสดงถึง สีเหลือง
 ค่า b^* เป็นลบ แสดงถึง สีน้ำเงิน

และคำนวณค่า ΔE จากสมการ ก.1 โดย ΔE เป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad [\text{ก.1}]$$

โดยที่ L^* , a^* และ b^* คือ ค่าสีของตัวอย่างควบคุม
 L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือ ค่าสีของตัวอย่างน้ำลำไย

ก.2 ความขุ่น

วัดความขุ่นของน้ำลำไยด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Scientific™ GENESYS 20, USA) ที่ความยาวคลื่น 610 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank บันทึกค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณค่าความขุ่นจากสมการ ก.2 และ ก.3

$$\text{Transmittance (T)} = 100 \times (10^{-\text{Abs}}) \quad [\text{ก.2}]$$

$$\text{ความขุ่น} = 100 - T \quad [\text{ก.3}]$$

โดยที่ Abs = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ภาคผนวก ข.
วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 ค่า pH (AOAC, 2000)

วัดค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter โดยก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง แล้วบันทึกผล

ข.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (AOAC, 2000)

วัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยใช้ digital hand refractometer ในช่วง 0-30 °Brix แล้วบันทึกผล

ข.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. สารละลาย Sodium hydroxide
2. สารละลาย Phenolphthalein
3. Ethanol

วิธีเตรียมสารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 1 N

- ชั่ง sodium hydroxide 40 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 L

วิธีเตรียมสารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1% (w/v)

- ชั่ง phenolphthalein 1 g ละลายใน ethanol แล้วปรับปริมาตรด้วย ethanol จนมีปริมาตร 1 L

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL และเติมน้ำกลั่น 100 mL ลงในขวดรูปชมพู่
2. หยดสารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1% (w/v) ปริมาณ 2-3 หยด แล้วผสมให้เข้ากัน
3. ไทเทรตด้วยสารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน ๆ จึงหยุดการไทเทรต
4. บันทึกปริมาตรของสารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 1 N ที่ใช้และคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (%)

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (\%)} = \frac{(V_{\text{NaOH}}) \times (N_{\text{NaOH}}) \times (\text{meq. malic acid}) \times 100}{V_{\text{sample}}}$$

โดยที่ meq. malic acid = 0.067 g/mol

N_{NaOH} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide ในหน่วย normality (N)

V_{NaOH} คือ ปริมาตรสารละลาย sodium hydroxide ในหน่วย mL

V_{sample} คือ ปริมาตรตัวอย่างน้ำลำไย ในหน่วย mL

ข.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (trolox)
2. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
3. Methanol

วิธีเตรียมสารละลาย DPPH

1. เตรียม stock solution โดยชั่ง DPPH มา 24 mg ละลายใน methanol 50 mL เติลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรด้วย methanol จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของ DPPH เท่ากับ 6×10^{-4} M เก็บสารละลาย DPPH ที่อุณหภูมิ 4 °C ไม่เกิน 5 วัน
2. เตรียม daily solution โดยปิเปตสารละลาย DPPH จากข้อ 1 ปริมาตร 10 mL ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 50 mL ด้วย methanol จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของ DPPH เท่ากับ 1.2×10^{-4} M ใช้ daily solution ในการวิเคราะห์ต่อไป (ค่าดูดกลืนแสง daily solution (A_{initial}) ควรมีค่าประมาณ 1.1 ถ้าหากค่าการดูดกลืนแสงมากหรือน้อยกว่า 1.1 ให้เติม methanol หรือสารละลาย DPPH จากข้อ 1 ตามลำดับเพื่อปรับค่า A_{initial})

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox

1. ชั่ง trolox 25 mg ละลายใน methanol ปริมาตร 10 mL แล้วใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL ผสมให้เข้ากัน สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นเท่ากับ 10000 μM
2. เจือจางสารละลาย trolox ความเข้มข้นเท่ากับ 10000 μM ดังแสดงในตารางที่ 11 ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้สารละลายมาตรฐาน trolox ที่ความเข้มข้น 82-417 μM

ตารางที่ ข.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการเจือจางด้วย methanol

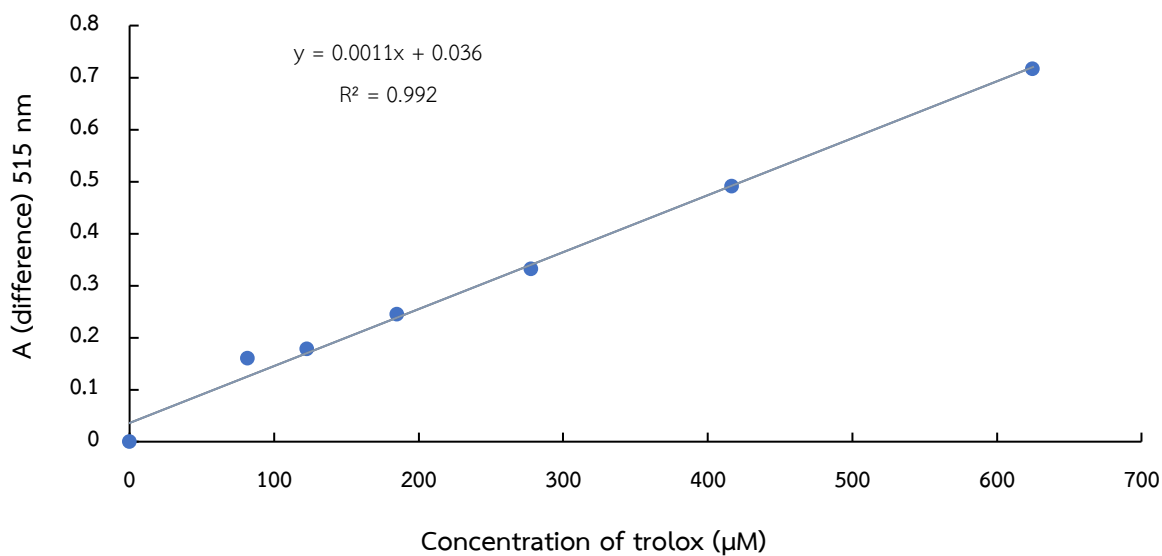
ความเข้มข้นเริ่มต้น (μM)	ปริมาตร trolox (mL)	ปริมาณ methanol (mL)	ความเข้มข้นสุดท้าย (μM)
10000	5	5	5000
5000	5	5	2500
2500	5	5	1250
1250	5	5	625
625	4	2	417
417	4	2	278
278	4	2	185
185	4	2	123
123	4	2	82

วิธีวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตตัวอย่าง (ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้ trolox แทนตัวอย่าง) มา 250 μL ผสมกับสารละลาย DPPH 4.75 mL ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นแสง 515 nm ใช้ methanol เป็น blank (เพื่อปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0)
3. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (A_{initial} ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 1.1) จะนำมาหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final} ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.6-0.7) ได้เป็นผลต่างของค่าการดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$)

$$\text{โดยที่} \quad A_{\text{difference}} = A_{\text{initial}} - A_{\text{final}}$$

4. นำ $A_{\text{difference}}$ ที่ได้จากตัวอย่างไปคำนวณค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยเทียบ $A_{\text{difference}}$ ของกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox รายงานค่าเป็น mM trolox equivalent/100 mL (mM TE/100mL)



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox สำหรับวิธี DPPH

ข.5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (trolox)
2. Sodium acetate trihydrate
3. Tripyridyltriazine (TPTZ)
4. Ferric chloride
5. Glacial acetic acid
6. Hydrochloric acid 0.1 M
7. Methanol

วิธีเตรียมสารละลาย FRAP

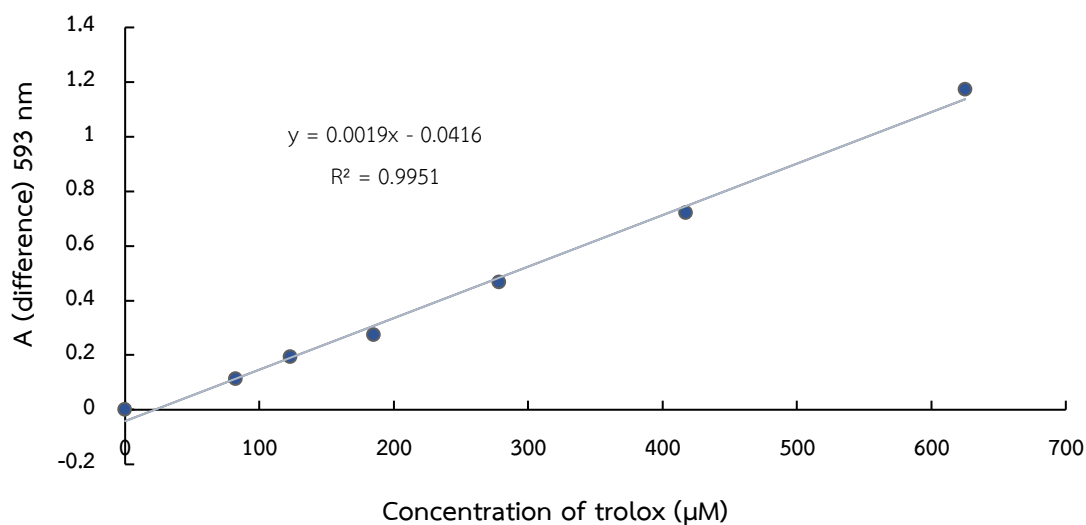
1. เตรียมสารละลาย acetate buffer โดยผสม sodium acetate trihydrate 0.3 g และ glacial acetic acid ปริมาตร 1.6 mL แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 100 mL
2. เตรียมสารละลาย ferric chloride โดยละลาย ferric chloride 270 mg ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 mL ในขวดปรับปริมาตร 50 mL
3. เตรียมสารละลาย TPTZ โดยเติม TPTZ ปริมาณ 31.2 mg ลงใน 0.04 M hydrochloric acid ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL
4. เตรียมสารละลาย FRAP โดยผสม acetate buffer 25 mL ferric chloride 2.5 mL และ TPTZ 2.5 mL ตามลำดับ

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox

เตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox ที่ความเข้มข้น 82-625 μ M ตามภาคผนวก ข.1 และตารางที่ ข.1 สำหรับการสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีวิเคราะห์

1. ให้ความร้อนสารละลาย FRAP ที่อุณหภูมิ 37 °C ในอ่างให้ความร้อนซึ่งจะให้น้ำตาลอมแดง
2. ปิเปตตัวอย่างมา 50 mL (ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้ trolox แทนตัวอย่าง) ผสมกับสารละลาย FRAP 950 μ L ในหลอดทดลอง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นแสง 593 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank (เพื่อปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0)
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) มาหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP (A_{initial}) ได้ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$)
5. นำ $A_{\text{difference}}$ ที่ได้จากตัวอย่างไปคำนวณหาค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยเทียบกับ $A_{\text{difference}}$ ของกราฟมาตรฐานของ trolox รายงานค่าเป็น mM trolox equivalent/100 mL (mM TE/100mL)



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox สำหรับวิธี FRAP

ข.6 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (Slinkard และ Singleton, 1977)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

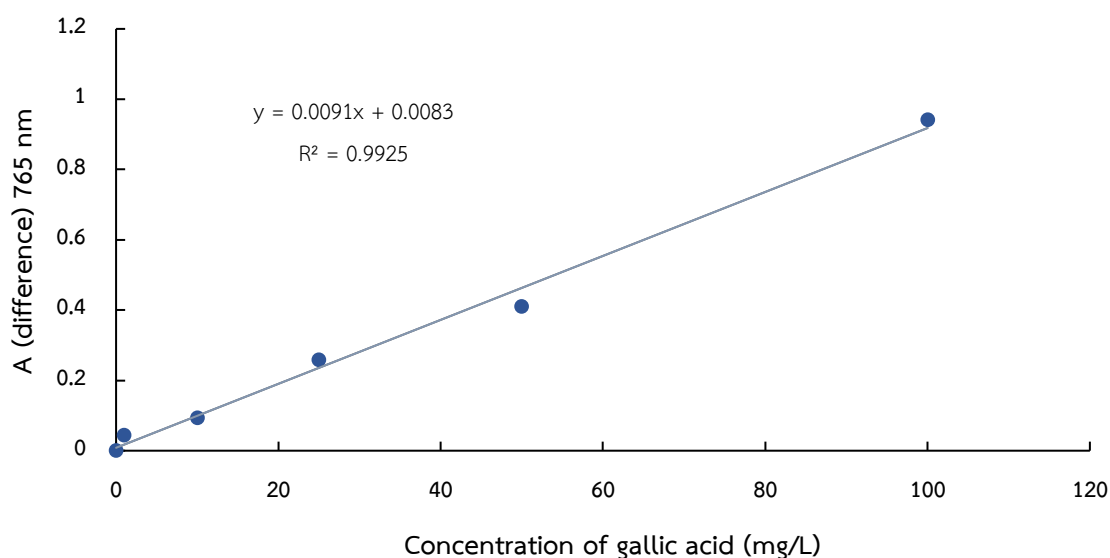
สารเคมี

1. Gallic acid
2. สารละลาย Sodium carbonate
3. สาร Folin-Ciocalteu

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน gallic acid และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 0.1, 1, 2.5, 5 และ 10 mL ตามลำดับลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL จะได้สารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 1, 10, 25, 50 และ 100 mg/L ตามลำดับ
2. ปิเปตสารละลาย gallic acid แต่ละความเข้มข้น 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ปิเปตน้ำกลั่น 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง

4. ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol ความเข้มข้น 10% (v/v) 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
5. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที
6. เติมสารละลาย sodium carbonate ความเข้มข้น 10% (w/v) 2 mL ลงในหลอดทดลอง
7. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
9. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid โดยให้ความเข้มข้นของสารละลาย gallic acid เป็นแกน x และค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm เป็นแกน Y



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง ปริมาตร 100 μ L ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 7 mL และสาร Folin-Ciocalteu ปริมาตร 500 μ L ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที
3. ปิเปตสารละลาย sodium carbonate 7.5% ปริมาตร 400 μ L ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานค่าเป็น mg gallic acid equivalent (GAE/L)

ข.7 สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธี aluminium chloride colorimetry (Huang และคณะ, 2013)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. Quercetin
2. Aluminium chloride
3. Ethanol

วิธีเตรียมสารละลาย quercetin ความเข้มข้น 1000 mg/L

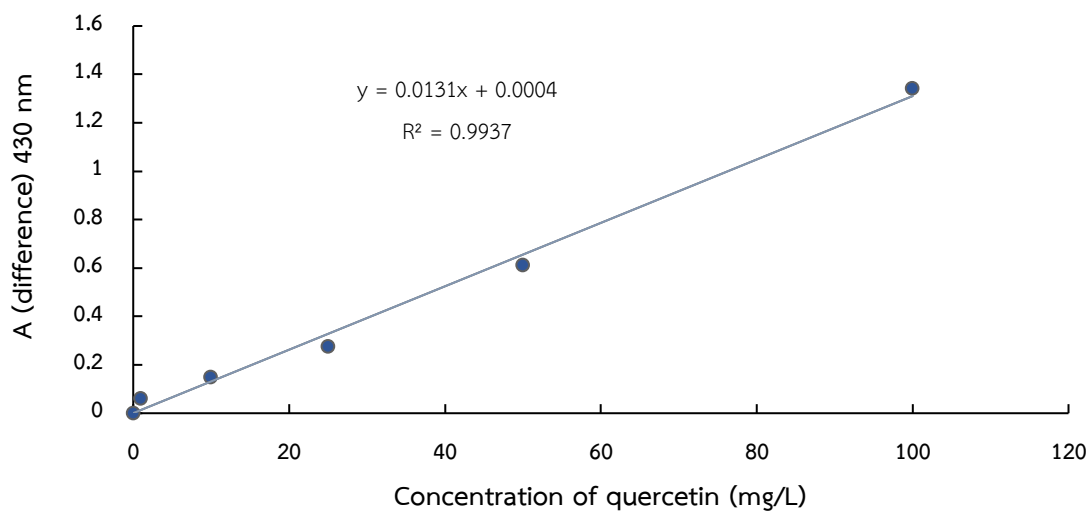
- ชั่ง quercetin 0.1 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL

วิธีเตรียมสารละลาย aluminium chloride เข้มข้น 2% w/v

- ชั่ง aluminium chloride 2 g และละลายในสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 95% (v/v) แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 95% (v/v) จนมีปริมาตร 100 mL

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน quercetin และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลาย quercetin ความเข้มข้น 1, 10, 25, 50 และ 100 mg/L
2. ปิเปตสารละลาย quercetin ความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 0.1, 1, 2.5, 5 และ 10 mL ตามลำดับลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL
3. ปิเปตสารละลาย quercetin แต่ละความเข้มข้น 1 mL ลงในหลอดทดลอง
4. ปิเปตสารละลาย aluminum chloride เข้มข้น 2% w/v 1 mL ลงในหลอดทดลอง
5. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer
7. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน quercetin (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm (แกน Y)



รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน quercetin

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 1 mL ในหลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลาย aluminium chloride เข้มข้น 2% (v/v) 1 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในที่มีดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
5. แทนค่า Y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลาย quercetin คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างและรายงานค่าเป็น mg quercetin equivalent (QE/L)

ภาคผนวก ค.

วิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพ

ค.1 ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (AOAC, 2000)

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดโดยใช้เทคนิค pour plate

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Sodium chloride (NaCl)
2. Plate count agar (PCA)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลาย

1. ละลาย sodium chloride 0.85 g ในน้ำกลั่น 100 mL และฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที
2. ชั่ง plate count agar 23.50 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 mL บรรจุใน flask ปิดด้วยจุกสำลี หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี pour plate โดยเจือจางตัวอย่างน้ำลำไยด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% w/v เพื่อให้ได้สารละลายเจือจาง (dilution) ในระดับที่เหมาะสม และปิเปตมา 1 mL ลงในจานเพาะเชื้อแล้วนำอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ที่เป็นวุ้นหลอมละลายที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที และตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงจนถึง 45 °C เทที่บลงไปในตัวอย่างในจานเพาะเชื้อปริมาตร 15-20 mL เขย่าหมุนจานเพาะเชื้อให้ตัวอย่างน้ำลำไยกระจายตัว ปล่อยให้อาหารแข็งตัว บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นภายในช่วง 25-250 โคโลนี และรายงานค่าเป็น colony forming unit/mL (CFU/mL)

ค.2 ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดโดยใช้เทคนิค spread plate

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Sodium chloride (NaCl)
2. Potato dextrose agar (PDA)
3. Tartaric acid

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลาย

1. ละลาย sodium chloride 0.85 g ในน้ำกลั่น 100 mL และฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที
2. ละลาย tartaric acid 10 g ในน้ำกลั่น 100 mL และฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที
3. ชั่ง potato dextrose agar 39 g ในน้ำกลั่น 1000 mL บรรจุใน flask ปิดด้วยจุกสำลี หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที และตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงจนถึง 45°C ผสมสารละลาย tartaric acid ความเข้มข้น 10% w/v ในอัตราส่วน 1:100 mL เขย่าให้เข้ากัน เติลงในจานเพาะเชื้อปริมาณ 15-20 mL เขย่าหมุนจานเพาะเชื้อให้อาหารเลี้ยงเชื้อกระจายตัวและปล่อยให้อาหารแข็งตัว

การวิเคราะห์

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยเทคนิค spread plate โดยเจือจางตัวอย่างน้ำลำไยด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% w/v เพื่อให้ได้สารละลายเจือจาง (dilution) ในระดับที่เหมาะสม และปิเปตมา 1 mL ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar จากนั้นใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อเกลี่ยตัวอย่างน้ำลำไยให้กระจายทั่วผิวน้ำ บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น และรายงานค่าเป็น colony forming unit/mL (CFU/mL)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นายอิสยา กิจพัฒนาศิลป์
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	083-436-4949
Email	ykipat@gmail.com



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพัสวี นฤมลฤทธิไกร
ตำแหน่ง	ผู้ร่วมวิจัย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	089-896-3232
Email	bubblevee08@gmail.com

