

ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำลินจี่  
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ



นายสุเมธ วิสุทธิวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

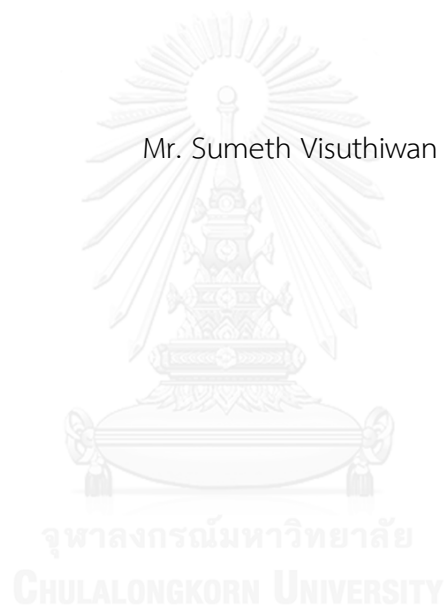
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION ON PHYSICAL, CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL  
AND SENSORY PROPERTIES OF LYCHEE JUICE DURING COLD STORAGE

Mr. Sumeth Visuthiwan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำล้นจีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ
โดย	นายสุเมธ วิสุทธิวรรณ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครตรกุล

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวณิช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครตรกุล)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.พินิตา งามเชื้อจิต)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ปิตติยา กมลพัฒนะ)



# # 5672123323 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: ULTRAVIOLET RADIATION / LYCHEE JUICE / LYCHEE PROPERTIES / DEGRADATION KINETICS / SHELF LIFE

SUMETH VISUTHIWAN: EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION ON PHYSICAL, CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY PROPERTIES OF LYCHEE JUICE DURING COLD STORAGE. ADVISOR: KITIPONG ASSATARAKUL, Ph.D., 92 pp.

The purposes of this research were to study effect of ultraviolet or UV radiation (0.00, 2.34, 4.68, 9.36, 18.72, 37.44 and 74.88 J/cm<sup>2</sup>) on kinetics of microbiological properties (total plate count and yeast and mold) and chemical properties (total phenolics, total flavonoids, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay) and study changes of physical, chemical and microbiological properties of untreated (control), UV treated (18.72 and 37.44 J/cm<sup>2</sup>) and pasteurized (85 °C, 15 min) lychee juice during storage at 4 °C and study effect of UV radiation (18.72 and 37.44 J/cm<sup>2</sup>) compared to control and pasteurization on sensory property of lychee juice. Results showed that the reduction in microbiological and chemical properties followed first order kinetic model with correlation coefficients (R<sup>2</sup>) and rate constant (k) ranging from 0.9759-0.9935 and 0.1042-0.1060 respectively. While R<sup>2</sup> and k values of chemical properties ranging from 0.9781-0.9876 and 0.0008-0.0237 respectively. When considering properties of lychee juice during storage at 4 °C for 35 days. Results showed that duration of storages did not affect total soluble solids of all lychee juice samples (p>0.05) but significantly affected color values (L\*, a\*, b\*), pH, titratable acidity, total phenolics, total flavonoids, antioxidant activities (DPPH and FRAP assays), total plate count and yeast and mold of control and UV treated (18.72 and 37.44 J/cm<sup>2</sup>) lychee juice (p≤0.05) while duration of storages did not affect titratable acidity, total plate count and yeast and mold of pasteurized lychee juice (p>0.05). UV could extend shelf life of lychee juice longer than control about 7 days. Evaluation of sensory properties of lychee juice with scoring 9-points hedonic scale by using 50 panelists found that color and aroma scores of pasteurized lychee juice were significant differences from others samples (p≤0.05). Control had the highest color scores (7.2±1.6) while taste and overall acceptability of all lychee juice samples were no significant differences (p>0.05)

Department: Food Technology

Student's Signature .....

Field of Study: Food Technology

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยการสนับสนุนด้านเงินทุนจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2559 (CU-59-017-FW)

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิจัย ช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ ดร.พนิดา งามเชื้อชิต และอาจารย์ ดร.ปิตยา กมลพัฒนะ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆของการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ระดับปริญญาโทและเอกทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดีที่มีให้กับผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่คอยเลี้ยงดูอบรม สั่งสอน ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและการสนับสนุนในทุกๆด้านแก่ผู้วิจัยอย่างดีที่สุดมาโดยตลอด รวมถึงขอขอบคุณพี่สาว และน้องสาวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในที่สุด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 ลินจี.....	2
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลินจี.....	2
2.1.2 พันธุ์ลินจี.....	3
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของลินจี.....	5
2.2 น้ำผลไม้.....	6
2.2.1 การคัดเลือกวัตถุดิบ.....	7
2.2.2 การทำความสะอาดวัตถุดิบ.....	7
2.2.3 การสกัดน้ำผลไม้.....	7
2.2.4 การปรับปรุงคุณภาพ.....	8
2.2.5 การเอาอากาศออก.....	9
2.2.6 การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้.....	9
2.3 การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำผลไม้.....	10
2.4 กระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้.....	11
2.4.1 กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (thermal processing).....	11

2.4.2 กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing).....	12
2.5 รังสียูวี.....	12
2.5.1 หลอดกำเนิดรังสียูวี .....	13
2.5.2 กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี.....	14
2.5.3 ข้อดีและข้อจำกัดของรังสียูวี.....	15
2.5.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีในอาหารเหลว .....	15
2.5.5 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติของน้ำผลไม้.....	16
2.5.6 กฎหมายการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้.....	23
2.6 จลนพลศาสตร์.....	24
2.6.1 จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์.....	24
2.6.2 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง.....	24
2.6.3 จลนพลศาสตร์อันดับสอง .....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่.....	28
3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	30
3.3 ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำลิ้นจี่.....	30
3.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	32
4.1 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่.....	32
4.2 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีของน้ำลิ้นจี่ .....	37
4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	43
4.4 ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำลิ้นจี่.....	59



บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	61
รายการอ้างอิง .....	62
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ .....	72
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี .....	73
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา .....	83
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี .....	86
ภาคผนวก จ การคำนวณปริมาณรังสียูวี .....	87
ภาคผนวก ฉ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	92



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของลิ้นจี่ .....	6
ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำผลไม้ .....	10
ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดและคุณลักษณะของหลอดรังสียูวี .....	14
ตารางที่ 2.4 ค่าสี ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวี .....	18
ตารางที่ 2.5 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวี .....	20
ตารางที่ 2.6 การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวี .....	22
ตารางที่ 2.7 สมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวีด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale .....	23
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยา .....	36
ตารางที่ 4.2 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และราของน้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี .....	37
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีในน้ำลิ้นจี่ .....	41
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของน้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี .....	42

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลลึ้นจี.....	3
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของรังสียูวี.....	13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ก่อนและหลังฉายรังสียูวี.....	15
รูปที่ 3.1 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี.....	28
รูปที่ 4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำลึ้นจี.....	34
รูปที่ 4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณยีสต์และราในน้ำลึ้นจี.....	34
รูปที่ 4.3 ความไวต่อรังสียูวีของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ.....	35
รูปที่ 4.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำลึ้นจี.....	39
รูปที่ 4.5 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในน้ำลึ้นจี.....	39
รูปที่ 4.6 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ในน้ำลึ้นจี.....	40
รูปที่ 4.7 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ในน้ำลึ้นจี.....	40
รูปที่ 4.8 ค่า $L^*$ ของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	44
รูปที่ 4.9 ค่า $a^*$ ของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	44
รูปที่ 4.10 ค่า $b^*$ ของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	45
รูปที่ 4.11 ค่า pH ของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	46
รูปที่ 4.12 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	47
รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	49
รูปที่ 4.14 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	50
รูปที่ 4.15 กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก.....	51
รูปที่ 4.16 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำลึ้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	52
รูปที่ 4.17 กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์.....	53

รูปที่ 4.18	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C .....	55
รูปที่ 4.19	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C .....	55
รูปที่ 4.20	กลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH .....	56
รูปที่ 4.21	กลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP .....	56
รูปที่ 4.22	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C .....	58
รูปที่ 4.23	ปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C .....	58
รูปที่ 4.24	คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี .....	60
รูปที่ ข.1	กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก .....	76
รูปที่ ข.2	กราฟมาตรฐานของสารละลายเคอซีทิน .....	78
รูปที่ ข.3	กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ .....	80
รูปที่ ข.4	กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ .....	82
รูปที่ ฉ.1	เครื่อง UV sterilizer .....	88
รูปที่ ฉ.2	หลอดยูวี .....	88
รูปที่ ฉ.3	บัลลาสต์ .....	89
รูปที่ ฉ.4	อะแดปเตอร์ .....	89
รูปที่ ฉ.5	ปั๊มไดอะแฟรม .....	90
รูปที่ ฉ.6	ท่อน้ำ PE .....	90
รูปที่ ฉ.7	ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี .....	91

## บทที่ 1

### บทนำ

ลิ้นจี่เป็นผลไม้ประเภทนอน-ไคลแมกเทอริก (non-climacteric fruit) ที่มีการเพาะปลูกมากในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคเหนือตอนบน ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา น่าน แม่ฮ่องสอน และลำปาง รวมถึงมีการปลูกมากในภาคกลางที่จังหวัดสมุทรสงคราม ลักษณะของผลมีรูปร่างกลมรี ผิวขรุขระ เปลือกมีสีชมพูถึงแดงเข้ม เนื้อในมีสีขาวขุ่น ฉ่ำน้ำ รสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมหวาน (Guo และคณะ, 2011; ศุภรัตน์ ศิริสกุลวัฒน์, 2544) อย่างไรก็ตามลิ้นจี่มีระยะออกผลผลิตที่สั้น หลังการเก็บเกี่ยวมักเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว และมีอายุการเก็บรักษาไม่นาน (Guo และคณะ, 2011; Li และคณะ, 2009) การแปรรูปลิ้นจี่เป็นน้ำผลไม้จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีทางเลือกที่สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของลิ้นจี่ได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคนิยมดื่มน้ำผลไม้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำผลไม้สามารถดับกระหายและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ น้ำลิ้นจี่ส่วนใหญ่ที่วางขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดมักผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เพราะความร้อนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลให้อายุการเก็บเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความร้อนสามารถทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น และรสชาติอันเป็นเอกลักษณ์ของน้ำลิ้นจี่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Guo และคณะ, 2011) กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน เช่น การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (รังสียูวี) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีทางเลือกที่น่าสนใจ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหารได้หลากหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์น้ำดื่ม อาหารเหลว และน้ำผลไม้ เนื่องจากรังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Bintsis และคณะ, 2000) ในขณะเดียวกันก็สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลที่ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการอาหารที่มีคุณภาพดีคืออาหารที่มีความสด สะอาด มีความปลอดภัย และผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด (Koutchma, 2009) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่ ศึกษาผลของรังสียูวีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำลิ้นจี่

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### 2.1 ลิ้นจี่

ลิ้นจี่เป็นไม้ผลยืนต้นประเภทผลเดี่ยวที่อยู่ในสกุล *Nephelium* วงศ์ Sapindaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Litchi chinensis* Sonn. มีชื่อสามัญเป็นภาษาอังกฤษอยู่หลายชื่อ เช่น Litchi, Litchee, Lichee, Leechee, Laichi และ Lychee แต่ที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไป คือ Litchi และ Lychee (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530) ลิ้นจี่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่เขตร้อนและเขตกึ่งร้อน โดยมีการเพาะปลูกในพื้นที่ทั่วโลก ได้แก่ ประเทศจีน ไทย อินเดีย เวียดนาม ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา แอฟริกาใต้ และมาดากัสการ์ (Menzel และคณะ, 1988; Phunchaisri และ Apichartsrangkoon, 2005; Zeng และคณะ, 2008) สำหรับประเทศไทยลิ้นจี่มีการปลูกมากในภาคเหนือตอนบนที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา น่าน แม่ฮ่องสอน และลำปาง ส่วนภาคกลางลิ้นจี่มีการปลูกมากที่จังหวัดสมุทรสงคราม

#### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลิ้นจี่

##### 2.1.1.1 ลำต้น

เป็นไม้ผลยืนต้นมีความสูงประมาณ 10.50-12.00 m ลำต้นเป็นทรงพุ่มค่อนข้างทึบ มีความแข็งแรงสามารถแตกกิ่งก้านสาขาได้มาก เปลือกลำต้นมีสีน้ำตาลอมเทา ผิวเปลือกค่อนข้างเรียบ มีการเจริญเติบโตช้า แต่เจริญเติบโตสม่ำเสมอ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

##### 2.1.1.2 ใบ

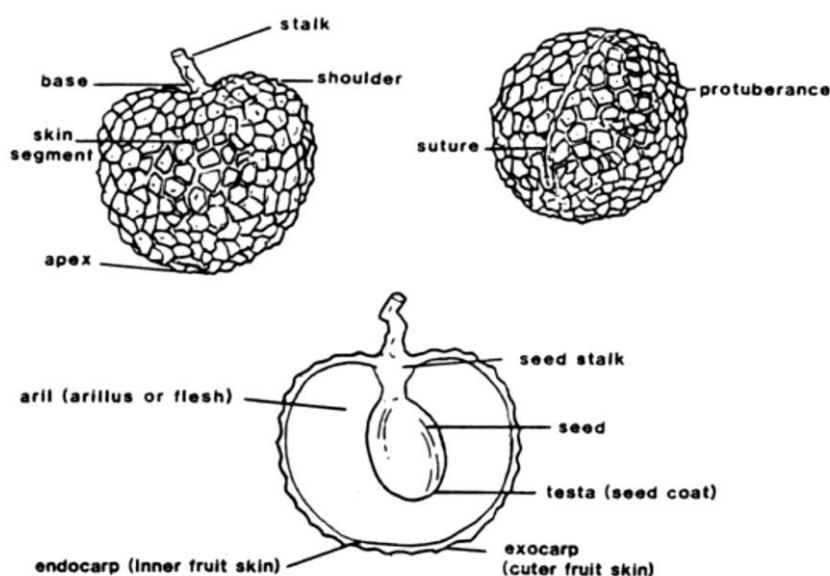
จัดเป็นใบประกอบ มีใบตั้งแต่ 2-4 คู่ มีใบย่อยแตกออกเป็นคู่ๆ โคนใบและปลายใบค่อนข้างแหลม ใบมีสีเขียวเข้มเป็นมัน ท้องใบมีสีเขียวเข้มอมเทา ถ้าเป็นใบอ่อนที่แตกใหม่จะมีสีค่อนข้างแดง (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

##### 2.1.1.3 ดอก

สีของช่อดอกมีสีเหลืองอมเขียวอ่อน ช่อดอกอาจยาวถึง 30 cm เกิดดอกที่ปลายกิ่งหรือปลายยอด มีกลีบดอกชั้นนอก 4-7 กลีบ คล้ายถ้วยขนาดเล็ก แต่จะไม่มีกลีบดอกซ้อนอยู่ชั้นใน เกสรตัวผู้มีอยู่ 5-8 อัน ประกอบด้วยก้านเกสรตัวผู้และอับเรณู ถัดจากนั้นเป็นเกสรตัวเมียที่ยอดเกสรตัวเมียเป็นรอยหยัก ออกดอกราวๆ ต้นเดือนมกราคม แล้วดอกบานติดผลปลายเดือนกุมภาพันธ์ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

### 2.1.1.4 ผล

รูปร่างของผลมีหลายแบบ เช่น รูปร่างกลม รูปไข่ หรือรูปหัวใจ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50-3.75 cm เปลือกหุ้มผลบางและค่อนข้างเปราะ ผิวขรุขระเป็นหนามเล็กๆ (รูปที่ 2.1) ผลสุกมีสีชมพูปนขาว ชมพูปนแดง แดงคล้ำ และแดงสด เนื้อในสีขาวนวล มีทั้งหนาและบางแห้งกรอบหรือฉ่ำน้ำ รสชาติขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ซึ่งมีทั้งหวานหอม หวานอมฝาด หวานอมเปรี้ยว หรือเปรี้ยว เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีน้ำตาลดำเป็นมัน มีทั้งเมล็ดกลมและรี (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลลิ้นจี่ (Menzel, 2002)

### 2.1.2 พันธุ์ลิ้นจี่

พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามแหล่งเพาะปลูก คือ พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือ และพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคกลาง ดังนี้

#### 2.1.2.1 พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือ

##### พันธุ์ฮงฮวย

เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดทางภาคเหนือ เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะเด่นเฉพาะตัว คือสามารถติดผลได้เกือบทุกปี ลักษณะประจำพันธุ์ คือทรงพุ่มกว้างใหญ่ แตกกิ่งห่าง ผิวเปลือกของต้นออกสีหม่นตกรสสีขาว เปลือกบาง ใบใหญ่ยาวรี โคนใบกว้าง ยอดอ่อนมีสีเขียวอมแดง ดอกบานประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ ผลแก่ประมาณกลางเดือนถึงปลายเดือนพฤษภาคม

ลักษณะผลเป็นทรงกลมรีรูปไข่ ขนาดผลปานกลาง หนามผลห่าง เมื่อแก่จัดหนามจะเป็นตุ่มสั้นกว่าผลที่ยังไม่แก่ เปลือกผลมีสีเหลืองแกมชมพู หรือแดงระเรื่อ เนื้อหนาสีขาวนวล เนื้อตรงส่วนที่สัมผัสกับเมล็ดจะเป็นเยื่อหุ้มสีน้ำตาลเป็นเส้น มีกลิ่นหอม เมล็ดมีขนาดใหญ่ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

#### พันธุ์โอวเฮียะ

เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากรองลงมาจากพันธุ์ฮงฮวย เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงที่มีอากาศหนาว คำว่า “โอวเฮียะ” เป็นภาษาจีน แปลเป็นไทยว่า “ใบดำ” แต่ไม่นิยมเรียก คงเรียกเป็นภาษาจีนว่า “โอวเฮียะ” ลักษณะประจำพันธุ์ คือทรงพุ่มเตี้ยจนเกือบกลม แผ่กิ่งสาขากว้าง กิ่งเปราะและหักง่าย ใบมีขนาดยาวปานกลาง ปลายใบแหลมเล็ก หน้าใบเป็นมันสีเขียวเข้มจัดจนเกือบดำ ใบอ่อนมีสีแดงปนน้ำตาลหรือแดงเข้ม ดอกมีขนาดยาวปานกลาง ออกดอกประมาณกลางเดือนมกราคม เมื่อดอกตูมช่อดอกเป็นสีดำ ใช้ระยะเวลาจากดอกตูมถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน ผลจะแก่ประมาณปลายเดือนพฤษภาคม ลักษณะผลเป็นรูปหัวใจ เปลือกมีสีแดงเข้ม ขนาดปานกลาง เนื้อหนานุ่ม ฉ่ำน้ำ และมีกลิ่นหอม (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

#### พันธุ์กิมเจง

เป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมาช้านานในภาคเหนือ แต่ไม่ค่อยแพร่หลาย เพราะมักออกดอกเว้นปีเนื่องจากปลูกในระดับที่ไม่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากพอ ลักษณะประจำพันธุ์ คือพุ่มเตี้ย กิ่งก้านสาขาสั้น เหนียวไม่เปราะและหักง่าย เติบโตช้ากว่าพันธุ์ฮงฮวย ใบมีสีเขียวเข้ม ปลายใบแหลม ยอดอ่อนมีสีแดงซีดหรือชมพู ดอกมีขนาดเล็ก ก้านดอกสั้น ช่อดอกมีสีเหลือง ช่วงดอกตูมจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 2 เดือน ออกดอกประมาณปลายเดือนกุมภาพันธ์ และผลจะเริ่มแก่ประมาณกลางเดือนมิถุนายน จึงทำให้มีราคาดีเพราะในช่วงนี้พันธุ์อื่นแก่หมดไปแล้ว ลักษณะผลเป็นรูปหัวใจ เปลือกมีสีแดง ขนาดผลค่อนข้างเล็ก เนื้อนุ่มแต่ไม่ละ เมล็ดมักลีบหรือมีสีน้ำตาลอ่อน นอกจากนี้ในแหล่งปลูกถิ่นที่ทางภาคเหนือยังมีพันธุ์อื่นๆ อีกหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์สิรามัญ พันธุ์เปลือกหนา พันธุ์ลูกลาย พันธุ์ฮองกง พันธุ์จักรพรรดิ และพันธุ์บริวสเตอร์ เป็นต้น (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

### 2.1.2.2 พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคกลาง

#### พันธุ์ค่อมหรือพันธุ์หอมลำเจียก

เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นเตี้ย ออกดอกติดผลง่ายและติดผลดก ใบมีขนาดเล็ก ใบด้านบนเรียบมันเขียวเข้ม ด้านล่างของใบสีนวล ก้านใบมีสีน้ำตาลอมแดง ปลายใบแหลม ผลค่อนข้างใหญ่ลักษณะผลเป็นรูปหัวใจ มีลายเล็กสั้นแหลมมีแฉก เห็นชัดเจนระหว่างหนามสีเขียวอมเหลือง เปลือกผลแก่มีสีแดงอมชมพูเข้มถึงสีแดงเข้ม เนื้อหนา ฉ่ำน้ำ รสหวานอมฝาดเล็กน้อย เมล็ด



ทรงยาวให้ผลได้ภายใน 3 ปี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในพื้นที่ภาคกลาง เก็บเกี่ยวผลได้ประมาณช่วงต้นเดือนเมษายน (กลุ่มเกษตรกรสัญจร, 2530)

#### พันธุ์กะโหลกใบยาว

เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกรองลงมาจากพันธุ์ค่อม ใบย่อยยาวรี ตรงกลางใบค่อนข้างพองออก ปลายใบแหลม ขอบใบและแผ่นใบเรียบ ลักษณะใบใหญ่ ใบเขียวปนน้ำตาลเล็กน้อยเป็นมัน ก้านใบมีสีน้ำตาล ลักษณะผลใหญ่ทรงกลม ที่ฐานและปลายผลจะมน มีหนามห่างระหว่างหนามมีรอยสีน้ำตาลเกิดเป็นทางลายๆ จากศูนย์กลางหนาม เนื้อหนาใกล้เคียงกับพันธุ์ค่อม รสชาติหวานอมเปรี้ยว เมล็ดไม่ใหญ่นัก ออกผลง่ายและสม่ำเสมอ ช่วงเก็บเกี่ยวหลังจากพันธุ์ค่อมประมาณ 15 วัน (กลุ่มเกษตรกรสัญจร, 2530)

#### พันธุ์สาแหรกทอง

ลักษณะใบยาวรีและเรียว ปลายใบแหลม ใบมีสีเขียวอ่อน ก้านใบมีสีน้ำตาลปนแดง ผลกลมแบนเล็กน้อย ด้านบนของผลขยายออก บางผลคล้ายรูปหัวใจ ปลายผลมน เปลือกผลมีสีชมพูอมเหลือง มีร่องระหว่างหนามเป็นทรงยาวข้างผล หนามเล็กสั้นไม่ถี่ชิดมากนัก เนื้อผลหนา สีขาวนวล ฉ่ำน้ำ รสชาติหวาน กลิ่นหอม นอกจาก 3 พันธุ์ดังกล่าวที่นิยมปลูกแล้ว ยังมีพันธุ์อื่นๆ อีกหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์กระโถนท้องพระโรง ไทยธรรมดา ไทยใหญ่ กะโหลกใบไหม้ กะโหลกใบเตา ซ่อระกำ และสำเภาแก้ว แต่พันธุ์เหล่านี้ไม่ค่อยแพร่หลายนัก (กลุ่มเกษตรกรสัญจร, 2530)

### **2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของลิ้นจี่**

เมื่อลิ้นจี่สุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่า pH จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดทั้งหมดจะมีค่าลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถบ่งชี้ถึงระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ได้ (รัตนา อุตตปัญญา และคณะ, 2544) โดยตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของลิ้นจี่

**ตารางที่ 2.1** องค์ประกอบทางเคมีของลิ้นจี่

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณต่อน้ำหนักที่บริโภคได้ 100 g
ความชื้น (%)	81.90-84.83
โปรตีน (g)	0.68-1.00
ไขมัน (g)	0.30-0.58
คาร์โบไฮเดรต (g)	13.31-16.40
เส้นใยอาหาร (g)	0.23-0.40
เถ้า (g)	0.37-0.50
แคลเซียม (mg)	8.00-10.00
ฟอสฟอรัส (mg)	30.00-42.00
เหล็ก (mg)	0.40
โซเดียม (mg)	3.00
โพแทสเซียม (mg)	170.00
วิตามินบี 1 ( $\mu$ g)	28.00
วิตามินบี 2 (mg)	0.40
วิตามินบี 6 (mg)	0.05
วิตามินซี (mg)	24.00-60.00

ที่มา: รัตนา อัดตปัญญา และคณะ (2544)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.2 น้ำผลไม้

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 356 พ.ศ. 2556 นิยามว่าน้ำผลไม้หมายถึง “เครื่องดื่มที่มีหรือทำจากผลไม้ไม่ว่าจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม โดยอาจอยู่ในรูปของน้ำผลไม้ชนิดเข้มข้นซึ่งต้องเจือจางก่อนบริโภคหรือน้ำผลไม้ชนิดแห้ง”

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ การคัดเลือกวัตถุดิบ การทำความสะอาดวัตถุดิบ การสกัดน้ำผลไม้ การปรับปรุงคุณภาพ การเอาอากาศออก และการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ดังนี้

### 2.2.1 การคัดเลือกวัตถุดิบ

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ เพื่อให้วัตถุดิบที่นำมาใช้คั้นน้ำผลไม้มีคุณภาพสม่ำเสมอ เช่น สี ความแก่-อ่อน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เป็นต้น (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.2 การทำความสะอาดวัตถุดิบ

ผลไม้ส่วนใหญ่ปนเปื้อนสิ่งสกปรกจากการเก็บเกี่ยว การบรรจุ และการขนส่ง เป็นต้น ดังนั้นควรล้างผลไม้ให้สะอาดก่อนนำมาใช้ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.3 การสกัดน้ำผลไม้

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ เพื่อแยกของเหลวและสารที่ละลายได้ในน้ำผลไม้ เช่น น้ำตาล กรด วิตามิน เกลือแร่ เส้นใย เอนไซม์ สารให้กลิ่นรส และสารให้สี ดังนั้นควรเลือกใช้วิธีที่ให้น้ำผลไม้ในปริมาณมากและสามารถรักษาคุณค่าทางอาหารครบถ้วนเหมือนน้ำผลไม้คั้นสด โดยการสกัดน้ำผลไม้สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การสกัดโดยวิธีทางกล (mechanical extraction) และการสกัดโดยวิธีทางชีวภาพ (biological extraction)

#### 2.2.3.1 การสกัดโดยวิธีทางกล

การสกัดโดยวิธีทางกล คือ การใช้แรงกลทำให้เซลล์เนื้อเยื่อผลไม้เกิดการฉีกขาดหรือแยกออกจากกัน ส่งผลให้สามารถสกัดน้ำผลไม้ออกมาจากเซลล์พร้อมกับสารอาหาร สารให้กลิ่นรส และสารให้สี ตัวอย่างของวิธีนี้ได้แก่ การบีบอัด การหีบ การสับ การตีป่น การสกัดน้ำผลไม้ด้วยวิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีน้ำมาก เซลล์เนื้อผลไม้มีขนาดใหญ่หรือมีเยื่อใยยาว เช่น แตงโม สับปะรด องุ่น ส้ม ฝรั่ง เป็นต้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541)

#### 2.2.3.2 การสกัดโดยวิธีทางชีวภาพ

การสกัดโดยวิธีทางชีวภาพ คือ การใช้เอนไซม์ไปย่อยเซลล์เนื้อเยื่อผลไม้ให้มีขนาดเล็กลงและเพียงพอที่จะปล่อยน้ำผลไม้ออกมาโดยไม่ต้องใช้แรงกล การสกัดน้ำผลไม้ด้วยวิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีน้ำน้อย เซลล์เนื้อผลไม้มีขนาดเล็กหรือมีเยื่อใยสั้น เช่น กัลฉ่าย มะม่วง ขนุน ทูเรียน น้อยหน่า เป็นต้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541)

## 2.2.4 การปรับปรุงคุณภาพ

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ ทำให้น้ำผลไม้มีลักษณะและคุณภาพตามความต้องการซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำผลไม้ โดยสามารถแบ่งเป็นการปรับปรุงลักษณะปรากฏของน้ำผลไม้ ได้แก่ การทำน้ำผลไม้ชนิดใส การทำน้ำผลไม้ชนิดขุ่น และการปรับปรุงคุณภาพด้านรสชาติของน้ำผลไม้ ได้แก่ การปรับรสหวานและการปรับรสเปรี้ยว เป็นต้น (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.4.1 การทำน้ำผลไม้ชนิดใส

การทำน้ำผลไม้ให้ใสสามารถทำได้โดยการกรองร่วมกับการใช้สารช่วยกรอง (filter aids) เช่น filter earth celite ซึ่งสารประกอบนี้จะไม่ดูดสีและกลิ่นของน้ำผลไม้ การกรองด้วยวิธีนี้ต้องทำควบคู่กับการใช้เครื่องสุญญากาศ นอกจากนี้สามารถใช้เอนไซม์เพื่อทำให้น้ำผลไม้ใสขึ้นโดยใช้เอนไซม์ในกลุ่มเพกทิเนส ตัวอย่างน้ำผลไม้ชนิดใส เช่น น้ำองุ่นและน้ำแอปเปิ้ล เป็นต้น (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.4.2 การทำน้ำผลไม้ชนิดขุ่น

การทำน้ำผลไม้ชนิดขุ่นสามารถทำได้โดยเติมสารเสริมความคงตัวหรือการแขวนลอยของเนื้อผลไม้ เช่น เพกทินที่สกัดได้จากผลไม้ กลูโคแมนแนนจากหัวบุก มอลโทเดกซ์ทริน และกัมชนิดต่างๆ ตัวอย่างน้ำผลไม้ชนิดขุ่น เช่น น้ำส้ม น้ำฝรั่ง น้ำมะม่วง และน้ำสับปะรด เป็นต้น (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.4.3 การปรับรสหวาน

การปรับรสหวานของน้ำผลไม้สามารถทำได้โดยการเติมน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส การเติมน้ำตาลโดยทั่วไปจะเติมได้ไม่เกิน 13 °Brix หรือมีการเติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นไม่เกิน 6-7% (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

### 2.2.4.4 การปรับรสเปรี้ยว

การปรับรสเปรี้ยวของน้ำผลไม้ นิยมใช้กรดซิตริก เนื่องจากเป็นกรดพื้นฐานที่ให้รสเปรี้ยวแก่ผลไม้ทั่วไปหรืออาจใช้กรดมาลิกซึ่งเป็นกรดอ่อน ประโยชน์ของการปรับรสเปรี้ยว คือ เพื่อให้รสชาติตามธรรมชาติของน้ำผลไม้และทำให้อาหารมีความเป็นกรดสูง สามารถให้ความร้อนต่ำกว่าจุดเดือดในการฆ่าเชื้อได้ ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำผลไม้ เช่น สี กลิ่น รสชาติ และสารอาหารจากธรรมชาติโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารกันเสีย (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

## 2.2.5 การเอาอากาศออก

การเอาอากาศออกจากน้ำผลไม้เป็นขั้นตอนการกำจัดหรือลดปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำผลไม้ ซึ่งอากาศที่มีอยู่ในเซลล์ผลไม้จะเกิดการแขวนลอยส่งผลให้เกิดฟองมากในระหว่างการบรรจุ โดยสามารถกำจัดอากาศออกด้วยเครื่องกำจัดอากาศ (deaerator) หรือการคนเบาๆ ในขณะที่ร้อนซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะทำก่อนการพาสเจอร์ไรซ์ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

## 2.2.6 การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ เพื่อยืดอายุการเก็บของน้ำผลไม้ และทำให้น้ำผลไม้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค น้ำผลไม้ส่วนใหญ่ที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดมักผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เนื่องจากความร้อนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

### 2.2.6.1 การให้ความร้อนก่อนบรรจุในภาชนะปิดสนิท

น้ำผลไม้ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 3.5 สามารถฆ่าเชื้อโดยการพาสเจอร์ไรซ์ จากนั้นจึงบรรจุน้ำผลไม้ในขณะที่ยังร้อนอยู่ลงในภาชนะที่สะอาดด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ และให้ความเย็นแก่น้ำผลไม้โดยทันที เพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ที่อาจเหลือรอดจากกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556; ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541)

### 2.2.6.2 การให้ความร้อนหลังบรรจุในภาชนะปิดสนิท

วิธีนี้นิยมใช้กับน้ำผลไม้ที่บรรจุในกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ซึ่งจะบรรจุน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้ในกระป๋อง โดยเว้นช่องว่างเหนือกระป๋องตามสัดส่วนของขนาดกระป๋อง จากนั้นจึงทำการไล่อากาศ ปิดฝากระป๋องแล้วนำไปฆ่าเชื้อ ซึ่งระยะเวลาในการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำผลไม้แต่ละชนิด เช่น น้ำผลไม้ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 สามารถใช้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดปกติ  $100^{\circ}\text{C}$  ในการฆ่าเชื้อได้ แต่ถ้าน้ำผลไม้มีค่า pH สูงกว่า 4.5 ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง  $116-121^{\circ}\text{C}$  ในการฆ่าเชื้อ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556; ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541)

### 2.3 การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำผลไม้

การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำผลไม้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี เอนไซม์ และ จุลชีววิทยาในน้ำผลไม้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถบ่งชี้อายุการเก็บของน้ำผลไม้ได้ (Graumlich และคณะ, 1986) โดยปกติแล้วน้ำผลไม้จะมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วหลังจากการสกัดน้ำผลไม้ ถึงแม้ว่าน้ำผลไม้จะเก็บในสภาวะแช่เย็น แต่น้ำผลไม้อาจมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัส และมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง (Souza และคณะ, 2004) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำผลไม้

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้	การเปลี่ยนแปลง
การปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำผลไม้มีการเจริญและการอยู่รอดของ จุลินทรีย์ก่อโรคซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อ ผู้บริโภค</li> <li>- น้ำผลไม้เกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วจาก จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แอโรบิกแบคทีเรีย ยีสต์และรา เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้น้ำผลไม้มีอายุการเก็บรักษาสั้น</li> </ul>
กิจกรรมของเอนไซม์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้</li> <li>- กลิ่นรสของน้ำผลไม้มีการเปลี่ยนแปลง</li> </ul>
ปฏิกิริยาเมลลาร์ด	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้</li> <li>- สูญเสียคุณภาพของน้ำผลไม้</li> </ul>
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปริมาณพฤษเคมี และฤทธิ์ต้าน ออกซิเดชันในน้ำผลไม้ลดลง</li> <li>- น้ำผลไม้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavored)</li> </ul>
ความไม่เสถียรของคอลลอยด์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยใน น้ำผลไม้</li> </ul>
แก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้</li> <li>- คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของ น้ำผลไม้ลดลง</li> </ul>

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bates และคณะ (2001)

## 2.4 กระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้

### 2.4.1 กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (thermal processing)

การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนเป็นหนึ่งในวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้กันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ก่อโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร ข้อดีของวิธีนี้คือทำให้อาหารสุกโดยปลอดภัย เชื้อจุลินทรีย์ และสามารถยืดอายุการเก็บของอาหารได้นาน การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) และการสเตอริไลซ์ (sterilization)

#### 2.4.1.1 การพาสเจอร์ไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์เป็นกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนแก่อาหารเพื่อทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในอาหารเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา การพาสเจอร์ไรซ์เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้อาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์มีอายุการเก็บสั้น เนื่องจากกระบวนการนี้ไม่ได้ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มทนความร้อน (thermophilic microorganisms) สามารถรอดชีวิตได้ จึงควรเก็บอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิแช่เย็นเพื่อชะลอการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บให้นานขึ้น กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 การพาสเจอร์ไรซ์แบบใช้ความร้อนต่ำและเวลานาน (low temperature long time; LTLT) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที จากนั้นเก็บอาหารในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  โดยวิธีนี้สามารถทำได้ในระดับครัวเรือน และ วิธีที่ 2 การพาสเจอร์ไรซ์แบบใช้ความร้อนสูงและเวลาสั้น (high temperature short time; HTST) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $72^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 วินาที แล้วทำให้เย็นทันที วิธีนี้มักใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารในระบบต่อเนื่องโดยให้อาหารเหลวไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดของอาหารแต่ละชนิด โดยอาหารที่ผ่านความร้อนแล้วจะถูกบรรจุลงกล่องหรือขวดที่สะอาด และเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $7^{\circ}\text{C}$  (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556; รังสิณี โสธรวิทย์, 2553)

#### 2.4.1.2 การสเตอริไลซ์

การสเตอริไลซ์เป็นกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิดสนิทโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์กลุ่มทนความร้อนและสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ( $\text{pH} > 4.5$ ) เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิปกติ (mesophile) และไม่ต้องการอากาศ

(anaerobe) ดังนั้นอาหารที่ผ่านการรสเตอร์ไรซ์จึงสามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง และมีอายุการเก็บอย่างน้อย 6 เดือน (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556; รังสิณี โสธรวิทย์, 2553)

#### 2.4.2 กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing)

ในปัจจุบันนี้กระบวนการแปรรูปอาหารได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองผู้บริโภคสมัยใหม่ที่ต้องการอาหารที่มีความสะอาด ปลอดภัย รสชาติดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงทำให้กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและก่อโรค รวมถึงสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารได้เป็นอย่างดี (Koutchma, 2009) กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน เช่น การฉายรังสียูวีเป็นหนึ่งในวิธีทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถรักษาคุณภาพและเพิ่มความปลอดภัยของอาหารได้ จากงานวิจัยพบว่ารังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา และไวรัส เป็นต้น (Keyser และคณะ, 2008; Koutchma, 2009) รวมถึงมีรายงานการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ เช่น สามารถช่วยยืดอายุการเก็บของผักและผลไม้สด (Fonseca และ Rushing, 2006; González-Aguilar และคณะ, 2001) ช่วยรักษาปริมาณพฤษเคมีในผลไม้ (Cantos และคณะ, 2000) และยับยั้งจุลินทรีย์บนพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Bintsis และคณะ, 2000; Guerrero-Beltrán และ Barbosa-Cánovas, 2004) เป็นต้น

#### 2.5 รังสียูวี

รังสียูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-400 nm ซึ่งอยู่ระหว่างแสงที่ตามองเห็น (visible light) และรังสีเอ็กซ์ (x-ray) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามความยาวคลื่น (Koutchma และคณะ, 2009; แสง เกิดประทุม, 2559) ดังนี้

##### 1) รังสียูวีเอ (UV-A)

รังสียูวีเอมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 315-400 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของแสงยูวี มีผลทำให้ผิวหนังมีสีน้ำตาล (Sun tanning)

##### 2) รังสียูวีบี (UV-B)

รังสียูวีบีมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280-315 nm สามารถทำให้ผิวหนังไหม้เกรียม และเป็นต้นเหตุของการเกิดโรคมะเร็งผิวหนัง

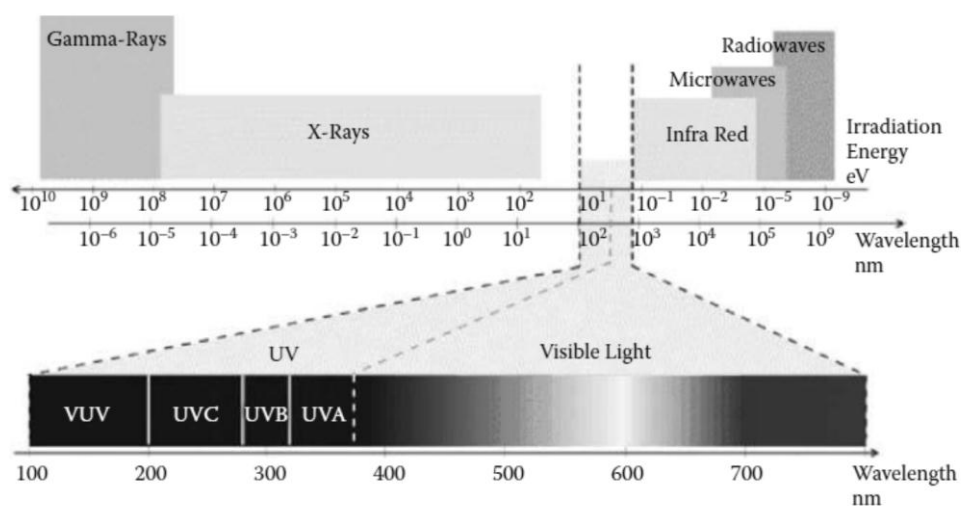


### 3) รังสียูวีซี (UV-C)

รังสียูวีซีมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 200-280 nm และมีพลังงานสูงกว่ารังสียูวีเอและยูวีบี โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 254 nm

### 4) รังสียูวีสุญญากาศ (Vacuum-UV)

รังสียูวีสุญญากาศมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-200 nm เมื่อรังสียูวีสุญญากาศเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศจะถูกดูดกลืนหมด ดังนั้นจึงต้องเคลื่อนที่ผ่านภาวะที่เป็นสุญญากาศเท่านั้นถึงจะสามารถส่องผ่านได้



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของรังสียูวี (Koutchma และคณะ, 2009)

#### 2.5.1 หลอดกำเนิดรังสียูวี

หลอดกำเนิดรังสียูวีประกอบด้วยหลอดที่ทำมาจากแก้วซิลิกาซึ่งถูกปิดผนึกที่ส่วนปลายทั้งสองด้าน และมีอิเล็กโทรดอยู่บริเวณปลายของแต่ละด้าน ภายในหลอดบรรจุด้วยสารปรอทและแก๊สเฉื่อย โดยทั่วไปหลอดรังสียูวีถูกขับเคลื่อนพลังงานด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current) หลอดกำเนิดรังสียูวีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามความดันไอของปรอท คือ low pressure mercury lamp (LPM), low pressure high output (LPHO) mercury lamp และ medium pressure mercury lamp (MPM) (Koutchma และคณะ, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

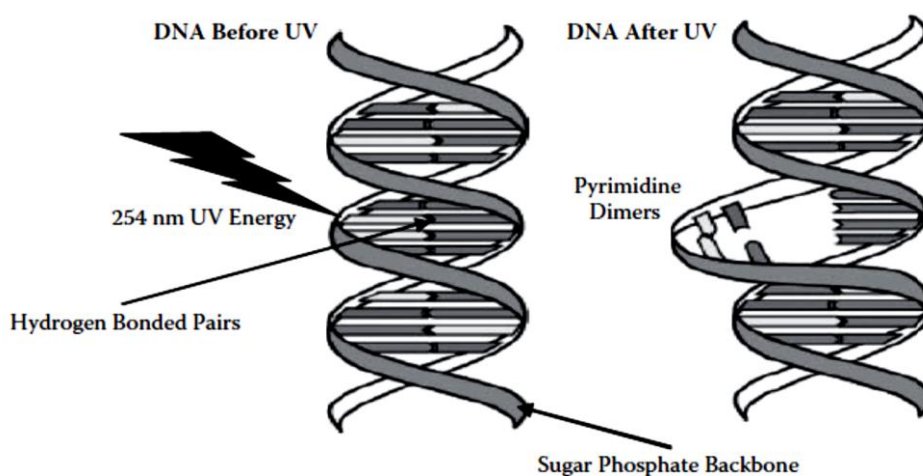
**ตารางที่ 2.3** แหล่งกำเนิดและคุณลักษณะของหลอดรังสียูวี

แหล่งกำเนิด ของรังสียูวี	ประสิทธิภาพ ทางไฟฟ้า (%)	ประสิทธิภาพ ของรังสียูวี (%)	ปริมาณ รังสียูวี (W/cm <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ พื้นผิว ของหลอด ยูวี (°C)	อายุการ ใช้งาน (เดือน)	สเปกตรัม
LPM	50	38	0.01	40	18-24	Monochromatic (253.7 nm)
MPM	15-30	12	600	400-1,000	0.5	Polychromatic (200-300 nm)
Pulsed xenon	15-20	17	30,000	-	1	Polychromatic
Excimer	10-35	10-40	-	อุณหภูมิ โดยรอบ	>6	Monochromatic tunable

ที่มา: Koutchma และคณะ (2009)

### 2.5.2 กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี

การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เกิดจากกรดนิวคลีอิกซึ่งเป็นสารพันธุกรรมภายในเซลล์จุลินทรีย์สามารถดูดกลืนอนุภาคโฟตอนของรังสียูวีในช่วงความยาวคลื่น 200-310 nm รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยขัดขวางการทำงานของดีเอ็นเอ (DNA) และอาร์เอ็นเอ (RNA) แล้วเกิดการสร้างพันธะไพริมิดีนไดเมอร์ (pyrimidine dimer) เพื่อเชื่อมข้าม (cross-linking) ระหว่างเบสไทมีน (thymine) กับเบสไซโตซีน (cytosine) บนดีเอ็นเอสายเดียวกัน (รูปที่ 2.3) ส่งผลให้ดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ไม่สามารถจำลองตัวเอง (replication) ถอดรหัส (transcription) และแปลรหัส (translation) ซึ่งส่งผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในที่สุด (Allothman และคณะ, 2009; Koutchma และคณะ, 2009)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ก่อนและหลังฉายรังสียูวี (Koutchma และคณะ, 2009)

### 2.5.3 ข้อดีและข้อจำกัดของรังสียูวี

ข้อดีของกระบวนการแปรรูปโดยรังสียูวี คือ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำ สะดวกต่อการใช้งาน และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ (Bintsis และคณะ, 2000) โดยการฉายรังสียูวีเป็นวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีทางกายภาพ จึงไม่พบการปนเปื้อน สารเคมีและสารพิษตกค้างในอาหาร (EPA., 1999) นอกจากนี้การฉายรังสียูวีเป็นวิธีการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนจึงสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ และสเตอริไลซ์ เป็นต้น ในขณะที่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ เมื่อรังสียูวีส่องผ่านหรือแทรกซึมลงไปในอาหารที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูง (highly absorptive food) พบว่าประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จะลดลงเนื่องจากอนุภาคโฟตอนของรังสียูวีถูกดูดกลืนจากสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในอาหาร (EPA., 1999)

### 2.5.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีในอาหารเหลว

ประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีในอาหารเหลวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ปริมาณความชื้นในอาหาร ปริมาณสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำได้ การออกแบบเครื่องยูวี ความเข้มของรังสียูวี ระยะเวลาที่อาหารเหลวสัมผัสกับรังสียูวี อายุการใช้งานของหลอดรังสียูวี อัตราการไหลของอาหารเหลว ความหนาของชั้นอาหารเหลว ชนิดของจุลินทรีย์ ระยะการเจริญของจุลินทรีย์ และปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น เป็นต้น (Begum และคณะ,

2009; Bintsis และคณะ, 2000; Caron และคณะ, 2007; Hassen และคณะ, 2000; Koutchma และคณะ, 2006; Morris และคณะ, 2007)

Caron และคณะ (2007) รายงานว่าปริมาณสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำได้มีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของอาหารเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของรังสียูวีลดลง เนื่องจากปริมาณสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำได้สามารถดูดกลืนอนุภาคโฟตอนของรังสียูวีได้ (Murakami และคณะ, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าสารแขวนลอยสามารถทำหน้าที่กระจายแสงและป้องกันการทำลายจุลินทรีย์จากการฉายรังสียูวี ซึ่งส่งผลให้รังสียูวีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง

Guerrero-Beltrán และ Barbosa-Cánovas (2005) รายงานว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอากาศมีความไวต่อรังสียูวีมากกว่าจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในอาหารเหลว โดยแบคทีเรียมีความไวต่อรังสียูวีมากที่สุด รองลงมา คือ ไวรัส และยีสต์และรา ตามลำดับ สาเหตุที่ยีสต์และรามิมีความไวต่อรังสียูวีน้อยที่สุด เนื่องจากยีสต์และรามิมีปริมาณเบสไพริมิดีน (pyrimidine base) น้อยกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ (Hassen และคณะ, 2000) นอกจากนี้พบว่าระยะการเจริญของจุลินทรีย์ในระยะ lag phase มีความต้านทานต่อรังสียูวีได้ดีกว่าระยะ log phase (Koutchma และคณะ, 2006)

Koutchma และคณะ (2007) รายงานว่าเครื่องยูวีควรได้รับการออกแบบให้อาหารเหลวที่ผ่านเข้าเครื่องมีการไหลแบบเทอร์บิวแลนซ์ (turbulent flow) และเป็นฟิล์มบางๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเหลว

## 2.5.5 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติของน้ำผลไม้

งานวิจัยที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติของน้ำผลไม้ มีอยู่ด้วยกันหลากหลายเรื่อง ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของงานวิจัยดังกล่าวออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

### 2.5.5.1 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผลไม้

สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผลไม้ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.4

Caminiti และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี ( $5.31-53.10 \text{ J/cm}^2$ ) ต่อค่าสีของน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีค่า  $L^*$  และ  $a^*$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.001$ ) แต่มีค่า  $b^*$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.001$ )

Pala และ Toklucu (2011) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.50-62.40 J/mL) ต่อสมบัติของน้ำทับทิม โดยพบว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

Assatarakul และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (14.20-99.40  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) ต่อสมบัติของน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) แต่มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

Pala และ Toklucu (2013a) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.60-25.20 J/mL) ต่อสมบัติของน้ำองุ่นขาวและองุ่นแดง โดยพบว่าน้ำองุ่นขาวและองุ่นแดงที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

Pala และ Toklucu (2013b) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.03-48.12 J/mL) ต่อสมบัติของน้ำส้ม โดยพบว่าน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

Mohd-Hanif และคณะ (2016) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (22.76-44.24  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) ต่อสมบัติของน้ำมะนาว โดยพบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) แต่มีค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

**ตารางที่ 2.4** ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวี

น้ำผลไม้	สมบัติทางเคมีกายภาพ	ปริมาณรังสียูวี	ค่านัยสำคัญทางสถิติ	ผู้วิจัย
น้ำแอปเปิ้ล	$L^*$	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.001$	Caminiti และคณะ (2010)
	$a^*$	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.001$	
	$b^*$	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	$p > 0.001$	
	pH	14.20-99.40 mJ/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.05$	Assatarakul และคณะ (2012)
	TA (%)	14.20-99.40 mJ/cm <sup>2</sup>	$p > 0.05$	
น้ำทับทิม	TSS (°Brix)	14.20-99.40 mJ/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.05$	Pala และ Toklucu (2011)
	pH	12.50-62.40 J/mL	$p > 0.05$	
	TA (%)	12.50-62.40 J/mL	$p > 0.05$	
น้ำองุ่นขาว	TSS (°Brix)	12.50-62.40 J/mL	$p > 0.05$	Pala และ Toklucu (2013a)
	pH	12.60-25.20 J/mL	$p > 0.05$	
	TA (%)	12.60-25.20 J/mL	$p > 0.05$	
น้ำองุ่นแดง	TSS (°Brix)	12.60-25.20 J/mL	$p > 0.05$	Pala และ Toklucu (2013a)
	pH	12.60-25.20 J/mL	$p > 0.05$	
	TA (%)	12.60-25.20 J/mL	$p > 0.05$	
น้ำส้ม	TSS (°Brix)	12.03-48.12 J/mL	$p > 0.05$	Pala และ Toklucu (2013b)
	pH	12.03-48.12 J/mL	$p > 0.05$	
	TA (%)	12.03-48.12 J/mL	$p > 0.05$	
น้ำมะนาว	TSS (°Brix)	22.76-44.24 mJ/cm <sup>2</sup>	$p > 0.05$	Mohd-Hanif และคณะ (2016)
	TA (%)	22.76-44.24 mJ/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.05$	
	TSS (°Brix)	22.76-44.24 mJ/cm <sup>2</sup>	$p \leq 0.05$	

หมายเหตุ: TA คือ Titratable acidity (ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้)

TSS คือ Total soluble solid (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด)

### 2.5.5.2 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้

สมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.5

Caminiti และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (5.31-53.10 J/cm<sup>2</sup>) ต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Pala และ Toklucu (2011) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.50-62.40 J/mL) ต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำทับทิม โดยพบว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Goh และคณะ (2012) รายงานว่าการฉายรังสียูวีที่ 53.42 mJ/cm<sup>2</sup> ไม่ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ (น้ำสับปะรดควบคุมและพาสเจอร์ไรซ์) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Feng และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (2.70-37.50 J/mL) ต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำแตงโม โดยพบว่าน้ำแตงโมที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Pala และ Toklucu (2013a) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.60-25.20 J/mL) ต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำองุ่นขาวและองุ่นแดง โดยพบว่าน้ำองุ่นขาวและองุ่นแดงที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Pala และ Toklucu (2013b) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.03-48.12 J/mL) ต่อสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในน้ำส้ม โดยพบว่าน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 2.5 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวี

น้ำผลไม้	สมบัติของสารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณรังสียูวี	ค่านัยสำคัญทางสถิติ	ผู้วิจัย
น้ำแอปเปิ้ล	ฟีนอลิกทั้งหมด	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p>0.05	Caminiti และคณะ (2010)
	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p≤0.05	
น้ำทับทิม	ฟีนอลิกทั้งหมด	12.50-62.40 J/mL	p>0.05	Pala และ Toklucu (2011)
	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.50-62.40 J/mL	p>0.05	
น้ำสับปะรด	ฟีนอลิกทั้งหมด	53.42 mJ/cm <sup>2</sup>	p≤0.05	Goh และคณะ (2012)
	ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	53.42 mJ/cm <sup>2</sup>	p≤0.05	
น้ำแตงโม	ฟีนอลิกทั้งหมด	2.70-37.50 J/mL	p>0.05	Feng และคณะ (2013)
น้ำองุ่นขาว	ฟีนอลิกทั้งหมด	12.60-25.20 J/mL	p>0.05	Pala และ Toklucu (2013a)
	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.60-25.20 J/mL	p>0.05	
น้ำองุ่นแดง	ฟีนอลิกทั้งหมด	12.60-25.20 J/mL	p>0.05	Pala และ Toklucu (2013a)
	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.60-25.20 J/mL	p>0.05	
น้ำส้ม	ฟีนอลิกทั้งหมด	12.03-48.12 J/mL	p>0.05	Pala และ Toklucu (2013b)
	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.03-48.12 J/mL	p>0.05	



### 2.5.5.3 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำผลไม้

สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำผลไม้ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.6

Pala และ Toklucu (2011) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (230-1377 J/L) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวี 230 J/L มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำแอปเปิ้ลควบคุม 3.50 และ 2.99 log ตามลำดับ

Pala และ Toklucu (2011) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.50-62.40 J/mL) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำทับทิม โดยพบว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด (62.40 J/mL) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำทับทิมควบคุม 1.80 และ 1.45 log ตามลำดับ

Feng และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (2.70-37.50 J/mL) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำแตงโม โดยพบว่าน้ำแตงโมที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด (37.50 J/mL) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำแตงโมควบคุม 1.47 และ 0.99 log ตามลำดับ

Pala และ Toklucu (2013a) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.60-25.20 J/mL) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำองุ่นขาวและองุ่นแดง โดยพบว่าน้ำองุ่นขาวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด (25.20 J/mL) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำองุ่นขาวควบคุม 4.06 และ 3.22 log ตามลำดับ ในขณะที่น้ำองุ่นแดงที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด (25.20 J/mL) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำองุ่นแดงควบคุม 5.59 และ 5.24 log ตามลำดับ

Pala และ Toklucu (2013b) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี (12.03-48.12 J/mL) ต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาในน้ำส้ม โดยพบว่าน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด (48.12 J/mL) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลดลงจากน้ำส้มควบคุม 2.96 และ 0.52 log ตามลำดับ

**ตารางที่ 2.6** การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ผ่านการฉายรังสียูวี

น้ำผลไม้	สมบัติทางจุลชีววิทยา	ปริมาณรังสียูวี	log inactivation	ผู้วิจัย
น้ำแอปเปิ้ล	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	230-1377 J/L	3.50	Keyser และคณะ (2008)
	ปริมาณยีสต์และรา	230-1377 J/L	2.99	
น้ำทับทิม	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	12.50-62.40 J/mL	1.80	Pala และ Toklucu (2011)
	ปริมาณยีสต์และรา	12.50-62.40 J/mL	1.45	
น้ำแตงโม	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	2.70-37.50 J/mL	1.47	Feng และคณะ (2013)
	ปริมาณยีสต์และรา	2.70-37.50 J/mL	0.99	
น้ำองุ่นขาว	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	12.60-25.20 J/mL	4.06	Pala และ Toklucu (2013a)
	ปริมาณยีสต์และรา	12.60-25.20 J/mL	3.22	
น้ำองุ่นแดง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	12.60-25.20 J/mL	5.59	Pala และ Toklucu (2013a)
	ปริมาณยีสต์และรา	12.60-25.20 J/mL	5.24	
น้ำส้ม	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	12.03-48.12 J/mL	2.96	Pala และ Toklucu (2013b)
	ปริมาณยีสต์และรา	12.03-48.12 J/mL	0.52	

#### 2.5.5.4 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้ โดยให้ผู้ทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งงานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.7

Caminiti และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของการใช้รังสียูวี ( $5.31-53.10 \text{ J/cm}^2$ ) ต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวีทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.001$ )

Hernández-Carranza และคณะ (2016) รายงานว่าน้ำแครอทที่ผ่านการฉายรังสียูวี  $79.20 \text{ J/cm}^2$  มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 2.7** สมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวีด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale

น้ำผลไม้	สมบัติทางประสาทสัมผัส	ปริมาณรังสียูวี	ค่านัยสำคัญทางสถิติ	ผู้วิจัย
น้ำแอปเปิ้ล	สี	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p≤0.001	Caminiti และคณะ (2010)
	กลิ่น	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p≤0.001	
	กลิ่นรส	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p≤0.001	
	ความชอบโดยรวม	5.31-53.10 J/cm <sup>2</sup>	p≤0.001	
น้ำแครอท	สี	79.20 J/cm <sup>2</sup>	p>0.05	Hernández-Carranza และคณะ (2016)
	กลิ่น	79.20 J/cm <sup>2</sup>	p>0.05	
	กลิ่นรส	79.20 J/cm <sup>2</sup>	p>0.05	
	ความชอบโดยรวม	79.20 J/cm <sup>2</sup>	p>0.05	

### 2.5.6 กฎหมายการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้

องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้พิจารณาอนุมัติให้การใช้รังสียูวีเป็นวิธีทางเลือก (alternative method) นอกเหนือจากการใช้ความร้อนด้วยกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ โดยความเข้มของรังสียูวีที่เลือกใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้จะต้องสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic microorganisms) ได้อย่างน้อย 5 log (USFDA, 2000) นอกจากนี้ได้ระบุหลักเกณฑ์ของใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ ดังนี้

1) หลอดกำเนิดรังสียูวีที่อนุญาตให้ใช้ คือหลอดไอปรอทความดันต่ำ (low pressure mercury lamp; LPM) โดย 90% ของพลังงานทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาควรมีความยาวคลื่นเท่ากับ 253.7 nm (2,537 Angstroms)

2) การไหลแบบเทอร์บิวแลนซ์ (turbulent flow) ของน้ำผลไม้ที่ผ่านเข้าเครื่องยูวีจะต้องมีเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re) ไม่น้อยกว่า 2,200

สหภาพยุโรป (European Union) กำหนดให้การใช้รังสียูวีอยู่ในประเภทการฉายรังสี (irradiation) ดังนั้นกฎหมายการใช้รังสียูวีของแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีความแตกต่างกัน โดยหน่วยงาน National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF) เป็นหน่วยงานที่ดูแลเรื่องการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่ง NACMCF มีหลักเกณฑ์การพิจารณาในการใช้รังสียูวี (NACMCF, 2006) ดังนี้

- 1) จุลินทรีย์ก่อโรคชนิดไหนที่สามารถทนต่อรังสียูวีได้มากที่สุด
- 2) ประสิทธิภาพของรังสียูวีในการลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรค
- 3) ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร
- 4) จุดประสงค์ของการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร

## 2.6 จลนพลศาสตร์

การศึกษาจลนพลศาสตร์ในอาหารโดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเพื่ออธิบายอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูป เช่น ศึกษาอัตราการทำงานของเอนไซม์ด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ศึกษาการสลายตัวของรงควัตถุและการยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และศึกษาการสูญเสียไลซีนของนมที่ผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยปฏิกิริยาอันดับสอง (Van Boekel, 2008) โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาจลนพลศาสตร์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี และการลดลงของปริมาณฟรุกโตสและกลูโคสที่ต้านออกซิเดชันในน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี ซึ่งจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาต่างๆ มีอยู่ด้วยกันดังนี้

### 2.6.1 จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์

เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่ และไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ดังนั้นสามารถอธิบายปฏิกิริยาอันดับศูนย์ได้จากสมการที่ 2.1

$$Y = Y_0 - k_0x \dots\dots\dots 2.1$$

เมื่อ  $Y_0$  และ  $Y$  คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นก่อนและหลังฉายรังสียูวี ตามลำดับ  
 $k_0$  คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์  
 $x$  คือ ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )

### 2.6.2 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง

เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งตัวในรูปยกกำลังหนึ่ง ดังนั้นสามารถอธิบายปฏิกิริยาอันดับหนึ่งได้จากสมการที่ 2.2-2.3

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

หรือ  $\ln [Y/Y_0] = - k_1x \dots\dots\dots 2.3$

เมื่อ  $Y_0$  และ  $Y$  คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นก่อนและหลังฉายรังสียูวี ตามลำดับ  
 $k_1$  คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง  
 $x$  คือ ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )

### 2.6.3 จลนพลศาสตร์อันดับสอง

เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งตัวในรูปยกกำลังสอง หรือสารตั้งต้นสองตัวในรูปยกกำลังหนึ่ง (กรณีที่สารตั้งต้นสองตัวมีความเข้มข้นเท่ากัน และมีอันดับรวมของปฏิกิริยาเท่ากับสอง) ดังนั้นสามารถอธิบายปฏิกิริยาอันดับสองได้จากสมการที่ 2.4

$$1/[Y] = 1/[Y_0] + k_2x \dots\dots\dots 2.4$$

เมื่อ  $Y_0$  และ  $Y$  คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นก่อนและหลังฉายรังสียูวี ตามลำดับ  
 $k_2$  คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง  
 $x$  คือ ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tran และ Farid (2004) รายงานว่าการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด ( $100 \text{ mJ/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลง 17% ซึ่งการลดลงของปริมาณวิตามินซีสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9750

Torkamani และ Niakousari (2011) รายงานว่าการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงสุด ( $125 \text{ mJ/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีค่าลดลง 96.80% และ 95.30% ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9636 และ 0.9106 ตามลำดับ

Assatarakul และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสียูวี ( $14.20-99.40 \text{ mJ/cm}^2$ ) ต่อปริมาณพาทูลิน (patulin) ในน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่าปริมาณรังสียูวีสูงสุด ( $99.40 \text{ mJ/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณพาทูลินมีค่าลดลง 94.90% ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของพาทูลินสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9950

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### เครื่องมือ

- เครื่อง Autoclave (Tomy, SX-700, Japan)
- เครื่อง Centrifuge machine (Hettich, Rotanta 460R, England)
- เครื่อง Chroma meter (Konica Minolta, CR-400 Series, Japan)
- เครื่อง Hand-held refractometer (Atago, Master M-Series, Japan)
- เครื่อง Juice extractor (Tefal, ZE450, France)
- เครื่อง Microplate reader (Biochrom, Asys UVM340, England)
- เครื่อง pH meter (Mettler Toledo, Switzerland)
- เครื่อง UV sterilizer (Treatton, Taiwan)
- เครื่อง Vortex mixer (Scientific Industries, G560E, USA)
- เครื่อง Water bath (Scientific Promotion, SPCDH-60-110, Thailand)
- เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ML1602, Switzerland)
- เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ML204, Switzerland)
- ปั๊มไดอะแฟรม (AQ&Q, China)
- ตู้แช่แข็ง (Sanyo, MDF-U5411, Japan)
- ตู้ปมเชื้อ (Binder, WTB Series, Germany)
- ตู้ปฏิบัติการปลอดเชื้อ Biosafety Cabinet Class II (Telstar, Bioultra 4, Spain)
- ตู้เย็น (Pattana Intercool, LU-45YU, Thailand)

## สารเคมี

กรดแกลลิก (Gallic acid) (Sigma-Aldrich, USA)

กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) (Ajax Finechem, Australia)

กรดแอสซีติก (Acetic acid) (Qrec, Newzealand)

กรดไฮโดรคลอริก 37% v/v (Hydrochloric acid 37% v/v) (J.T. Baker, USA)

ควอซีทิน (Quercetin) (Sigma-Aldrich, USA)

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) (Ajax Finechem, Australia)

โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) (Daejung Chemicals & Metals, South Korea)

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 10% w/v (Sodium hypochlorite) (T.S. Inter Lab Limited Partnership, Thailand)

โซเดียมแอสซีเตตไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate) (Ajax Finechem, Australia)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (Qrec, Newzealand)

ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) (Fluka, Germany)

เฟอร์ริกคลอไรด์แอนไฮไดรรัส (Ferric chloride anhydrous) (Fisher Scientific, England)

สารละลายโฟลีน-ซีโอแคลทูฟีนอล (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) (Merck, Germany)

อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride) (Ajax Finechem, Australia)

เอทานอล 95% v/v (Ethanol 95% v/v) (AR grade)

2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: DPPH) (Sigma-Aldrich, USA)

2,4,6-ไตรไพริดีล-เอส-ไตรอาซีน (2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine: TPTZ) (Merck, Germany)

6-ไฮดรอกซี-2,5,7,8-เตตระเมทิลโครแมน-2-คาร์บอกซิลิกแอซิด (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid: Trolox) (Sigma-Aldrich, USA)

## อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (Himedia Laboratories, India)

อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (Himedia Laboratories, India)

## วัตถุดิบ

ซึ้อลีนจีแช่แข็งพันธุสงฮวยที่ผ่านการปกเปลือกและคว้านเมล็ดตอกแล้วจากบริษัทธีรภัทร ฟู้ดส์ จำกัด ขนส่งโดยควบคุมอุณหภูมิ  $0 \pm 1$  °C มายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-18 \pm 1$  °C

## การเตรียมน้ำลีนจี

ละลายลีนจีแช่แข็งในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1$  °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นคั้นน้ำลีนจีด้วยเครื่องสกัดน้ำผลไม้แบบแยกกาก (Tefal, ZE450, France) และเหวี่ยงแยกน้ำลีนจีด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich, Rotanta 460R, England) โดยใช้ความเร็ว 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ  $4$  °C เป็นเวลา 20 นาที ขั้นตอนต่อมาให้นำน้ำลีนจีในส่วนของสารละลายใสมาปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้มีความเข้มข้นเท่ากับ  $12 \pm 1$  °Brix ด้วยน้ำเชื่อม จากนั้นบรรจุน้ำลีนจีที่เตรียมได้ลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บที่อุณหภูมิ  $-18 \pm 1$  °C เพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

## ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

เครื่อง UV sterilizer ประกอบด้วยกระบอกสเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.74 cm และยาว 22 cm ภายในเครื่องประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm และยาว 24.50 cm ที่หุ้มล้อมรอบหลอดยูวีขนาด 6 W (Treatton, Taiwan) เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับหลอดยูวีโดยตรง เมื่อเปิดการทำงานของปั๊มไดอะแฟรม (AQ&Q, China) ตัวอย่างจะไหลผ่านเข้าเครื่อง UV sterilizer เป็นฟิล์มหนา 1.87 cm ด้วยอัตราการไหล (flow rate) เท่ากับ 16.33 mL/s (รูปที่ 3.1) ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณรังสียูวีได้จากสมการที่ 3.1-3.3

$$\text{Intensity} = \text{Total UV output} / \text{Surface area} \dots\dots\dots 3.1$$

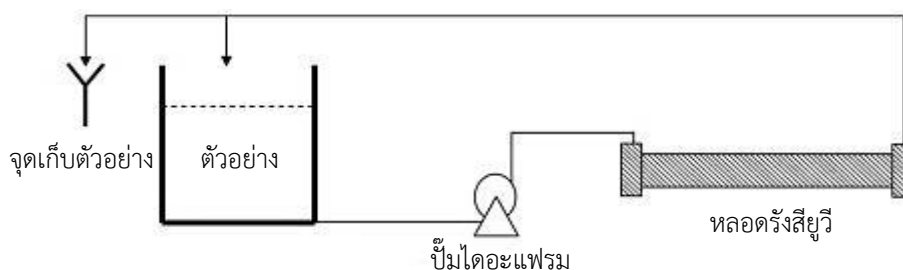
$$\text{Exposure Time} = \text{Volume of sample} / \text{Flow rate} \dots\dots\dots 3.2$$

$$\text{UV dosage} = \text{Intensity} \times \text{Exposure time} \dots\dots\dots 3.3$$

เมื่อ	Intensity	คือ	ความเข้มของรังสียูวี ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )
	Total UV output	คือ	กำลังไฟฟ้าทั้งหมดของหลอดยูวี (W)
	Surface area	คือ	พื้นที่ผิวหลอดยูวี ( $\text{cm}^2$ )
	Exposure time	คือ	ระยะเวลาที่ตัวอย่างสัมผัสกับรังสียูวี (s)
	Volume of sample	คือ	ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)



Flow rate	คือ	อัตราการไหลของตัวอย่าง (mL/s)
UV dosage	คือ	ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )



รูปที่ 3.1 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี (Keyser และคณะ, 2008)

### การทำความสะอาดเครื่อง UV sterilizer

ทำความสะอาดเครื่อง UV sterilizer ก่อนนำมาใช้งาน โดยตัดแปลงจากวิธีของ Caminiti และคณะ (2010) เริ่มต้นการล้างระบบของเครื่อง UV sterilizer ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ตกค้างในเครื่อง จากนั้นล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 15 นาที เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 15 นาที เพื่อชะล้างสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ออกจากตัวเครื่อง UV sterilizer

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำล้นจี่

ศึกษาปริมาณรังสียูวีที่ใช้ 7 ระดับ คือ 0.00 (ตัวอย่างควบคุม), 2.34, 4.68, 9.36, 18.72, 37.44 และ 74.88  $J/cm^2$  ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  °C ต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำล้นจี่ ดังนี้

##### 3.1.1 สมบัติทางเคมี

- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (Slinkard และ Singleton, 1977) (ภาคผนวก ข.4)
- ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยวิธี Aluminium chloride colorimetry (Huang และคณะ, 2013) (ภาคผนวก ข.5)

- ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity (Brand-Williams และคณะ, 1995) (ภาคผนวก ข.6)

- ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Benzie และ Strain, 1996) (ภาคผนวก ข.7)

ศึกษาจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีโดยนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองข้อ 3.1.1 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น และปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์และหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.4-3.6

$$\text{จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์: } C = C_0 - k_0x \dots\dots\dots 3.4$$

$$\text{จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง: } \ln [C] = \ln [C_0] - k_1x \dots\dots\dots 3.5$$

$$\text{หรือ } \ln [C/C_0] = -k_1x \dots\dots\dots 3.6$$

เมื่อ  $C_0$  และ  $C$  คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นก่อนและหลังฉายรังสียูวี ตามลำดับ

$k_0$  และ  $k_1$  คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์และหนึ่ง ตามลำดับ

$x$  คือ ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )

### 3.1.2 สมบัติทางจุลชีววิทยา

บ่มน้ำล้นจีที่อุณหภูมิ  $37^\circ C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น จากนั้นนำมาผ่านการฉายรังสียูวีเพื่อศึกษาผลของรังสียูวีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางจุลชีววิทยา ดังนี้

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค.1)

- ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค.2)

ศึกษาจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยาโดยนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองข้อ 3.1.2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์และหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.7-3.9

$$\text{จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์: } N = N_0 - k_0x \dots\dots\dots 3.7$$

$$\text{จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง: } \ln [N] = \ln [N_0] - k_1x \dots\dots\dots 3.8$$

$$\text{หรือ } \ln [N/N_0] = -k_1x \dots\dots\dots 3.9$$

เมื่อ	$N_0$ และ $N$	คือ ปริมาณจุลินทรีย์ก่อนและหลังฉายรังสียูวี ตามลำดับ
	$k_0$ และ $k_1$	คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์และหนึ่ง ตามลำดับ
	$x$	คือ ปริมาณรังสียูวี ( $J/cm^2$ )

### 3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

เตรียมน้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี ( $18.72$  และ  $37.44\text{ }J/cm^2$ ) และน้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ  $85\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $15$  นาที (Li และคณะ, 2009) จากนั้นบรรจุน้ำล้นจีที่ผ่านการเตรียมลงในขวดแก้วสีชาขนาด  $100\text{ mL}$  พร้อมปิดฝาให้สนิท เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $35$  วัน สุ่มตรวจตัวอย่างทุกๆ  $7$  วัน และวิเคราะห์สมบัติของน้ำล้นจีดังนี้

- สมบัติทางเคมี ตามข้อ 3.1.1
- ค่าสีตามระบบ CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ด้วยเครื่อง Chroma meter (ภาคผนวก ก.1)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง Hand-held refractometer (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข.1)
- ค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข.2)
- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข.3)
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค.1)
- ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค.2)

### 3.3 ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี

เตรียมน้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี ( $18.72$  และ  $37.44\text{ }J/cm^2$ ) และน้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์ ( $85\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15$  นาที) จากนั้นบรรจุน้ำล้นจีที่เตรียมได้ลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บที่อุณหภูมิ  $-18\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อรอการทดสอบทางประสาทสัมผัสในวันถัดไป โดยตัวอย่างน้ำล้นจีที่ใช้ทดสอบจะต้องละลายน้ำแข็งก่อนเสิร์ฟ จากนั้นให้ผู้ทดสอบทั่วไป  $50$  คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale (ภาคผนวก ง)

### 3.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการศึกษาศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ในแต่ละทรีทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการศึกษาศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัส จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Version 22.0, USA)



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

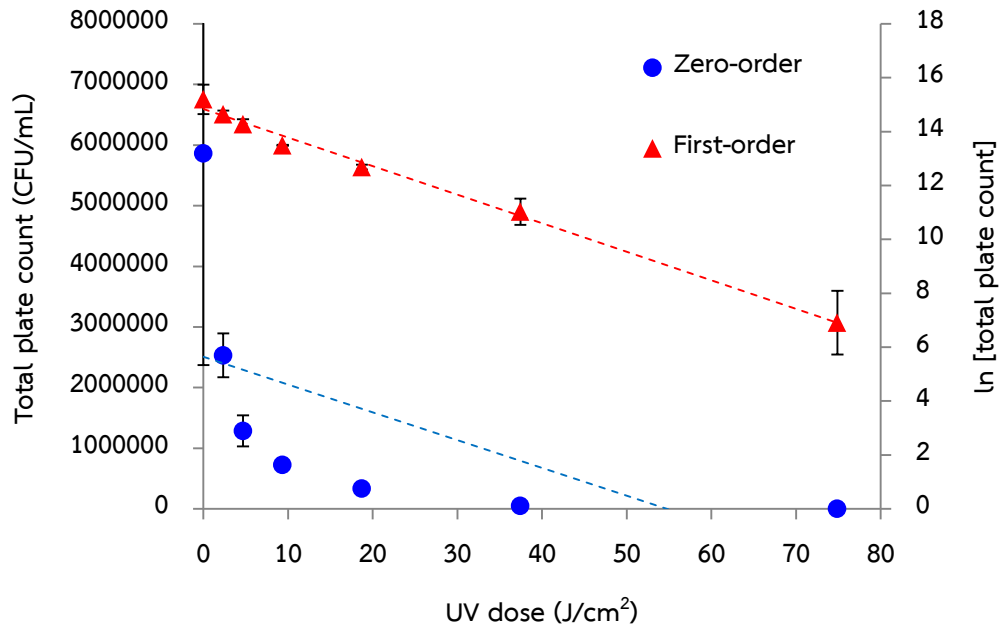
#### 4.1 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำล้นจี่

จากการศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยา (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางจุลชีววิทยาและปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln$  [สมบัติทางจุลชีววิทยา] และปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (รูปที่ 4.1-4.2) โดยพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีค่าลดลงเป็นไปตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R^2$ ) ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (0.9759-0.9935) มีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (0.3223-0.3471) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จึงทำให้การลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำล้นจี่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran และ Farid (2004) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำส้ม โดยพบว่าการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำส้มสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9800 และ 0.9300 ตามลำดับ รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Torkamani และ Niakousari (2011) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำส้ม โดยพบว่าการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำส้มสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9636 และ 0.9106 ตามลำดับ เนื่องจากรังสียูวีสามารถทำลายโครงสร้างโปรตีนและเอนไซม์ต่างๆ ที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ให้เสียสภาพธรรมชาติเช่นเดียวกับกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน ส่งผลให้การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำผลไม้ที่ผ่านการฉายรังสียูวีสามารถอธิบายได้ด้วยจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเช่นเดียวกับกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (Van Boekel, 2008)

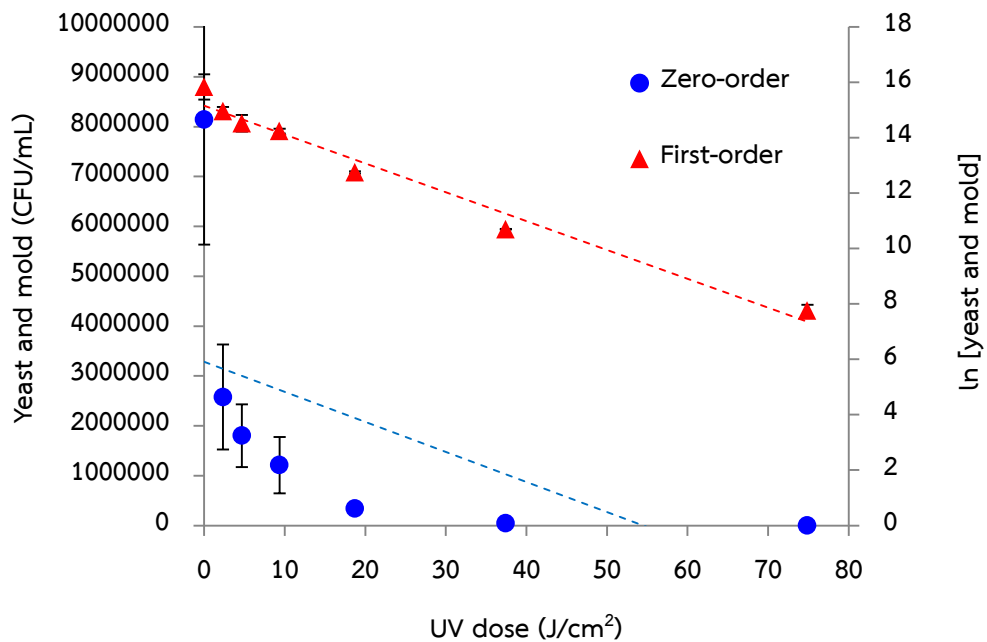
เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constant;  $k$ ) ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำล้นจี่ (ตารางที่ 4.1) พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $k = 0.1060$ ) มีค่ามากกว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปริมาณยีสต์และรา ( $k = 0.1042$ ) แสดงว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีความไวต่อรังสียูวีมากกว่าปริมาณยีสต์และรา กล่าวอีกนัยหนึ่งคือยีสต์และรามีความต้านทานต่อรังสียูวีมากกว่าแบคทีเรีย (Torkamani และ Niakousari, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran และ

Farid (2002) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำแครอท และพบว่าปริมาณรังสียูวีสูงสุด ( $123 \text{ mJ/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงมากกว่าปริมาณยีสต์และรา โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในน้ำแครอทมีค่าลดลง 97.80% และ 94.70% ตามลำดับ สาเหตุที่แบคทีเรียไวต่อรังสียูวีมากกว่ายีสต์และรา เนื่องจากเซลล์แบคทีเรียมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ยีสต์และรา จึงทำให้อัตราการทะลุผ่านเซลล์แบคทีเรียได้มากกว่าเซลล์ยีสต์และรา (Montgomery, 1985) จากรูปที่ 4.3 พบว่าองค์ประกอบของผนังเซลล์จุลินทรีย์มีความแตกต่างกัน โดยองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียคือเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ในขณะที่องค์ประกอบของผนังเซลล์ยีสต์และราคือ ไคติน (chitin) จึงส่งผลให้จุลินทรีย์แต่ละชนิดตอบสนองต่อรังสียูวีไม่เท่ากัน โดยแบคทีเรียมีความไวต่อรังสียูวีมากที่สุด รองลงมา คือ ยีสต์ และรา ตามลำดับ นอกจากนี้ดีเอ็นเอของแบคทีเรียมีปริมาณไพริมิดีนมากกว่ายีสต์และรา จึงสามารถสร้างไพริมิดีนไดเมอร์ (pyrimidine dimer) มากขึ้นแล้วสร้างพันธะเชื่อมข้าม (cross linkage) ระหว่างเบสไทมีน (thymine) และไซโตซีน (cytosine) บนดีเอ็นเอสายเดียวกัน โดยป้องกันไม่ให้ดีเอ็นเอเกิดการถอดรหัส (transcription) และแปลรหัส (translation) ซึ่งส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและทำให้ตายในที่สุด (Guerrero-Beltrán และ Barbosa-Cánovas, 2004; Koutchma, 2009; Tran และ Farid, 2004)

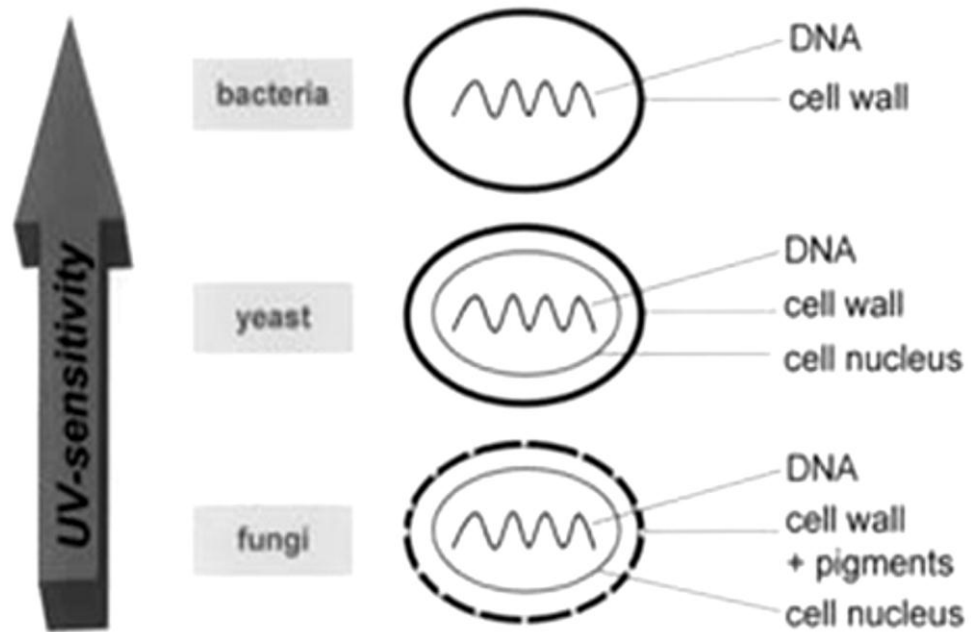
เมื่อน้ำลิ้นจี่ผ่านการฉายรังสียูวีในปริมาณโดสที่สูงขึ้นพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปริมาณรังสียูวีสูงสุด ( $74.88 \text{ J/cm}^2$ ) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราลงจากน้ำลิ้นจี่ควบคุม ( $0.00 \text{ J/cm}^2$ ) เท่ากับ 3.33 และ 3.69 log ตามลำดับ หรือลดลงเท่ากับ 49.63% และ 53.40% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำล้นจี่



รูปที่ 4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณยีสต์และราในน้ำล้นจี่



รูปที่ 4.3 ความไวต่อรังสียูวีของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ (Torkamani และ Niakousari, 2011)



**ตารางที่ 4.1** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางจุลชีววิทยา

สมบัติทางจุลชีววิทยา	จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์		จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง	
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $k_0$ )	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $k_1$ )
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	0.3471	45836	0.9935	0.1060
ปริมาณยีสต์และรา	0.3223	60269	0.9759	0.1042

**ตารางที่ 4.2** ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี

ปริมาณรังสียูวี (J/cm <sup>2</sup> )	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/mL)	ปริมาณยีสต์และรา (log CFU/mL)
0.00	6.71 <sup>a</sup> ± 0.24	6.91 <sup>a</sup> ± 0.12
2.34	6.39 <sup>a</sup> ± 0.05	6.38 <sup>b</sup> ± 0.20
4.68	6.11 <sup>ab</sup> ± 0.08	6.24 <sup>b</sup> ± 0.15
9.36	5.68 <sup>b</sup> ± 0.07	5.73 <sup>c</sup> ± 0.09
18.72	4.50 <sup>c</sup> ± 0.32	4.61 <sup>d</sup> ± 0.09
37.44	3.75 <sup>d</sup> ± 0.61	3.62 <sup>e</sup> ± 0.17
74.88	3.38 <sup>d</sup> ± 0.55	3.22 <sup>f</sup> ± 0.21

หมายเหตุ : ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

a-f คือ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

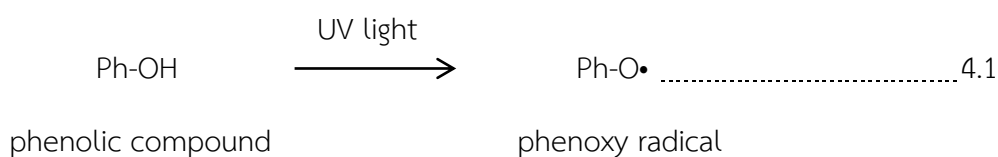
#### 4.2 ศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีของน้ำล้นจี

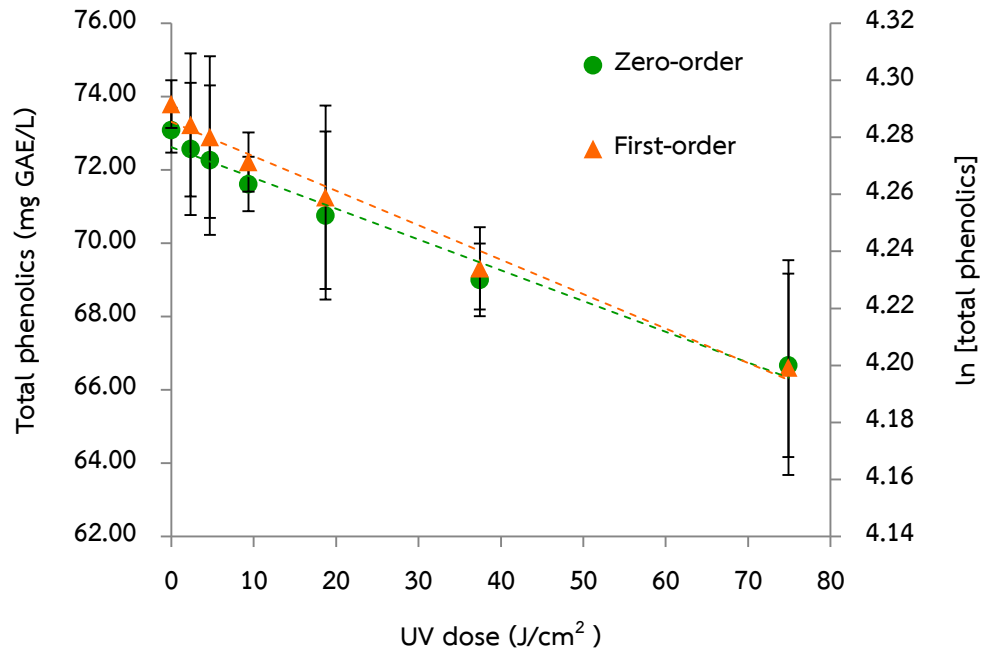
จากการศึกษาผลของรังสียูวีต่อจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมี (ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีและปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln [สมบัติทางเคมี] และปริมาณรังสียูวีสำหรับจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (รูปที่ 4.4-4.7) โดยพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP มีค่าลดลงเป็นไปตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R<sup>2</sup>) ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (0.9781-0.9876) มีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (0.7475-0.9805) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จึงทำให้การลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ในน้ำล้นจีสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง

เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ของจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ในน้ำล้นจี (ตารางที่ 4.3) พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH มีค่ามากที่สุด (k = 0.0237) รองลงมา คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดย

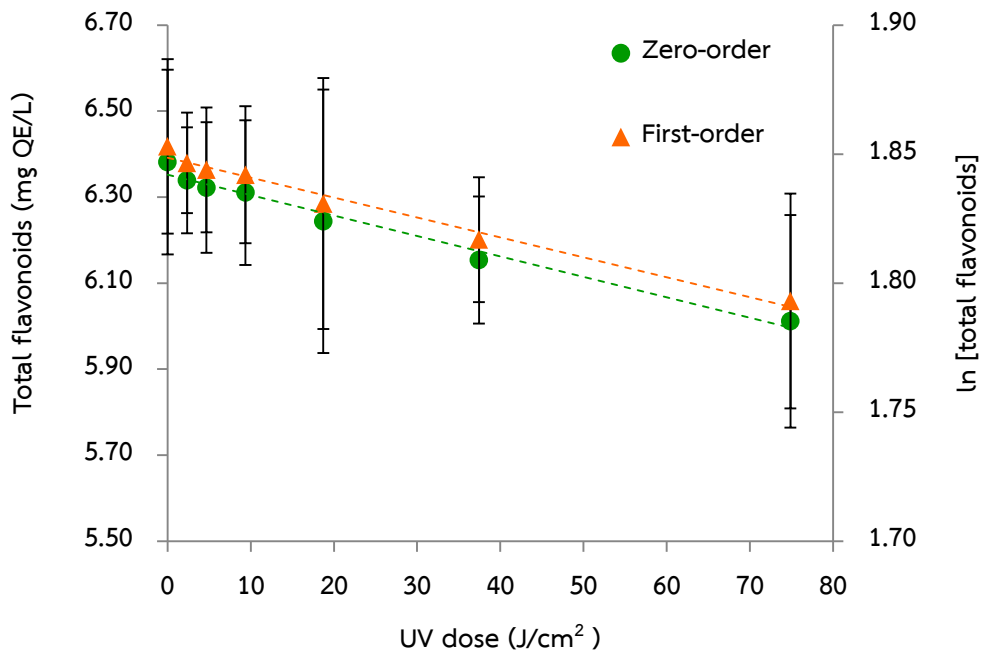
วิธี FRAP ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ( $k = 0.0025, 0.0012$  และ  $0.0008$  ตามลำดับ) ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความไวต่อรังสีวิทยามากกว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH มีความไวต่อรังสีวิทยามากกว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP

น้ำล้นจีควบคุม ( $0.00 \text{ J/cm}^2$ ) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ  $73.08 \pm 0.61 \text{ mg gallic acid equivalent (GAE)/L}$ ,  $6.38 \pm 0.21 \text{ mg quercetin equivalent (QE)/L}$ ,  $0.92 \pm 0.30 \text{ mM trolox equivalent (TE)}$  และ  $6.86 \pm 0.63 \text{ mM trolox equivalent (TE)}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) ปริมาณรังสีวิทยุสูงสุด ( $74.88 \text{ J/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำล้นจีมีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำล้นจีควบคุม ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าคงเหลือเท่ากับ  $6.01 \pm 0.25 \text{ mg QE/L}$ ,  $0.41 \pm 0.56 \text{ mM TE}$  และ  $5.62 \pm 0.50 \text{ mM TE}$  ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณรังสีวิทยุสูงสุด ( $74.88 \text{ J/cm}^2$ ) ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำล้นจีมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำล้นจีควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าคงเหลือเท่ากับ  $66.67 \pm 0.61 \text{ mg GAE/L}$  หรือมีค่าลดลงจากน้ำล้นจีควบคุมเท่ากับ  $8.77\%$  เนื่องจากการฉายรังสีวิทยุที่ปริมาณโดสสูงชันทำให้โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกสามารถถูกกลืนอนุภาคโฟตอนของรังสีวิทยุได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา photo-oxidation ของสารประกอบฟีนอลิกและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ phenoxy radical ( $\text{Ph-O}\cdot$ ) ดังสมการที่ 4.1 (Koutchma, 2009; Ochoa-Velasco และ Guerrero Beltrán, 2013) จึงทำให้น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสีวิทยุที่ปริมาณโดสสูงชัน ( $74.88 \text{ J/cm}^2$ ) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำล้นจีตัวอย่างอื่นๆ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pala และ Toklucu (2011) ที่ศึกษาผลของรังสีวิทยุ ( $12.5\text{-}62.4 \text{ J/mL}$ ) ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในน้ำทับทิม โดยพบว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสีวิทยุในปริมาณโดสสูงชันจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noci และคณะ (2008) ที่รายงานว่า การฉายรังสีวิทยุ (กำลังไฟฟ้า  $30 \text{ W}$ ) เป็นเวลา  $30$  นาทีไม่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) ของน้ำแอปเปิ้ล แต่ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำแอปเปิ้ลควบคุม ( $p \leq 0.05$ )

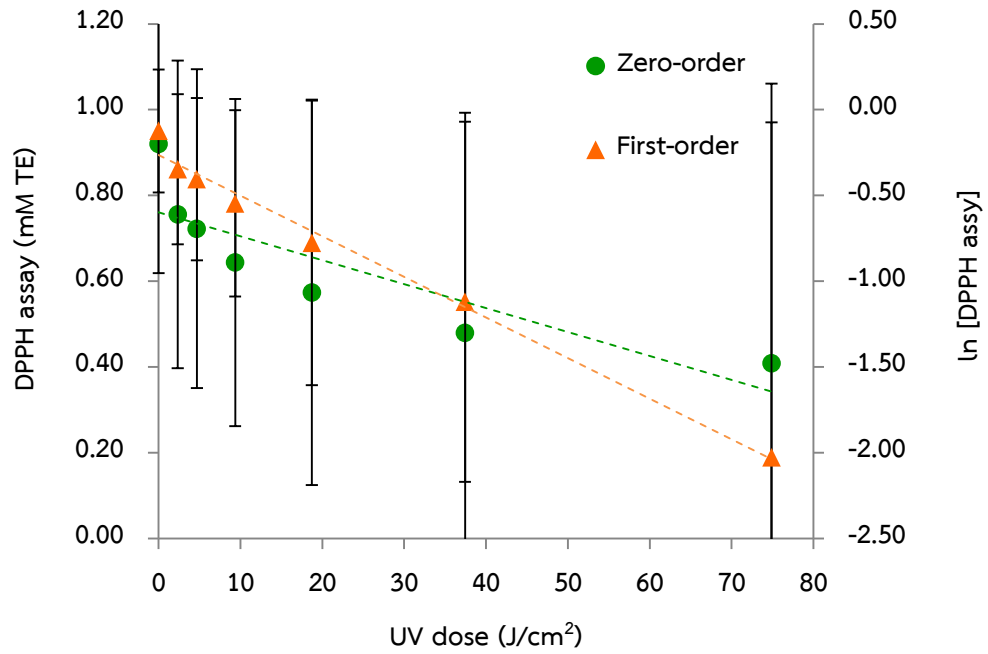




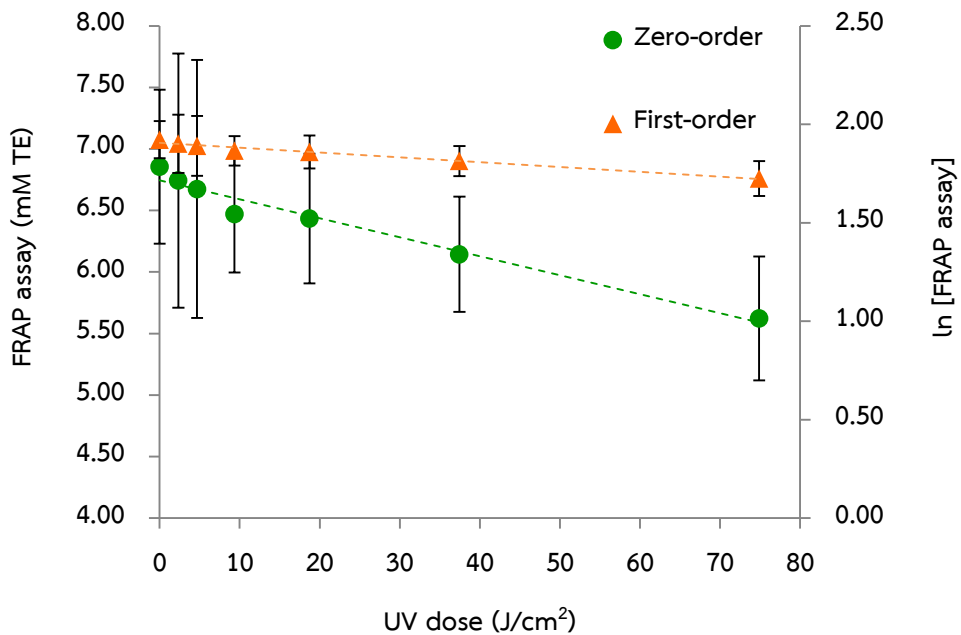
รูปที่ 4.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำลิ้นจี่



รูปที่ 4.5 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในน้ำลิ้นจี่



รูปที่ 4.6 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ในน้ำลิ้นจี่



รูปที่ 4.7 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ในน้ำลิ้นจี่

**ตารางที่ 4.3** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของจลนพลศาสตร์ของสมบัติทางเคมีในน้ำดื่ม

สมบัติทางเคมี	จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์		จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง	
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $k_0$ )	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $k_1$ )
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	0.9774	0.0839	0.9814	0.0012
ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	0.9805	0.0047	0.9827	0.0008
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH	0.7475	0.0056	0.9876	0.0237
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP	0.9698	0.0154	0.9781	0.0025

**ตารางที่ 4.4** สมบัติทางเคมีของน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี

ปริมาณรังสียูวี (J/cm <sup>2</sup> )	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด mg GAE/L)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด <sup>ns</sup> (mg QE/L)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดย วิธี DPPH <sup>ns</sup> (mM TE)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดย วิธี FRAP <sup>ns</sup> (mM TE)
0.00	73.08 <sup>i</sup> ±0.61	6.38±0.21	0.92±0.30	6.86±0.63
2.34	72.07 <sup>i</sup> ±1.81	6.34±0.12	0.76±0.36	6.74±1.03
4.68	71.26 <sup>i</sup> ±2.04	6.32±0.15	0.72±0.37	6.67±1.05
9.36	71.11 <sup>i</sup> ±0.75	6.31±0.17	0.64±0.38	6.47±0.48
18.72	70.76 <sup>i</sup> ±2.29	6.24±0.31	0.57±0.45	6.43±0.53
37.44	70.00 <sup>i</sup> ±0.99	6.15±0.15	0.48±0.51	6.14±0.47
74.88	66.67 <sup>b</sup> ±2.50	6.01±0.25	0.41±0.56	5.62±0.50

หมายเหตุ : ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

a-b คือ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

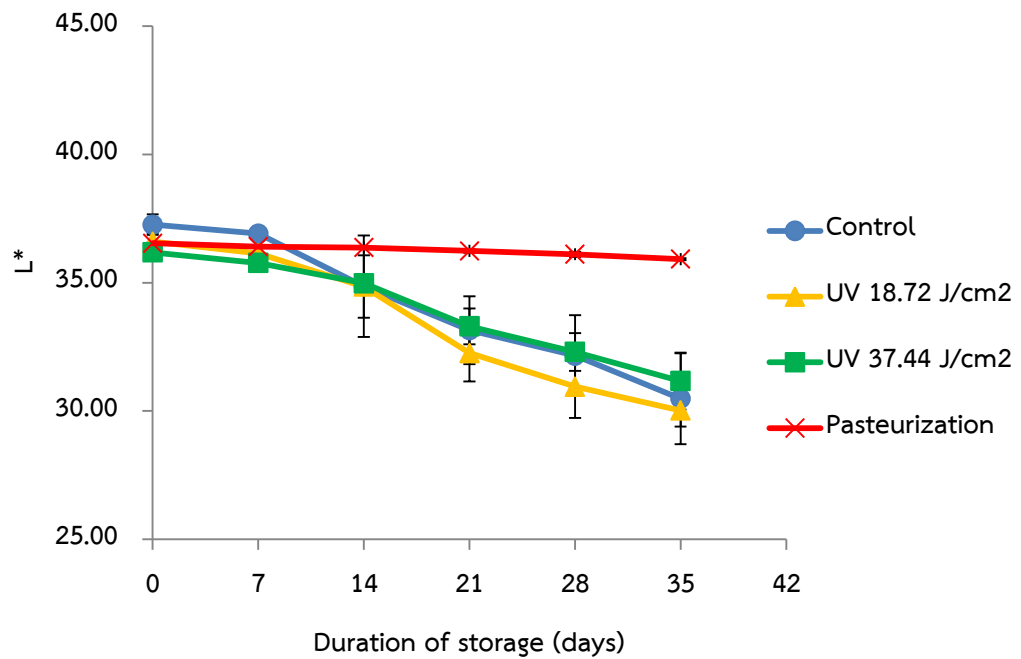
ns คือ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

GAE คือ gallic acid equivalent, QE คือ quercetin equivalent, TE คือ trolox equivalent

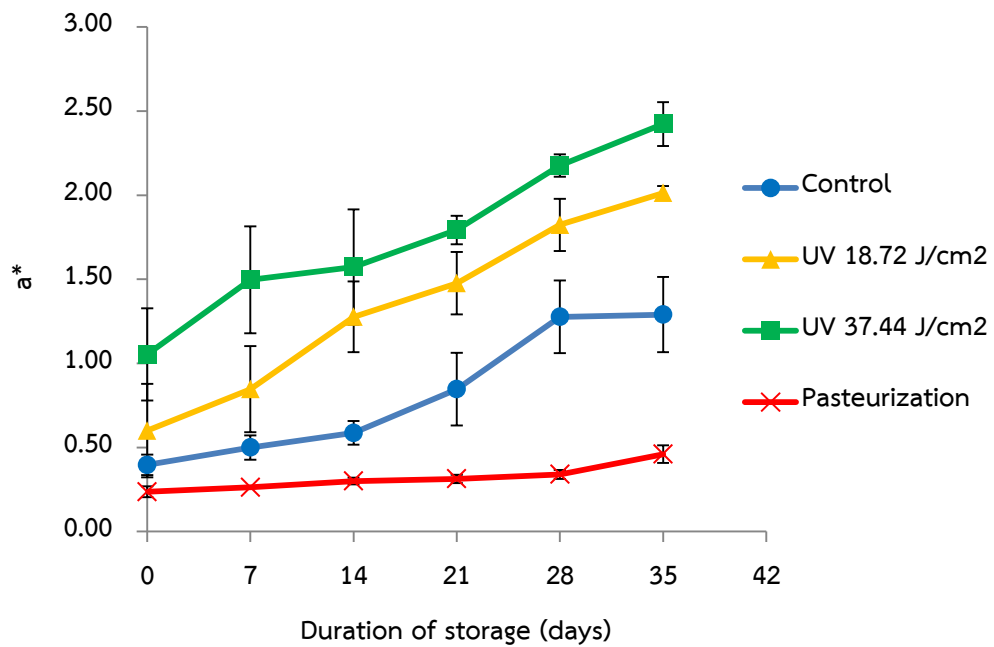
#### 4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

การวิเคราะห์ค่าสีเป็นหนึ่งในวิธีการประเมินคุณภาพของน้ำผลไม้ที่มีความสำคัญ (Shamsudin และคณะ, 2014) เนื่องจากสีของน้ำผลไม้มีผลต่อความสนใจและการยอมรับของผู้บริโภค (Fernández-Vázquez และคณะ, 2014; Mohd-Hanif และคณะ, 2016) งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำล้นจีด้วยระบบ CIELAB โดยมีค่า  $L^*$  แสดงความสว่าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ค่า  $a^*$  แสดงค่าสีเขียวและสีแดง (ค่าลบคือค่าสีเขียวและค่าบวกคือค่าสีแดง) และค่า  $b^*$  แสดงค่าสีน้ำเงินและสีเหลือง (ค่าลบคือค่าสีน้ำเงินและค่าบวกคือค่าสีเหลือง) จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.8-4.10) พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ของน้ำล้นจีทุกตัวอย่าง ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่าค่า  $L^*$  ของน้ำล้นจีทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งส่งผลให้ความสว่างของน้ำล้นจีมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า  $L^*$  ระหว่างตัวอย่างของน้ำล้นจี พบว่าน้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์มีค่า  $L^*$  มากที่สุด เนื่องจากความร้อนได้ทำลายรงควัตถุและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกกับออกซิเจนให้เกิดเป็นสารสีน้ำตาลในน้ำผลไม้ (Santhirasegaram และคณะ, 2015) ส่งผลให้น้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์มีความสว่างมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีระหว่างน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> พบว่าน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 37.44 J/cm<sup>2</sup> มีค่า  $L^*$  มากกว่าน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 J/cm<sup>2</sup> เนื่องจากปริมาณรังสียูวีที่สูงขึ้นทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์สามารถดูดกลืนอนุภาคโฟตอนของรังสียูวีได้มากขึ้นและส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา photo-degradation ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโมเลกุลสารอินทรีย์ (Koutchma, 2009; Pala และ Toklucu, 2013a) ในขณะที่ ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ของน้ำล้นจีทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ส่งผลให้น้ำล้นจีมีสีคล้ำขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่ศึกษาค่าสีของน้ำองุ่นขาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยพบว่าน้ำองุ่นขาวควบคุมและน้ำองุ่นขาวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 9.92 J/cm<sup>2</sup> มีค่า  $L^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากเกิดการเสื่อมสลายของรงควัตถุของน้ำองุ่นขาวในระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhat และ Stammering (2014) ที่ศึกษาค่าสีของน้ำสตรอว์เบอร์รี่ควบคุม และน้ำสตรอว์เบอร์รี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 2.158 J/m<sup>2</sup> (เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาที) โดยพบว่า การฉายรังสียูวีเป็นเวลานานขึ้น จะส่งผลให้ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ของน้ำสตรอว์เบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

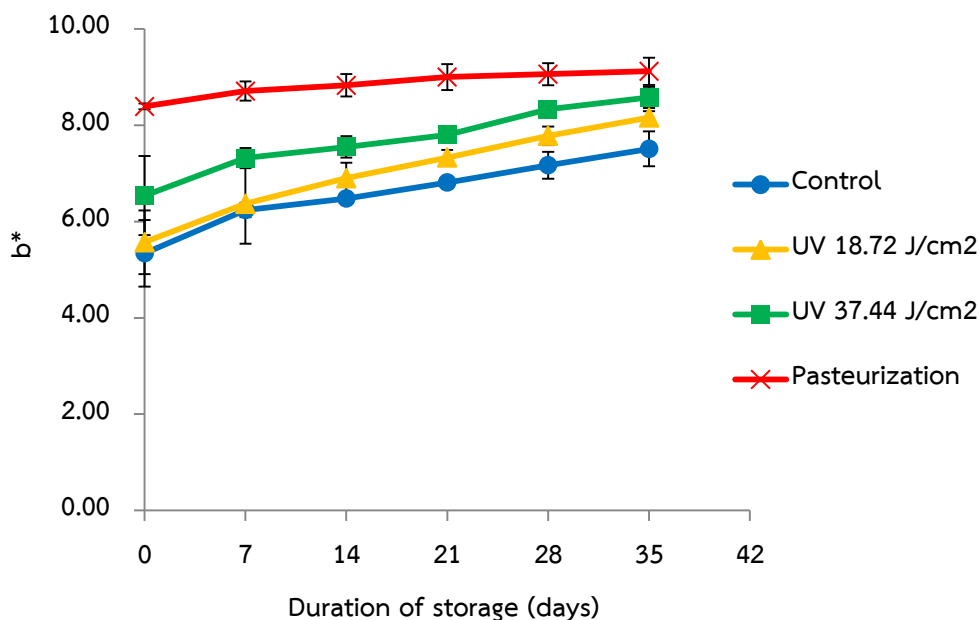




รูปที่ 4.8 ค่า L\* ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



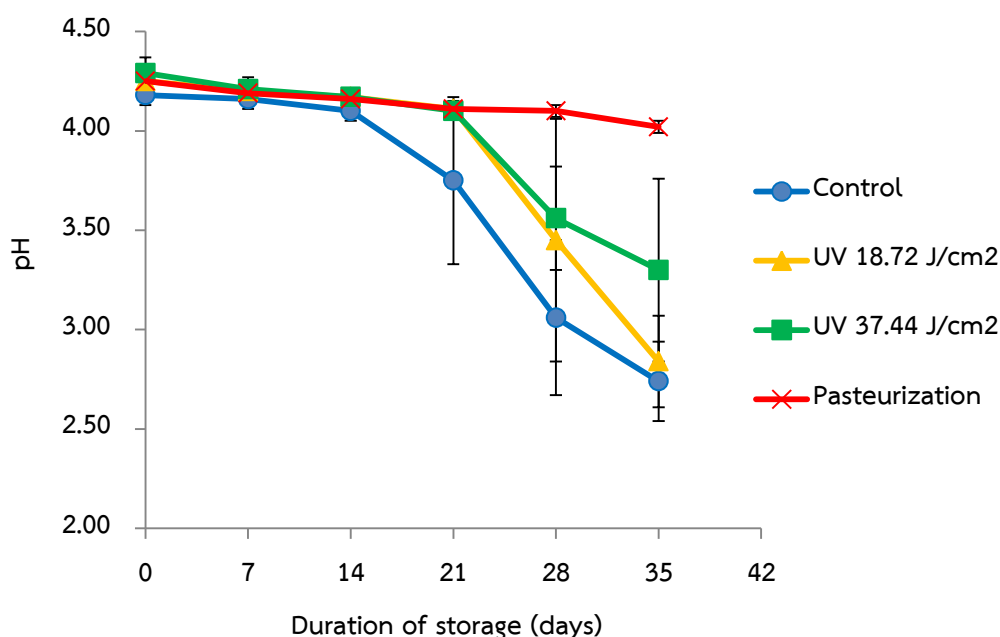
รูปที่ 4.9 ค่า a\* ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 4.10 ค่า  $b^*$  ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

จากผลการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.11) พบว่าค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 4.18±0.05, 4.25±0.07, 4.29±0.08 และ 4.25±0.02 ตามลำดับ โดยระยะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่าง ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าน้ำลิ้นจี่มีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเท่ากับ 2.74±0.20, 2.84±0.23, 3.30±0.46 และ 4.02±0.03 ตามลำดับ ค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมเสียจำพวกแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนหรือแอโรบิกแบคทีเรีย (aerobic bacteria) มีการเจริญเพิ่มขึ้นแล้วใช้เอนไซม์ต่างๆ ที่อยู่ในภายในเซลล์ในการเมทาบอลิซึมน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ให้เป็นกรดอินทรีย์ (Feng และคณะ, 2013; Unluturk และ Atilgan, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่ศึกษาค่า pH ของน้ำองุ่นขาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน และพบว่าค่า pH ของน้ำองุ่นขาวควบคุม และน้ำองุ่นขาวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 9.92 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้

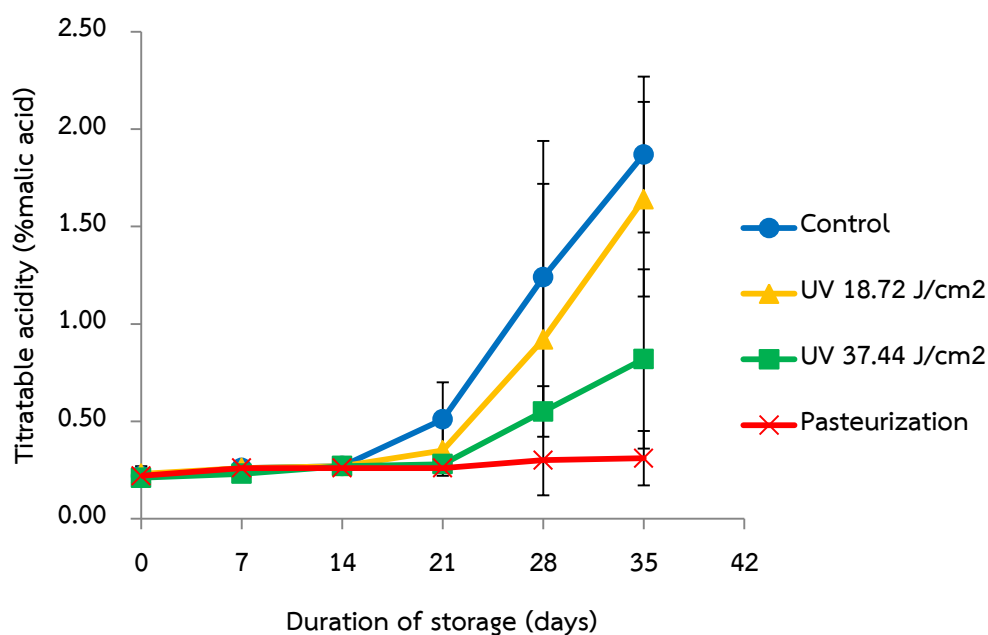
ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng และคณะ (2013) ที่ศึกษาค่า pH ของน้ำแตงโมในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 37 วัน และพบว่าค่า pH ของน้ำแตงโมควบคุม และน้ำแตงโมที่ผ่านการฉายรังสียูวี 2.7 และ 37.5 J/mL มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.11 ค่า pH ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ คือการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและกลิ่นรสของน้ำผลไม้ (Bhat, 2016; Mohd-Hanif และคณะ, 2016) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.12) พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 0.22±0.02, 0.23±0.04, 0.21±0.02 และ 0.22±0.02 (% กรดมาลิก) ตามลำดับ โดยระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่ควบคุม และน้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์ ( $p > 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเท่ากับ 1.87±0.40, 1.64±0.50, 0.82±0.46 และ 0.31±0.14 (% กรดมาลิก)

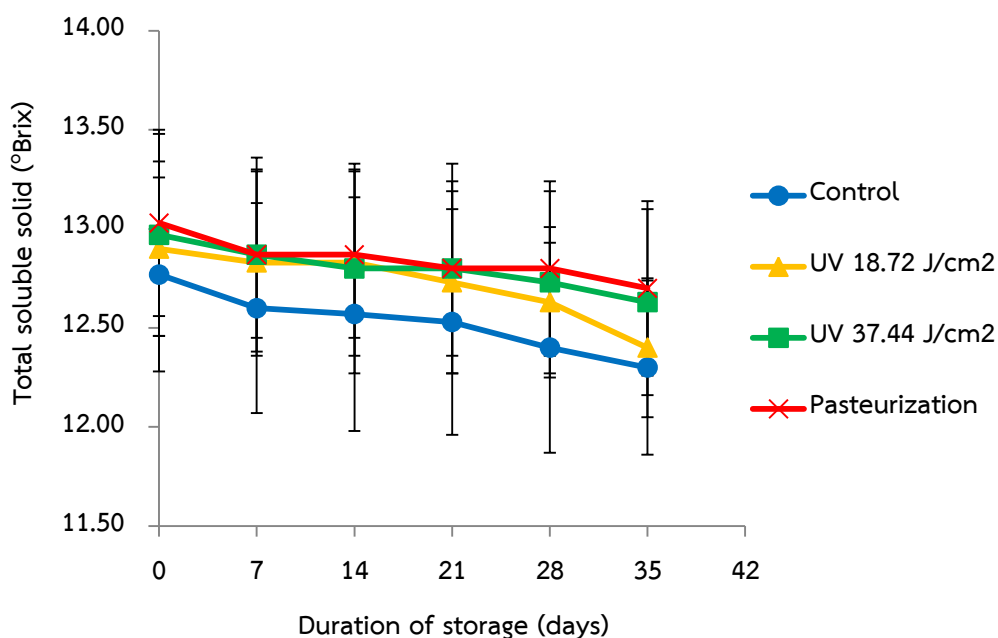
ตามลำดับ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำล้นจีมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษามีการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมเสียเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเมทาบอลไลท์น้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำผลไม้เพื่อการเจริญแล้วเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลกติกและแอสซิดิก เป็นต้น จึงทำให้น้ำผลไม้ไม่มีความเป็นกรดสูงขึ้น (Nualkaekul และ Charalampopoulos, 2011; Unluturk และ Atilgan, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่ศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำองุ่นขาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยพบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำองุ่นขาวควบคุม และน้ำองุ่นขาวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 9.92 J/cm<sup>2</sup> มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juarez-Enriquez และคณะ (2016) ที่ศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำแอปเปิ้ลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 20 °C เป็นเวลา 24 วัน โดยพบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายรังสียูวี 345.6 J/cm<sup>2</sup> มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)



รูปที่ 4.12 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็นค่าบ่งชี้ความบริบูรณ์หรือความสุกแก่ (maturity) ของผลไม้ โดยวิเคราะห์อยู่ในรูปความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้ ซึ่งองค์ประกอบหลักที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้ คือ น้ำตาล ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ คือ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน เพกตินที่ละลายน้ำได้ และวิตามิน เป็นต้น (Mohd-Hanif และคณะ, 2016; Shamsudin และคณะ, 2014)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.13) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเริ่มต้น (วันที่ 0) เท่ากับ 12.77±0.49, 12.90±0.44, 12.97±0.51 และ 13.03±0.47 °Brix ตามลำดับ โดยระยะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่าง (p>0.05) เมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง (p>0.05) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเท่ากับ 12.30±0.44, 12.40±0.35, 12.63±0.47 และ 12.70±0.44 °Brix ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษามีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น โดยจุลินทรีย์สามารถใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล เพื่อการเจริญและการหมักซึ่งส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (Chia และคณะ, 2012; Rivas และคณะ, 2006; Rosen และ Gothard, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำองุ่นขาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำองุ่นขาวควบคุมและน้ำองุ่นขาวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 9.92 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ La Cava และ Sgroppo (2015) ที่ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเกรปฟรุตในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน และอุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 16 วัน โดยพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเกรปฟรุตควบคุมและน้ำเกรปฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวี 1.83, 2.84 และ 3.94 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

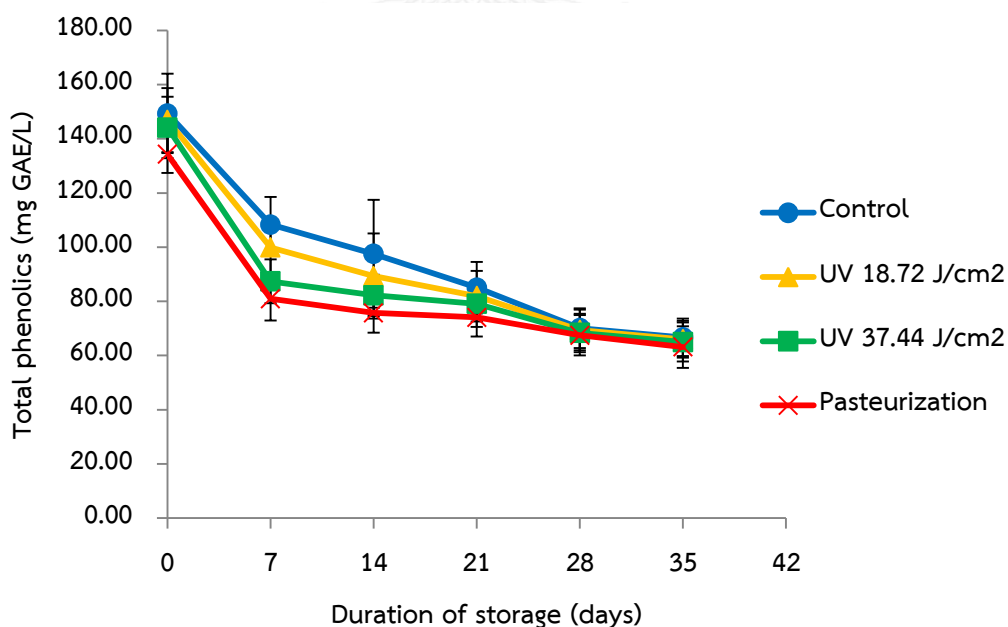


รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

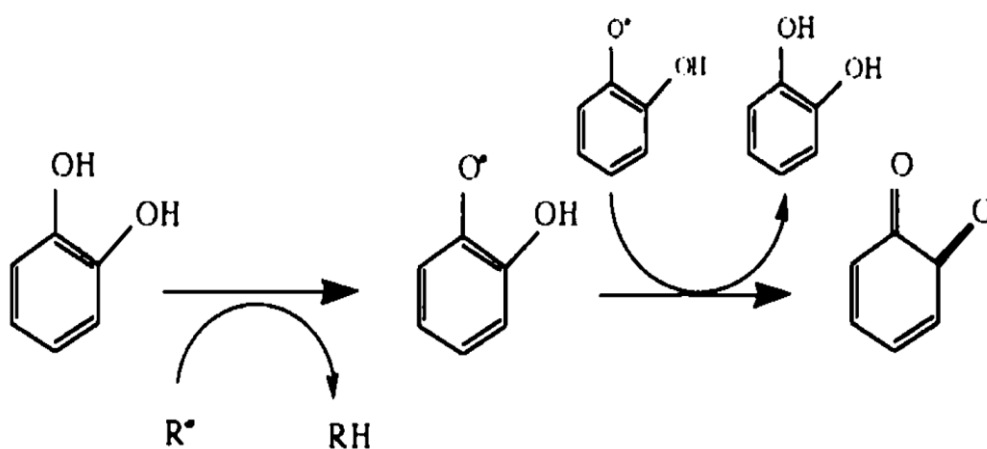
สารประกอบฟีนอลิก คือสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่พืชสร้างขึ้น ซึ่งมีบทบาทในการส่งเสริมสุขภาพเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน รวมถึงให้สีและกลิ่นรสของน้ำผลไม้ สารประกอบฟีนอลิกสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ดังนั้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่งของคุณภาพน้ำผลไม้ (Ghafoor และ Choi, 2012; Kaur และ Kapoor, 2001)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.14) พบว่าความแตกต่างของทรีทเมนต์ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นไม่เท่ากัน เนื่องจากความร้อนจากการพาสเจอไรซ์สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกได้มากที่สุด ในขณะที่การฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่างกัน กล่าวคือ การฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงกว่า (37.44 J/cm<sup>2</sup>) ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถถูกกลืนอนุภาคโฟตอนแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า การฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่ำกว่า (18.72 J/cm<sup>2</sup>) ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (วันที่ 0) ของน้ำลิ้นจี่ควบคุมมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอไรซ์ ตามลำดับ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 149.34±14.66, 146.92±11.84,

144.14±11.36 และ 134.29±6.87 mg gallic acid equivalent (GAE)/mL ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าระยะเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่าง ( $p \leq 0.05$ ) กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ควบคุม น้ำลิ้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำลิ้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีค่าเท่ากับ 66.72±6.87, 66.01±6.80, 65.00±7.21 และ 63.13±7.67 mg GAE/mL ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ La Cava และ Sgroppo (2015) ที่ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำเกรปฟรุตในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน และอุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 16 วัน โดยพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำเกรปฟรุตควบคุม และน้ำเกรปฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวี 1.83, 2.84 และ 3.94 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 30) พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำเกรปฟรุตควบคุม และน้ำเกรปฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีค่าลดลง 14% และ 11-20% ตามลำดับ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ phenoxy radical ซึ่งส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลง (Brand-Williams และคณะ, 1995) ดังกลไกที่แสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



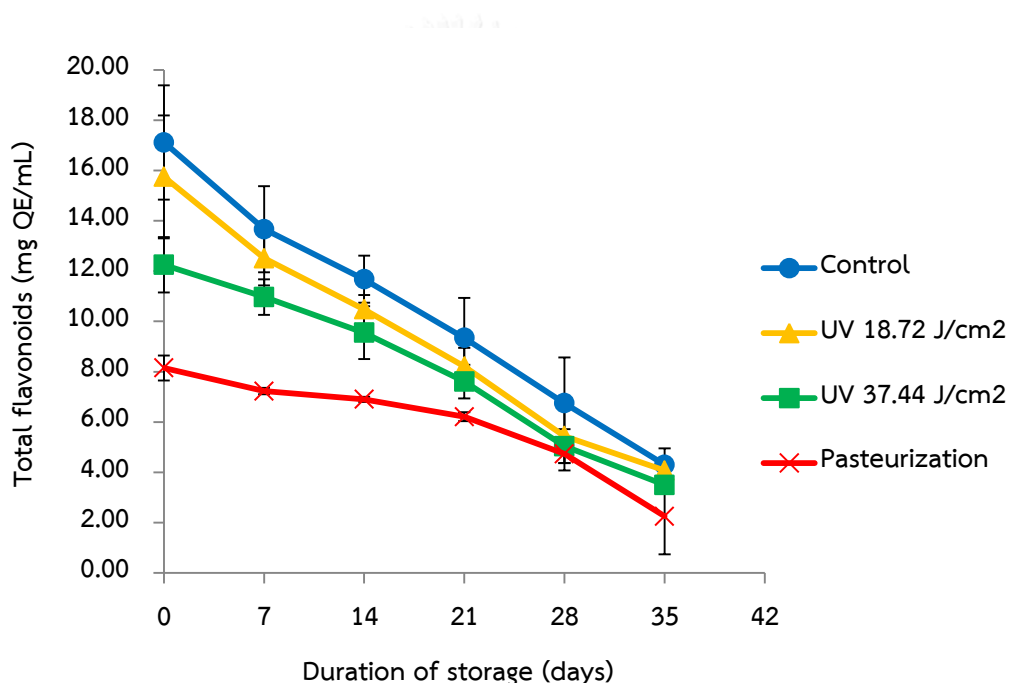
รูปที่ 4.15 กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

(Brand-Williams และคณะ, 1995)

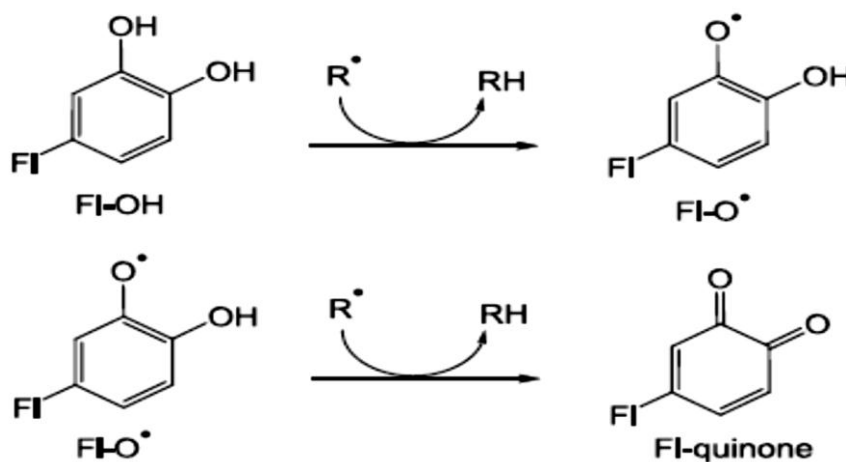
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.16) พบว่าความแตกต่างของทริทเม้นต์ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นไม่เท่ากัน เนื่องจากฟลาโวนอยด์จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยความร้อนจากการพาสเจอร์ไรส์สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายโครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์ได้มากที่สุด ในขณะที่การฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารฟลาโวนอยด์ต่างกัน กล่าวคือการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงกว่า ( $37.44\text{ J/cm}^2$ ) ทำให้สารฟลาโวนอยด์สามารถดูดกลืนอนุภาคโฟตอนแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโครงสร้างฟลาโวนอยด์มากกว่าการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่ำกว่า ( $18.72\text{ J/cm}^2$ ) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (วันที่ 0) ของน้ำล้นจี่ควบคุมมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ น้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี  $18.72$  และ  $37.44\text{ J/cm}^2$  และน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรส์ ตามลำดับ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ เท่ากับ  $17.12\pm 2.27$ ,  $15.75\pm 2.44$ ,  $12.25\pm 1.10$  และ  $8.15\pm 0.50\text{ mg quercetin equivalent (QE)/mL}$  ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่าง ( $p\leq 0.05$ ) กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ควบคุมน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี  $18.72$  และ  $37.44\text{ J/cm}^2$  และน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรส์มีค่าเท่ากับ  $4.30\pm 0.65$ ,  $4.07\pm 0.50$ ,  $3.50\pm 0.23$  และ  $2.25\pm 1.51\text{ mg QE/L}$



ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goh และคณะ (2012) ที่ศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำสับปรดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยพบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำสับปรดควบคุม น้ำสับปรดที่ผ่านการฉายรังสียูวี 7.5 mJ/cm<sup>2</sup> และน้ำสับปรดพาสเจอร์ไรซ์มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากสารฟลาโวนอยด์ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ flavonoid phenoxyl radical (Fl-O•) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าลดลง (Procházková และคณะ, 2011) ดังกลไกที่แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำสับปรดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

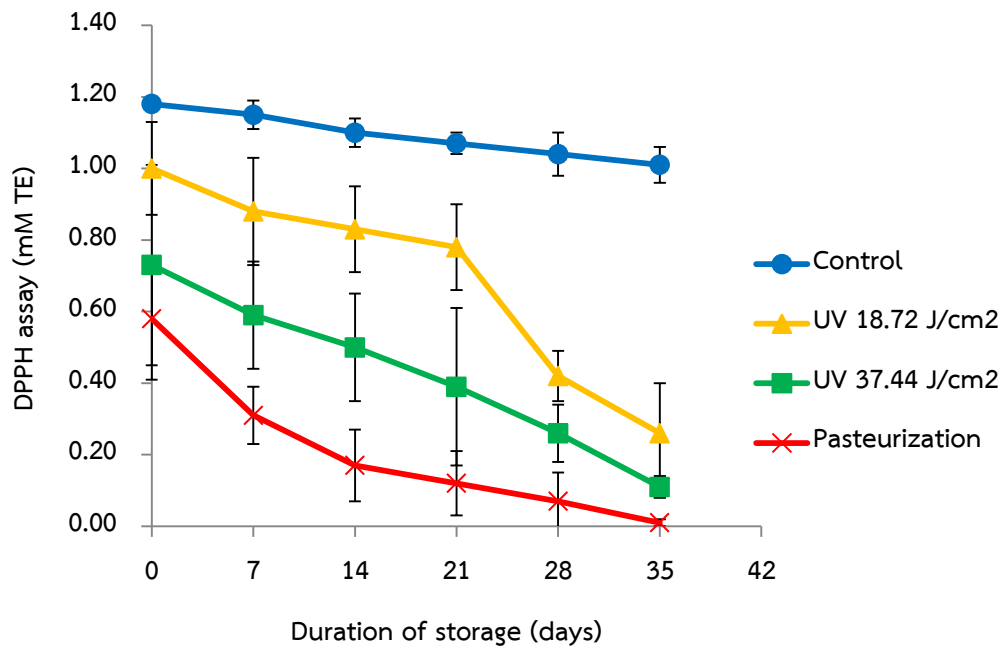


รูปที่ 4.17 กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์  
(Procházková และคณะ, 2011)

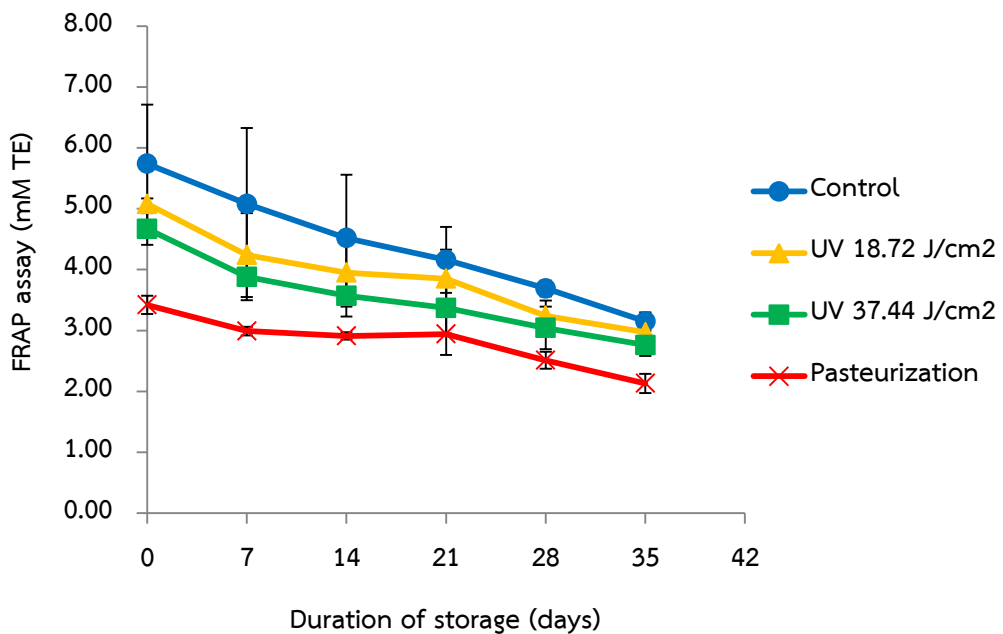
จากผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำล้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.18-4.19) พบว่าความแตกต่างของทริทแมนต์ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นไม่เท่ากัน เนื่องจากความร้อนจากการพาสเจอร์ไรส์สามารถทำลายโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันได้มากที่สุด ในขณะที่การฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารต้านออกซิเดชันต่างกัน กล่าวคือการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสสูงกว่า (37.44 J/cm<sup>2</sup>) ทำให้สารต้านออกซิเดชันสามารถดูดกลืนอนุภาคโฟตอนแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่บริเวณโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันมากกว่าการฉายรังสียูวีที่ปริมาณโดสต่ำกว่า (18.72 J/cm<sup>2</sup>) จึงทำให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำล้นจี่ควบคุมมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ น้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรส์ ตามลำดับ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH (วันที่ 0) มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.18±0.01, 1.00±0.13, 0.73±0.28 และ 0.58±0.17 mM trolox equivalent (TE) ตามลำดับ ในขณะที่ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP (วันที่ 0) มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 5.74±0.97, 5.08±0.09, 4.67±0.26 และ 3.42±0.15 mM TE ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่าง (p<0.05) กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าน้ำล้นจี่ควบคุม น้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรส์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH เท่ากับ

1.01±0.05, 0.26±0.14, 0.11±0.03 และ 0.01±0.01 mM TE ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP เท่ากับ 3.15±0.15, 2.97±0.14, 2.76±0.18 และ 2.13±0.16 mM TE ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ La Cava และ Sgroppo (2015) ที่ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของน้ำเกรปฟรุตในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน โดยพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำเกรปฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวี 1.83, 2.84 และ 3.94 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 30) พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำเกรปฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวี 1.83, 2.84 และ 3.94 J/cm<sup>2</sup> มีค่าลดลงจากน้ำเกรปฟรุตควบคุม 10%, 22.5% และ 27% ตามลำดับ

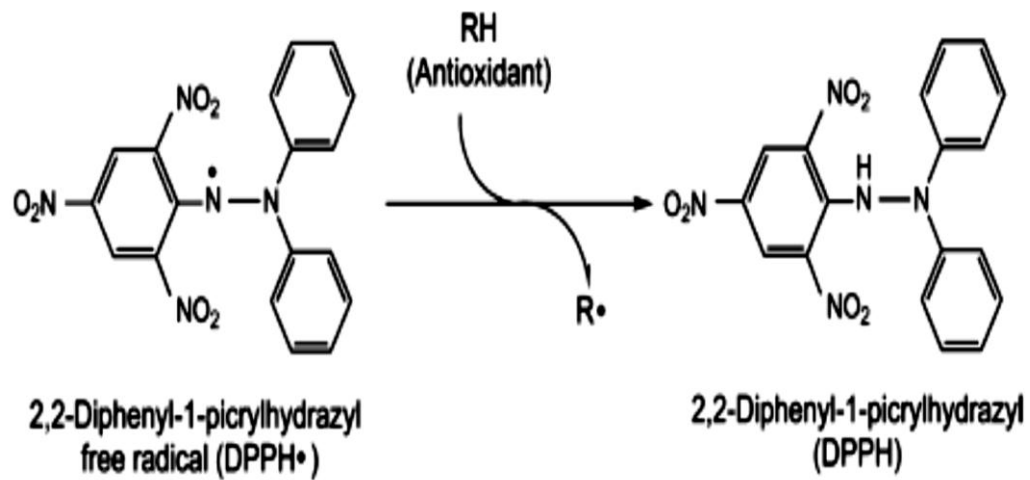
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำลีนจี่พาสเจอไรซ์และน้ำลีนจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวี (18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup>) มีค่าเริ่มต้นที่แตกต่างจากน้ำลีนจี่ควบคุม เนื่องจากรังสียูวีและความร้อนสามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำลีนจี่ส่งผลให้เกิด singlet oxygen (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) และ hydroxyl radical (OH•) เมื่อสารต้านออกซิเดชันในน้ำลีนจี่จับกับอนุมูลอิสระดังกล่าวส่งผลให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำลีนจี่มีค่าลดลง (Abdul Karim Shah และคณะ, 2016) สำหรับกลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP มีความแตกต่างกัน โดยกลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH เกิดจากสารต้านออกซิเดชันให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ DPPH• ซึ่งส่งผลให้สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH• ที่มีสีม่วงเปลี่ยนไปเป็นสารละลาย DPPH ที่มีสีเหลือง ดังกลไกที่แสดงในรูปที่ 4.20 (Brand-Williams และคณะ, 1995) ในขณะที่กลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP เกิดจากสารต้านออกซิเดชันให้อิเล็กตรอนแก่สารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyl-triazine (Fe<sup>3+</sup>-TPTZ) แล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe<sup>2+</sup>-TPTZ) ที่มีสีน้ำเงินเข้ม ดังกลไกที่แสดงในรูปที่ 4.21 (Moon และ Shibamoto, 2009) ซึ่งการลดลงของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP เป็นผลมาจากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 4.14 และ 4.16)



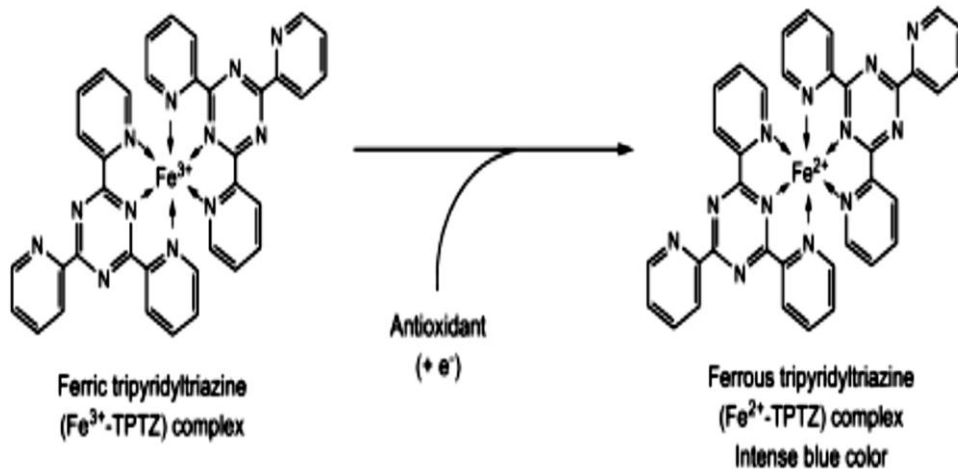
รูปที่ 4.18ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 4.19ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C



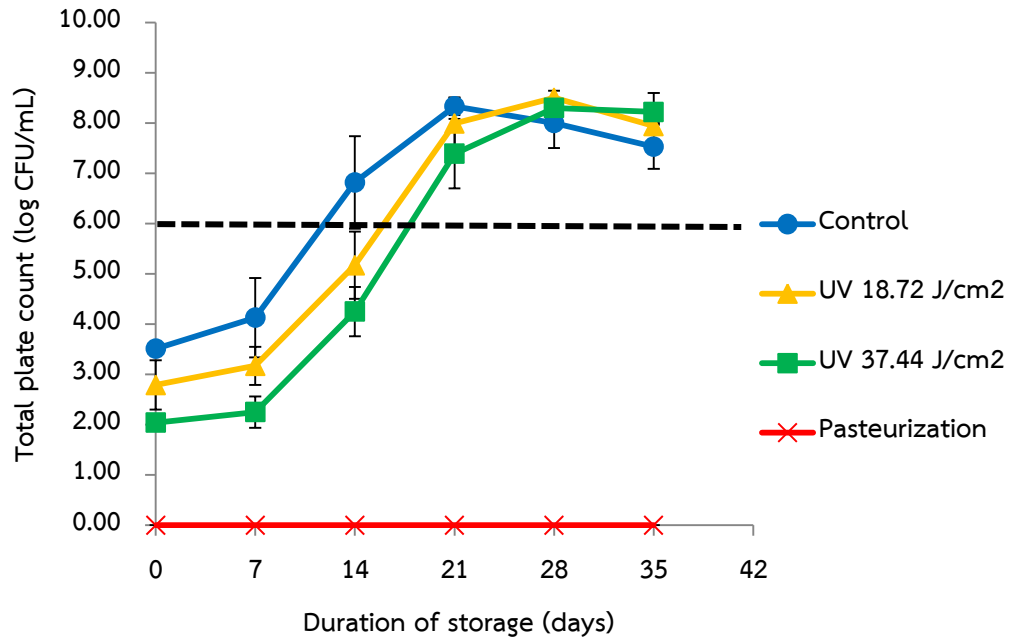
รูปที่ 4.20 กลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH (Moon และ Shibamoto, 2009)



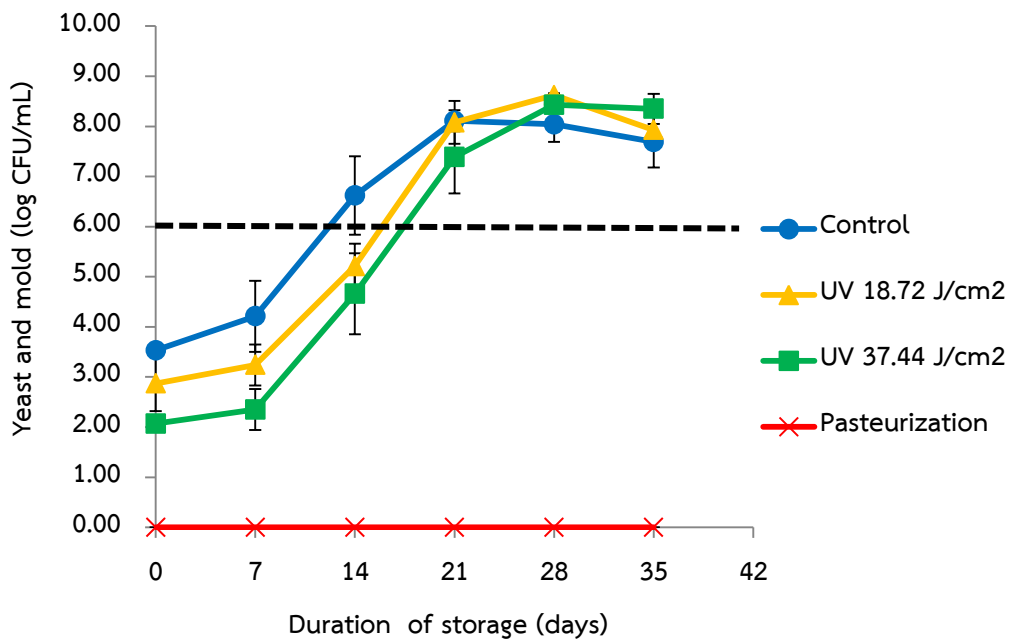
รูปที่ 4.21 กลไกของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP (Moon และ Shibamoto, 2009)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 35 วัน (รูปที่ 4.22-4.23) พบว่าความแตกต่างของทริทแมนต์ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจีทุกตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นไม่เท่ากัน โดยน้ำล้นจีควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเพิ่มสูงขึ้นและรวดเร็วที่สุด รองลงมาคือน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจีพาสเจอร์ไรซ์ตามลำดับ โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (วันที่ 0) มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 3.51±0.13, 2.79±0.49, 2.04±0.16 log CFU/mL และ <10 CFU/mL ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณยีสต์และรา (วันที่ 0) มี

ค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $3.53 \pm 0.02$ ,  $2.87 \pm 0.55$ ,  $2.07 \pm 0.14$  log CFU/mL และ  $<10$  CFU/mL ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจีควบคุม และน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์ ( $p > 0.05$ ) การเสื่อมเสียของน้ำล้นจีควบคุม และน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวีเกิดจากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเจริญเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 35) พบว่าน้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $7.53 \pm 0.44$ ,  $7.94 \pm 0.06$ ,  $8.22 \pm 0.38$  log CFU/mL และ  $<10$  CFU/mL ตามลำดับ และมีปริมาณยีสต์และราเท่ากับ  $7.69 \pm 0.51$ ,  $7.93 \pm 0.34$ ,  $8.35 \pm 0.30$  log CFU/mL และ  $<10$  CFU/mL ตามลำดับ น้ำผลไม้ที่มีความปลอดภัยในการบริโภคควรมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/mL (Chia และคณะ, 2012) จึงทำให้น้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 7, 14 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยรังสียูวีสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำล้นจีได้นานกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 7 วัน ในขณะที่น้ำล้นจีพาสเจอไรซ์ (วันที่ 35) ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์และเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์สูญเสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งมีผลทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลายและไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ความร้อนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีกว่าการฉายรังสียูวีเพราะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำล้นจีได้นานที่สุด (มากกว่า 35 วัน) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unluturk และ Atilgan (2015) ที่รายงานว่าน้ำองุ่นควบคุม และน้ำองุ่นที่ผ่านการฉายรังสียูวี 9.92 J/cm<sup>2</sup> มีอายุการเก็บรักษานาน 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยรังสียูวีสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำองุ่นขาวได้นานกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 7 วัน รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chia และคณะ (2012) ที่รายงานว่าน้ำสับปะรดพาสเจอไรซ์ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา และมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 13 สัปดาห์ โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ วิธีการกระบวนการแปรรูป อุณหภูมิการเก็บรักษา ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น และสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผลไม้ เช่น ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็นต้น (La Cava และ Sgroppo, 2015)



รูปที่ 4.22 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

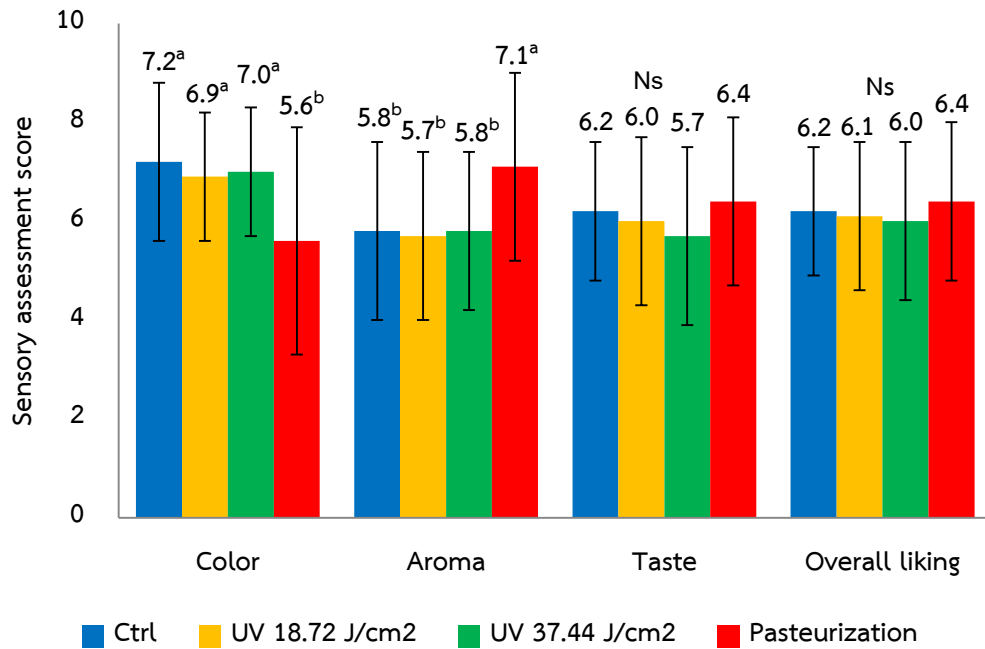


รูปที่ 4.23 ปริมาณยีสต์และราของน้ำลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

#### 4.4 ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี

จากการศึกษาการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คนที่มีต่อน้ำล้นจี 4 ทริทเมนต์ ได้แก่ น้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 18.72 และ 37.44 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์ พบว่าคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นของน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีความแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสีพบว่าน้ำล้นจีควบคุมมีคะแนนมากที่สุด ( $7.2 \pm 1.6$ ) รองลงมาคือน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 37.44 J/cm<sup>2</sup> และ 18.72 J/cm<sup>2</sup> และน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์ โดยมีคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ  $7.0 \pm 1.3$ ,  $6.9 \pm 1.3$  และ  $5.6 \pm 2.3$  ตามลำดับ (รูปที่ 4.24) คะแนนความชอบด้านสีของน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีคะแนนน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ส่งผลให้น้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีสีเหลืองอมน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่า b\* ของน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์ที่มีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ด้วยเช่นกัน (รูปที่ 4.10) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่นพบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีค่ามากที่สุด ( $7.1 \pm 1.9$ ) รองลงมาคือน้ำล้นจีควบคุม น้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี 37.44 และ 18.72 J/cm<sup>2</sup> โดยมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ  $5.8 \pm 1.8$ ,  $5.8 \pm 1.6$  และ  $5.7 \pm 1.7$  ตามลำดับ น้ำล้นจีพาสเจอไรซ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อาจเนื่องมาจากผู้ทดสอบส่วนใหญ่อาจคุ้นเคยกับกลิ่น cooked flavor ของน้ำล้นจีที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เช่น น้ำล้นจีบรรจุกล่อง น้ำล้นจีบรรจุขวด และน้ำล้นจีบรรจุกระป๋องที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดมากกว่าน้ำล้นจีคั้นสดและน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวี ในขณะที่คะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของน้ำล้นจีทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernández-Carranza และคณะ (2016) ที่ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำแครอท (เข้มข้น 60, 80 และ 100% v/v) และพบว่าน้ำแครอทควบคุมและน้ำแครอทที่ผ่านการฉายรังสียูวี 79.2 J/cm<sup>2</sup> มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยน้ำแครอทควบคุม (เข้มข้น 60, 80 และ 100% v/v) มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ  $6.6 \pm 1.6$ ,  $6.5 \pm 1.8$  และ  $7.1 \pm 1.4$  ตามลำดับ ในขณะที่น้ำแครอทที่ผ่านการฉายรังสียูวี 79.2 J/cm<sup>2</sup> (เข้มข้น 60, 80 และ 100% v/v) มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ  $6.4 \pm 1.8$ ,  $5.7 \pm 2.0$  และ  $6.2 \pm 1.9$  ตามลำดับ





รูปที่ 4.24 คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี

หมายเหตุ: a-b คือ ตัวอักษรที่กำกับบนกราฟแตกต่างกันในแต่ละลักษณะทางประสาทสัมผัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การลดลงของสมบัติทางจุลชีววิทยา (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และรา) และสมบัติทางเคมี (ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP) ของน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวีสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง

ระยะเวลาเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่าง แต่ส่งผลต่อค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่าง ในขณะที่ระยะเวลาเก็บรักษาส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำล้นจี่ควบคุมและน้ำล้นจี่ที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 18.72 และ 37.44  $J/cm^2$  แต่ไม่ส่งผลต่อน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรซ์ โดยการฉายรังสียูวีที่ 18.72 และ 37.44  $J/cm^2$  สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำล้นจี่ได้นานกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 7 วัน

น้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ โดยน้ำล้นจี่ควบคุมมีคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด และน้ำล้นจี่พาสเจอร์ไรซ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากที่สุด นอกจากนี้คะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของน้ำล้นจี่ทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

#### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของรังสียูวีในระดับห้องปฏิบัติการ หากนำไปใช้จริงในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรมมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมและประยุกต์การใช้งานให้เหมาะสมกับน้ำผลไม้แต่ละชนิด โดยพิจารณาถึงสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ และปฏิบัติตามข้อกำหนดทางกฎหมายที่สำคัญของการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กลุ่มเกษตรสัญจร. (2530). *ลีนี่-ลำไย*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมมติรอฟเซท.
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2556). *เทคโนโลยีผักและผลไม้*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. (2541). ทฤษฎีการผลิตน้ำผลไม้บรรจุขวดพร้อมดื่ม และความรู้เกี่ยวกับการขึ้นทะเบียนฯ. *อาหาร*, 28(3), 157-167.
- รังสิณี โสธรวิทย์. (2553). *เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัตนา อัดตปัญญา, นิธิยา รัตนาปนนท์, เบญจมาศ พวงสมบัติ, วัฒนา เอื้อตรงจิตต์ และ ดรุณี มูลโรจน์. (2544). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลีนี่และศึกษาอายุการเก็บรักษา. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- ศุภรัตน์ ศิริสกุลวัฒน์. (2544). *การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีในลีนี่ระหว่างกระบวนการแปรรูป*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สุมาลี เหลืองสกุล. (2541). *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ชัยเจริญ.
- แสง เกิดประทุม. (2559). *แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Light)* [ออนไลน์]. Available from <http://www.tistr.or.th/ed/?p=537>

### ภาษาอังกฤษ

- Abdul Karim Shah, N., Shamsudin, R., Abdul Rahman, R. and Adzahan, N. (2016). Fruit Juice Production Using Ultraviolet Pasteurization: A Review. *Beverages*, 2(3), 22.
- Alothman, M., Bhat, R. and Karim, A. A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 512-516.

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (17<sup>th</sup> ed.): Gaithersburg, Md., AOAC International.
- Assatarakul, K., Churey, J. J., Manns, D. C. and Worobo, R. W. (2012). Patulin reduction in apple juice from concentrate by UV radiation and comparison of kinetic degradation models between apple juice and apple cider. *Journal of Food Protection*, 75(4), 717-724.
- Bates, R. P., Morris, J. R. and Crandall, P. G. (2001). Principles and practices of small- and medium-scale fruit juice processing. *FAO Agricultural Services Bulletin* 146, 135-149.
- Begum, M., Hocking, A. D. and Miskelly, D. (2009). Inactivation of food spoilage fungi by ultra violet (UVC) irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 129(1), 74-77.
- 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.
- Bhat, R. (2016). Impact of ultraviolet radiation treatments on the quality of freshly prepared tomato (*Solanum lycopersicum*) juice. *Food Chemistry*, 213, 635-640.
- Bhat, R. and Stamminger, R. (2014). Impact of ultraviolet radiation treatments on the physicochemical properties, antioxidants, enzyme activity and microbial load in freshly prepared hand pressed strawberry juice. *Food Science and Technology International*, 21(5), 354-363.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. and Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637-645.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.

- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. A. and Lyng, J. G. (2010). The Effect of Ultraviolet Light on Microbial Inactivation and Quality Attributes of Apple Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680-686.
- Cantos, E., Garcia-Viguera, C., Pascual-Teresa, S. and Tomas-Barberan, F. A. (2000). Effect of postharvest ultraviolet radiation on resveratrol and other phenolics of cv. Napoleon table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4606-4612.
- Caron, E., Chevrefils, G., Barbeau, B., Payment, P. and Prévost, M. (2007). Impact of microparticles on UV disinfection of indigenous aerobic spores. *Water Research*, 41(19), 4546-4556.
- 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 pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001-1010
- EPA. (1999). *Ultraviolet Disinfection. Wastewater Technology Fact Sheet. EPA 832-F-99-064.*
- 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.
- Fernández-Vázquez, R., Hewson, L., Fisk, I., Vila, D. H., Mira, F. J. H., Vicario, I. M. and Hort, J. (2014). Colour influences sensory perception and liking of orange juice. *Flavour*, 3(1), 1-8.
- Fonseca, J. M. and Rushing, J. W. (2006). Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 256-261.

- Ghafoor, K. and Choi, Y. H. (2012). Polyphenoloxidase deactivation in juice from “Campbell Early” grapes by heating under vacuum pressure. *Journal of Food Process Engineering*, 35(3), 391-402.
- Goh, S. G., Noranizan, M., Leong, C. M., C.C., S. 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.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y., Buta, J. G. and Krizek, D. T. (2001). Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe ‘Tommy Atkins’ mangoes. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(7), 767-773.
- Graumlich, T. R., Marcy, J. E. and Adams, J. P. (1986). Aseptically packaged orange juice and concentrate: a review of the influence of processing and packaging conditions on quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 402-405.
- Guerrero-Beltrán, J. A. and Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology International*, 10(3), 137-147.
- Guerrero-Beltrán, J. A. and Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light. *Journal of Food Process Engineering*, 28(5), 437-452.
- Guo, M., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G., Zhang, M. and Chen, Y. (2011). Effects on microbial inactivation and quality attributes in frozen lychee juice treated by supercritical carbon dioxide. *European Food Research and Technology*, 232(5), 803-811.
- Hassen, A., Mahrouk, M., Ouzari, H., Cherif, M., Boudabous, A. and Damelincourt, J. J. (2000). UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresource Technology*, 74(2), 141-150.

- Hernández-Carranza, P., Ruiz-López, I. I., Pacheco-Aguirre, F. M., Guerrero-Beltrán, J. Á., Ávila-Sosa, R. and Ochoa-Velasco, C. E. (2016). Ultraviolet-C light effect on physicochemical, bioactive, microbiological, and sensorial characteristics of carrot (*Daucus carota*) beverages. *Food Science and Technology International*, 22(6), 536-546.
- Huang, S.-H., Chen, E. h.-F., Wu, C.-T., Kuo, C.-L. and Tsay, H.-S. (2013). Comparative analysis among three Taiwan-specific *Gentiana* species and Chinese medicinal plant *Gentiana scabra*. *Botanical Studies*, 54(1), 1-7.
- Juarez-Enriquez, E., Salmerón, I., Gutierrez-Mendez, N. and Ortega-Rivas, E. (2016). Ultraviolet Irradiation Effect on Apple Juice Bioactive Compounds during Shelf Storage. *Foods*, 5(1), 1-8.
- Kaur, C. and Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium's health. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(7), 703-725.
- Keyser, M., Müller, 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(3), 348-354.
- Koutchma, T. (2009). Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-thermal Processing of Liquid Foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138-155.
- Koutchma, T., Forney, L. J. and Moraru, C. I. (2009). *Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications*: CRC Press.
- Koutchma, T., Parisi, B. and Patazca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 319-328.
- Koutchma, T., Parisi, B. and Unluturk, S. K. (2006). Evaluation of UV dose in flow through reactors for fresh apple juice and cider. *Chemical Engineering Communications*, 193(6), 715-728.

- La Cava, E. L. M. and Sgroppo, S. C. (2015). Evolution during refrigerated storage of bioactive compounds and quality characteristics of grapefruit [*Citrus paradisi* (Macf.)] juice treated with UV-C light. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1325-1333.
- Li, C., Hao, J., Zhong, H., Dang, M. and Xie, B. (2009). Aroma components at various stages of litchi juice processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(14), 2405-2414.
- Menzel, C. M. (2002). *The lychee crop in Asia and the Pacific*. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok (Thailand).
- Menzel, C. M., Watson, B. J. and Simpson, D. R. (1988). The lychee in Australia. *Queensland Agriculture Journal*, 144, 19-27.
- Mohd-Hanif, H., Shamsudin, R. and Adzahan, N. M. (2016). UVC dosage effects on the physico-chemical properties of lime (*Citrus aurantifolia*) juice. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 63-67.
- Montgomery, J. M. (1985). *Water Treatment: Principles and Design*. New York: John Wiley.
- Moon, J. K. and Shibamoto, T. (2009). Antioxidant Assays for Plant and Food Components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1655-1666.
- Morris, C., Brody, A. L. and Wicker, L. (2007). Non-thermal food processing/preservation technologies: a review with packaging implications. *Packaging Technology and Science*, 20(4), 275-286.
- Murakami, E. G., Jackson, L., Madsen, K. and Schickedanz, B. (2006). Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system. *Journal of Food Process Engineering*, 29(1), 53-71.
- NACMCF. (2006). Requisite Scientific Parameters for Establishing the Equivalence of Alternative Methods of Pasteurization. *Journal of Food Protection*, 69(5), 1190-1216.



- Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D. A., Morgan, D. J. and Lyng, J. G. (2008). Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple Juice. *Journal of Food Engineering*, 85(1), 141-146.
- Nualkaekul, S. and Charalampopoulos, D. (2011). Survival of *Lactobacillus plantarum* in model solutions and fruit juices. *International Journal of Food Microbiology*, 146(2), 111-117.
- Ochoa-Velasco, C. E. and Guerrero Beltrán, J. Á. (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, Ç. U. and Toklucu, A. K. (2011). 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, Ç. U. and Toklucu, A. K. (2013a). Effects of UV-C Light Processing on Some Quality Characteristics of Grape Juices. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 719-725.
- Pala, Ç. U. and Toklucu, A. K. (2013b). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 426-431.
- Phunchaisri, C. and Apichartsrangkoon, A. (2005). Effects of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food Chemistry*, 93(1), 57-64.
- Procházková, D., Boušová, I. and Wilhelmová, N. (2011). Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*, 82(4), 513-523.
- Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Barbosa-Cánovas, G. V. and Rodrigo, M. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1163-1170.

- Rosen, J. and Gothard, L. Q. (2010). *Encyclopedia of physical science* (Vol. 1). New York: Infobase Publishing.
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., 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.
- Shamsudin, R., Mohd Adzahan, N., Pui Yee, 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*, 23, 114-120.
- Slinkard, K. and Singleton, V. L. (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55.
- Souza, M. C. C. d., Benassi, M. d. T., Meneghel, R. F. d. A. and Silva, R. S. d. S. F. d. (2004). Stability of unpasteurized and refrigerated orange juice. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47, 391-397.
- Torkamani, A. E. and Niakousari, M. (2011). Impact of UV-C light on orange juice quality and shelf life. *International Food Research Journal*, 18(4), 1265-1268.
- Tran, M. T. T. and Farid, M. (2002). *Ultraviolet disinfection of carrot juice*. Paper presented at the Proceeding of the 9<sup>th</sup> annual New Zealand Engineering and Technology Postgraduate Conference, Auckland, New Zealand Auckland University Technology.
- Tran, M. T. T. and Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(4), 495-502.
- USFDA. (2000). Irradiation in the production, processing and handling of food. Code of Federal Regulations. Title 21, part 179. *Federal Register*, 65, 71056-71058.
- 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), M1831-M1841.

Van Boekel, M. A. J. S. (2008). Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 144-158.

Zeng, X. A., Chen, X. D., Qin, F. G. F. and Zhang, L. (2008). Composition Analysis of Litchi Juice and Litchi Wine. *International Journal of Food Engineering*, 4(4), 1-16.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ก

### การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

#### ก.1 ค่าสีตามระบบ CIE ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ )

##### วิธีการทดลอง

เปิดเครื่องวัดสี และทำการ calibrate เครื่องก่อนใช้งานทุกครั้ง เลือก mode เป็น  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  จากนั้นจึงวัดสีและบันทึกค่าสีของตัวอย่างที่อ่านได้

##### หมายเหตุ

- $L^*$  คือ ค่าความสว่าง
- $+a^*$  คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดง
- $-a^*$  คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียว
- $+b^*$  คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลือง
- $-b^*$  คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงิน

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### ข.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (AOAC, 2000)

##### วิธีการทดลอง

1. ปรับค่ามาตรฐานโดยหยดน้ำกลั่นที่ปริซึมของเครื่อง Hand-held refractometer จากนั้นปิดฝาครอบ และส่องดูกับแสง ปรับขีดบอกจำนวน °Brix ให้อยู่ที่ 0 °Brix แล้วขีดให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู
2. หยดตัวอย่างลงที่ปริซึมของเครื่อง Hand-held refractometer จากนั้นปิดฝาครอบ และส่องดูกับแสง
3. อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

#### ข.2 ค่า pH (AOAC, 2000)

##### วิธีการทดลอง

1. ก่อนวัดค่า pH ทุกครั้ง ต้อง calibrate เครื่อง pH meter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.00 และ pH 7.00 ตามลำดับ
2. เทตัวอย่างลงในบีกเกอร์ และวัดค่า pH โดยใช้อิเล็กโทรดของ pH meter จุ่มลงไปในตัวอย่าง จากนั้นอ่านค่า pH จากหน้าจอมอนิเตอร์

#### ข.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (AOAC, 2000)

##### การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N  
ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 g และละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 L
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้น 1% (w/v)  
ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 1 g และละลายในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) จนมีปริมาตร 100 mL

### วิธีการทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่าง 1 mL ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
2. เติมน้ำกลั่น 10 mL ลงในขวดรูปชมพู่
3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้น 1% (w/v) ปริมาณ 2-3 หยด แล้วผสมให้เข้ากัน
4. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนๆ จึงหยุดการไทเทรต
5. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N ที่ใช้ และคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดมาลิก (%)

### วิธีการคำนวณ

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

meq. Malic acid = มิลลิสมมูลของกรดมาลิก มีค่าเท่ากับ 0.067 g

### **ข.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (Slinkard และ Singleton, 1977)**

#### การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L  
ชั่งกรดแกลลิก 0.1 g และละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL
2. สารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol ความเข้มข้น 10% (v/v)  
ปิเปต Folin-Ciocalteu's phenol 10 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% (w/v)  
ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 10 g ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL

### วิธีการทดลอง

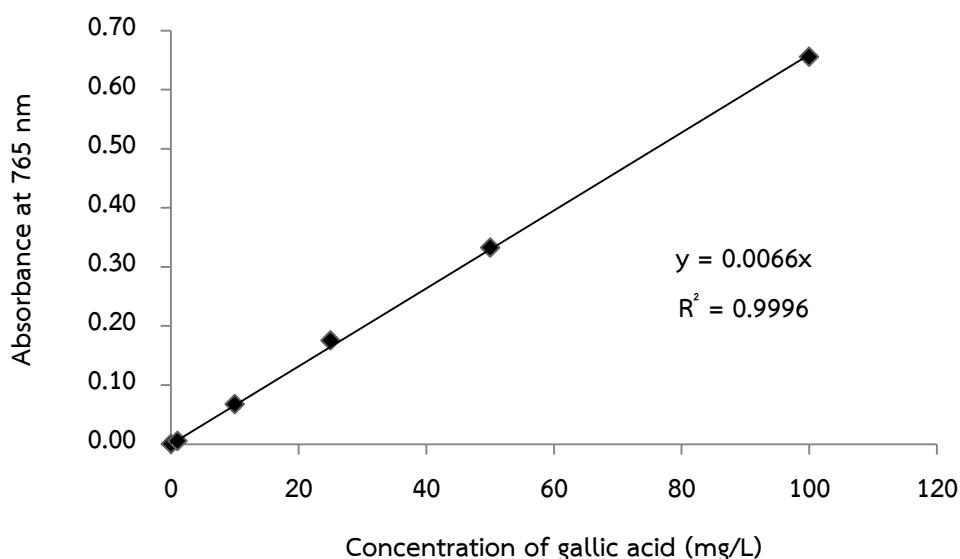
1. ปิเปตตัวอย่าง 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตน้ำกลั่น 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol ความเข้มข้น 10% (v/v) 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
4. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที
5. ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% (w/v) 2 mL ลงในหลอดทดลอง
6. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ น้ำกลั่น เป็น blank
8. แทนค่า  $y$  ด้วยค่าการดูดกลืนแสงในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างและแสดงผลในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/L

### การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก (รูปที่ ข.1)

1. เตรียมสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1, 10, 25, 50 และ 100 mg/L โดยใช้ปิเปตดูดยุติสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 0.1, 1, 2.5, 5 และ 10 mL ตามลำดับลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL
2. ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้น 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. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% (w/v) 2 mL ลงในหลอดทดลอง



7. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
9. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายกรดแกลลิกเป็นแกน x และค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 nm เป็นแกน y



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก

ข.5 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยวิธี Aluminium chloride colorimetry (Huang และคณะ, 2013)

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายเควอซิทินความเข้มข้น 1000 mg/L

ชั่งเควอซิทิน 0.1 g และละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL

2. สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% (w/v)

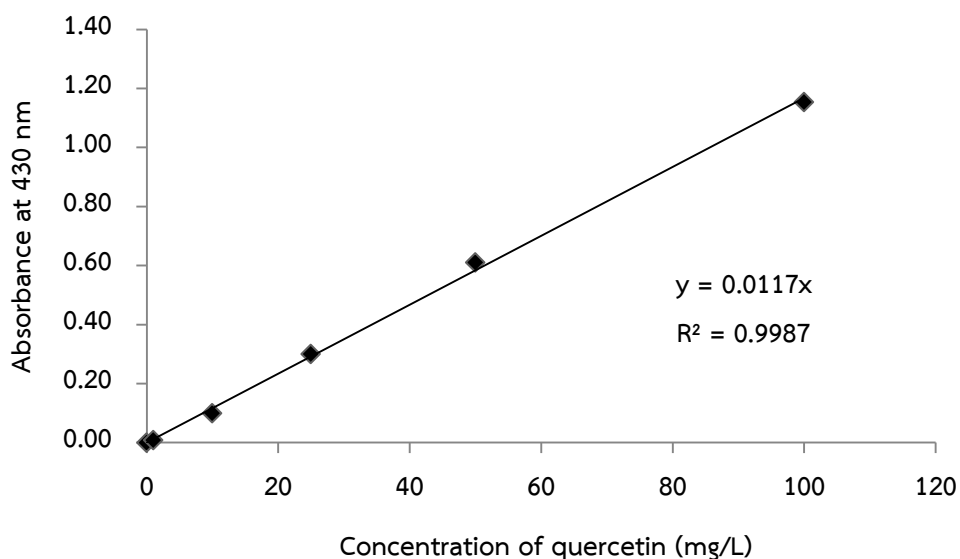
ซึ่งอะลูมิเนียมคลอไรด์ 2 g และละลายในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) จนมีปริมาตร 100 mL

#### วิธีการทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่าง 1 mL ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% (w/v) 1 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
5. แทนค่า  $y$  ด้วยค่าการดูดกลืนแสงในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายเคอควิซีน คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างเป็นหน่วย mg quercetin equivalent (QE)/L

#### การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเคอควิซีน (รูปที่ ข.2)

1. เตรียมสารละลายเคอควิซีนความเข้มข้น 1, 10, 25, 50 และ 100 mg/L โดยใช้ปิเปตดูดสารละลายเคอควิซีนความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 0.1, 1, 2.5, 5 และ 10 mL ตามลำดับลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL
2. ปิเปตสารละลายเคอควิซีนแต่ละความเข้มข้น 1 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ปิเปตสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% (w/v) 1 mL ลงในหลอดทดลอง
4. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm ด้วยเครื่อง microplate reader
6. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเคอควิซีน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายเคอควิซีนเป็นแกน  $x$  และค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 nm เป็นแกน  $y$



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายแควอซีทิน

ข.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Brand-Williams และคณะ, 1995)

การเตรียมสารเคมี

สารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 mM

ซึ่ง 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 0.0039 g ละลายในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) และปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) จนมีปริมาตร 100 mL (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้)

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่าง 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM 1.5 mL ลงในหลอดทดลอง
3. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex Mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที สำหรับตัวอย่างควบคุม (control) ให้ใช้น้ำกลั่น 0.5 mL แทนตัวอย่าง ในขณะที่ blank ให้ใช้น้ำกลั่น 0.5 mL และเอทานอล 1.5 mL ตามลำดับ
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ด้วยเครื่อง microplate reader

5. คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเป็น DPPH inhibition (%) จากสูตรดังนี้

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

เมื่อ  $A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายของตัวอย่าง+สารละลาย DPPH

$A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง+สารละลาย DPPH

6. แทนค่า y ด้วย DPPH inhibition (%) ในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ในตัวอย่างและแสดงผลในหน่วย mM trolox equivalent (TE)

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (รูปที่ ข.3)

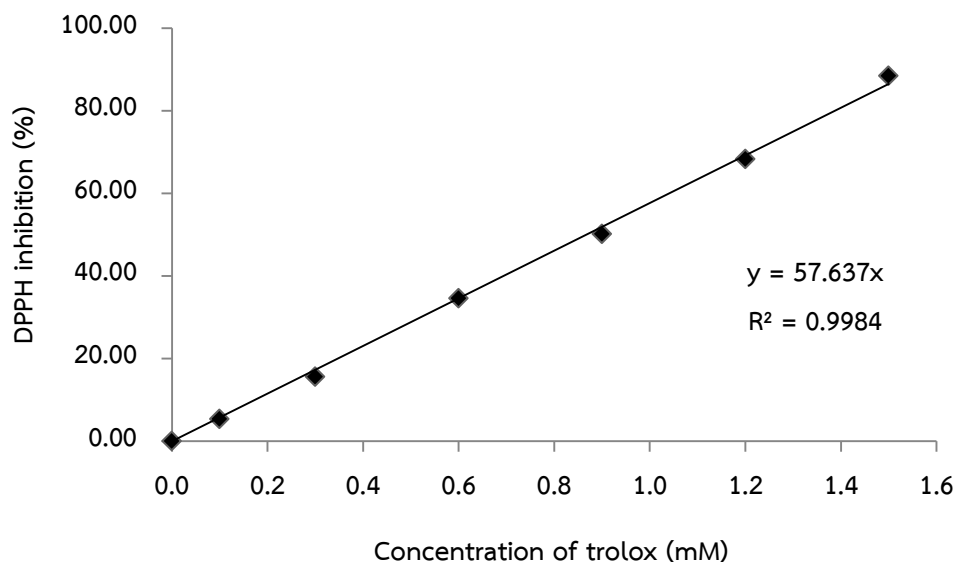
1. ชั่งสารโทรลอกซ์ 0.025 g ละลายในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) 10 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนมีปริมาตร 100 mL
2. เตรียมสารละลายโทรลอกซ์ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 mM โดยปิเปตสารละลายโทรลอกซ์ 1, 3, 6, 9, 12 และ 15 mL ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนมีปริมาตร 100 mL
3. ปิเปตสารละลายโทรลอกซ์แต่ละความเข้มข้น 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง
4. ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM 1.5 mL ลงในหลอดทดลอง
5. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
7. คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเป็น DPPH inhibition (%) จากสูตรดังนี้

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

เมื่อ  $A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายของตัวอย่าง+สารละลาย DPPH

$A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง+สารละลาย DPPH

8. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายโทรลอกซ์เป็นแกน x และ DPPH inhibition (%) เป็นแกน y



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

ข.7 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Benzie และ Strain, 1996)

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายอะซีเตทบัฟเฟอร์ (pH 3.6) ความเข้มข้น 300 mM

ซังโซเดียมอะซีเตทไตรไฮเดรต 0.31 g ละลายในกลีเซอลแอซิดิกแอซิด ปริมาตร 1.6 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL (เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C)

2. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 mM

ซังเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.270 g ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 50 mL (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้)

3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 mM

ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% (v/v) ปริมาตร 3.30 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 mL

#### 4. สารละลาย 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 mM

ชั่งสาร TPTZ 0.0312 g ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 mM แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 mM จนมีปริมาตร 10 mL (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้)

#### 5. สารละลาย FRAP

ผสมสารละลายอะซีเตทบัฟเฟอร์ (pH 3.6) ความเข้มข้น 300 mM กับสารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 mM และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 mM ในอัตราส่วน 10:1:1 (v/v) ตามลำดับ (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้)

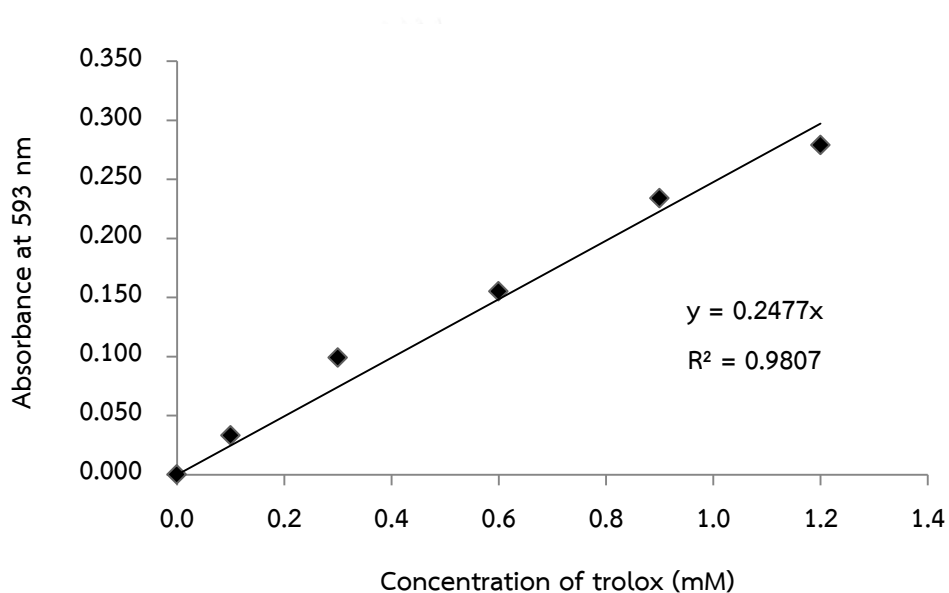
#### วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลาย FRAP 1.5 mL ลงในหลอดทดลอง
2. บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 30 นาที
3. ปิเปตตัวอย่าง 150 µL ลงในหลอดทดลอง
4. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
6. แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงในสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ในตัวอย่างและแสดงผลในหน่วย mM trolox equivalent (TE)

#### การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (รูปที่ ข.4)

1. ชั่งสารโทรลอกซ์ 0.025 g ละลายในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) ปริมาตร 10 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนมีปริมาตร 100 mL
2. เตรียมสารละลายโทรลอกซ์ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 mM โดยปิเปตสารละลายโทรลอกซ์ปริมาตร 1, 3, 6, 9, 12 และ 15 mL ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนครบ 100 mL
3. ปิเปตสารละลาย FRAP 1.5 mL ลงในหลอดทดลอง
4. บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 30 นาที

5. ปิเปตสารละลายโทรลอกซ์แต่ละความเข้มข้น 150  $\mu\text{L}$  ลงในหลอดทดลอง
6. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm ด้วยเครื่อง microplate reader โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
8. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายโทรลอกซ์เป็นแกน x และค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm เป็นแกน y



รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

## ภาคผนวก ค

### การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

#### ค.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

##### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งผงอาหาร plate count agar 23.50 g ใส่ในภาชนะที่จะใช้ผสมอาหาร
2. เติมน้ำกลั่น 1000 mL ลงไป แล้วผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว อาจใช้ความร้อนหรือการกวนร่วมด้วยในระหว่างการผสม
3. ฆ่าเชื้ออาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar โดยใช้เครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

##### การเตรียมสารเคมี

สารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% (w/v)

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.85 g ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL

##### วิธีการทดลอง

1. เจือจางตัวอย่างเป็นลำดับ (serial dilution) โดยปิเปตตัวอย่าง 1 mL ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% (w/v) 9 mL และทำการเจือจางต่อจนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม
2. ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางที่เหมาะสมลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 mL ทำอย่างน้อย 2 จานต่อ 1 ระดับความเจือจาง
3. เทอาหาร plate count agar ที่มีอุณหภูมิ 45-50 °C ประมาณ 15-20 mL ลงในจานเพาะเชื้อ
4. ผสมตัวอย่างและอาหาร plate count agar ให้กระจายเข้ากันดี โดยหมุนเป็นวงกลมซ้าย-ขวา 10 ครั้ง ควรระมัดระวังไม่ให้อาหาร plate count agar เลอะติดฝาจานเพาะเชื้อ
5. ปลอ่ยให้อาหาร plate count agar แข็งตัว จากนั้นคว่ำจานเพาะเชื้อในถุงพลาสติก และนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48±3 ชั่วโมง



6. นับจำนวนโคโลนีจากงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี และบันทึกผล

7. คำนวณปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและแสดงผลในหน่วย log CFU/mL

## ค.2 ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งผงอาหาร potato dextrose agar 39 g ใส่ในภาชนะที่จะใช้ผสมอาหาร
2. เเทน้ำกลั่น 1000 mL ลงไป แล้วผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว อาจใช้ความร้อนหรือการกวนร่วมด้วยในระหว่างการผสม
3. ฆ่าเชื้ออาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar โดยใช้เครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

### การเตรียมสารเคมี

สารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% (w/v)

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.85 g ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 mL

### วิธีการทดลอง

1. เทอาหาร potato dextrose agar ลงในงานเพาะเชื้อประมาณ 15-20 mL และรอให้อาหารอุ่นแข็งตัวและผิวหน้าอาหารแห้ง
2. เจือจางตัวอย่างเป็นลำดับ (serial dilution) โดยปิเปตตัวอย่าง 1 mL ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% (w/v) 9 mL และทำการเจือจางต่อจนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม
3. ปิเปตตัวอย่างที่มีความเจือจางที่เหมาะสมลงในงานเพาะเชื้อที่มีอาหารแข็ง potato dextrose agar งานละ 0.1 mL ทำอย่างน้อย 2 งานต่อ 1 ระดับความเจือจาง
4. จุ่ม spreader ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95% (v/v) และเผาไฟจนแอลกอฮอล์ไหม้หมด
5. ปลอ่ยให้ spreader เย็นลง และจึงนำไปเกลี่ยตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางให้กระจายไปทั่วผิวหน้าอาหารเพาะเชื้อ ซึ่งอาจทำได้โดยใช้อีกข้างหนึ่งช่วยหมุนงานเพาะเชื้อ โดยระมัดระวังไม่ให้มือสัมผัสกับขอบด้านในของงานเพาะเชื้อ

6. รอให้แห้ง แล้วจึงนำงานเพาะเชื้อไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  °C เป็นเวลา 72-120 ชั่วโมง
7. นับจำนวนโคโลนีจากงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี และบันทึกผล
8. คำนวณปริมาณยีสต์และรา และแสดงผลในหน่วย log CFU/mL



## ภาคผนวก ง

## แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำล้นจี

ชื่อผู้ทดสอบ \_\_\_\_\_ วันที่ \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## คำชี้แจง

1. ท่านจะได้รับตัวอย่างน้ำล้นจี 4 ตัวอย่าง กรุณาใส่รหัสตัวอย่างที่ระบุอยู่บนถ้วยลงในช่องรหัสตัวอย่าง
2. กรุณาทดสอบตัวอย่างที่ละรหัส แล้วให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของตัวอย่าง
3. ในระหว่างที่เปลี่ยนตัวอย่าง กรุณาเติมน้ำเปล่าก่อนเปลี่ยนไปทดสอบตัวอย่างรหัสอื่น
4. โปรดให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของตัวอย่าง ตามระดับความชอบดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด      6 = ชอบเล็กน้อย      3 = ไม่ชอบปานกลาง  
 8 = ชอบมาก      5 = เฉยๆ      2 = ไม่ชอบมาก  
 7 = ชอบปานกลาง      4 = ไม่ชอบเล็กน้อย      1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ ของตัวอย่าง	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
ความชอบ โดยรวม				

ข้อเสนอแนะ \_\_\_\_\_

\*\*\*ขอขอบพระคุณท่านผู้ทดสอบที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย\*\*\*

## ภาคผนวก จ

### การคำนวณปริมาณรังสียูวี

#### วิธีคำนวณ

##### ระยะเวลาที่ตัวอย่างสัมผัสกับรังสียูวี

$$\begin{aligned} \text{Exposure time} &= \text{Volume of sample} / \text{Flow rate} \\ &= 500 \text{ mL} / 16.33 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1} \approx 30 \text{ s (1 รอบ)} \end{aligned}$$

ดังนั้นน้ำล้นจีปริมาตร 500 mL ที่ผ่านการฉายรังสียูวีจำนวน 1 รอบ ใช้เวลาโดยประมาณ 30 วินาที

##### พื้นที่ผิวหลอดยูวี

$$\begin{aligned} \text{Surface area} &= 2\pi rh \\ &= 2 (3.14) (1 \text{ cm}) (24.5 \text{ cm}) = 153.86 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

##### ความเข้มของรังสียูวี

$$\begin{aligned} \text{Intensity} &= \text{Total UV power} / \text{Surface area} \\ &= 6 \text{ W} / 153.86 \text{ cm}^2 \\ &= 0.039 \text{ W/cm}^2 \text{ หรือ } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \end{aligned}$$

##### ปริมาณรังสียูวี

$$\text{UV dosage} = \text{Intensity} \times \text{Exposure time}$$

$$0 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 0 \text{ s} = 0.00 \text{ J/cm}^2 \text{ (0 รอบ)}$$

$$1 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 60 \text{ s} = 2.34 \text{ J/cm}^2 \text{ (2 รอบ)}$$

$$2 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 120 \text{ s} = 4.68 \text{ J/cm}^2 \text{ (4 รอบ)}$$

$$4 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 240 \text{ s} = 9.36 \text{ J/cm}^2 \text{ (8 รอบ)}$$

$$8 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 480 \text{ s} = 18.72 \text{ J/cm}^2 \text{ (16 รอบ)}$$

$$16 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 960 \text{ s} = 37.44 \text{ J/cm}^2 \text{ (32 รอบ)}$$

$$32 \text{ นาที: } 0.039 \text{ J/s}\cdot\text{cm}^2 \times 1,920 \text{ s} = 74.88 \text{ J/cm}^2 \text{ (64 รอบ)}$$

ดังนั้นน้ำล้นจีที่ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 นาที จะได้รับปริมาณรังสียูวีเท่ากับ 0.00, 2.34, 4.68, 9.36, 18.72, 37.44 และ 74.88 J/cm<sup>2</sup> ตามลำดับ

ภาคผนวก ฉ  
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ ฉ.1 เครื่อง UV sterilizer



รูปที่ ฉ.2 หลอดยูวี



รูปที่ ๓.3 บัลลาสต์



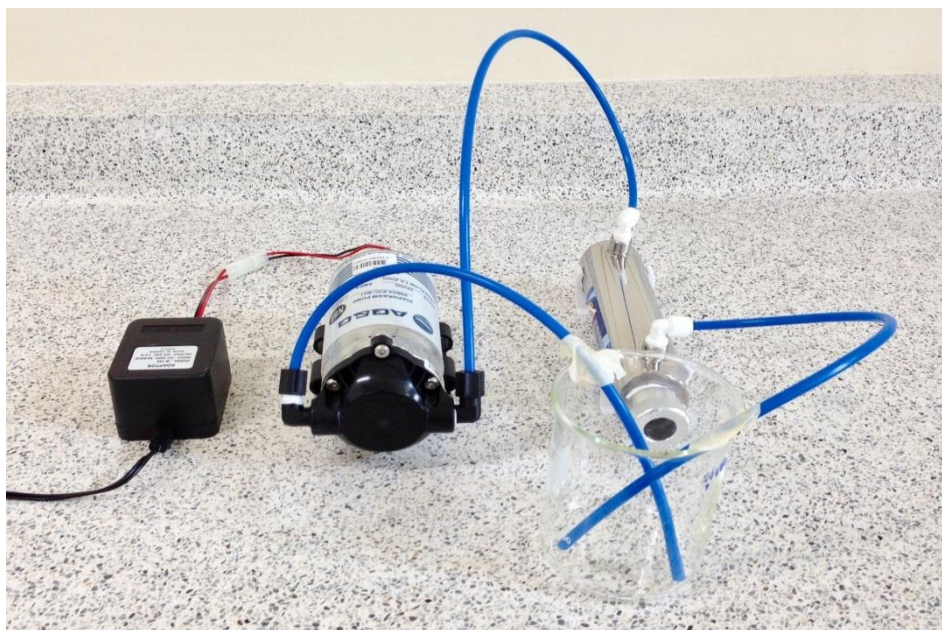
รูปที่ ๓.4 อะแดปเตอร์



รูปที่ ๑.5 ปั๊มไดอะแฟรม



รูปที่ ๑.6 ท่อน้ำ PE



รูปที่ ๑.7 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี



