ผลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส
และอายุการเก็บของน้ำมะพร้าว

นางสาวศิริรัตน์ ด่อนสิงหะ

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 CHEMICAL, PHYSICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY PROPERTIES AND SHELF LIFE OF COCONUT WATER

Miss Sirirat Donsingha

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	ผลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส และอายุการเก็บของน้ำมะพร้าว
โดย	นางสาวศิริรัตน์ ด่อนสิงหะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. กิติพงศ์ อัศตรกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. กิติพงศ์ อัศตรกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.สุวลักษณ์ อัศวสันติ)

ศิริรัตน์ ด่อนสิงหะ : ผลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส และอายุการเก็บของน้ำมะพร้าว (EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION ON CHEMICAL, PHYSICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY PROPERTIES AND SHELF LIFE OF COCONUT WATER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. กิติพงศ์ อัศตรกุล, 94 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus*) ในน้ำมะพร้าวด้วยปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต (รังสียูวี) ที่ 0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 4.8, 8.0 และ 12.0 J/mL และศึกษาผลของรังสียูวี (1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL) ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวระหว่างการเก็บที่ 4 °C จากการทดลองพบว่าการลดลงของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order kinetic) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients, r^2) อยู่ระหว่าง 0.8426 - 0.9706 และมีค่าคงที่ของปฏิกิริยา (rate constant; k) อยู่ระหว่าง 0.7315 - 1.3772 ซึ่ง *E. coli* O157:H7 และ *E. coli* เป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่อรังสียูวีมากที่สุดและน้อยที่สุด ตามลำดับ รังสียูวีสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราได้เช่นเดียวกับกระบวนการพาสเจอไรซ์ (95 °C 100 วินาที) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และปริมาณรังสียูวีที่ 3.2 และ 4.8 J/mL สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามรังสียูวีส่งผลให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-diphenyl- 1-picrylhydrazyl radical scavenging activity (DPPH) และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ลดลงจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่ามากกว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่า ค่า *L** และค่า *b** ของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ค่า *a** ของน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีแนวโน้มของการเกิดสีชมพูมากกว่าตัวอย่างอื่น และผลการทดสอบประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวพบว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในขณะที่น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของน้ำมะพร้าวระหว่างการเก็บที่ 4 °C พบว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม 4, 8 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยพิจารณาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด และรังสียูวียังสามารถชะลอการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพาสเจอไรซ์ โดยน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูทุกตัวอย่างในวันที่ 6 ของการเก็บ ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูทุกตัวอย่างในวันที่ 18, 10 และ 8 ตามลำดับ ดังนั้นรังสียูวีจึงถือเป็นกระบวนการแปรรูปทางเลือกที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ในขณะที่ยังสามารถรักษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส และชะลอการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวในระหว่างการเก็บที่ 4 °C

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5672252623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEYWORDS: COCONUT WATER / ULTRAVIOLET RADIATION / MICROBIAL INACTIVATION KINETIC

SIRIRAT DONSINGHA: EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION ON CHEMICAL, PHYSICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY PROPERTIES AND SHELF LIFE OF COCONUT WATER. ADVISOR: KITIPONG ASSATARAKUL, Ph.D., 94 pp.

The objectives of this work were to study degradation kinetics of microorganisms (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis and *Staphylococcus aureus*) by ultraviolet radiation or UV (0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 4.8, 8.0 and 12.0 J/mL) in coconut water and the effects of UV (1.6, 3.2 and 4.8 J/mL) on chemical, physical, microbiological and sensory properties of coconut water and changes of chemical, physical and microbiological properties during storage at 4 °C. The results showed that degradation kinetic of all tested microorganisms followed first order kinetic model with correlation coefficients (r^2) ranging from 0.8426 - 0.9706 and rate constant (k) ranging from 0.7315 - 1.3772. *E. coli* O157:H7 and *E. coli* were the most sensitive and most resistant microorganisms treated by UV, respectively. UV provided the same inhibitory effect against total viable bacteria and yeast and mold compared to pasteurization (95 °C 100 sec). UV dose at 3.2 and 4.8 J/mL significantly decreased polyphenol oxidase activity compared to control ($p \leq 0.05$); however, UV significantly decreased total phenolic compound and antioxidant activity including 2, 2-diphenyl- 1-picrylhydrazyl radical scavenging activity (DPPH) assay and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay compared to control ($p \leq 0.05$) but these antioxidant properties were still higher than pasteurized sample. There were no significant differences between mean values of *L** and *b** but *a** of pasteurized treatment was significant different from other samples resulting in higher occurrence of pink discoloration. According to sensory evaluation, it showed that there were no significant differences between mean values of taste scores and overall scores while pasteurized sample had the highest odor score, taste score and overall score. According to changes of total viable count during storage at 4 °C, it was found that samples treated with UV dose at 1.6, 3.2 and 4.8 J/mL extended the coconut water shelf life 4, 8 and 14 days, respectively, compared to control. Moreover, UV could retard pink discoloration of coconut water compared to pasteurized sample and all pasteurized samples turned into pink color at day 6 of storage at 4 °C while all coconut water samples treated with UV dose at 1.6, 3.2 and 4.8 J/mL turned into pink color at day 18, day 10 and day 8, respectively. Therefore, ultraviolet radiation could be used as an alternative processing to inhibit microorganisms while preserve chemical, physical and sensory properties and retard pink discoloration of coconut water during storage at 4 °C.

Department:	Food Technology	Student's Signature	.....
Field of Study:	Food Technology	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหรรมและบริษัท โอชาฟูดแพ็ค จำกัด

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. กิติพงศ์ อัศตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่คอยให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำอันมีประโยชน์อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านการศึกษาและด้านอื่นๆ เสมอมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต และอาจารย์ ดร. สุวลักษณ์ อัศวสันติ ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณดร. นงนุช อธิพันธุ์อำไพ ผู้จัดการบริษัท โอชาฟูดแพ็ค จำกัด ที่กรุณาให้คำแนะนำและสนับสนุนวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่คอยสนุบสนุน ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความร่วมมือ การช่วยเหลือ และคำแนะนำ และผู้ช่วยเหลือทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา และขอขอบคุณน้องสาวและคนใกล้ชิดทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และการช่วยเหลือเป็นดีอย่างตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 3
2.1 มะพร้าว 3
2.1.1 การเพาะปลูก 4
2.1.2 น้ำมะพร้าว 6
2.2 การเก็บเกี่ยว 7
2.3 กระบวนการสกัดน้ำผลไม้ 8
2.4 การเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ 10
2.4.1 การเสื่อมเสียทางกายภาพ 10
2.4.2 การเสื่อมเสียทางเคมี 10
2.4.3 การเสื่อมเสียเนื่องจากเอนไซม์ 10
2.4.4 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ 11
2.5 กระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ 14
2.5.1 กระบวนการแปรรูปโดยความร้อน (thermal processing) 14
2.5.1.1 กระบวนการพาสเจอไรซ์ 15
2.5.1.2 กระบวนสเตอริไลซ์ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.5.2 กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) 16
2.5.2.1 รังสีอัลตราไวโอเลต 18
2.6 จลนพลศาสตร์ 22
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 24
3.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น 27
3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, *Lactobacillus plantarum*, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus*) และสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 29
3.3 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 30
3.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา และการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ในระหว่างการเก็บที่ 4 °C 30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 32
4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น 32
4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวี 34
4.3 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 42
4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา และการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ในระหว่างการเก็บ 51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 62
รายการอ้างอิง 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ 73
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางเคมี 74
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา 80
ภาคผนวก ง การประเมินทางประสาทสัมผัส 83
ภาคผนวก จ โครมาโตแกรม 86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 พื้นที่และผลผลิตของมะพร้าวเป็นรายภาค ปี 2556 - 2558 5

ตารางที่ 2.2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุในน้ำมะพร้าวและเครื่องดื่มชดเชยเกลือแร่ 6

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะพร้าวจากมะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ 7

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทั่วไปของแหล่งกำเนิดรังสียูวี 19

ตารางที่ 2.5 ผลของรังสียูวีต่อสารพฤกษเคมี สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้ 20

ตารางที่ 2.6 การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ 22

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น 33

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) และค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง (k) 39

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี และความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุมและน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 41

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 45

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 46

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 47

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลและแมงกานีสในตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 48

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 49

ตารางที่ ง.1 คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 85

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว 3
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว 9
รูปที่ 2.3 สเปคตรัมรังสียูวี 18
รูปที่ 2.4 การยับยั้งการจำลอง DNA ของจุลินทรีย์ด้วยรังสียูวี 21
รูปที่ 3.1 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี 26
รูปที่ 3.2 การเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ระดับต่างๆ 31
รูปที่ 4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ในน้ำมะพร้าว 35
รูปที่ 4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* O157:H7 ในน้ำมะพร้าว 35
รูปที่ 4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ lactic acid bacteria ในน้ำมะพร้าว 36
รูปที่ 4.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Salmonella* Enteritidis ในน้ำมะพร้าว 36
รูปที่ 4.5 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าว 37
รูปที่ 4.6 การยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *E. coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าวด้วยรังสียูวี 40
รูปที่ 4.7 คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ 51
รูปที่ 4.8 ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 52
รูปที่ 4.9 ปริมาณยีสต์และราในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 52

รูปที่ 4.10 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 53
รูปที่ 4.11 ความขุ่นของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 54
รูปที่ 4.12 ค่า pH ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 54
รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 55
รูปที่ 4.14 ค่า *a** ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 56
รูปที่ 4.15 ค่า ΔE ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 56
รูปที่ 4.16 % การเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 57
รูปที่ 4.17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 57
รูปที่ 4.18 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 58
รูปที่ 4.19 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 59
รูปที่ 4.20 ค่า *L** ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 60
รูปที่ 4.21 ค่า *b** ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 60
รูปที่ 4.22 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 61
รูปที่ 4.23 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C 61
รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก 75
รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของ trolox 76
รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของ trolox 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมะพร้าวเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา และตลาดการส่งออกของน้ำมะพร้าวเติบโตขึ้นทุกปี เนื่องจากกลิ่นรสที่หอมหวานและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมะพร้าวที่เหมาะแก่การเป็นเครื่องดื่มชดเชยเกลือแร่และให้ความสดชื่นแก่ผู้ที่สูญเสียเหงื่อ น้ำมะพร้าวสดมีค่าความเป็นกรดต่ำและมีปริมาณน้ำตาลสูง ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้น้ำมะพร้าวเกิดการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าน้ำผลไม้ชนิดอื่น นอกจากนี้น้ำมะพร้าวยังมีโอกาสในการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) เช่น *Escherichia coli* O157:H7 และ *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ ด้วยเหตุนี้ทำให้กระบวนการแปรรูปที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บของน้ำมะพร้าว โดยกระบวนการแปรรูปที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ กระบวนการพาสเจอไรซ์หรือสเตอริไลซ์ แต่กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูง ส่งผลให้น้ำมะพร้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งทางเคมี เช่น การสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และทางกายภาพ เช่น การเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่งผลให้ผู้ผลิตบางรายใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บน้ำมะพร้าว แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรักษาสุขภาพมากขึ้น นิยมรับประทานอาหารที่มาจากธรรมชาติ ผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยและหลีกเลี่ยงอาหารที่มีการใช้สารเคมี ทำให้กระบวนการแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ หนึ่งในนั้นคือการใช้รังสีอัลตราไวโอเลต (รังสียูวี) ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว รา และยีสต์ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความยาวคลื่น 254 nm ดังนั้นการใช้รังสียูวีในกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวอาจจะสามารถรักษาคุณภาพของน้ำมะพร้าวทางด้านเคมี กายภาพ และชะลอการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าว ในขณะที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บ โดยจะสามารถลดอัตราการสูญเสียของน้ำมะพร้าวและส่งเสริมการส่งออกได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus*) ในน้ำมะพร้าวด้วยรังสียูวี และศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทาง

เคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส และติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวในระหว่างการเก็บที่ 4 ℃

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 มะพร้าว

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* L. เป็นพืชในตระกูลเดียวกับปาล์ม ตาล หมาก อินทผาลัม จาก และสาคู แหล่งกำเนิดดั้งเดิมของมะพร้าวอยู่ในแถบทวีปอเมริกาและแพร่หลายไปยังประเทศในแถบเอเชีย โดยนิยมปลูกมากในประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย พม่า อินเดีย มาเลเซีย และประเทศไทย มะพร้าวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

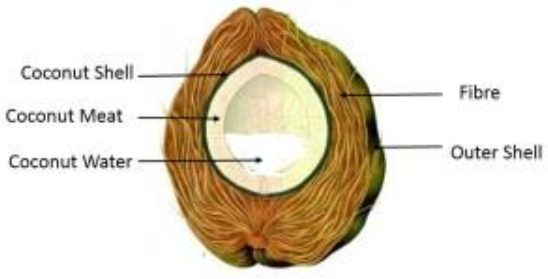
ราก เป็นระบบรากฝอยที่มีขนาดเท่าๆ กัน และแผ่กระจายออกไปรอบต้น

ลำต้น เป็นลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง ลักษณะโคนป่องเป็นรูปกรวยกลม มีรอยปล้องซึ่งเกิดจากทางมะพร้าวที่แก่ร่วงหล่นไป

ใบ เป็นใบประกอบ โดยประกอบด้วยก้านขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อยบนก้านประมาณ 200 – 250 ใบ อยู่ตามส่วนของลำต้น

ดอกหรือจั่นมะพร้าว ประกอบไปด้วยดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ดอกตัวเมียมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้ ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อย

ผลมะพร้าว ประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (exocarp) ที่เป็นเส้นใยเหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลืองหรือน้ำตาล เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกว่า กะลา (shell) และเมล็ด (seed of kernel) หรือเนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่อกลวงที่มีน้ำมะพร้าวบรรจุอยู่ (รูปที่ 2.1) และน้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วนในผลแก่



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว

ที่มา : Köhler (2001)

มะพร้าวเป็นพืชที่อาศัยการผสมพันธุ์โดยธรรมชาติ จึงอาจเกิดการผสมข้ามพันธุ์ได้บ่อยครั้ง โดยทั่วไปมะพร้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นเตี้ยและประเภทต้นสูง (สมานวนกิจ, 2497)

มะพร้าวประเภทต้นสูง โดยปกติมะพร้าวต้นสูงจะผสมข้ามพันธุ์ มะพร้าวประเภทนี้เป็นพืชเศรษฐกิจ ส่วนใหญ่ปลูกเป็นสวนเพื่อใช้เนื้อจากผลแก่ไปประกอบอาหาร หรือเพื่อทำมะพร้าวแห้งซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เนื่องจากมะพร้าวประเภทต้นสูงมีผลขนาดใหญ่ เนื้อหนา และปริมาณเนื้อมาก ตัวอย่างมะพร้าวประเภทต้นสูง เช่น มะพร้าวพันธุ์กะโหลก มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกลาง ปากจก ทะลายร้อย เปลือกหวาน และมะแพร้ว เป็นต้น

มะพร้าวประเภทต้นเตี้ย มะพร้าวประเภทนี้จะให้ผลดกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ ส่วนใหญ่นิยมปลูกเพื่อรับประทานผลอ่อน เพราะเนื้อมีลักษณะอ่อนนุ่ม และน้ำมีรสหวาน น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวประเภทต้นเตี้ยบางพันธุ์มีกลิ่นหอมซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษของมะพร้าวน้ำหอม มะพร้าวประเภทต้นเตี้ยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เปลือกสีเขียวเหลืองนวล สีน้ำตาลแดง หรือสีส้ม มะพร้าวต้นเตี้ยทุกพันธุ์จะมีผลขนาดเล็ก ผลแก่ของมะพร้าวต้นเตี้ยจะมีเนื้อบางและน้อย ตัวอย่างมะพร้าวประเภทต้นเตี้ย เช่น มะพร้าวพันธุ์นกคุ่ม หมูสีเขียว หมูสีเหลือง มะพร้าวน้ำหอม และมะพร้าวไฟ เป็นต้น ในปัจจุบันมะพร้าวน้ำหอมถือเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมทั้งการบริโภคสด ส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (สมานวนกิจ, 2497) ด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวน้ำหอมเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงเลือกน้ำมะพร้าวพันธุ์มะพร้าวน้ำหอมมาใช้ในการศึกษา ในอดีตมะพร้าวน้ำหอมจะนิยมปลูกกันมากที่จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นจังหวัดชายทะเลแถวภาคกลาง แต่ในปัจจุบันมีการขยายพื้นที่การเพาะปลูกไปยังจังหวัดใกล้เคียง เนื่องจากความต้องการของตลาดที่เพิ่มสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.1 การเพาะปลูก

พื้นที่สำหรับปลูกมะพร้าวในประเทศไทยไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำทะเลเกิน 100 เมตร ปลูกได้ทั้งดินทรายและดินเหนียว แต่ในดินร่วนจะมีการระบายน้ำดีทำให้รากเจริญเติบโตเร็ว ภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมาก คือ ภาคใต้ (ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ ตรัง) ภาคตะวันออก (ชลบุรี จันทบุรี ระยอง ตราด ฉะเชิงเทรา) ภาคตะวันตก (ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี) และภาคกลาง (สมุทรสงคราม นครปฐม) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พื้นที่และผลผลิตของมะพร้าวเป็นรายภาค ปี 2556 - 2558

ภาค	เนื้อที่ยืนต้น (ไร่)			เนื้อที่ให้ผล (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)		
	2556	2557	2558	2556	2557	2558	2556	2557	2558	2556	2557	2558
รวมทั้งประเทศ	1,308,480	1,299,799	1,206,514	1,303,770	1,294,539	1,197,127	1,010,033	1,000,320	904,094	775	773	755
เหนือ	10,688	9,255	3,542	10,688	9,255	3,542	9,611	8,099	2,995	899	875	846
ตะวันออกเฉียงเหนือ	7,646	6,641	4,288	7,646	6,641	4,288	5,646	4,808	2,896	738	724	675
กลาง	591,770	589,113	574,531	587,157	584,321	565,359	463,456	460,449	423,217	789	788	749
ใต้	698,376	694,790	624,153	698,279	694,322	623,938	531,320	526,964	474,986	761	759	761

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจและการเกษตร (2559)

2.1.2 น้ำมะพร้าว

น้ำมะพร้าวเป็นเครื่องดื่มให้ความสดชื่นและให้ประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากการบริโภคเพื่อความสดชื่นแล้ว ในประเทศอินเดียยังนิยมใช้เป็นยารักษาโรคต่างๆ เช่น ใช้ในการรักษาอาการท้องผูก อาการเมื่อยล้า อาการขาดน้ำ การติดเชื้อในกระเพาะปัสสาวะ และความผิดปกติของระบบการย่อยอาหาร เป็นต้น (Campbell-Falck et al., 2000) ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เกิดภาวะขาดแคลนเลือดสำรอง จึงมีการใช้น้ำมะพร้าวฉีดเข้าทางหลอดเลือดดำเพื่อช่วยชีวิตผู้บาดเจ็บในภาวะฉุกเฉิน (Pummer et al., 2001) นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้น้ำมะพร้าวในการเลี้ยงเซลล์ต้นอ่อน และพบว่าน้ำมะพร้าวสามารถใช้เลี้ยงเซลล์ต้นอ่อนผักโขมให้เจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับอาหารเลี้ยงต้นอ่อนทางการค้า (Mauney et al., 1952) แสดงว่าน้ำมะพร้าวมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต และมีการรายงานพบว่าน้ำมะพร้าวเป็นเครื่องดื่มที่เหมาะสำหรับนักกีฬาและผู้ที่สูญเสียเหงื่อ เนื่องจากน้ำมะพร้าวอุดมไปด้วยเกลือแร่ วิตามิน และน้ำตาล ซึ่งคล้ายกับเครื่องดื่มชดเชยเกลือแร่ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุในน้ำมะพร้าวและเครื่องดื่มชดเชยเกลือแร่

สารประกอบ	น้ำมะพร้าว	เครื่องดื่มให้เกลือแร่
คาร์โบไฮเดรต (mg/100mL)	4710	5800
แคลเซียม (mg/100mL)	27	1
ฟอสฟอรัส (mg/100mL)	5	9
โซเดียม (mg/100mL)	2	46
โพแทสเซียม (mg/100mL)	204	8
แมงกานีส (mg/100mL)	6	3

ที่มา : Walter et al. (2014)

โดยระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหารของน้ำมะพร้าว (ตารางที่ 2.3) ซึ่งส่งผลต่อรสชาติของน้ำมะพร้าวที่เป็นสาเหตุหลักของความนิยมของผู้บริโภค ความแตกต่างของรสชาติและกลิ่นรสของน้ำมะพร้าวเกิดจากความแตกต่างของพันธุ์ พื้นที่เพาะปลูก และระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าว โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรจะแบ่งมะพร้าวออกเป็น 3 ระดับ คือ

(1) มะพร้าวอ่อนหนึ่งชั้น (มะพร้าวที่ยังเจริญไม่เต็มที่) เป็นมะพร้าวที่มีอายุประมาณ 24 สัปดาห์ (หลังการผสมเกสร) น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวที่ยังเจริญไม่เต็มที่จะมีรสเปรี้ยวและซ่าเล็กน้อย

(2) มะพร้าวอ่อนชั้นครึ่ง (มะพร้าวที่เจริญเต็มที่) มีอายุประมาณ 27 สัปดาห์ (หลังการผสมเกสร) น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวที่เจริญเต็มที่จะมีรสชาติหอมหวาน

(3) มะพร้าวสองชั้น (มะพร้าวที่เลยระยะที่เจริญเต็มที่) มีอายุประมาณ 30 สัปดาห์ (หลังการผสมเกสร) น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวสองชั้นจะมีรสหวานมากที่สุด เนื่องจากซูโครสจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อลูกมะพร้าวมีระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Prades et al., 2012b)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะพร้าวจากมะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	ระยะการเจริญเติบโตของมะพร้าว		
	ยังเจริญไม่เต็มที่	เจริญเติบโตเต็มที่	เลยระยะที่เจริญเต็มที่
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (% กรดมาลิก)	0.089±0.004	0.076±0.008	0.061±0.003
ปริมาณน้ำตาล			
- ฟรุกโตส (mg/mL)	39.04±0.82	32.52±0.23	21.48±0.21
- กลูโคส (mg/mL)	35.43±0.51	29.96±0.24	19.06±0.19
- ซูโครส (mg/mL)	0.85±0.01	6.36±0.06	14.37±0.25
ปริมาณแร่ธาตุ			
- โพแทสเซียม (mg/100mL)	220.94±0.32	274.32±0.14	35.11±0.13
- โซเดียม (mg/100mL)	7.61±0.04	5.60±0.02	36.51±0.02
- แมงกานีส (mg/100mL)	22.03±.0.07	20.87±0.02	31.65±0.04
- แคลเซียม (mg/100mL)	8.75±0.05	15.19±0.03	23.98±0.05
- เหล็ก (mg/mL)	0.29±0.08	0.31±0.01	0.32±0.05
ปริมาณโปรตีน (mg/mL)	0.04±0.01	0.04±0.01	0.22±0.02
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/L)	54.00±3.14	42.59±0.83	25.70±1.76

ที่มา : Tan et al. (2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

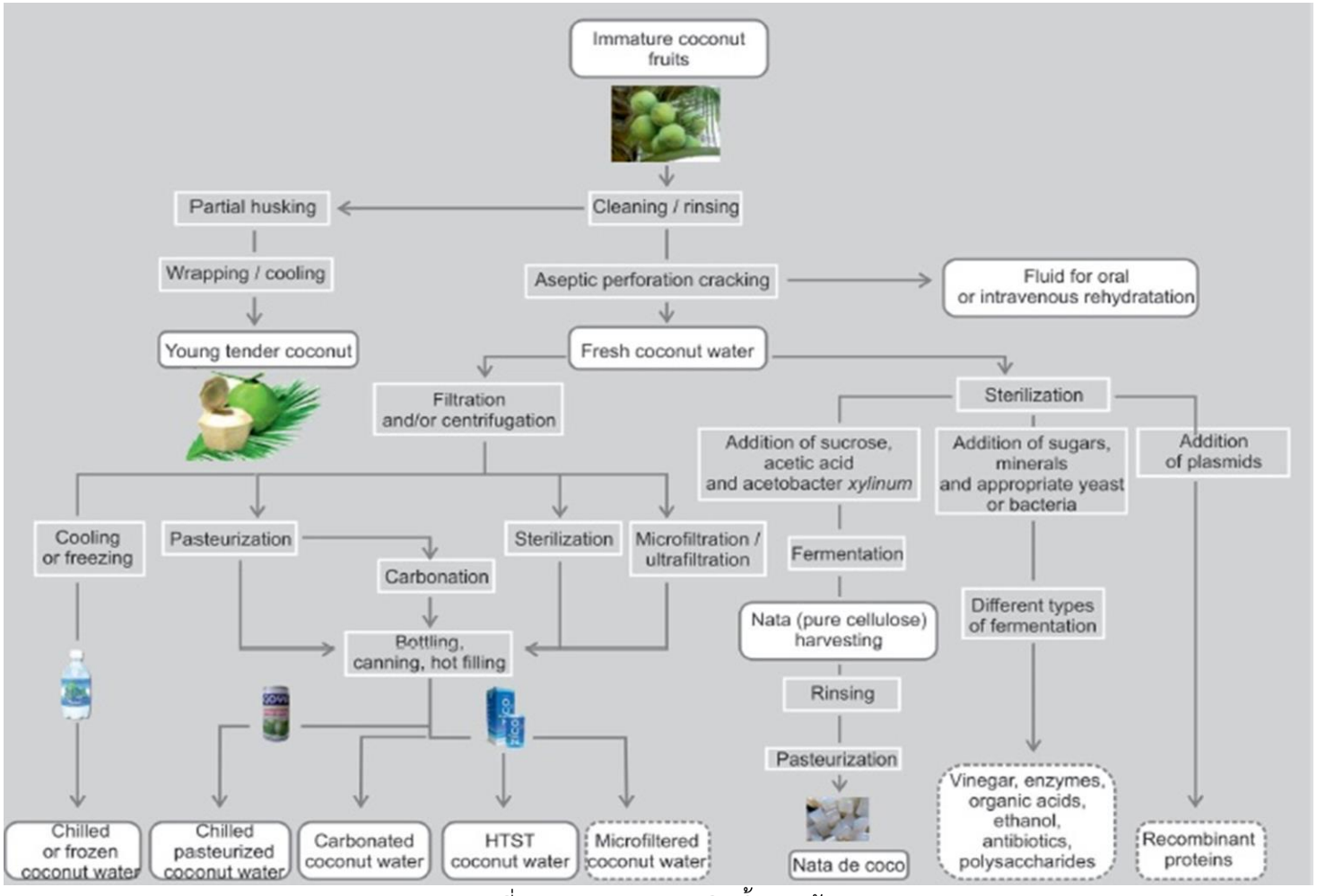
2.2 การเก็บเกี่ยว

กระบวนการเก็บเกี่ยวมะพร้าวมีความแตกต่างไปตามภูมิภาค โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การเก็บด้วยการใช้ไม้ไผ่ในการช่วยปีนและการปีนด้วยมือเปล่า นอกจากนี้ยังมีวิธีการเก็บเกี่ยวด้วย

การใช้ลิงที่ผ่านการฝึกฝนในประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย การเก็บมะพร้าวด้วยการใช้ไม้ไผ่ในการช่วยปีนจะมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และอันตรายน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปีนด้วยมือเปล่า ในทางตรงกันข้ามการปีนด้วยมือเปล่าจะสามารถตรวจสอบลักษณะและความสมบูรณ์ของทลายมะพร้าวได้มากกว่า และการใช้ลิงเก็บเกี่ยวจะช่วยลดต้นทุนในส่วนของค่าแรงงาน การเก็บเกี่ยวมะพร้าวไม่ควรปล่อยลูกมะพร้าวให้ตกลงพื้นตามธรรมชาติเพราะอาจทำให้เกิดบาดแผลและการปนเปื้อนจุลินทรีย์ โดยมีงานวิจัยพบว่าการเก็บเกี่ยวมะพร้าวแบบตกลงบนพื้นตามธรรมชาติมีโอกาสที่น้ำมะพร้าวจะมีความขุ่นเพิ่มขึ้นและมีค่า pH ลดต่ำลง ซึ่งหมายถึงการเสื่อมเสียของน้ำมะพร้าว เนื่องจากน้ำมะพร้าวมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบประมาณ 1.4 - 5.0% และมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.0 - 6.1 ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรีย (Prades et al., 2012b) ทำให้ต้องควบคุมการผลิตตั้งแต่กระบวนการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้มะพร้าวยังคงมีการหายใจแม้จะเก็บเกี่ยวแล้ว อุณหภูมิสูงขณะเก็บเกี่ยวสามารถเร่งการหายใจซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมะพร้าว และนำไปสู่การเสื่อมเสียของน้ำมะพร้าว และหลังจากการเก็บเกี่ยวควรล้างผลมะพร้าวด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกแล้วล้างซ้ำอีกครั้งด้วยสารละลายคลอรีนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ติดมากับผลมะพร้าว และเก็บมะพร้าวไว้ในที่แห้งและสะอาด เพื่อลดโอกาสในการเสื่อมเสีย (Rolle, 2007)

2.3 กระบวนการสกัดน้ำผลไม้

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 พ.ศ. 2543 เครื่องดื่มน้ำผลไม้หมายถึง “เครื่องดื่มที่มีหรือทำจากผลไม้ พืชหรือผัก ไม่ว่าจะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม โดยจะรวมทั้งเครื่องดื่มชนิดเข้มข้นซึ่งต้องเจือจางก่อนบริโภคและชนิดแห้งด้วย” เช่นเดียวกับประกาศขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาที่ระบุว่า น้ำมะพร้าวถือเป็นเครื่องดื่มที่ต้องวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมหรือ ระบบ Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) ในหมวดหมู่ของเครื่องดื่มน้ำผลไม้ โดยรูปที่ 2.2 จะแสดงขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว สำหรับการผลิตน้ำมะพร้าวจะเริ่มจากผลมะพร้าวสดที่มีระยะการเจริญเติบโตที่เหมาะสม หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา จากนั้นมะพร้าวจะถูกเฉาะในภาวะปลอดเชื้อ น้ำมะพร้าวที่ได้จะถูกกรองหรือปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดเศษเปลือกจากการเฉาะออกและเข้าสู่กระบวนการแปรรูปและ บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บ (Prades et al., 2012a)



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

ที่มา : Prades et al. (2012a)

2.4 การเสื่อมเสียของน้ำผลไม้

น้ำผลไม้สามารถเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าผลไม้ที่เป็นผล เนื่องจากขาดการปกป้องจากเปลือกของผลไม้และจากผนังเซลล์ ทำให้น้ำผลไม้ซึ่งเป็นของเหลวสามารถสัมผัสกับอากาศและจุลินทรีย์ทันทีหลังจากการผ่านกระบวนการคั้นหรือสกัด จึงทำให้น้ำผลไม้เกิดการเสื่อมเสียทั้งทางกายภาพ เคมี เอนไซม์ และจุลินทรีย์ (Bates et al., 2001)

2.4.1 การเสื่อมเสียทางกายภาพ

การเสื่อมเสียทางกายภาพที่เกิดขึ้นกับผลไม้ เช่น การช้ำ การแตกหัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงกล อันได้แก่ แรงกด แรงกระแทกในระหว่างการขนส่งผลไม้ ส่งผลให้น้ำผลไม้ที่ได้ไม่มีคุณภาพ และอาจเกิดการปนเปื้อนซึ่งนำไปสู่การเสื่อมเสียประเภทอื่นๆ

2.4.2 การเสื่อมเสียทางเคมี

การเสื่อมเสียทางเคมีของน้ำผลไม้เป็นการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนประกอบของน้ำผลไม้เอง หรือระหว่างน้ำผลไม้กับสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ซึ่งอาจพบได้ในน้ำมะพร้าว เนื่องจากน้ำมะพร้าวประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (Tan et al., 2015) นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำผลไม้ถือเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญ เพราะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้และอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของน้ำผลไม้ เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีในน้ำส้ม ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญลดลง (Tran et al., 2004) นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีในน้ำทับทิม ทำให้สีของน้ำทับทิมเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Pala et al., 2011) เป็นต้น

2.4.3 การเสื่อมเสียเนื่องจากเอนไซม์

เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เมื่อเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ถูกทำลาย ด้วยกระบวนการคั้นหรือสกัดเอาน้ำผลไม้ออก เอนไซม์ในน้ำผลไม้สามารถสัมผัสกับโมเลกุลของสับสเตรตมากขึ้น และเร่งให้เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) โดยเอนไซม์ PPO สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งพบในเนื้อเยื่อของผลไม้ เช่น กล้วย เมลอน และลิ้นจี่ เป็นต้น ทำให้เกิดสารตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปและทำให้ได้สารที่มีสีน้ำตาล

ในที่สุด (Caminiti et al., 2010; Chen et al., 2010; Noci et al., 2008) นอกจากนี้เอนไซม์ที่พบได้ทั่วไปในน้ำผลไม้อีกชนิดหนึ่ง คือ เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase, POD) เอนไซม์ POD พบมากในผนังเซลล์และแวคิวโอลของพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้เกิดสารสีน้ำตาลในน้ำผลไม้ โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสับสเตรต นอกจากนี้เอนไซม์ชนิดนี้ยังทนต่อความร้อน ส่งผลให้ภาวะในกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนที่สามารถทำลายเอนไซม์ POD ได้ เป็นภาวะที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่นได้เช่นกัน (Nielsen, 2010)

2.4.4 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของอาหาร โดยจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารคือ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยทั่วไปน้ำผลไม้มีค่า pH ต่ำ ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์ ในทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และขนมอบ ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิต เนื่องจากยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ แต่อย่างไรก็ตามยีสต์สามารถทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำผลไม้ เนื่องจากยีสต์มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยกรดอินทรีย์ ทำให้ค่า pH ของน้ำผลไม้เพิ่มขึ้น ซึ่งเหมาะแก่การเจริญของแบคทีเรียและนำไปสู่การเน่าเสียได้ (Bates et al., 2001) แต่น้ำมะพร้าวเป็นน้ำผลไม้ที่มีค่า pH ประมาณ 5.0 - 6.1 (Prades et al., 2012b) ทำให้ไม่เหมาะกับการเจริญของยีสต์และรา แต่เหมาะกับการเจริญของแบคทีเรีย

2.4.4.1 lactic acid bacteria (LAB)

ในอุตสาหกรรมอาหารหมักดองมักใช้แบคทีเรียในกลุ่มนี้ในการผลิตอาหาร เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่ม LAB มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดอินทรีย์ ส่งผลให้อาหารหมักดองมีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น เช่น นมเปรี้ยว เนยแข็ง ผักดอง กิมจิ และแหนม เป็นต้น แต่สำหรับน้ำมะพร้าว การเจริญของ LAB ส่งผลให้สมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น กลิ่นรสและรสชาติ เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค (Kadere et al., 2012) โดยทั่วไป LAB เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างทั้งแบบแท่ง (rod) และทรงกลม (cocci) และสามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลักๆ ได้ดังนี้ *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* และ *Streptococcus* ซึ่งมีการรายงานพบ *Lactobacillus plantarum* ในน้ำมะพร้าวที่เกิดการหมักแบบธรรมชาติ *Lactobacillus plantarum* เป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง เจริญได้ทั้งในภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน จึงมีการรายงานการเน่าเสียของหมูแฮมปรุงสุกในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศที่เกิดจาก *Lactobacillus* sp. (Kalschne et al., 2015) นอกจากนี้การหมักไวน์ที่ไม่ได้คุณภาพ เกิดการเจริญของ *Lactobacillus* sp. ที่มากเกินไป ทำให้ไวน์เกิดการเสื่อมเสีย (Bartowsky, 2009)

นอกจากการเสื่อมเสียที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ ความปลอดภัยจากการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมานี้มีการรายงานเกี่ยวกับการเจ็บป่วยเนื่องจากการรับประทานน้ำผลไม้อย่างต่อเนื่อง เช่น ในปี ค.ศ. 2000 มีการระบาดของ *Salmonella* Enteritidis ในน้ำส้ม ในประเทศสหรัฐอเมริกา ทำให้มีผู้เสียชีวิต 88 ราย (Butler, 2000) หรือในปี ค.ศ. 2010 มีการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจาก *Escherichia coli* O157:H7 ในน้ำแอปเปิ้ล ในประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิต 7 ราย (FDA, 2010) เป็นต้น การปนเปื้อนของจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเกิดขึ้นตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต การขนส่งจนกระทั่งการเก็บ กระบวนการทุกขั้นตอนในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้นั้นมีความสำคัญต่อการเปื้อนปนจุลินทรีย์ โดยโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากการปนเปื้อนของแบคทีเรียในน้ำผลไม้ส่วนมากเกิดจาก *Escherichia coli* O157:H7 และ *Salmonella* Enteritidis ซึ่งมีการรายงานการตรวจพบแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (4 °C) และมีการรายงานการพบ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นเช่นกัน (Walter et al., 2014) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 356) พ.ศ. 2556 เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กำหนดให้เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ซึ่งรวมถึงเครื่องดื่มที่มีหรือทำจากผลไม้ พืชหรือผัก ไม่ว่าจะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม ต้องไม่พบแบคทีเรียชนิด *E. coli* (*Escherichia coli*) และในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 364) พ.ศ. 2556 เรื่อง มาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค กำหนดให้ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลวที่มีค่า pH≥4.3 ต้องไม่พบ *Staphylococcus aureus* ในเครื่องดื่ม 0.1 มิลลิลิตร

2.4.4.2 *Escherichia coli* (*E. coli*)

เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่มีรูปร่างเป็นแท่ง สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ส่วนใหญ่แบคทีเรียในกลุ่มนี้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ พบโดยทั่วไปในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ อย่างไรก็ตามแบคทีเรียในกลุ่มนี้บางส่วนทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ยกตัวอย่างเช่น Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) ซึ่งถูกจัดให้เป็นจุลินทรีย์ก่อโรคที่สร้างสารพิษคล้ายกับ Shiga toxins (Stxs) ทำให้เกิดความเสียหายกับเยื่อบุของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ส่งผลให้เกิดการอักเสบและเกิดภาวะตกเลือด (hemorrhagic colitis) ผู้ป่วยจะมีอาการปวดท้องรุนแรง อุจจาระร่วงและกลายเป็นมูกเลือด อาจมีอาการอาเจียนและมีไข้ต่ำหรือไม่มีก็ได้ นอกจากนี้ในผู้ป่วยบางรายอาจมีเลือดปะปนมาในปัสสาวะ (hemolytic uremic syndrome: HUS) ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะไตวายได้ (Tozzi et al., 2003) อาการดังกล่าวมักเกิดจาก *E. coli* O26:H11, O91:H21, O111:H8, O157:NM, และ O157:H7 โดย *E. coli* ที่มีความเกี่ยวข้องกับผู้ป่วยมากที่สุดทั้งในสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และสหราชอาณาจักรคือ *E. coli* O157:H7 โดย *E. coli*

O157:H7 สามารถรอดชีวิตได้ทั้งในภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของอุณหภูมิ ค่า pH และ osmolarity (ความเข้มข้นของสารละลายโดยรอบของเซลล์แบคทีเรีย) (Lim et al., 2010) โดยทั่วไปแบคทีเรียในกลุ่มของ *E. coli* มักพบได้ทั่วไปทั้งในดินและน้ำ เนื่องจากการปนเปื้อนของอุจจาระที่มาจากระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ในสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับแบคทีเรียในกลุ่ม *Salmonella*

2.4.4.3 *Salmonella*

เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่มีรูปร่างเป็นแท่ง เจริญได้ทั้งในภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และมีแหล่งกำเนิดมาจากลำไส้ของสัตว์และมนุษย์เช่นเดียวกับ *E. coli* โดยสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางอุจจาระ ในทางระบาดวิทยาสามารถจำแนกโฮสต์ของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้ 3 แหล่งคือ เชื้อที่อาศัยมนุษย์เป็นโฮสต์ เชื้อในกลุ่มนี้สามารถทำให้เกิดโรคติดต่อในคน เช่น *Salmonella* Typhi ที่ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ (Typhoid fever) ซึ่งมีความอันตรายมากที่สุด ในขณะที่ *Salmonella* Paratyphi A, *Salmonella* Paratyphi B และ *Salmonella* Paratyphi C สามารถทำให้เกิดโรคไข้รากสาดน้อย (Paratyphoid fever) ซึ่งมีลักษณะอาการคล้ายคลึงกับโรคไทฟอยด์ แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า และเมื่อตรวจเลือดและอุจจาระของผู้ป่วยจะพบเชื้อ *Salmonella* Typhi เชื้อ *Salmonella* ในกลุ่มถัดมาจะมีความสามารถในการปรับตัวตามโฮสต์และเกิดการติดต่อจากสัตว์มาสู่มนุษย์ เช่น *Salmonella* Enteritidis เป็นต้น และเชื้อ *Salmonella* ในกลุ่มสุดท้ายจะไม่เลือกโฮสต์ ซึ่งสามารถแพร่กระจายทั้งจากมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เชื้อในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ นับเป็นกลุ่มสำคัญที่ต้องมีการจัดการและควบคุมการสุขาภิบาลอาหารที่ดี โดยเชื้อในกลุ่มนี้ทำให้เกิดโรค *Salmonellosis* ซึ่งเกิดจากการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร จนทำให้เกิดลำไส้อักเสบ (Jay, 2000) เชื้อ *Salmonella* เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งในภาวะที่เป็นกรด โดยสามารถเจริญในภาวะที่มีค่า pH ต่ำสุดที่ 3.8 และเจริญได้ในภาวะที่เป็นเบสที่มีค่า pH ไม่เกิน 9.5 นอกจากนี้ยังมีชีวิตรอดในภาวะที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 5.2 - 49.5 °C (International Commission on Micribiological Specifications for Foods, 1996) ด้วยเหตุนี้จึงควรเก็บอาหารร้อนหรืออุ่นอาหารให้มีอุณหภูมิสูงกว่า 63 °C เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella* แม้ว่าเชื้อในกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w มากกว่า 0.94 แต่น้ำมะพร้าวมีค่า a_w มากกว่า 0.95 (USDA, 2008) จึงทำให้น้ำมะพร้าวมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนเชื้อในกลุ่ม *Salmonella* ได้สูง

จุลินทรีย์ก่อโรคที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่งคือ *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบได้ตามผิวหนังของมนุษย์ ทำให้มีโอกาสสูงในการปนเปื้อนในน้ำมะพร้าวสด

2.4.4.4 *Staphylococcus aureus*

เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม มักอยู่รวมกันทำให้มีรูปทรงคล้ายพวงองุ่น เจริญได้ทั้งในภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้ จะเกิดเมื่อบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารพิษที่สร้างจาก *Staphylococcus aureus* เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอ ผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวด-ท้อง ท้องเดินอย่างรุนแรงจนอ่อนเพลีย และอาจเป็นตะคริวที่บริเวณกล้ามเนื้อ ซึ่งอาการดังกล่าวจะแสดงภายใน 1 - 6 ชั่วโมง (Murray et al., 2007) *Staphylococcus aureus* สามารถเจริญได้ในภาวะที่มีอุณหภูมิ 6 - 46 ℃ และสามารถสร้างสารพิษเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 10 ℃ ส่งผลให้ต้องมีการเก็บน้ำผลไม้ในภาวะแช่เย็นหรือแช่แข็ง เพื่อป้องกันการเจริญอย่างรวดเร็วของ *Staphylococcus aureus* (Versalovic et al., 2011)

นอกจากจุลินทรีย์ก่อโรคที่ต้องตระหนักถึงอันตรายและให้ความสำคัญในการลดโอกาสการปนเปื้อน เพราะส่งผลถึงความปลอดภัยของอาหารแล้ว แบคทีเรียที่ทำให้เกิดความเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ก็มีความสำคัญไม่แตกต่างกัน เพราะสามารถส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ ด้วยเหตุนี้กระบวนการผลิตที่ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์จึงมีความจำเป็นต่อการยืดอายุการเก็บของน้ำผลไม้ และยังส่งผลถึงความปลอดภัยของน้ำผลไม้อีกด้วย

2.5 กระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้

2.5.1 กระบวนการแปรรูปโดยความร้อน (thermal processing)

กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงกับอาหารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท หรือผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นหรือเก็บที่อุณหภูมิห้อง กระบวนการให้ความร้อนอาจเป็นได้ทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย นอกจากนั้นยังมีจุดมุ่งหมายเพื่อยับยั้งการทำงานเอนไซม์ เช่น เอนไซม์ PPO เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้ และยังคงรักษารสชาติของอาหารให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนคือไอน้ำหรือน้ำร้อนที่สามารถถ่ายโอนพลังงานจากที่อุณหภูมิสูง (ไอน้ำหรือน้ำร้อน) ไปยังอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอาหารที่เป็นของแข็งสามารถถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำ (conduction) และอาหารที่เป็นของเหลวสามารถถ่ายโอนความร้อนด้วยการพา (convection) เป็นหลัก ถึงอย่างไรก็ตามรูปแบบการถ่ายโอนความร้อนจะขึ้นอยู่กับความหนืดและขนาดของชิ้นอาหารที่บรรจุอยู่ (Lewis, 2006) กระบวนการแปรรูปโดยความ

ร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กระบวนการพาสเจอไรซ์ (pasteurization) และสเตอริไลซ์ (sterilization)

2.5.1.1 กระบวนการพาสเจอไรซ์

กระบวนการพาสเจอไรซ์เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคทั้งหมด ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของอาหาร และยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียบางส่วนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร กระบวนการนี้ถูกค้นพบเมื่อ ค.ศ. 1857 โดย Louis Pasteur ซึ่งกระบวนการนี้สามารถชะลอการเกิดรสเปรี้ยวของนมได้ด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 122 - 142 °F (50.0 - 61.0 °C) การค้นพบนี้นำไปสู่การพัฒนากระบวนการพาสเจอ-ไรซ์ในอาหารต่อไป กระบวนการพาสเจอไรซ์ไม่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด เนื่องจากแบคทีเรียบางชนิดและสปอร์ทนความร้อนสูง จึงสามารถรอดชีวิตได้ ทำให้ต้องเก็บอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ไว้ในอุณหภูมิตู้เย็นเพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์และการปฏิกิริยาต่างๆ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น กระบวนการพาสเจอไรซ์ประกอบด้วย 2 วิธีคือ วิธีการใช้ความร้อนต่ำแต่ใช้เวลานาน (low temperature long time, LTLT) วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 62.8 - 65.5 °C เป็นเวลา 30 นาที และวิธีการใช้ความร้อนสูงแต่ใช้เวลาสั้น (high temperature short time, HTST) โดยจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 °C เป็นเวลา 15 วินาที (Batt et al., 2014) ถึงแม้กระบวนการพาสเจอไรซ์จะไม่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด แต่สมบัติทางเคมีกายภาพของอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการสเตอริไลซ์

2.5.1.2 กระบวนสเตอริไลซ์

กระบวนการสเตอริไลส์เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับอาหารที่อยู่ในภาชนะปิดสนิท เพื่อกำจัดแบคทีเรียที่ทนความร้อนได้มากที่สุดซึ่งคือสปอร์ของ *Clostridium botulinum* โดยแบคทีเรียชนิดนี้ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH น้อยกว่า 4.5 กระบวนการสเตอริไลส์จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสปอร์ของ *C. botulinum* ในอาหารที่มีค่า pH มากกว่า 4.5 หรืออาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) (Heldman et al., 1997)

น้ำมะพร้าวเมื่ออยู่ภายในลูกมะพร้าวจะปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่อผ่านกระบวนการสกัดออกมาจะสัมผัสกับอากาศและสภาพแวดล้อมภายนอก ทำให้น้ำมะพร้าวเกิดการปนเปื้อนและเสื่อม-เสีย การควบคุมอุณหภูมิควบคู่กับการผลิตที่ถูกสุขลักษณะถือเป็นหลักสำคัญในการรักษาคุณภาพความปลอดภัย และยืดอายุการเก็บของน้ำมะพร้าวสด (Rolle, 2007) โดยกระบวนการผลิตที่เป็นที่นิยมในการแปรรูปน้ำมะพร้าวให้สามารถเก็บได้นานคือ กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน (thermal processing) ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการ

เสื่อมเสีย (Bradley, 2005) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนนั้นสามารถส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการและสมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสบางอย่างในน้ำมะพร้าวเปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Bermudez-Aguirre et al., 2012; Mahnot et al., 2014; Rolle, 2007) จากข้อจำกัดนี้ทำให้กระบวนการแปรรูปอาหารทางเลือกที่ไม่ใช้ความร้อน (alternative non-thermal processing) เป็นกระบวนการที่กำลังได้รับความสนใจและถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

2.5.2 กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing)

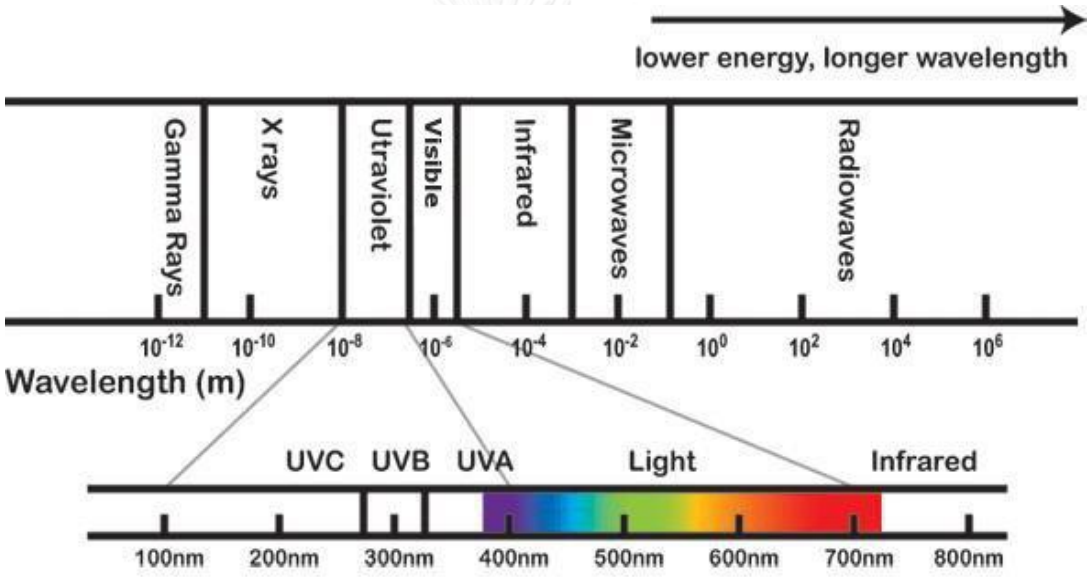
เนื่องจากกระบวนการแปรรูปโดยการใช้ความร้อน ทำให้สมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้เปลี่ยนแปลงไป ประกอบกับในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น ทำให้น้ำผลไม้สดที่มาจากธรรมชาติเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากน้ำผลไม้สดมีโอกาสการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและทำให้น้ำผลไม้มีอายุการเก็บสั้น กระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยจุดประสงค์หลักของกระบวนการแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อนคือ การลดจำนวนจุลินทรีย์ เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บ แต่ยังคงรักษาสมบัติทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ไว้ โดยจะยกตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนมาอย่างคร่าวๆ เช่น กระบวนการแปรรูปด้วยการกรองผ่านเยื่อ (membrane filtration) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการผลิตน้ำมะพร้าว เนื่องจากกลิ่นของน้ำมะพร้าวไวต่ออุณหภูมิและความร้อน ทำให้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการกรองเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการกรอง 2 ขั้นตอนด้วยกระดาษกรอง whatman 42 ร่วมกับเมมเบรนเซลลูโลสไน-เตรท (0.2 μm pore size) ต่อการกำจัดจุลินทรีย์ และพบว่าการกรองด้วยวิธีดังกล่าวสามารถกำจัดแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ และราในน้ำมะพร้าวได้หมด โดยน้ำมะพร้าวเริ่มต้นมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราเท่ากับ 6.54±5.48 log CFU/mL, 5.62±4.60 log CFU/mL และ 5.63±4.70 log CFU/mL ตามลำดับ และเมื่อพิจาณาสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและความชอบโดยรวม พบว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านการกรอง 2 ขั้นตอนได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมลดลง 9 และ 11% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการกรองสามารถแยกน้ำตาล แร่ธาตุ และกลิ่นของน้ำมะพร้าวบางส่วนออกไป (Reddy et al., 2007) นอกจากนี้ Mahnot et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการกรองด้วยเยื่อ (whatman 4, 0.8 μm pore size และ 0.45 μm pore size membrane filter) ร่วมกับการเติมวัตถุเจือปนอาหาร (ascorbic acid 0.018 g/100 mL, malic acid 0.20 g/100 mL และ *L*-cysteine 0.009 g/100 mL) ผลการทดลองพบว่าในน้ำมะพร้าวมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดเริ่มต้นที่ 140 CFU/mL กระบวนการกรองด้วยเยื่อร่วมกับการเติม

วัตถุเจือปนอาหารสามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่มีชีวิตได้ทั้งหมด และมีอายุการเก็บได้นานถึง 46 วัน ที่อุณหภูมิ 4 °C ในขณะที่ยังมีการรายงานการศึกษาผลของ dense-phase carbon dioxide ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุล-ชีววิทยาและประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าว โดยพบว่าการใช้ dense-phase carbon dioxide สามารถยับยั้งปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดได้มากกว่า 5 log CFU/mL และพบว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการ dense-phase carbon dioxide (34.5 MPa, 25 °C, 13% CO_2, 6 นาที) ได้คะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากกว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ (Damar et al., 2009) นอกจากการการศึกษาการใช้ dense-phase carbon dioxide ยังมีการศึกษาการใช้ supercritical carbon dioxide ร่วมกับการใช้ high power ultrasound โดยพบว่าการใช้ supercritical carbon dioxide ร่วมกับการใช้ high power ultrasound มีประสิทธิภาพส่งเสริมกันในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดย supercritical carbon dioxide สามารถลด *Salmonella enterica* ในน้ำมะพร้าวได้สูงสุดประมาณ 2 log CFU/mL ในขณะที่การใช้ supercritical carbon dioxide ร่วมกับการใช้ high power ultrasound สามารถยังยั้ง *Salmonella enterica* ในน้ำมะพร้าวได้ประมาณ 9 log CFU/mL (Cappelletti et al., 2014) และมีการศึกษาการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง (high pressure carbon dioxide) ที่ภาวะ 120 bar ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที ในน้ำมะพร้าว โดยพบว่ากระบวนการนี้สามารถลดปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดและโคลิฟอร์มได้ประมาณ 5 และ 7 log CFU/mL ตามลำดับ แต่การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูงส่งผลให้เกิดการระเหยออกของกลิ่นในน้ำมะพร้าว และยังเกิดสารประกอบใหม่ที่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าว แต่อย่างไรก็ตามน้ำมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูงมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับน้ำมะพร้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการมากกว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ (Cappelletti et al., 2015) และอีกกระบวนการแปรรูปหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้รังสียูวีในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยมีการรายงานพบว่าปริมาณรังสียูวีที่ 2.461 J/mL สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศและยีสต์และราได้หมดในตัวอย่างน้ำเลมอน-เมลอน เมื่อตัวอย่างน้ำ เลมอน-เมลอนมีปริมาณจุลินทรีย์และยีสต์และราเริ่มต้นเท่ากับ 2.86 log CFU/mL และ 2.22 log CFU/mL ตามลำดับ นอกจากนี้รังสียูวียังสามารถยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* K12 (ATCC 25253) ที่เป็นตัวแทนของ *E. coli* O157:H7 ในน้ำเลมอน-เมลอนลง 6.19 log CFU/mL (Kaya et al., 2015) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pala et al. (2011) ที่ศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของรังสี ยูวีในการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ ยีสต์และรา และเชื้อก่อโรค *Escherichia coli* ATCC 25922 ที่เป็นตัวแทนของเชื้อ *E. coli* O157:H7 ในน้ำทับทิม โดยพบว่าน้ำทับทิมที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 62.4 J/mL มีปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ และยีสต์และราลดลง 1.8 log CFU/mL (53.4%) และ 1.45 log CFU/mL (74.4%) ตามลำดับ และปริมาณรังสียูวีที่ 34.4 J/mL สามารถยับยั้ง *E. coli* ATCC 25922 ได้ 6.15 log

CFU/mL ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำทับทิมไม่เปลี่ยนแปลงจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

2.5.2.1 รังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลต (รังสียูวี) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100 - 400 nm โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ UVA (315 - 400 nm) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีที่ทำให้เกิดผิวหนังสีแทนในมนุษย์ UVB (280 - 315 nm) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีที่มีผลทำให้ผิวหนังไหม้และเกิดมะเร็งได้ UVC (200 - 280 nm) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยสามารถยับยั้งได้ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ ราไวรัส และโปรโตซัว ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความยาวคลื่น 254 nm ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สเปคตรัมรังสียูวี

ที่มา : Koutchma et al. (2009)

แหล่งกำเนิดของรังสียูวีที่มนุษย์สร้างแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ low pressure (LP), low pressure high out lamp (LPHO) และ medium pressure lamps (MP) ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันไอของปรอทที่ใช้ในแหล่งกำเนิดรังสียูวี การเลือกแหล่งกำเนิดยูวีที่เหมาะสมสามารถช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพและความสามารถในการแพร่ผ่านของรังสียูวี (ตารางที่ 2.4) นอกจากนี้องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ low pressure mercury lamp (LMP) ในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ (USFDA, 2000) ในปัจจุบันแหล่งกำเนิดรังสียูวีถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น excimer lamps เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทั่วไปของแหล่งกำเนิดรังสียูวี

แหล่งกำเนิดของรังสียูวี	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (%)	ประสิทธิภาพของรังสียูวี (%)	ปริมาณรังสียูวี (W/cm^2)	อุณหภูมิที่ผิวของหลอดยูวี (°C)	อายุการใช้งาน (เดือน)	สเปคตรัมที่ได้
LPM	50	38	0.01	40	18 - 24	Monochromatic 254 nm
MPM	15 - 30	12	600	400 - 1000	0.5	Polychromatic (200-300 nm)
Pulsed Xenon	15 - 20	17	30000		1	Polychromatic
Excimer	10 - 35	10 - 40		อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	>6	Monochromatic

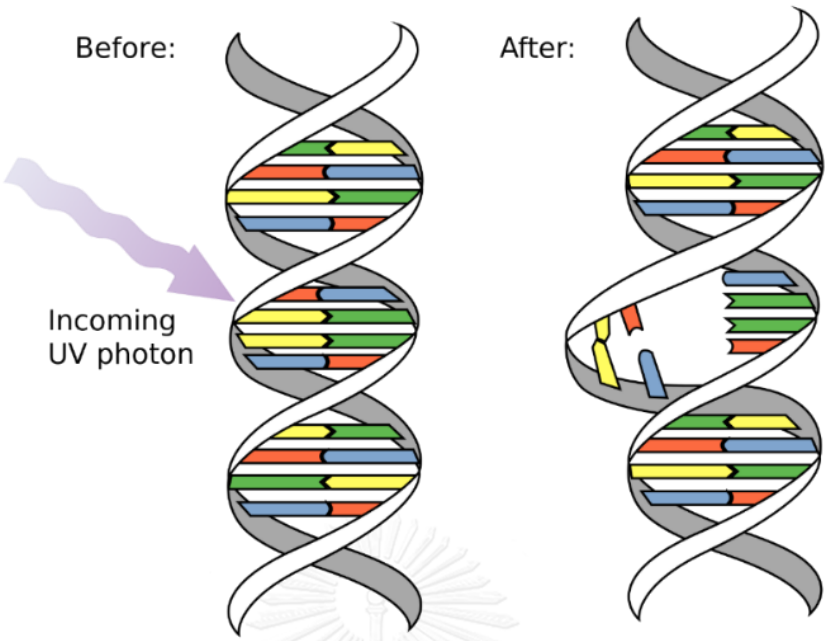
ที่มา : Koutchma (2009)

รังสียูวีที่ความยาวคลื่น 254 nm มีพลังงาน 112.8 kcal/Einstein (1 Einstein มีค่าเท่ากับ 1 mole ของ photon) ในทางทฤษฎีแล้วรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 254 nm สามารถส่งผลต่อพันธะ O-H, C-C, C-H, C-N, H-N และ S-S ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่เป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น สารสีในผักผลไม้ พวกแอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดี ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ แต่มีงานวิจัยพบว่ารังสียูวี 12.5 - 62.4 J/mL ไม่ส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบแอนโทไซยานินในน้ำทับทิมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (Pala et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่พบว่ารังสียูวีไม่ส่งผลให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลของรังสียูวีต่อสารพฤกษเคมี สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้

ผู้วิจัย	น้ำผลไม้	สารประกอบ	UV dose	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Pala et al. (2012)	น้ำองุ่น	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.6-25.2 J/mL	p>0.05
		แอนโทไซยานิน	12.6-25.2 J/mL	p>0.05
Caminiti et al. (2010)	น้ำแอปเปิล	สารประกอบฟีนอลิก	2.66-53.1 J/cm^2	p>0.01
		ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	2.66-53.1 J/cm^2	p>0.05
Pala et al. (2013)	น้ำส้ม	สารประกอบฟีนอลิก	12.03-48.12 kJ/L	p>0.05
		ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	12.03-48.12 kJ/L	p>0.05
		กรดแอสคอร์บิก	12.03-36.09 kJ/L	p>0.05

องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้กระบวนการแปรรูปด้วยรังสียูวีเป็นกระบวนการทางเลือกของกระบวนการพาสเจอไรซ์ด้วยความร้อนในน้ำผลไม้ แต่ต้องสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เป้าหมาย (target microorganism) ได้มากกว่า 5 log CFU/mL (USFDA, 2000) โดยทั่วไปสารเคมีมีกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยการทำลายโครงสร้างของเซลล์ รบกวนระบบเมตาบอลิซึมและการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จุลินทรีย์ แต่สำหรับรังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยการป้องกันการเพิ่มจำนวน โดยกรดนิวคลีอิกจะดูดกลืนรังสียูวี ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างไพริมิดีนคู่ตรงข้ามของสาย DNA แตกออก แล้วเกิดการเชื่อมกันของไพริมิดีน 2 ตัวที่อยู่บน DNA สายเดียวกัน เกิดเป็นไพริมิดีนไดเมอร์ขึ้น ส่งผลให้สาย DNA เกลียวคู่บิดเบี้ยว ทำให้ไม่สามารถจำลอง DNA ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การยับยั้งการจำลอง DNA ของจุลินทรีย์ด้วยรังสียูวี

ที่มา : Koutchma et al. (2009)

ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ด้วยรังสียูวีอย่างกว้างขวาง ดังแสดงตัวอย่างบางส่วนในตารางที่ 2.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.6 การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้

ผู้วิจัย	น้ำผลไม้	จุลินทรีย์	UV dose, mJ/cm^2	log inactivation
Wright et al. (2000)	แอปเปิ้ลไซเดอร์	*E. coli* O157:H7	9 - 61	3.8
Hanes et al. (2002)	แอปเปิ้ลไซเดอร์	*C. parvum* oocyst	14.32	5
Guerrero-BeltrÁN et al. (2005)	น้ำแอปเปิ้ล	*S. cerevisiae*	5135	1.34
		L. innocua		4.29
		E. coli		5.10
Tran et al. (2004)	น้ำส้ม	TVC	12.3 - 120	2
		ยีสต์และรา		3
Outchma et al. (2004)	แอปเปิ้ลไซเดอร์	*E. coli* K12	0.75	<1
Koutchma et al. (2007)	น้ำผลไม้รวม	*E. coli*	21.5	>6
	น้ำส้ม	TVC		1.5
	น้ำฝรั่ง	ยีสต์และรา		1.2
	น้ำแครอท	ยีสต์และรา		3.2
	น้ำสับปะรด	ยีสต์และรา		1.0

ที่มา : Koutchma (2009)

2.6 จลนพลศาสตร์

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการหนึ่งๆ ทำให้สามารถเข้าใจถึงความว่องไวของปฏิกิริยาเคมี และสามารถนำความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปใช้ในการทำนายภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหารนั้นๆ โดยทั่วไปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายอัตราการลดลงของจุลินทรีย์คือ ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสอง ดังสมการ 2.1 - 2.4

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์: $[N] = [N_0] - kt$ 2.1

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง: $[N] = [N_0]e^{-kt}$ 2.2

หรือ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง: $\ln([N]/[N_0]) = -kt$ 2.3

ปฏิกิริยาอันดับสอง: $1/[N] = 1/[N]_0 + kt$ 2.4

โดย N = ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลือรอด

(number of surviving microorganisms, CFU/mL)

N_0 = ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

(initial number of microorganisms, CFU/mL)

k = ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (rate constant)

t = ปริมาณรังสียูวี (J/mL)

โดยที่อัตราการเกิดของปฏิกิริยาอันดับศูนย์จะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นของปฏิกิริยา แต่การเปลี่ยนไปของปฏิกิริยาจะมีข้อจำกัดบางอย่างเหมือนเป็นคอขวดในการดำเนินไปของปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาเร่งด้วยเอนไซม์ ถึงแม้ว่าสารตั้งต้นจะมีความเข้มข้นสูง แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์ ในขณะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงตัวเดียวที่อยู่ในรูปของเลขยกกำลังหนึ่ง เช่น การยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยความร้อน เป็นต้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงตัวเดียวในรูปของความเข้มข้นยกกำลังสองหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองตัวที่อยู่ในรูปของความเข้มข้นยกกำลังหนึ่ง (Atkins et al., 2014) เช่น การสลายตัวของไลซีนในนม UHT เป็นต้น (van Boekel, 2008)

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

สารเคมี

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH; Aldrich, Germany)

2-methoxyphenol (Guaiacol; Himedia laboratories, India)

6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox; Aldrich, USA)

Baird Parker Agar (Himedia laboratories, India)

Benzene-1,2-diol (Pyrocatechol; Merck, Japan)

Sodium hydrogen phosphate (Ajax Finechem, New Zealand)

Eosin Methylene Blue Agar (Himedia laboratories, India)

Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany)

3,4,5-Trihydroxybenzoic acid (Gallic acid; Merck, Germany)

Acetic acid (Qrec, New Zealand)

Hydrochloric acid (Merck, Germany)

Hydrogen peroxide (Qrec, New Zealand)

Iron (III) chloride (Fisher Scientific, UK)

Lactobacillus MRS Agar (Himedia laboratories, India)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

Nutrient Agar (Himedia laboratories, India)

Nutrient broth (Himedia laboratories, India)

3,3-bis(4-hydroxyphenyl)isobenzofuran-1(3H)-one (Phenolphthalein) (Sigma aldrich, USA)

Plate Count Agar (Himedia laboratories, India)

Potato Dextrose Agar (Himedia laboratories, India)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sodium acetate (Ajax Finechem, New Zealand)

Sodium carbonate (Dae-Jung Chemicals & Metals, Korea)

Sodium chloride (Loba chemie, India)

Sodium dihydrogen orthophosphate (Ajax Finechem, New Zealand)

Sodium hydroxide pellets (Qrec, New Zealand)

Sodium hypochlorite (T.S. Inter Lab Limited Partnership, Thailand)

SS Agar (Himedia laboratories, India)

2,3-dihydroxybutanedioic acid (Tartaric acid) (Ajax Finechem, New Zealand)

2,3-dihydroxybutanedioic acid (Tripyridyltriazine) (Merck, Germany)

เครื่องมือ

เครื่องฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี (Tretton, 6W, Taiwan) และปั๊มน้ำชนิด diaphragm Pump (AQ&Q, 24 V., Taiwan)

เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (hand refractometer; Atago, MASTER-α, USA)

เครื่องวัดสี Chroma Meter (Konica minolta, CR-400, Japan)

เครื่อง pH meter (Mettler Toledo, FEP20 FiveEasy PlusTM, Switzerland)

เครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, GENESYS 10 UV, USA)

เครื่อง UV-visible spectrophotometer Double-beam (PerkinElmer, Lambda25, Germany)

เครื่องปิดผนึกปากถุงกึ่งอัตโนมัติ (Glory Pack, PHS-450 10D, Korea)

อ่างน้ำร้อน (Memmert, WNB22, Germany)

หม้อนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave; Tomy Kogyo, SX-700, Japan)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ML1602, Switzerland)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, MS204S, Switzerland)

ตู้บ่ม (Memmert, IPP550, Germany)

เตาแม่เหล็กไฟฟ้า (Victor, VT-196D, Thailand)

ตู้เย็น -20 ℃ (Sharp, FC-28U, Thailand)

ตู้เย็น -18 ℃ (Sanyo, MDF-U5411, Japan)

ตู้เย็น 4 ℃ (Pattana Intercool, LU-45YU, Thailand)

การเตรียมตัวอย่าง

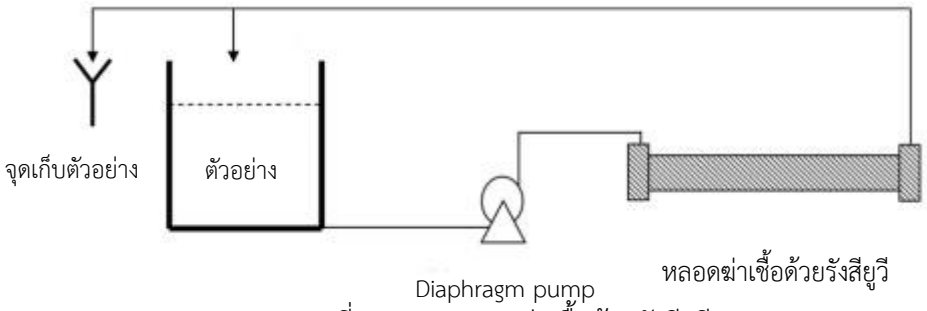
ตัวอย่างน้ำมะพร้าวได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท โอชาฟูดแพ็ค จำกัด ผ่านการแช่แข็งและขนส่งมายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเก็บที่อุณหภูมิ -18 ℃ ในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนตที่ปิดผนึกด้วยความร้อน

การเตรียมตัวอย่างพาสเจอไรซ์

นำน้ำมะพร้าวแช่แข็งที่ใช้เป็นวัตถุดิบมาละลายน้ำแข็งด้วยการใช้น้ำไหลผ่าน จากนั้นพาส-เจอไรซ์น้ำมะพร้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนตที่ภาวะ 95 ℃ เป็นเวลา 100 วินาที ด้วยการต้มในน้ำเดือด แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการหล่อน้ำแข็ง

ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีประกอบด้วยหลอดสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.3 cm ยาว 22.0 cm ภายในเป็นหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.3 cm เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับหลอดยูวีขนาด 6 W ทำให้ตัวอย่างไหลผ่านเครื่องฆ่าเชื้อเป็นฟิล์มหนา 4.5 cm ตัวอย่างจะไหลด้วยความเร็ว 16 mL/s ด้วย diaphragm pump ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

ที่มา : Keyser et al. (2008)

ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณรังสียูวีได้ตามสมการ 3.1

$$D = (I \times t) / V \quad \text{.....3.1}$$

โดย D = ปริมาณรังสียูวี (UV dosage, J/mL)

I = ความเข้มรังสียูวี (UV intensity, W)

t = เวลา (s)

V = ปริมาณตัวอย่าง (mL)

การทำความสะอาดเครื่องฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

ทำความสะอาดเครื่องฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีด้วยการทำความสะอาดแบบไม่ถอดชิ้นส่วน (cleaning in place, CIP) โดยดัดแปลงวิธีการล้างของ Caminiti et al. (2010) การล้างระบบฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีจะเริ่มด้วยเดินระบบให้น้ำกลั่นไหลวนเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกภายในเครื่องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 5% (v/v) เป็นเวลา 15 นาที และล้างสารละลายไฮโปคลอไรท์ออกด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วอีก 2 ครั้ง

การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

การทดลองนี้ใช้จุลินทรีย์ทั้งหมด 5 ชนิด คือ *Escherichia coli* TISTR 780, *Escherichia coli* O157:H7 DMST 12743, *Lactobacillus plantarum*, *Salmonella* Enteritidis DMST 15676 และ *Staphylococcus aur*eus TISTR 1466 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยเขี่ยเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดลงบนวุ้นเลี้ยงเชื้อ (nutrient agar, NA) และบ่มวุ้นเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเก็บเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น

วิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวต่างๆ (ภาคผนวก ก. ข. และ ค.) ดังนี้

3.1.1 วิเคราะห์ค่าสี CIELAB (*L* a* b**) ด้วยเครื่องวัดสี (Model CR-400 Series, Minolta, Japan)

3.1.2 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วย hand-held refractometer (Atago, MASTER-α, USA)

3.1.3 วิเคราะห์ค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo, FEP20 FiveEasy Plus™, Switzerland)

3.1.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของกรดมาลิก โดยการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามวิธีการของ AOAC International (2005)

3.1.5 วิเคราะห์ความขุ่นด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ตามวิธีของ Tan et al. (2014)

3.1.6 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีของ Tan et al. (2014)

3.1.7 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ferric-reducing antioxidant power (FRAP) ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie et al. (1996)

3.1.8 วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) และเพอร์ออกซิเดส (POD) โดยดัดแปลงวิธีของ Tan et al. (2014)

3.1.9 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดตามวิธีการของ AOAC International (2005)

3.1.10 วิเคราะห์ปริมาณของยีสต์และรา ตามวิธีการของ AOAC International (2005)

3.1.11 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสด้วยเครื่อง HPLC โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.1.12 วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนด้วยเครื่อง HPLC โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใช้วิธีที่ดัดแปลงวิธีของ Liu et al. (1995)

3.1.13 วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสด้วยเครื่อง ICP-MS/OES (Inductively coupled plasma mass spectrometry/optical emission spectroscopy) โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, *Lactobacillus plantarum*, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus*) และสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี

3.2.1 เขี่ยจุลินทรีย์ที่ต้องการศึกษามา 1 colony ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (NB) ปริมาตร 10 mL แล้วนำไปบ่มที่ 37 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปิเปตเชื้อต่อน้ำมะพร้าวในอัตราส่วน 1 : 100 (v/v) ลงในน้ำมะพร้าว (ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 10^7 CFU/mL) เขย่าให้เข้ากันแล้วผ่านเครื่องฆ่าเชื้อด้วยปริมาณรังสียูวีที่ 9 ระดับ (0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 4.8, 8.0 และ 12.0 J/mL) และตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิด (ภาคผนวก ค) บันทึกผลการทดลองในหน่วยของ CFU/mL จากนั้นนำผลการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณรังสียูวีด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์และหนึ่งดังแสดงในสมการ 3.2 - 3.4

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์: $[N] = [N_0] - kt$ 3.2

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง: $[N] = [N_0]e^{-kt}$ 3.3

หรือ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง: $\ln([N]/[N_0]) = -kt$ 3.4

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

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

k = ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (rate constant)

t = ปริมาณรังสียูวี (J/mL)

3.2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าว (ไม่มีการเติมเชื้อ) ที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 4.8, 8.0 และ 12.0 J/mL และตัวอย่างควบคุม เก็บที่อุณหภูมิ 4 ºC ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ใช้แบบประเมินความชอบ ชนิด 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 40 คน ประเมินความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี และความชอบโดยรวม (ภาคผนวก ง.)

พิจารณาเลือกปริมาณรังสียูวีที่ผู้บริโภคให้การยอมรับและให้คะแนนความชอบด้านต่างๆ ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และสามารถยับยั้งจุลินทรีย์เป้าหมายได้มากกว่า 5 log CFU/mL เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

3.3.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาตามข้อ 3.1.1 - 3.1.10 ของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

3.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาตามข้อ 3.1.11 - 3.1.13 ของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

3.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ใช้แบบประเมินความชอบ ชนิด 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 50 คน ประเมินความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม (ภาคผนวก ง.)

3.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา และการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ในระหว่างการเก็บที่ 4 °C

3.4.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาตามข้อ 3.1.1 - 3.1.10 ของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ที่บรรจุในขวดแก้วสีชาและเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดยวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทุก 2 วัน (วันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 ของการเก็บรักษา)

3.4.2 การเกิดสีชมพู เตรียมตัวอย่างน้ำมะพร้าวแต่ละทรีตเมนต์จำนวน 25 ตัวอย่าง สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของน้ำมะพร้าวเป็นสีชมพูดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมะพร้าวในหลอดที่ 5 ถือว่าเป็นการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าว ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมะพร้าวในหลอดที่ 1 - 4 ไม่ถือว่าเป็นการเกิดสีชมพู และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดสีชมพูจากสมการ 3.5

$$\% \text{ pink discoloration} = N_{pink}/N_{total} \times 100 \quad \text{.....3.5}$$

โดย N_{pink} = จำนวนตัวอย่างที่เกิดสีชมพู

N_{total} = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

รูปที่ 3.2 การเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ระดับต่างๆ

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) สำหรับการประเมินผลทางสถิติของสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในขณะที่ออกแบบการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) สำหรับการประเมินผลของสมบัติทางประสาทสัมผัส โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ของทุกการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for Social Sciences) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น

น้ำมะพร้าวมีสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการพิจารณาค่าสีของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นได้เป็นอย่างแรก พบว่ามีค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าสีแดง/เขียว) และ b^* (ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน) เท่ากับ 37.71±3.40, 0.61±0.02 และ 1.82±2.39 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสุกแก่ของผลไม้ เนื่องจากเป็นค่ารวมของปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้ โดยส่วนใหญ่จะหมายถึงปริมาณน้ำตาลในน้ำผลไม้เป็นหลัก โดยพบว่าน้ำมะพร้าวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 6.83±0.29 °Brix ซึ่งมีการรายงานพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมะพร้าวจะอยู่ในช่วง 4.5 – 7.7 °Brix ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์และความสุกแก่ของลูกมะพร้าว (Prades et al., 2012b) ในขณะที่น้ำมะพร้าวมีปริมาณกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสเท่ากับ 28.893±4.016, 24.086±4.136 และ 4.462±0.745 g/L ตามลำดับ โดยตัวอย่างน้ำมะพร้าวมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เป็นหลัก จึงอาจส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ และเมื่อพิจารณาค่า pH พบว่าน้ำมะพร้าวมีค่า pH เท่ากับ 5.47±0.10 ซึ่งเหมาะแก่การเจริญของแบคทีเรีย ส่งผลให้น้ำมะพร้าวเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย โดยทั่วไปน้ำมะพร้าวมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.0 – 6.1 และการลดลงของค่า pH จะบ่งบอกถึงการเสื่อมเสียของน้ำมะพร้าว การลดลงของค่า pH เป็นผลมาจากปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ โดยน้ำมะพร้าวมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้อยู่เท่ากับ 0.08±0.01 % กรดมาลิก นอกจากนี้ความขุ่นของน้ำมะพร้าวถือเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอีกประการหนึ่ง เนื่องจากความขุ่นเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นได้ในทันทีและความขุ่นยังขัดขวางการส่องผ่านของรังสียูวี ทำให้ประสิทธิภาพของรังสียูวีลดลง โดยน้ำมะพร้าวมีความขุ่นเท่ากับ 5.74±0.49%

สารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของน้ำมะพร้าว โดยพบว่าน้ำมะพร้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 82.59±5.34 mg GAE/L มีการรายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในน้ำมะพร้าวคือ catechin รองลงมาคือ salicylic acid ที่เป็นองค์ประกอบของ phytohormone (Tan et al., 2014) และเมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.30±0.02 และ 0.24±0.01 mM trolox ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมะพร้าวมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD เท่ากับ 0.0263±0.0014 และ 0.0021±0.0003 U/mL °Brix min ตามลำดับ ส่งผลให้น้ำมะพร้าวมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์

ได้ และสมบัติหนึ่งที่บ่งบอกถึงสุขลักษณะที่ดีในการผลิตคือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา โดยพบว่าน้ำมะพร้าวมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเท่ากับ $3.48\pm0.93\times10^{3}$ และ $4.90\pm1.28\times10^{2}$ CFU/mL ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวเริ่มต้น

สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา	ค่าเฉลี่ย ± SD
*L**	37.71±3.40
*a**	0.61±0.02
*b**	1.82±2.39
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	6.83±0.29
pH	5.47±0.10
ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (% กรดมาลิก)	0.08±0.01
ความขุ่น (%)	5.74±0.49
สารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/L)	82.59±5.34
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (mM trolox)	0.30±0.02
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP (mM trolox)	0.24±0.01
กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (U/mL °Brix min)	0.0263±0.0014
กิจกรรมของเอนไซม์ POD (U/mL °Brix min)	0.0021±0.0003
ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (CFU/mL)	$3.48\pm0.93\times10^{3}$
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/mL)	$4.90\pm1.28\times10^{2}$
กลูโคส (g/L)	23.893±4.016
ฟรุกโตส (g/L)	24.086±4.136
ซูโคส (g/L)	4.462±0.745
แมงกานีส (mg/L)	3.22±0.01

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

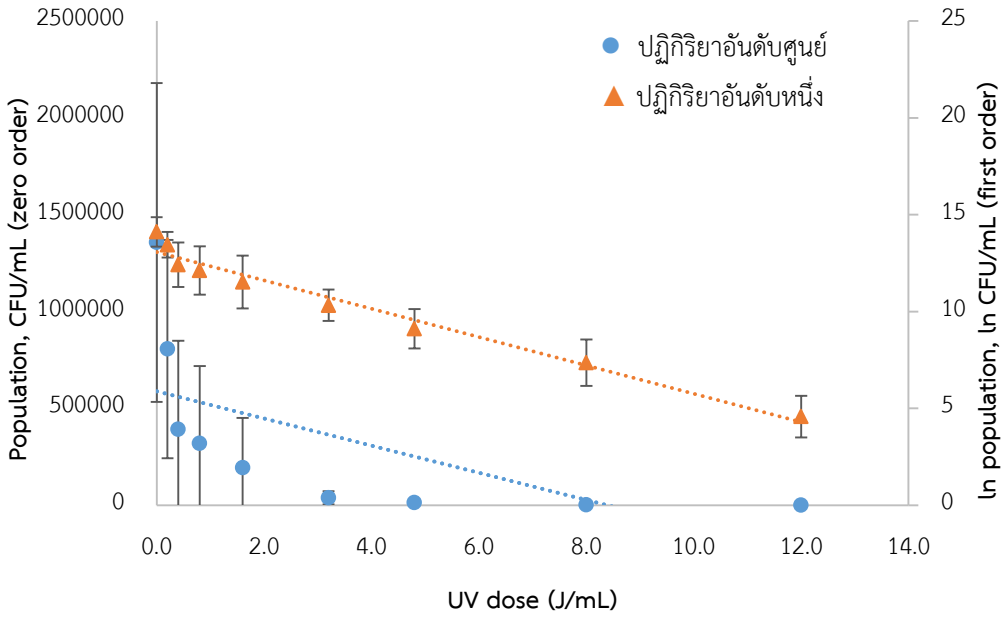
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวี

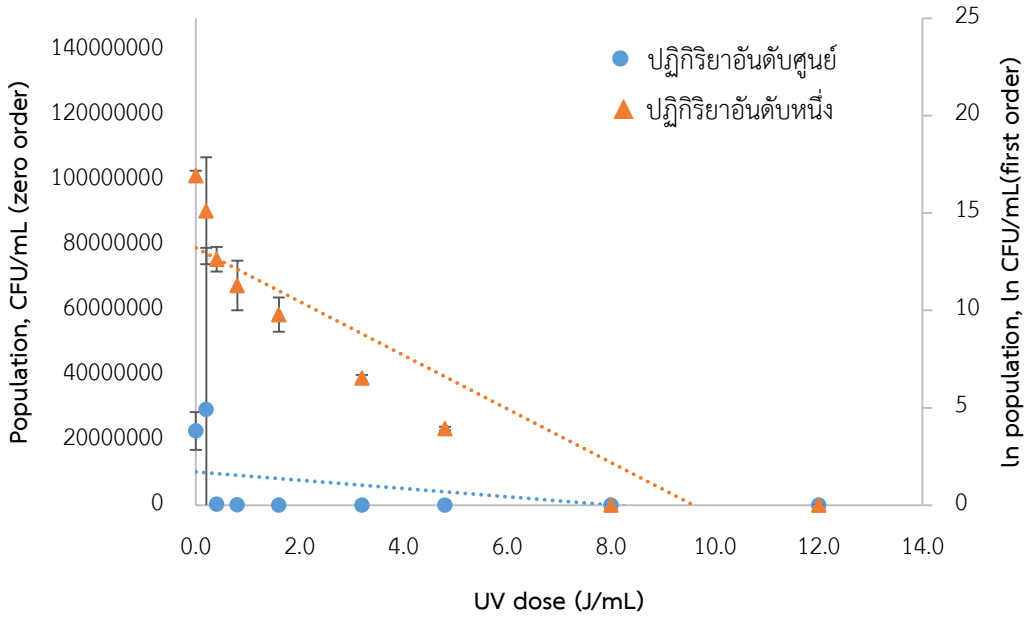
จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าวด้วยรังสียูวี พบว่าอัตราการลดลงของจุลินทรีย์สามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์และปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบอัตราการลดลงของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดในน้ำมะพร้าว (รูปที่ 4.1 - รูปที่ 4.5) พบว่าแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients, r^2) ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่งดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยค่า r^2 ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีความเหมาะสมมากกว่า เพราะมีค่าสูงกว่าและเข้าใกล้หนึ่งมากกว่า ทำให้อัตราการลดลงของของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่าการลดลงของจุลินทรีย์ด้วยรังสียูวีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น Oteiza et al. (2010) พบว่าการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* O157:H7 ในน้ำส้มที่เก็บที่ 4 ℃ ด้วยรังสียูวีสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.8426 - 0.9706 นอกจากนี้การยับยั้งการเจริญของ *Saccharomyces cerevisiae* ในน้ำองุ่นด้วยรังสียูวีที่อัตราการไหลต่างๆ สามารถอธิบายด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งมีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.897 - 0.988 (Guerrero-BeltrÁN et al., 2009)

เนื่องจากรังสียูวีสามารถทำลายโครงสร้างโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนเสียสภาพและสูญเสียหมู่ฟังก์ชันในการแสดงหน้าที่ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับความร้อน ส่งผลให้การยับยั้งจุลินทรีย์ของรังสียูวีสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเช่นเดียวกับกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อน (van Boekel, 2008)

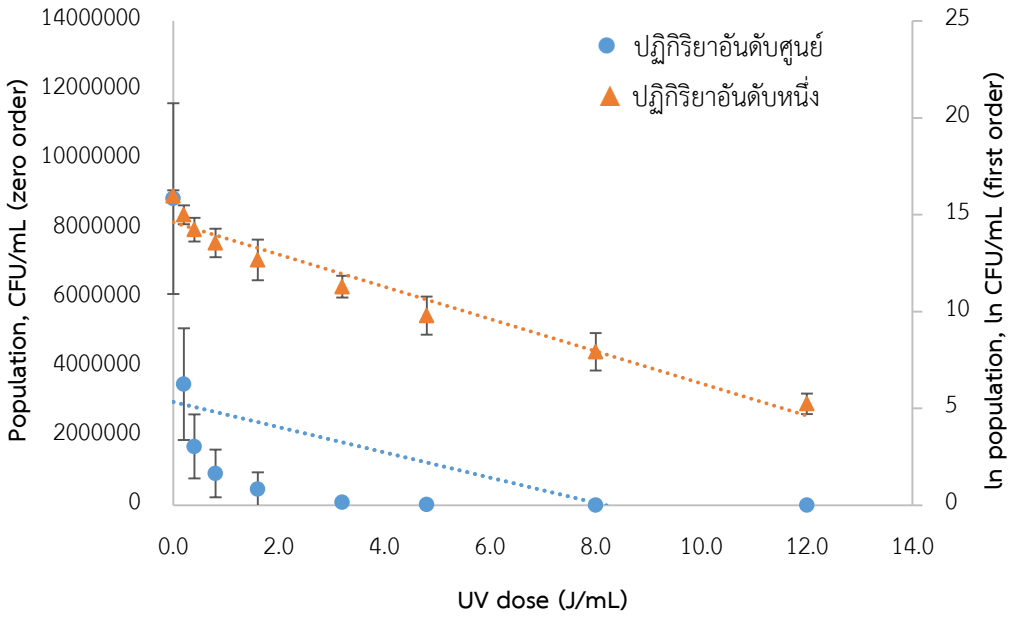
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



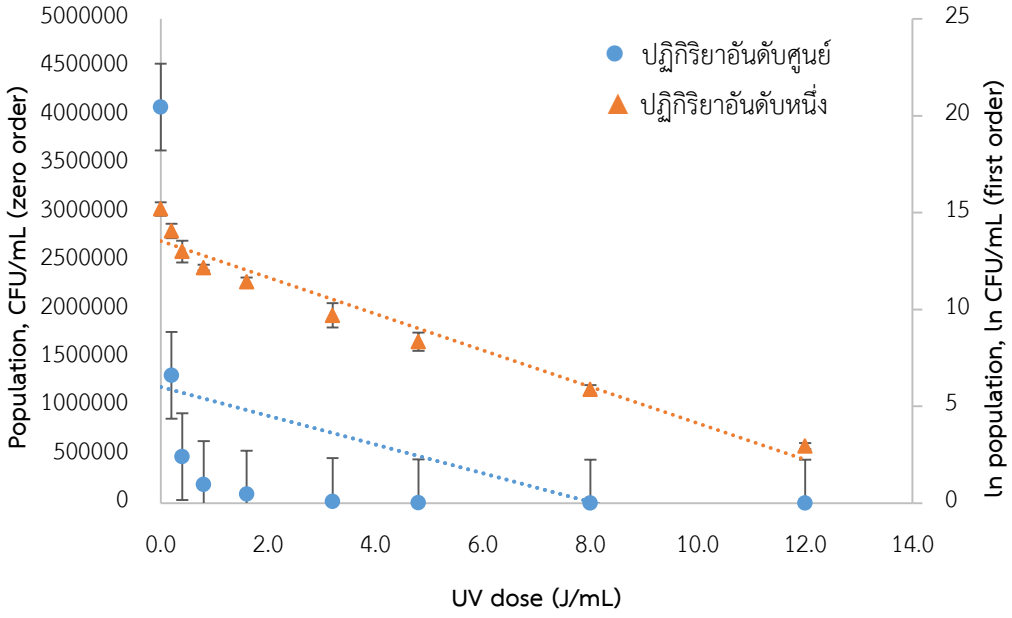
รูปที่ 4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ในน้ำมะพร้าว



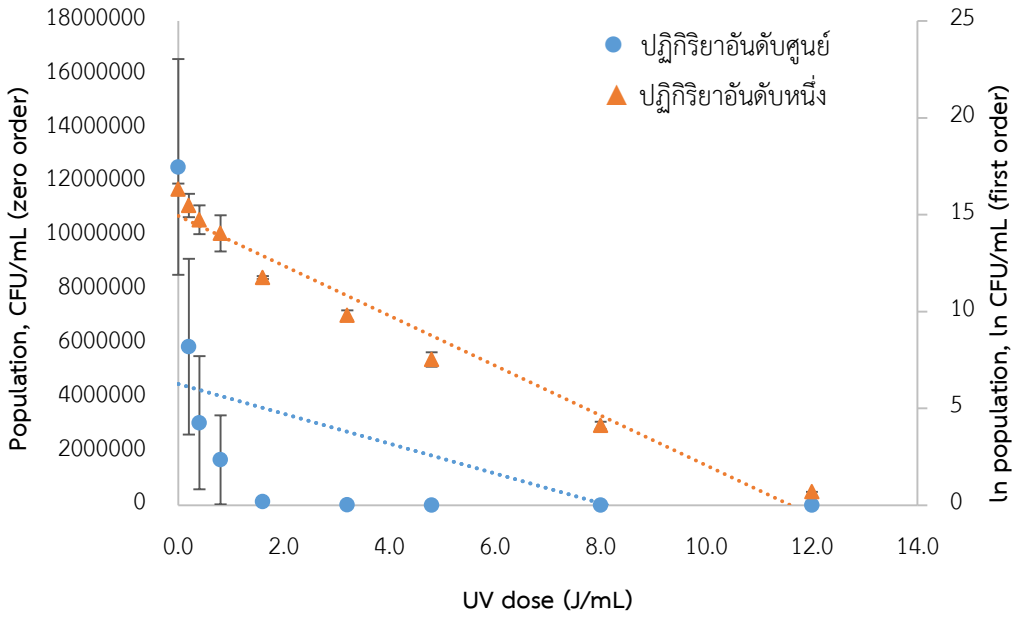
รูปที่ 4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* O157:H7 ในน้ำมะพร้าว



รูปที่ 4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ lactic acid bacteria ในน้ำมะพร้าว



รูปที่ 4.4 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Salmonella* Enteritidis ในน้ำมะพร้าว



รูปที่ 4.5 แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าว

เมื่อพิจารณาค่า k หรือค่าคงที่ของปฏิกิริยาจากสมการที่ได้จากแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดในน้ำมะพร้าวที่อธิบายด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ตารางที่ 4.2) พบว่าค่า k อยู่ในช่วง 0.3714 – 1.3772 โดย *E. coli* O157:H7 มีค่า k สูงสุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า *E. coli* O157:H7 เป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่อรังสียูวีมากที่สุด (รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* O157:H7 ได้มากที่สุด) รองลงมาคือ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Enteritidis และ lactic acid bacteria ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า *E. coli* เป็นจุลินทรีย์ที่มีความต้านทานต่อรังสียูวีมากที่สุด (รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้น้อยที่สุด)

กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยรังสียูวี เกิดจากกรดนิวคลีอิกที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างเบสทั้งสองตัวแตกออกและเกิดการเชื่อมข้ามของคู่เบสข้างเคียง เกิดเป็นไพริมิดีนไดเมอร์ (pyrimidine dimer) แทน ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถจำลอง DNA ได้ และทำให้แบคทีเรียตายในที่สุด ซึ่งความต้านทานต่อรังสียูวีของจุลินทรีย์อาจเป็นผลมาจากโครงสร้าง ความหนา และองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่จะขัดขวางหรือส่งเสริมการดูดกลืนรังสียูวี (Guerrero-Beltr·n et al., 2004) โดยทั่วไปแบคทีเรียแกรมบวกมีความต้านทานต่อรังสียูวีมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากชั้นของเพปทิโดไกลแคนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกหนาและแข็งแรงมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (Brown et al., 2015)

ความแข็งแรงและความหนาของผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกนี้สามารถขัดขวางการแพร่ผ่านของรังสียูวีและสามารถดูดกลืนรังสียูวีไว้ได้บางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของรังสียูวีลดลง นอกจากนี้แบคทีเรียหลายชนิดสามารถซ่อมแซม DNA ที่ถูกทำลายให้กลับสู่สภาพเดิมได้ด้วยตัวมันเอง โดยอาศัยการทำงานของ photolyase ซึ่งถูกกระตุ้นการทำงานด้วยแสงที่มองเห็นได้ด้วยตา (visible light) ส่งผลให้ความสามารถในการซ่อมแซม DNA ด้วยตัวเองของแบคทีเรียเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความไวของรังสียูวีในแบคทีเรีย ในขณะที่มีงานวิจัยรายงานว่าองค์ประกอบของ DNA สามารถส่งผลต่อการต้านทานรังสียูวีของแบคทีเรีย โดย DNA ที่มี cytosine และ thymine หรือ uracil ใน RNA เป็นองค์ประกอบอยู่มาก สามารถส่งผลให้แบคทีเรียชนิดนั้นมีความไวต่อรังสียูวีมาก (ถูกยับยั้งด้วยรังสียูวีได้มาก) เนื่องจากมีปริมาณไพริมิดีนเบสซึ่งเป็นเบสที่สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดีอยู่มาก (Koutchma, 2009)

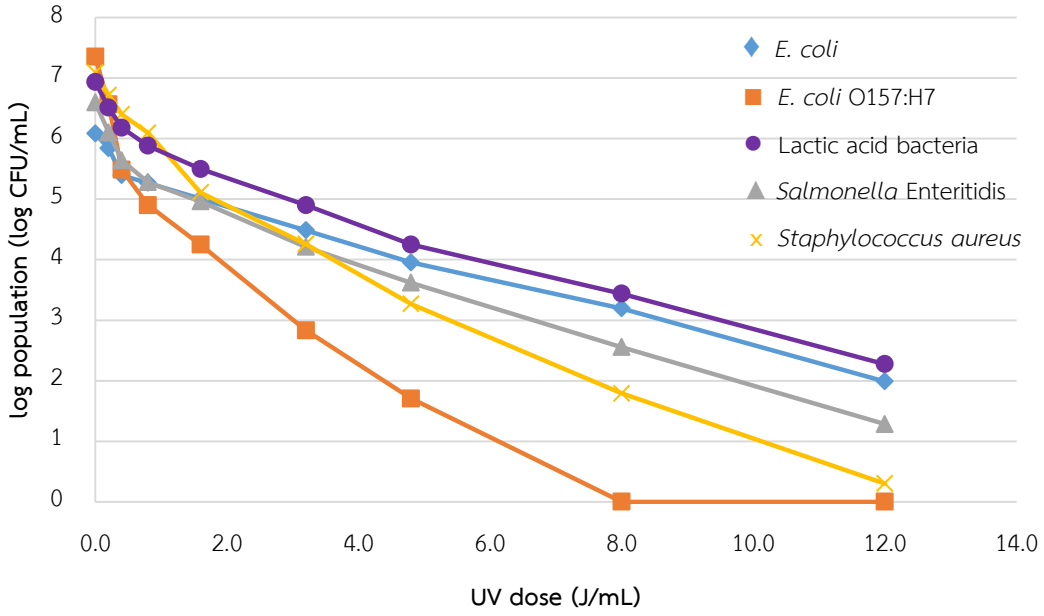
ปริมาณรังสียูวีที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 4.6) จากผลการทดลองพบว่า *E. coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus* ลดลงมากกว่า 5 log CFU/mL ที่ปริมาณรังสียูวีที่ 3.2, 12.0, 12.0 และ 8.0 J/mL ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณรังสียูวีสูงสุด (12.0 J/mL) สามารถลดปริมาณ *E. coli* ได้สูงสุดประมาณ 4 log CFU/mL

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) และค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง (k)

จุลินทรีย์	ปฏิกิริยาอันดับศูนย์		ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2)	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (k)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2)	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (k)
Escherichia coli	0.3982	70120	0.9706	0.7314
Escherichia coli O157:H7	0.2072	1000000	0.8426	1.3772
Lactic acid bacteria	0.2703	364888	0.9576	0.8320
Salmonella Enteritidis	0.2106	148705	0.9555	0.9402
Staphylococcus aureus	0.2937	554565	0.9656	1.2876

ปัจจุบันมีการรายงานการใช้รังสียูวีแทนการพาสเจอไรซ์ด้วยความร้อนในขณะที่ยังสามารถรักษาคุณภาพทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USFDA) อนุญาตให้ใช้รังสียูวีแทนการพาสเจอไรซ์ได้ ก็ต่อเมื่อรังสียูวีในปริมาณที่กำหนดสามารถลดจุลินทรีย์เป้าหมายได้มากกว่า 5 log CFU/mL (USFDA, 2000) จุลินทรีย์เป้าหมายในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ส่วนใหญ่คือ *E. coli* O157:H7 โดยงานวิจัยพบว่ารังสียูวีสามารถยับยั้ง *E. coli* O157:H7 ได้มากกว่า 5 log CFU/mL ในน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ (apple cider) และ USFDA รับรองว่าการใช้รังสียูวีสามารถใช้แทนการพาสเจอไรซ์ด้วยความร้อนสำหรับน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ (Wright et al., 2000)



รูปที่ 4.6 การยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *E. coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus* ในน้ำมะพร้าวด้วยรังสียูวี

เนื่องจากปริมาณรังสียูวีที่สูงสามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นการเลือกใช้ปริมาณรังสียูวีที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อให้ได้ปริมาณรังสียูวีสูงสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ในขณะที่ผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้มีการศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าว จากผลการทดสองทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีตั้งแต่ 0.2 - 12.0 J/mL เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 4.3) พบว่าตัวอย่างทุกตัวอย่างมีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้านมากกว่า 5 แสดงว่าผู้ทดสอบยอมรับลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและสีของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี (ตารางที่ 4.3) เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉาย

รังสียูวีและตัวอย่างควบคุม พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 0.8, 8.0 และ 12.0 J/mL มีคะแนนความชอบด้านสีที่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 12.0 J/mL ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาความสามารถในการลด *E. coli* O157:H7 ที่มากกว่า 5 log CFU/mL (ปริมาณรังสียูวีมากกว่า 3.2 J/mL) ร่วมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวี โดยคะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวีไม่มากกว่า 4.8 J/mL) จึงตัดสินใจเลือกปริมาณรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL ในการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี และความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุม และน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี

ตัวอย่าง	ความชอบด้านกลิ่น[NS]	ความชอบด้านสี	ความชอบโดยรวม
ตัวอย่างควบคุม	6.4±1.7	7.8^{a}±1.3	7.0^{a}±1.6
UV 0.2 J/mL	5.9±1.6	7.3^{ab}±1.5	6.4^{a}±1.4
UV 0.4 J/mL	5.8±1.4	6.9^{ab}±1.4	6.0^{ab}±1.4
UV 0.8 J/mL	6.2±1.8	6.6^{bc}±1.3	6.5^{a}±1.4
UV 1.6 J/mL	5.7±1.5	6.8^{abc}±1.5	5.8^{ab}±1.6
UV 3.2 J/mL	6.6±1.5	7.2^{ab}±1.5	6.7^{a}±1.6
UV 4.8 J/mL	6.4±1.7	7.2^{ab}±1.1	6.4^{a}±1.5
UV 8.0 J/mL	6.0±2.0	5.7^{cd}±2.0	5.8^{ab}±1.9
UV 12.0 J/mL	5.4±2.0	5.3^{d}±2.1	5.1^{b}±1.8

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากผู้ทดสอบ 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี (1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL) และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ โดยทั่วไป ระบบ CIELAB เป็นระบบที่นิยมใช้ในการรายงานค่าสีของน้ำผลไม้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ -100 ถึง 100 โดยค่า *L** เป็นค่าที่แสดงความสว่าง ค่า *a** แสดงค่าสีแดง/เขียว และค่า *b** แสดงค่าสีเหลือง/น้ำเงิน จากผลการทดลองพบว่ารังสี ยูวีไม่ส่งผลต่อค่า *L**, *a** และ *b** ของน้ำมะพร้าว (ตารางที่ 4.4) ในขณะที่ความร้อนจากกระบวนการพาสเจอไรซ์ส่งผลให้ค่า *a** มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีค่า *a** เท่ากับ 0.96±0.08 ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีค่า *a** เท่ากับ 0.61±0.02, 0.62±0.03, 0.67±0.09 และ 0.75±0.04 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า ΔE หรือค่าความแตกต่างของสีซึ่งเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าตัวอย่างพาสเจอไรซ์มีค่า ΔE สูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี ยูวีที่ 4.8, 3.2 และ 1.6 J/mL ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้วิจัยสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของสีได้เล็กน้อยในตัวอย่างพาสเจอไรซ์ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 และ 3.2 J/mL โดยตัวอย่างมีค่า ΔE เท่ากับ 1.14, 0.89 และ 0.66 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 - 1.5 จากการรายงานของ Santhirasegaram et al. (2015) พบว่าค่า ΔE ที่อยู่ในช่วง 0.0 - 0.5 จะไม่สามารถสังเกตความแตกต่างได้ด้วยตามนุษย์ ช่วง 0.5 - 1.5 จะสังเกตได้เพียงเล็กน้อย ช่วง 1.5 - 3.0 จะสามารถสังเกตเห็นได้ ช่วง 3.0 - 6.0 จะสามารถสังเกตได้ดี และช่วง 6.0 - 12.0 จะสามารถสังเกตได้ชัดเจน แนวโน้มของของค่า *a** ที่สูงขึ้นเกิดจากการเปลี่ยนเป็นสีชมพูของน้ำมะพร้าว ซึ่งมีการรายงานว่าการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่มีแร่ธาตุแมงกานีสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยระยะการเจริญเติบโตของมะพร้าวสามารถส่งผลต่อการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าว จากงานวิจัยพบว่าน้ำมะพร้าวที่มีระยะการเจริญเติบโต 25 สัปดาห์สามารถเปลี่ยนเป็นสีชมพูเร็วที่สุด รองมาคือน้ำมะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 28, 30 และ 33 สัปดาห์ตามลำดับ (Choeisunthon et al., 2013)

เมื่อพิจารณาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกควบคู่กับค่า *a** พบว่าทั้งสองค่านี้มีความสัมพันธ์กัน โดยน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ที่มีค่า *a** สูงที่สุด (น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด (44.26±7.08 mg GAE/L) รองลงมาคือน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8, 3.2, 1.6 J/mL และตัวอย่างควบคุม ตามลำดับ (61.30±3.06, 61.67±1.47, 64.08±7.58 และ 82.59±5.34 mg GAE/L ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์นี้อาจเป็นผลมาจากการเกิด photo-oxidation ของสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารสำคัญในน้ำมะพร้าว ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Noci et al. (2008) ที่พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (น้ำแอปเปิ้ลสด) นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำแอปเปิ้ลมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิก โดยตัวอย่างควบคุมมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงที่สุด (0.30±0.02 และ 0.24±0.01 mM trolox ตามลำดับ) รองลงมาคือ น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2, 4.8 J/mL และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ (ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 0.21±0.01, 0.19±0.01, 0.17±0.01 และ 0.15±0.01 mM trolox ตามลำดับ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 0.18±0.01, 0.16±0.02, 0.16±0.01 และ 0.11±0.01 mM trolox ตามลำดับ) เนื่องจากรังสียูวีสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกันกับความร้อน ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันทั้งจากกลไกการให้โปรตอน (ด้วยวิธี DPPH) และกลไกการให้อิเล็กตรอน (ด้วยวิธี FRAP) ลดลง โดย DPPH• เป็นอนุมูลอิสระที่ให้สีม่วงและมีความคงตัวในตัวทำละลายเมทา-นอล เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชัน (AH) หรืออนุมูลอิสระ (R•) จะทำให้สีม่วงของสารละลายเจือจางไป ดังสมการ 4.1 – 4.2 และติดตามฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 515 nm ที่เปลี่ยนแปลงไป

$$DPPH\bullet + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A\bullet \quad \text{.....4.1}$$

$$DPPH\bullet + R\bullet \longrightarrow DPPH\text{-}R \quad \text{.....4.2}$$

และวิธี FRAP จะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ของ Fe(III) ในสารประกอบเชิงซ้อน เมื่อ Fe(III) รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันจะเปลี่ยนเป็น Fe(II) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีม่วงน้ำเงินและมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm

เอนไซม์หลักที่พบในน้ำมะพร้าวคือ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) และเพอร์ออกซิเดส (POD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดย PPO สามารถเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิกไปเป็น *o*-quinone ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล หรือเรียกว่าการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning) (Wattanaphansuk, 2006) และเอนไซม์ POD สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้น (Sornwatana, 2001) จากการทดลองพบว่ารังสียูวีมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในตัวอย่างน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL (0.0141±0.0015 U/mL °Brix min) ลดลงสูงสุดจากตัวอย่างควบคุม (0.0263±0.0014 U/mL °Brix min) รองลงมาคือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 3.2 และ 1.6 J/mL ตามลำดับ (0.0225±0.0025 และ 0.0237±0.0008 U/mL °Brix min

ตามลำดับ) การลดลงของเอนไซม์เป็นผลมาจากการเกิด photo-oxidation โดยมีกลไก 2 แบบคือ (1) direct photo-oxidation ซึ่งเกิดจากการดูดซับรังสียูวีของโครงสร้างโปรตีน ทำให้เกิดการแตกออกหรือการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ของโปรตีน และ (2) indirect photo-oxidation ซึ่งเกิดจากการดูดซับพลังงานจากโครงสร้างที่ไวต่อรังสียูวี ทำให้เกิด singlet oxygen ที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Manzocco et al., 2009) โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Müller et al. (2014) ที่ทำการศึกษาผลของรังสียูวีซีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสารละลายบัฟเฟอร์ น้ำแอปเปิ้ล และน้ำองุ่น และพบว่ารังสียูวีซีสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้มากที่สุดในสารละลายบัฟเฟอร์ โดยสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้หมดที่ปริมาณรังสียูวี 60.29 kJ/L ในขณะที่ปริมาณรังสียูวี 100.48 kJ/L ยังพบกิจกรรมของเอนไซม์ PPO 15.8±7.0% และ 60.9±14.2% ในน้ำแอปเปิ้ลและน้ำองุ่น ตามลำดับ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้สรุปว่าน้ำแอปเปิ้ลและน้ำองุ่นมีองค์ประกอบที่สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของรังสียูวีในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

	L^{*NS}	a^{*}	b^{*NS}	ΔE	pH^{NS}	ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้^{NS} (% malic acid)	TSS^{NS} (°Brix)	ความขุ่น^{NS} (%)
control	37.71±3.40	0.61^{b}±0.02	1.82±2.39	0.00	5.47±0.10	0.08±0.01	6.83±0.29	5.74±0.49
UV 1.6 J/mL	37.67±3.23	0.62^{b}±0.03	1.97±2.48	0.30±.018	5.42±0.17	0.08±0.03	6.63±0.15	5.72±0.48
UV 3.2 J/mL	37.82±2.97	0.67^{b}±0.09	1.95±2.43	0.66±0.50	5.41±0.27	0.07±0.02	6.93±0.42	5.72±0.44
UV 4.8 J/mL	37.11±3.27	0.75^{b}±0.04	2.12±2.228	0.89±0.62	5.37±0.26	0.08±0.03	6.80±0.20	5.76±0.56
pasteurized	37.65±3.07	0.96^{a}±0.08	2.08±2.53	1.14±0.68	5.42±0.25	0.08±0.03	6.93±0.31	5.73±0.52

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (U/mL °Brix min)	กิจกรรมของเอนไซม์ POD (U/mL °Brix min)	สารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/L)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (mM trolox)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP (mM trolox)
control	0.0263^{a} ±0.0014	0.0021^{a} ±0.0003	82.59^{a} ±5.34	0.30^{a} ±0.02	0.24^{a} ±0.01
UV 1.6 J/mL	0.0237^{ab} ±0.0008	0.0024^{a} ±0.0004	64.08^{b} ±7.58	0.21^{b} ±0.01	0.18^{b} ±0.01
UV 3.2 J/mL	0.0225^{b} ±0.0025	0.0020^{a} ±0.0005	61.67^{b} ±1.47	0.19^{bc} ±0.01	0.16^{b} ±0.02
UV 4.8 J/mL	0.0141^{c} ±0.0015	0.0018^{a} ±0.0002	61.30^{b} ±3.06	0.17^{cd} ±0.01	0.16^{b} ±0.01
pasteurized	0.0078^{d} ±0.0008	0.0000^{b} ±0.0000	44.26^{c} ±7.08	0.15^{d} ±0.01	0.11^{c} ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สมบัติทางจุลชีววิทยาเป็นสมบัติที่สำคัญสมบัติหนึ่งสำหรับการกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร จากผลการทดลองด้านจุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวี ตัวอย่างควบคุม และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ (ตารางที่ 4.6) พบว่ารังสียูวีมีผลต่อการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเช่นเดียวกับกระบวนการพาสเจอไรซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยลดลงจากตัวอย่างควบคุม ($3.48 \pm 0.93 \times 10^3$ CFU/mL) ประมาณ 1, 2, 3 และ 3 log CFU/mL ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2, 4.8 J/mL และตัวอย่างพาสเจอร์ไรซ์ ตามลำดับ และให้ผลเช่นเดียวกันในการลดลงของปริมาณยีสต์และราด้วยรังสียูวี โดยลดลงจากตัวอย่างควบคุม ($4.90 \pm 1.28 \times 10^2$ CFU/mL) ประมาณ 1, 1, 2 และ 3 log CFU/mL ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2, 4.8 J/mL และตัวอย่างพาสเจอร์ไรซ์ ตามลำดับ ผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของยีสต์และราที่น้อยกว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นผลมาจากยีสต์และรามีขนาดเซลล์ที่ใหญ่และผนังเซลล์ที่หนาซึ่งขัดขวางการแพร่ผ่านของรังสียูวี เนื่องจากองค์ประกอบของผนังเซลล์และสารละลายในเซลล์สามารถดูดกลืนรังสียูวีไว้ได้บางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพของรังสียูวีลดลง โดยผลการทดลองที่พบสอดคล้องกับการรายงานของ Gabriel (2012) ซึ่งทำการศึกษาผลของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* O157:H7 และยีสต์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำแอปเปิ้ล โดยพบว่ายีสต์ (D = 6.38 - 11.04 min) ทนต่อรังสียูวีมากกว่า *E. coli* O157:H7 (D = 0.5 - 2.76 min)

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

	ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (CFU/mL)	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/mL)
ตัวอย่างควบคุม	$3.48 \pm 0.93 \times 10^3$	$4.90 \pm 1.28 \times 10^2$
UV 1.6 J/mL	$2.12 \pm 0.48 \times 10^2$	$1.07 \pm 0.15 \times 10^2$
UV 3.2 J/mL	$3.73 \pm 2.00 \times 10^1$	<100
UV 4.8 J/mL	<25	<100
น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์	<25	<100

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลและแมงกานีสในตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

สมบัติทางเคมี		ตัวอย่างควบคุม	UV 4.8 J/ml	น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์
sugar (g/L)	glucose^{NS}	23.89±4.02	26.30±0.93	24.11±3.59
	fructose^{NS}	24.09±4.14	26.67±0.83	23.99±3.53
	sucrose^{NS}	4.46±0.75	5.09±0.01	4.58±0.59
manganese (mg/L)		3.22^{c}±0.01	3.38^{b}±0.04	3.56^{a}±0.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

งานวิจัยของ Garcia et al. (2007) อธิบายว่าการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เป็นสารตั้งต้น จากผลการทดลองพบว่ารังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลหลักของน้ำมะพร้าว ทั้งกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (ตารางที่ 4.7) แสดงว่าสีชมพูไม่น่าเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เป็นสารตั้งต้น เช่นเดียวกับการรายงานของ Choeisunthon et al. (2013) ที่พบว่าการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมลลาร์ดและไม่ได้เป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ PPO และ POD แต่พบว่าระยะการเจริญเติบโตของมะพร้าวมีผลต่อการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ โดยน้ำมะพร้าวที่มาจากมะพร้าวที่มีระยะการเจริญเติบโตที่ 25 สัปดาห์ (หลังการผสมเกสร) มีการเปลี่ยนเป็นสีชมพูเร็วที่สุด รองลงมาคือน้ำมะพร้าวที่มาจากมะพร้าวที่มีระยะการเจริญเติบโตที่ 28, 30 และ 33 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยคาดว่าการเกิดสีชมพูน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก ที่มีแมงกานีสเป็นตัวเร่ง และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 4.8 J/mL และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์พบว่ามีปริมาณแมงกานีสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด (3.56±0.04 mg/L) รองลงมาคือน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี 4.8 J/mL (3.38±0.04 mg/L) และตัวอย่างควบคุม (3.22±0.01 mg/L) แสดงว่าปริมาณแมงกานีสที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้น้ำมะพร้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีชมพูได้เร็วขึ้น

รังสียูวีสามารถส่งผลโดยตรงต่อกรดอะมิโนและโปรตีน โดยโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีลักษณะเป็น chromophore ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดี คือ tryptophan (Trp), tyrosine (Tyr),

phenylalanine (Phe), histidine (His) และ cysteine (Cys) ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดอื่นที่นอกเหนือจากนี้ไม่สามารถดูดกลืนรังสียูวีที่ความยาวคลื่นมากกว่า 230 nm ได้ และพันธะเปปไทด์สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้เพียงเล็กน้อยที่ความยาวคลื่นระหว่าง 210 - 220 nm (Davies et al., 2001) เนื่องจากน้ำมะพร้าวมีกรดอะมิโนดังกล่าวอยู่ในปริมาณน้อยมาก (ตารางที่ 4.8) ประกอบกับสารประกอบฟีนอลิกและองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมะพร้าวสามารถดูดกลืนรังสียูวีได้บางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพของรังสียูวีลดลง ส่งผลให้รังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าว

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

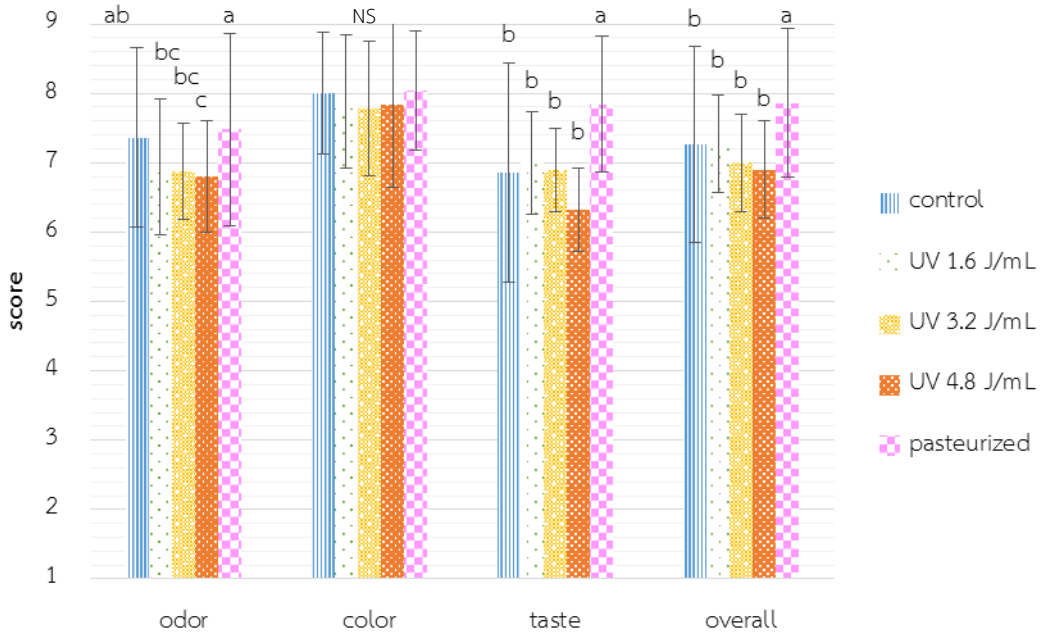
กรดอะมิโน (mg/100 mL)	ตัวอย่างควบคุม	UV 4.8 J/ml	น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์
aspartic acid	0.12	0.11	0.14
serine	0.19	0.18	0.23
glutamic acid	0.60	0.56	0.69
glycine	0.04	0.04	0.06
histidine	0.07*	0.07*	0.09*
arginine	0.18	0.17	0.21
threonine	0.12	0.11	0.15
alanine	0.92	0.84	1.05
proline	0.32	0.30	0.37
tyrosine	0.06*	0.05*	0.07*
valine	0.35	0.32	0.40
lysine	0.09	0.09	0.10
isoleucine	0.11	0.10	0.13
leucine	0.17	0.16	0.19
phenylalanine	0.10	0.09	0.12

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 1 ซ้ำ

* ค่าต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดของ standard curve (calibration curve 5 - 250 µmol)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

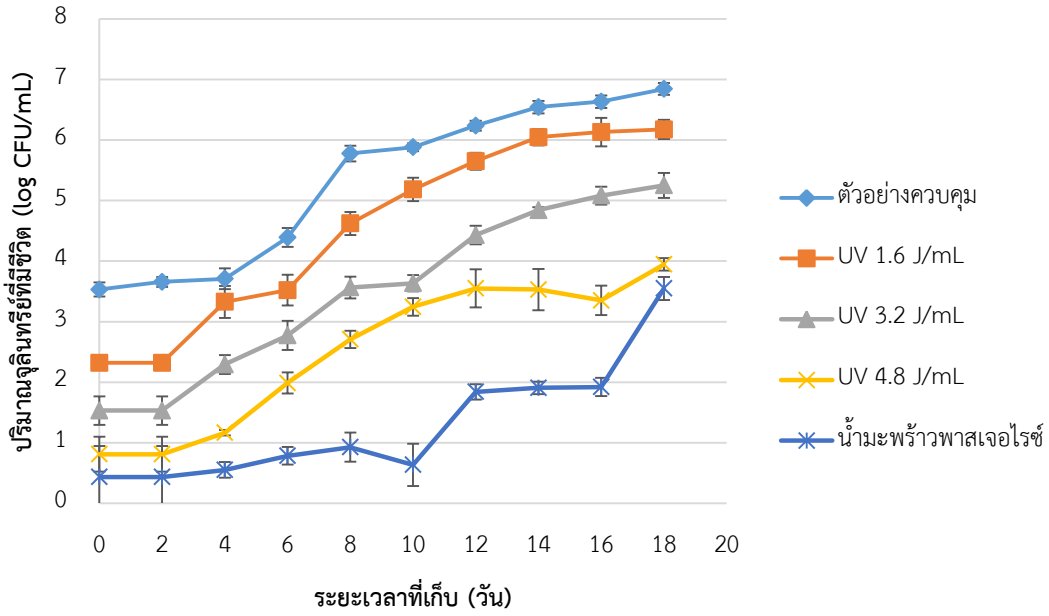
เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น (รูปที่ 4.7) ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของน้ำมะพร้าว พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี เนื่องจากมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากกว่า 5 แต่พบว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น (6.8±0.8) แตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6 และ 3.2 J/mL มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 6.9±1.0 และ 6.9±0.7 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 7.4±1.3 ในขณะที่น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด (7.5±1.4) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Ochoa-Velasco et al. (2014) ที่ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติต่างๆ ในกะทิ โดยพบว่าน้ำกะทิพาส-เจอไรซ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงกว่าตัวอย่างอื่น เนื่องจากผู้บริโภคชื่นชอบ cooked flavor ในน้ำกะทิมากกว่า และในงานวิจัยของ Cappelletti et al. (2015) พบว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline เพิ่มสูงขึ้นจากตัวอย่างน้ำมะพร้าวสด ซึ่งสารแอลดีไฮด์และคีโตนที่เพิ่มขึ้นมีความเชื่อมโยงกับกลิ่นเฮเซลนัทและกลิ่นขนมปังปิ้ง ส่งผลให้ผู้ทดสอบรับรสหวานได้มากขึ้น นอกจากนี้ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวียังมีกลิ่นโลหะ (metallic flavor) ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลวนกลับเข้าเครื่องฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีที่เป็นสแตนเลสหลายรอบ การเกิดกลิ่นโลหะถูกพบในน้ำนมเช่นกัน ถึงแม้จะยังไม่มีเหตุผลที่ชัดเจนก็ตาม แต่คาดว่าน่าจะเกิดจากชักนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโลหะ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์การผลิตที่เป็นสแตนเลสมาเป็นโลหะผสม monel สามารถทำให้กลิ่นโลหะของน้ำนมลดลง (Lemieux et al., 1994) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านสีของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ถึงแม้ว่าค่า a^* และค่า ΔE ของน้ำมะพร้าว พาสเจอไรซ์มีค่าสูง (ตารางที่ 4.4) แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยสายตามนุษย์ และเมื่อพิจารณาคะแนนด้านความชอบด้านรสชาติพบว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีคะแนนสูงที่สุด (7.8±1.0) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวี 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีคะแนนความชอบด้านรสชาติ (6.9±1.6, 7.0±0.7, 6.9±0.6 และ 6.8±0.6 ตามลำดับ) น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นผลมาจากกลิ่นรสของน้ำมะพร้าวดังที่วิจารณ์ไว้ก่อนหน้านี้ ประกอบกับน้ำมะพร้าวมาจากมะพร้าวที่มีระยะการเจริญน้อย ทำให้มีปริมาณซูโครสน้อย (Prades et al., 2012b) ส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบ และคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคะแนนความชอบด้านรสชาติ โดยน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.9±1.1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านการฉายด้วยรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.3±1.4, 7.3±0.7, 7.0±0.9 และ 6.9±0.7 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคะแนนความชอบโดยรวมของน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ (7.9±1.1)



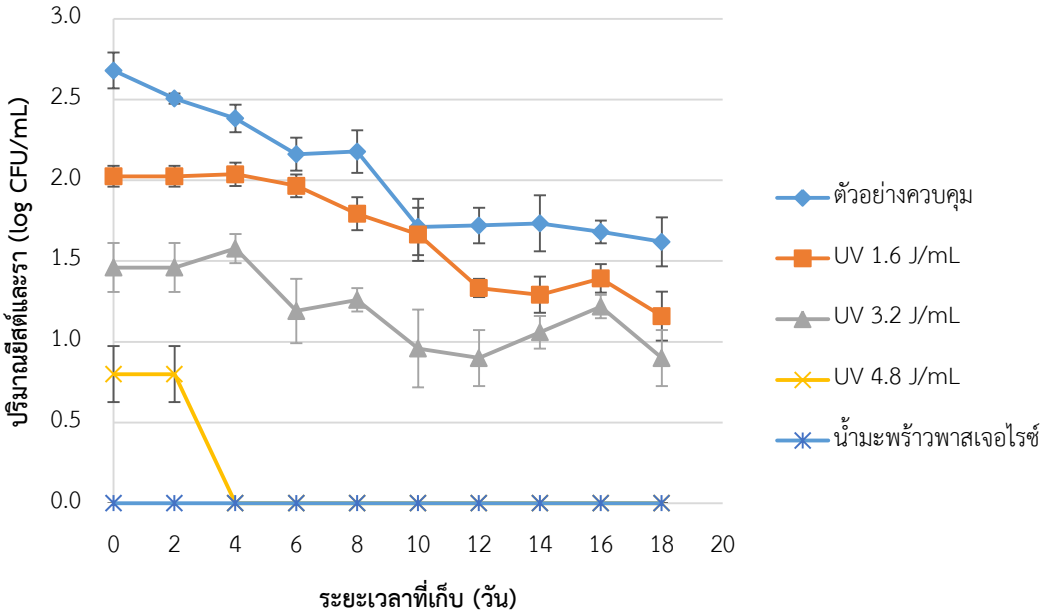
รูปที่ 4.7 คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา และการเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ในระหว่างการเก็บ

เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำมะพร้าวต่างๆ ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 18 วัน พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกตัวอย่าง (รูปที่ 4.8) โดยตัวอย่างควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นและรวดเร็วที่สุด รองลงมาคือ น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2, 4.8 J/mL และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ น้ำมะพร้าวที่มีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดที่มากกว่า 5,000 CFU/mL จัดเป็นน้ำมะพร้าวที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาซึ่งไม่เหมาะต่อการบริโภค (Rolle, 2007) ทำให้ตัวอย่างควบคุมมีอายุการเก็บที่ 4 วัน ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีอายุการเก็บที่ 8, 12 และ 18 วัน ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL สามารถยืดอายุการเก็บของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่ 4 °C ได้ 4, 8 และ 14 วัน ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามปริมาณยีสต์และราในตัวอย่างน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C มีแนวโน้มลดลงในทุกตัวอย่าง (รูปที่ 4.9) เนื่องจากน้ำมะพร้าวเป็นน้ำผลไม้ที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ ประกอบกับปริมาณน้ำตาลและสารอาหารที่มีปริมาณสูง ภาวะดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่ายีสต์และรา (Tan et al., 2014)



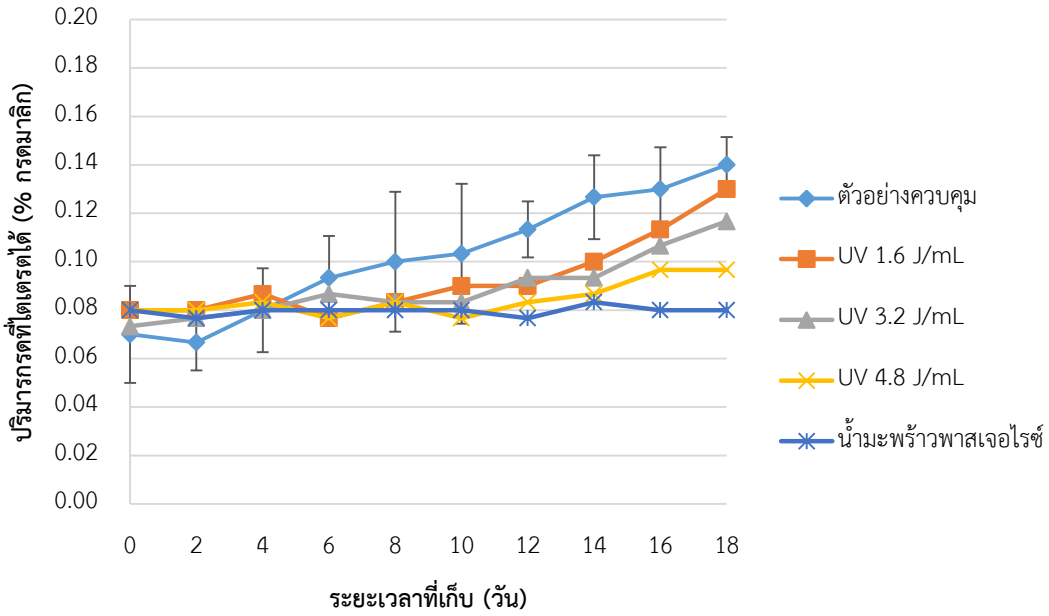
รูปที่ 4.8 ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 4.9 ปริมาณยีสต์และราในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

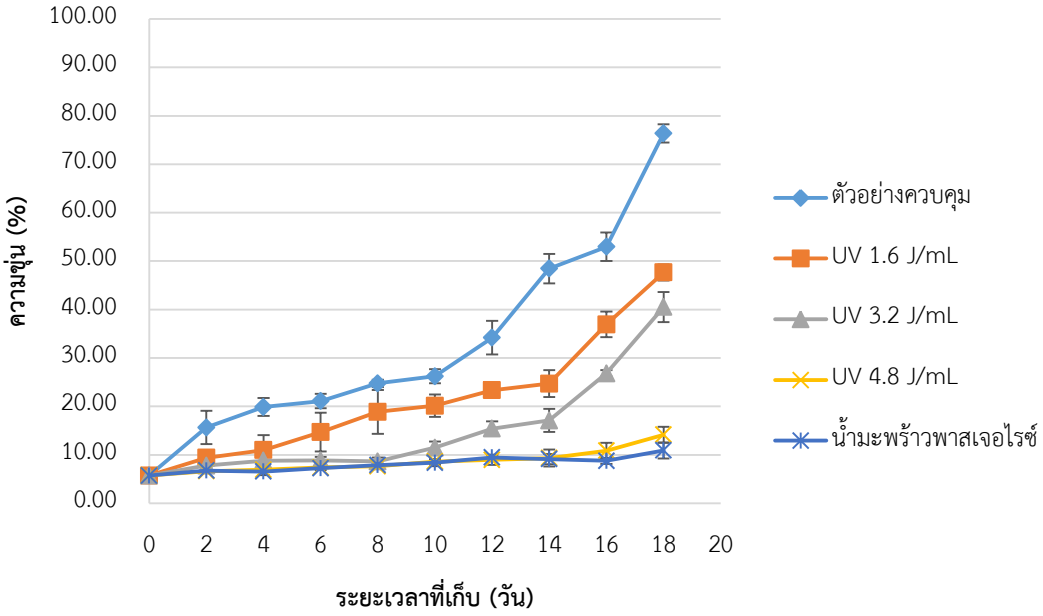
ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (รูปที่ 4.10) และความขุ่นของตัวอย่าง (รูปที่ 4.11) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่า pH (รูปที่ 4.12) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (รูปที่ 4.13) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลที่เชื่อมโยงจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของตัวอย่างน้ำมะพร้าวในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดยทั่วไปจุลินทรีย์

สามารถใช้น้ำตาลต่างๆ ในอาหารสำหรับการเจริญ และเปลี่ยนน้ำตาลนั้นเป็นกรดชนิดต่างๆ เป็นผลให้ค่า pH ของอาหารลดต่ำลง นอกจากนี้เมื่อจุลินทรีย์เจริญ จุลินทรีย์สามารถสร้างสารแมตาบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) และขับออกมานอกเซลล์ ซึ่งส่งผลให้ความขุ่นของตัวอย่างน้ำมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้น (Ruiz et al., 2010) นอกจากนี้ lactic acid bacteria เป็นแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อการเสื่อมเสียของน้ำมะพร้าว ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสและแลก-โตสให้เป็นกรดอินทรีย์ ส่งผลทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมะพร้าว เช่น กลิ่นรส รสชาติ เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค (Kadere et al., 2012)

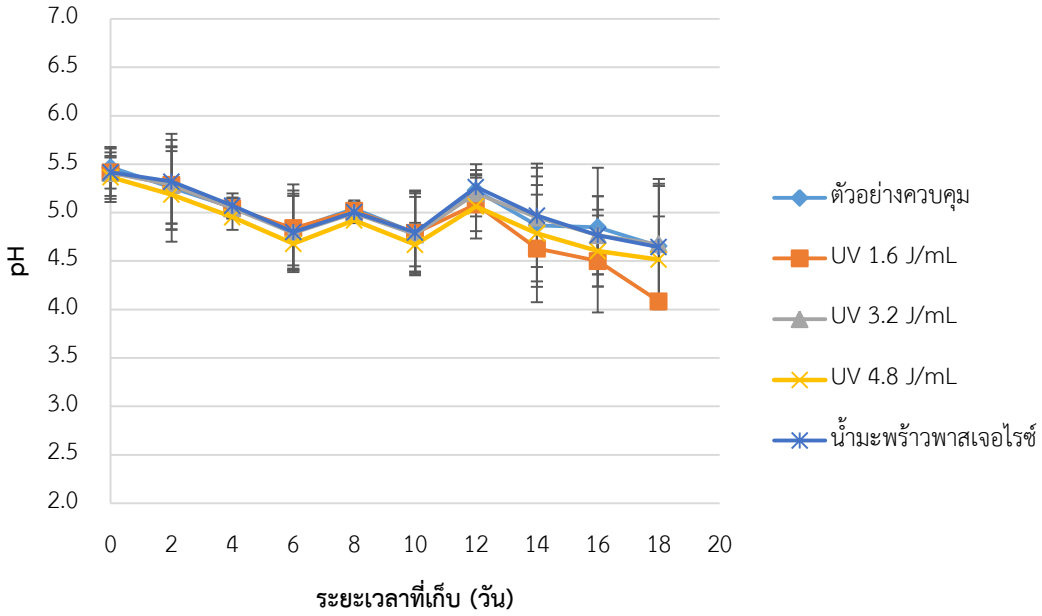


Chulalongkorn University

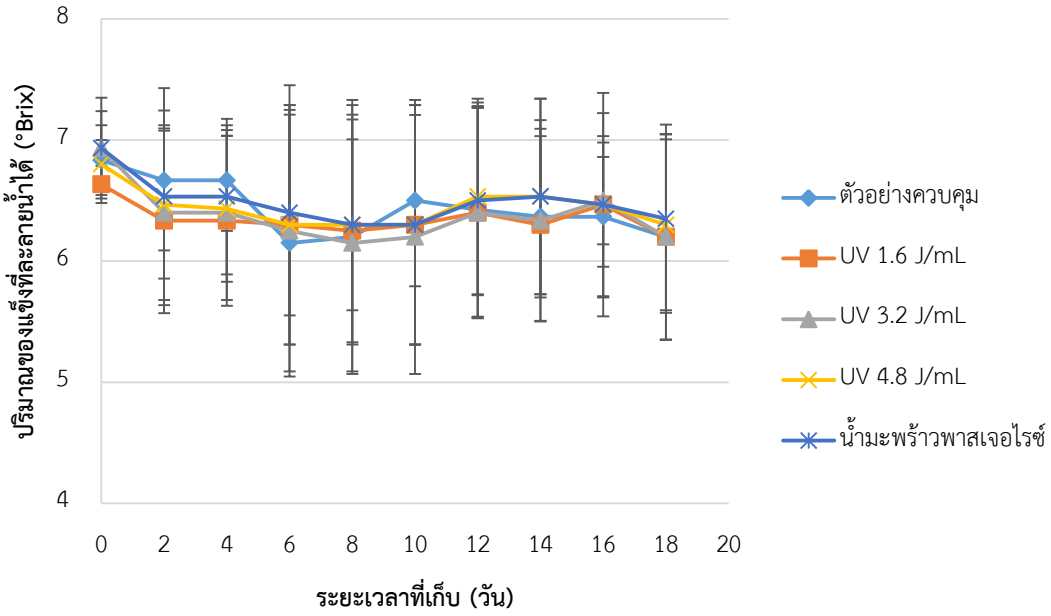
รูปที่ 4.10 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 ℃



รูปที่ 4.11 ความขุ่นของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

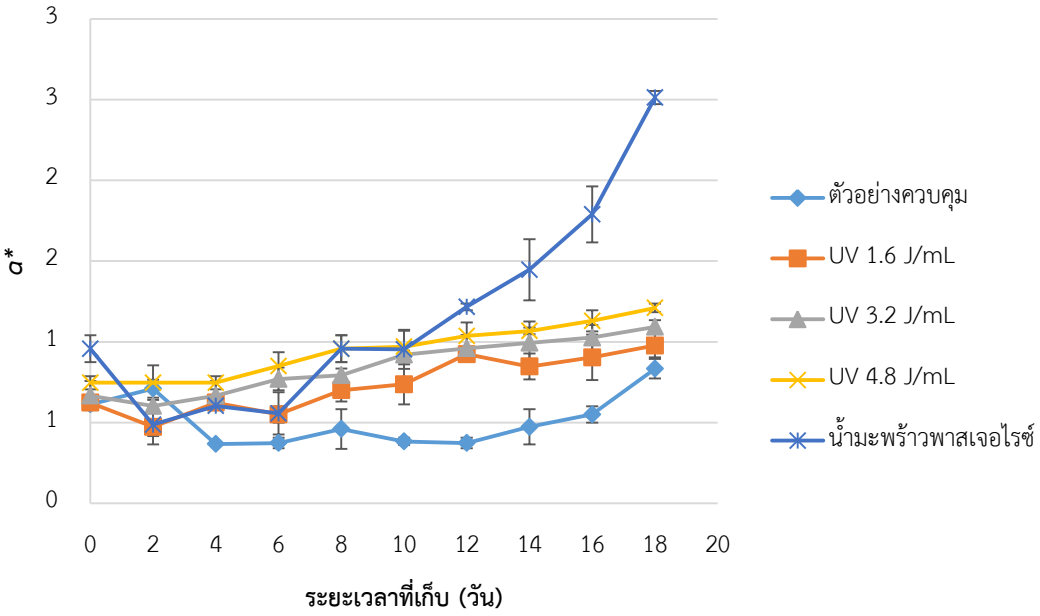


รูปที่ 4.12 ค่า pH ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

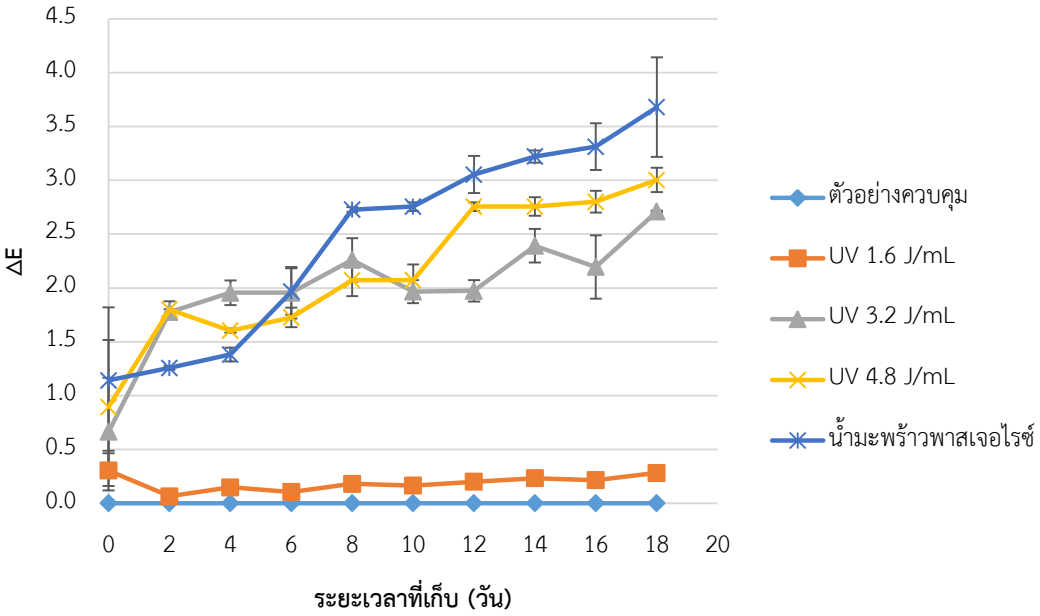


รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

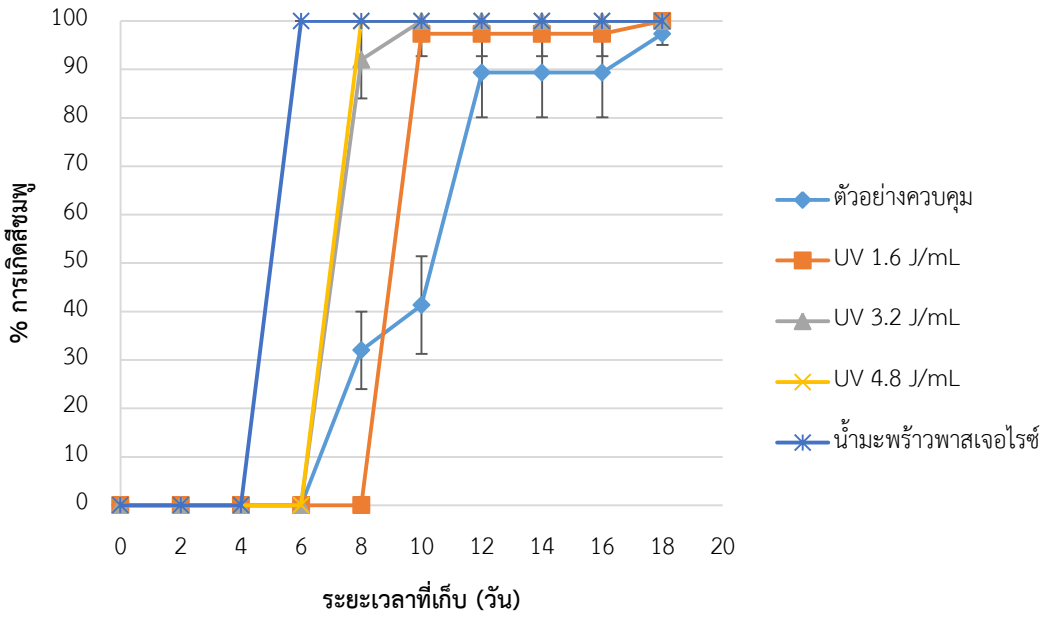
สมบัติทางกายภาพที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกประการหนึ่งคือ สี เนื่องจากสีเป็นสมบัติที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้เป็นสิ่งแรกจากอาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบใส (clear packaging) และสียังส่งผลอย่างมากต่อการตัดสินใจในการซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร จากการทดลองพบว่าค่า a^* ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.14) โดยค่า a^* ของน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเร็วที่สุด ส่งผลให้ค่า ΔE ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 4.15) ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที 1.6 J/mL มีค่า a^* ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6 J/mL มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีในระหว่างการเก็บน้อยที่สุด เมื่อใช้ตัวอย่างควบคุมเป็นตัวอย่างอ้างอิง และเมื่อพิจารณา % การเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าว พบว่าน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์เปลี่ยนเป็นสีชมพูทั้งหมด (ทุกตัวอย่าง) ในวันที่ 6 ของการเก็บ ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8, 3.2 และ 1.6 J/mL เปลี่ยนเป็นสีชมพูทั้งหมดในวันที่ 8, 10 และ 18 ของการเก็บ ตามลำดับ (รูปที่ 4.16) ดังนั้นรังสียูวีที่ 4.8, 3.2 และ 1.6 J/mL สามารถชะลอการเกิดสีชมพูได้ 2, 4 และ 12 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ ค่า a^* และ % สีชมพู ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่ทำให้เกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (รูปที่ 4.17) มีแนวโน้มลดลงและสัมพันธ์กับค่า a^* และ % สีชมพู



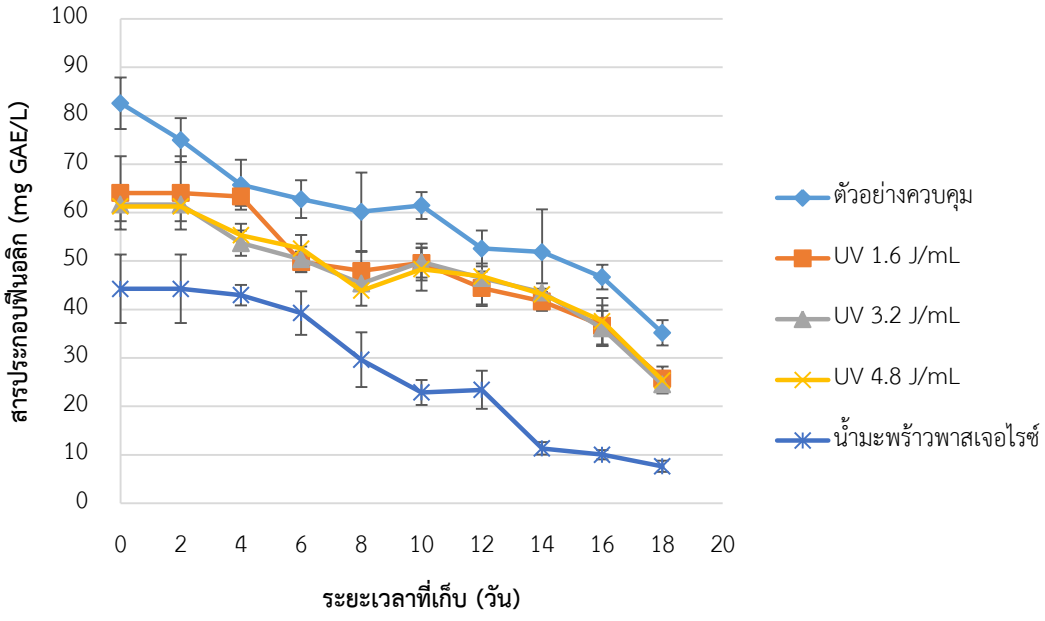
รูปที่ 4.14 ค่า a^* ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 4.15 ค่า ΔE ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



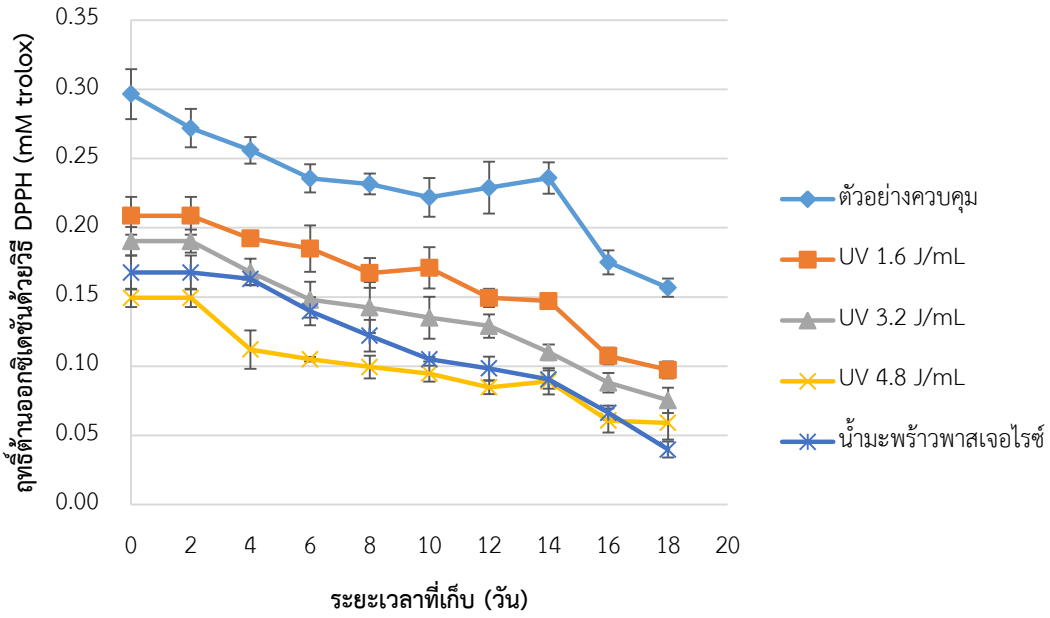
รูปที่ 4.16 % การเกิดสีชมพูของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



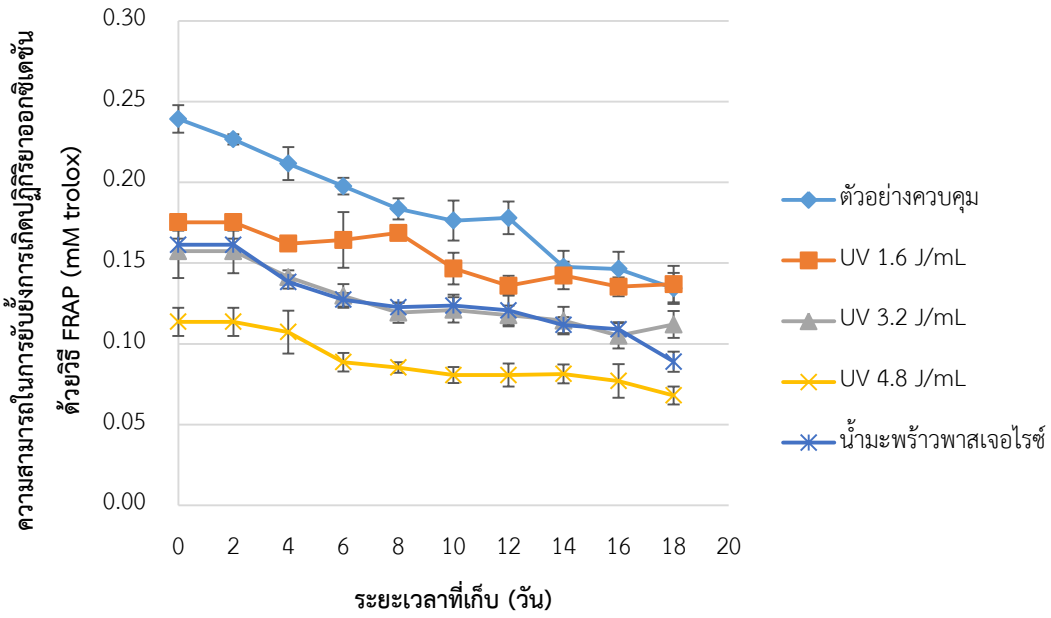
รูปที่ 4.17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (รูปที่ 4.18) พบว่ามีแนวโน้มลดลงในทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บที่ 4 °C เช่นเดียวกับงานวิจัยของ La Cava et al. (2015) ที่ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของน้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านการฉายรังสียูวีและเก็บในตู้เย็น (4 °C) โดยพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านการ

ฉายด้วยรังสียูวีลดลงจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยลดลง 10%, 22.5% และ 27% ในตัวอย่างที่มีปริมาณการฉายรังสียูวีที่ 1.83, 2.84 และ 3.94 J/cm^2 ตามลำดับ และลดลงตลอดระยะเวลาที่เก็บในตู้เย็น (4 °C) การลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมะพร้าว ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ลดลง (Das Purkayastha et al., 2012) นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP มีแนวโน้มลดลงในทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บที่ 4 °C (รูปที่ 4.19) เช่นเดียวกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH โดยการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP จะอาศัยกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์สารประกอบ ได้แก่ โลหะ สารประกอบคาร์บอนิล และอนุมูลอิสระ ในขณะที่วิธี DPPH จะอาศัยกลไกการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอมเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ (Brand-Williams et al., 1995)

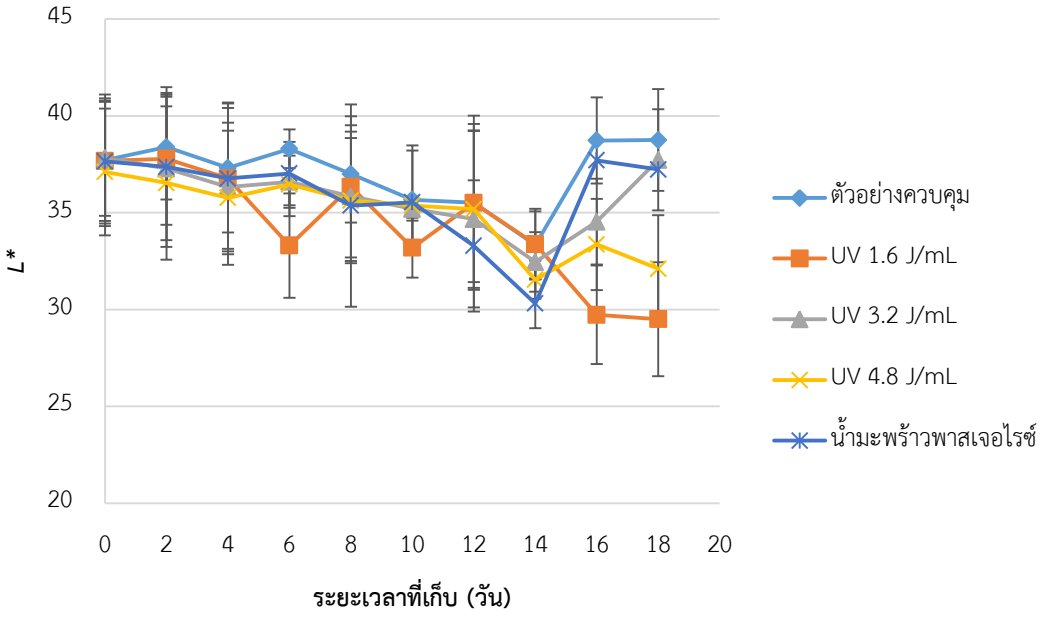


รูปที่ 4.18 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

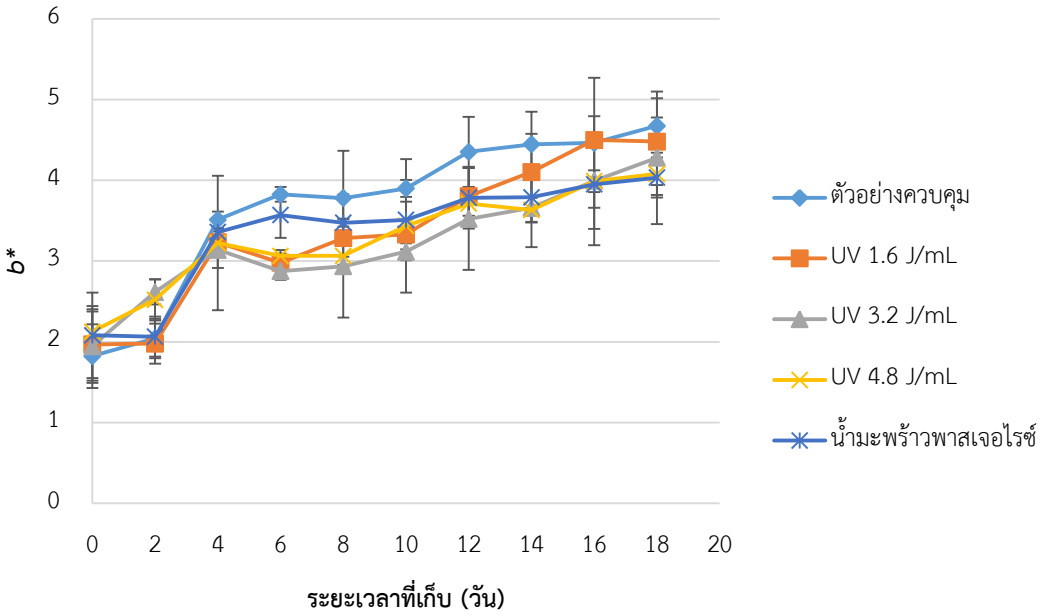


รูปที่ 4.19 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

ค่า *L** คือค่าสีที่แสดงความสว่าง (*L** มีค่า 0 - 100 โดยยิ่งค่า *L** มาก แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมาก) และค่า *b** คือค่าสีที่แสดงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (ค่า *b** เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างมีสีน้ำเงิน ในขณะที่ค่า *b** เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างมีสีเหลือง) ของตัวอย่างในระบบ CIELAB โดยค่าสี *L** และ *b** ของทุกตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C มีแนวโน้มลดลง (มีความสว่างลดลง) และเพิ่มขึ้น (มีสีเหลืองมากขึ้น) ตามลำดับ โดยให้ผลสอดคล้องกับการรายงานของ Awua et al. (2011) ที่รายงานการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำมะพร้าวที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งจากความร้อนและการฉายรังสีแกมมาที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4 °C) การเปลี่ยนแปลงของค่าสี *L** และ *b** ของน้ำมะพร้าวเป็นผลมาจากการฉายรังสียูวีทำให้เกิดสารประกอบ hydroxyl ที่เป็นอนุมูลอิสระและเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ประกอบกับรังสียูวีไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ทั้งหมด (ตารางที่ 4.5) จึงส่งผลให้เอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกเกิดเป็นสาร *o*-quinone และถูกออกซิไดซ์จนได้สารประกอบสีน้ำตาลในที่สุด



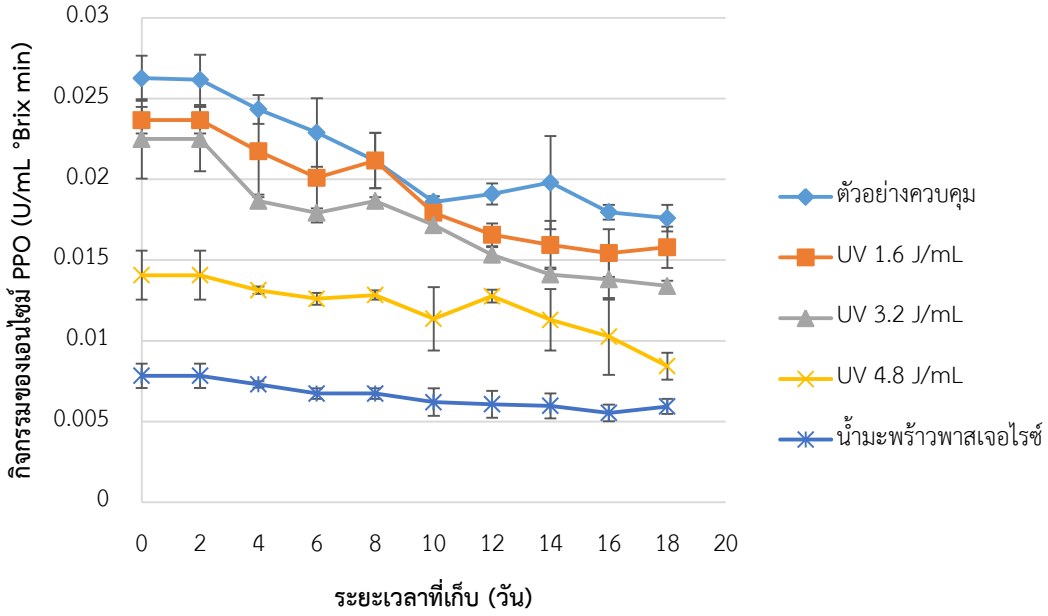
รูปที่ 4.20 ค่า *L** ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



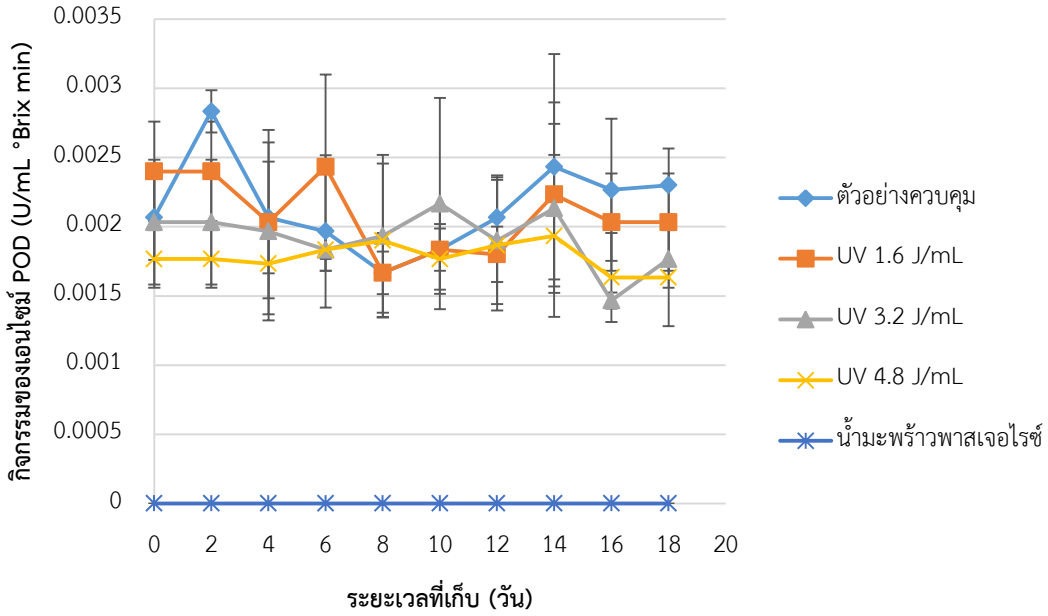
รูปที่ 4.21 ค่า *b** ของน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

และเมื่อพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD พบว่ารังสียูวีมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 2 เอนไซม์ของน้ำมะพร้าวทุกตัวอย่างที่เก็บที่ 4 °C โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มลดลงในทุกตัวอย่าง (รูปที่ 4.22) แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมของเอนไซม์ POD มีแนวโน้มคงที่ในตัวอย่างควบคุม (รูปที่ 4.23) เนื่องจากเอนไซม์ POD เป็นโครงสร้างโปรตีนขนาดใหญ่

กว่าเอนไซม์ PPO จึงทำให้เอนไซม์ POD ทนต่อรังสียูวีได้มากกว่า เช่นเดียวกับการรายงานของ Matsui et al. (2007) ที่พบว่าเอนไซม์ POD ในน้ำมะพร้าวทนต่อคลื่นไมโครเวฟได้มากกว่าเอนไซม์ PPO ในขณะที่ไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในตัวอย่างน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ เนื่องจากเอนไซม์ POD ถูกยับยั้งได้ทั้งหมดด้วยความร้อน โดยความร้อนในกระบวนการพาสเจอไรซ์สามารถทำลายโครงสร้างของโปรตีน ทำให้โปรตีนเสียสภาพและสูญเสียการทำงาน (Tan et al., 2014)



รูปที่ 4.22 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 4.23 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในน้ำมะพร้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

รังสียูวีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสามารถยับยั้ง *E. coli* O157:H7, lactic acid bacteria, *Salmonella* Enteritidis และ *Staphylococcus aureus* ได้มากกว่า 5 log CFU/mL ที่ปริมาณรังสียูวี 3.2, 12.0, 12.0 และ 8.0 J/mL ตามลำดับ แต่ปริมาณ *E. coli* ลดลงสูงสุดประมาณ 4 log CFU/mL ที่ปริมาณรังสียูวีสูงสุดที่ 12.0 J/mL และสามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ของการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดในน้ำมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่า *E. coli* O157:H7 เป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่อรังสียูวีมากที่สุด รองลงมาคือ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Enteritidis, lactic acid bacteria และ *E. coli* ตามลำดับ

รังสียูวีไม่ส่งผลต่อค่าสี (*L**, *a** และ *b**) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ความขุ่น และปริมาณน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส) แต่ส่งผลทำให้สารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ด้วยวิธี DPPH และ FRAP) กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและยีสต์และราลดลง

น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์มีคะแนนการประเมินจากผู้ทดสอบมากที่สุด ทั้งคะแนนความชอบด้านกลิ่น คะแนนความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม ในขณะที่น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และคะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้คะแนนความชอบด้านสีของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL มีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม 4, 8 และ 12 วัน ตามลำดับ โดยพิจารณาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด และรังสียูวียังสามารถชะลอการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพาสเจอไรซ์ โดยน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL สามารถชะลอการเกิดสีชมพูได้ 12, 10 และ 2 วัน ตามลำดับ ดังนั้นรังสียูวีจึงถือเป็นกระบวนการแปรรูปทางเลือกที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ในขณะที่ยังสามารถรักษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และชะลอการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิต่ำได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของรังสียูวีในระดับห้องปฏิบัติการ หากต้องการนำไปใช้จริงในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม และสำหรับการเกิดสีชมพูในน้ำมะพร้าวอาจเป็นได้ทั้งข้อจำกัดและจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับการตลาดและการให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

สมานวนกิจ. (2497). ความรู้เรื่องมะพร้าว

สำนักงานเศรษฐกิจและการเกษตร. (2559). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี *2015*.

เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*: AOAC International.

Atkins, P. W., & De Paula, J. (2014). *Atkins' Physical chemistry*: Oxford ; New York : Oxford University Press, c2014. 10th Edition.

Awua, A. K., Doe, E. D., & Agyare, R. (2011). Exploring the influence of sterilisation and storage on some physicochemical properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. *BMC Res Notes, 4*, 451.

Bartowsky, E. J. (2009). Bacterial spoilage of wine and approaches to minimize it. *Letters in Applied Microbiology, 48*(2), 149-156.

Bates, R. P., Morris, J., & Crandall, P. G. (2001). *Principles and practices of small-and medium-scale fruit juice processing*: Food & Agriculture Org.

Batt, C. A., & Tortorello, M. L. (2014). *Encyclopedia of food microbiology*: San Diego, Calif. ; London : Academic Press, c2014. 2nd ed.

Benzie, I. F., & 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.

Bermudez-Aguirre, D., & Corradini, M. G. (2012). Inactivation kinetics of *Salmonella* spp. under thermal and emerging treatments: A review. *Food Research International, 45*(2), 700-712.

Bradley, P. M. (2005). Thermal Processing of Foods *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set*: CRC Press.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology, 28*(1), 25-30.

Brown, L., Wolf, J. M., Prados-Rosales, R., & Casadevall, A. (2015). Through the wall: extracellular vesicles in Gram-positive bacteria, mycobacteria and fungi. *Nature Reviews Microbiology, 13*(10), 620-630.

Butler, M. E. (2000). *Salmonella* outbreak leads to juice recall in Western states. *Food Chem News, 42*(10), 19.

Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., . . . 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.

Campbell-Falck, D., Thomas, T., Falck, T. M., Tutuo, N., & Clem, K. (2000). The intravenous use of coconut water. *The American journal of emergency medicine, 18*(1), 108-111.

Cappelletti, M., Ferrentino, G., Endrizzi, I., Aprea, E., Betta, E., Corollaro, M. L., . . . Spilimbergo, S. (2015). High Pressure Carbon Dioxide pasteurization of coconut water: A sport drink with high nutritional and sensory quality. *Journal of Food Engineering, 145*, 73-81.

Cappelletti, M., Ferrentino, G., & Spilimbergo, S. (2014). Supercritical carbon dioxide combined with high power ultrasound: An effective method for the pasteurization of coconut water. *The Journal of Supercritical Fluids, 92*, 257-263.

Chen, l. J., Zhang, J., Song, L., Jiang, Y., Wu, J., & Hu, X. S. (2010). Changes in microorganism, enzyme, aroma of hami melon (*Cucumis melo* L.) juice treated with dense phase carbon dioxide and stored at 4° C. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11*(4), 623-629.

Choeisunthon, R., & Tongchitpakdee, S. (2013). *Effect of maturation on quality changes of pasteurized aromatic coconut wate.* Paper presented at the Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry.

Damar, S., Balaban, M. O., & Sims, C. A. (2009). Continuous dense-phase CO^2 processing of a coconut water beverage. *International Journal of Food Science & Technology, 44*(4), 666-673.

Das Purkayastha, M., Kalita, D., Mahnot, N. K., Mahanta, C. L., Mandal, M., & Chaudhuri, M. K. (2012). Effect of l-ascorbic acid addition on the quality attributes of micro-filtered coconut water stored at 4°C. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 16*, 69-79.

Davies, M. J., & Truscott, R. J. W. (2001). Photo-oxidation of proteins and its role in cataractogenesis. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 63*(1–3), 114-125.

FDA. (2010). DHMH Issues Consumer Alert Regarding Recall of Baugher's Apple Cider. Retrieved from http://www.fda.gov/Safety/Recalls/ucm232878.htm.

Gabriel, A. A. (2012). Inactivation of Escherichia coli O157:H7 and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. *Food Control, 25*(2), 425-432.

Garcia, B., Masa, D., Rodriguez, M., & Rolle, R. (2007). Control of pink discoloration in coconut water. *Cord, 23*, 67-83.

Guerrero-Beltr·n, J. A., & Barbosa-C·novas, G. V. (2004). Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology International, 10*(3), 137-147.

Guerrero-BeltrÁN, J., & 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.

Guerrero-BeltrÁN, J., Welti-Chanes, J., & Barbosa-CÁNovas, G. V. (2009). Ultraviolet-C light processing of grape, cranberry and grapefruit juice to inactivate *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Process Engineering, 32*(6), 916-932.

Hanes, D., Worobo, R., Orlandi, P., Burr, D., Miliotis, M., Robl, M., . . . Jackson, G. (2002). Inactivation of *Cryptosporidium parvum oocysts* in fresh apple cider by UV irradiation. *Applied and Environmental Microbiology, 68*(8), 4168-4172.

Chulalongkorn University

Heldman, D. R., & Hartel, R. W. (1997). *Principles of Food Processing. [electronic resource]*: Boston, MA : Springer US, 1997.

International Commission on Micribiological Specifications for Foods. (1996). Characteristics of Microbial Pathogens *Microorganisms in Foods 5* (1 ed., pp. 514). USA: Springer.

Jay, J. M. (2000). Foodborne Gastroenteritis Caused by *Salmonella* and *Shigella*. In J. M. Jay (Ed.), *Modern Food Microbiology* (pp. 511-530). Boston, MA: Springer US.

Kadere, T. T., & Kutima, P. M. (2012). Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria in Coconut Toddy (Mnazi). *Journal of Asian Scientific Research, 2*(12), 807-819.

Kalschne, D. L., Womer, R., Mattana, A., Sarmento, C. M. P., Colla, L. M., & Colla, E. (2015). Characterization of the spoilage lactic acid bacteria in "sliced vacuum-packed cooked ham". *Brazilian Journal of Microbiology, 46*(1), 173-181.

Kaya, Z., Yıldız, S., & Ünlütürk, S. (2015). Effect of UV-C irradiation and heat treatment on the shelf life stability of a lemon–melon juice blend: multivariate statistical approach. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 29*, 230-239.

Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., & Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9*(3), 348-354.

Köhler, E. (2001). In C. nucifera (Ed.).

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., & Moraru, C. I. (2009). *Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications*: CRC Press.

Koutchma, T., Parisi, B., & Patazca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science, 6*(3), 319-328.

La Cava, E. L. M., & 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.

Lemieux, L., & Simard, R. (1994). Astringency, a textural defect in dairy products. *Le Lait, 74*(3), 217-240.

Lewis, M. J. (2006). Thermal Processing *Food Processing Handbook* (pp. 33-70): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Lim, J. Y., Yoon, J., & Hovde, C. J. (2010). A brief overview of *Escherichia col*i O157:H7 and its plasmid O157. *J Microbiol Biotechnol, 20*(1), 5-14.

Liu, H. J., Chang, B. Y., Yan, H. W., Yu, F. H., & Liu, X. X. (1995). Determination of amino acids in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate and reversed-phase liquid chromatographic separation. *Journal of AOAC International, 78*(3).

Mahnot, N. K., Kalita, D., Mahanta, C. L., & Chaudhuri, M. K. (2014). Effect of additives on the quality of tender coconut water processed by nonthermal two stage microfiltration technique. *LWT-Food Science and Technology, 59*(2), 1191-1195.

Manzocco, L., Quarta, B., & Dri, A. (2009). Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 10*(4), 506-511.

Matsui, K. N., Granado, L. M., de Oliveira, P. V., & Tadini, C. C. (2007). Peroxidase and polyphenol oxidase thermal inactivation by microwaves in green coconut water simulated solutions. *LWT - Food Science and Technology, 40*(5), 852-859.

Mauney, J., Hillman, W., Miller, C., Skoog, F., Clayton, R., & Strong, F. (1952). Bioassay, purification, and properties of a growth factor from coconut. *Physiologia Plantarum, 5*(4), 485-497.

Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M. R., & Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 26*, 498-504.

Murray, P. R., & Baron, E. J. (2007). *Manual of clinical microbiology*: Washington, D.C. : ASM Press, c2007. 9th ed.

Nielsen, S. S. (2010). *Food analysis*: New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, c2010. 4th ed.

Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D., Morgan, D., & Lyng, J. (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.

Ochoa-Velasco, C. E., Cruz-Gonzalez, M., & Guerrero-Beltran, J. A. (2014). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella* typhimurium in coconut (*Cocos nucifera* L.) milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 26*, 199-204.

Oteiza, J. M., Giannuzzi, L., & Zaritzky, N. (2010). Ultraviolet Treatment of Orange Juice to Inactivate *E. coli* O157:H7 as Affected by Native Microflora. *Food and Bioprocess Technology, 3*(4), 603-614.

Outchma, T. K., & Arisi, B. P. (2004). Biodosimetry of Escherichia coli UV Inactivation in Model Juices with Regard to Dose Distribution in Annular UV Reactors. *Journal of Food Science, 69*(1), FEP14-FEP22.

Pala, Ç. U., & 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., & Toklucu, A. K. (2012). Effects of UV-C Light Processing on Some Quality Characteristics of Grape Juices. *Food and Bioprocess Technology, 6*(3), 719-725.

Pala, Ç. U., & Toklucu, A. K. (2013). 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.

Prades, A., Dornier, M., Diop, N., & Pain, J. P. (2012a). Coconut water preservation and processing: a review. *Fruits, 67*(3), 157-171.

Prades, A., Dornier, M., Diop, N., & Pain, J. P. (2012b). Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruits, 67*(2), 87-107.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Pummer, S., Heil, P., Maleck, W., & Petroianu, G. (2001). Influence of coconut water on hemostasis. *The American Journal of Emergency Medicine, 19*(4), 287-289.

Reddy, K. V., Das, M., & Das, S. K. (2007). Nonthermal sterilization of green coconut water for packaging. *Journal of Food Quality, 30*(4), 466-480.

Rolle, R. S. (2007). *Good Practice for the Small-scale Production of Bottled Coconut Water*: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ruiz, B., Chavez, A., Forero, A., Garcia-Huante, Y., Romero, A., Sanchez, M., . . . Langley, E. (2010). Production of microbial secondary metabolites: regulation by the carbon source. *Critical Review in Microbiological, 36*(2), 146-167.

Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., & 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.

Sornwatana, T. (2001). *Characterization of peroxidase in post-harvested cassava.* (Master of Science (Biotechnology)), Chulalongkorn University.

Tan, T. C., Cheng, L.-H., Bhat, R., Rusul, G., & Easa, A. M. (2014). Composition, physicochemical properties and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase from coconut (*Cocos nucifera*) water obtained from immature, mature and overly-mature coconut. *Food Chemistry, 142*, 121-128.

Tan, T. C., Cheng, L. H., Bhat, R., Rusul, G., & Easa, A. M. (2015). Effectiveness of ascorbic acid and sodium metabisulfite as anti-browning agent and antioxidant on green coconut water (*Cocos nucifera*) subjected to elevated thermal processing. *International Food Research Journal, 22*(2), 631-637.

Tozzi, A. E., Caprioli, A., Minelli, F., Gianviti, A., De Petris, L., Edefonti, A., . . . Gaido, M. (2003). Shiga Toxin–Producing Escherichia coli Infections Associated with Hemolytic Uremic Syndrome. *Emerging Infectious Diseases, 9*(1), 107.

Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5*(4), 495-502.

USDA. (2008). Compliance guide for controlling *Salmonella* on poultry, second edition. http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/1d562776-ebfb-4ea5-a19b-

e994776a02c6/Compliance_Guideline_Controlling_Salmonella_Poultry.pdf?MOD=AJPERES

Irradiation in the production, processing and handling of food. United States Food and Drug Administration., 65 C.F.R. (2000).

van Boekel, M. A. J. S. (2008). *Kinetic Modeling of Reactions In Foods*: CRC Press.

Versalovic, J., Carroll, K. C., Funke, G., Jorgensen, J. H., Landry, M. L., & Warnock, D. W. (2011). *Manual of Clinical Microbiology, 10th Edition*: American Society of Microbiology.

Walter, E. H. M., Kuaye, A. Y., & Hoorfar, J. (2014). 26 - Case study on the safety and sustainability of fresh bottled coconut water *Global Safety of Fresh Produce* (pp. 367-382): Woodhead Publishing.

Wattanaphansuk, S. (2006). *The effects of anti-browning agents and modifies atmosphere packaging on shelf-life of fresh-cut lettuce.* (Master of Science), Silpakorn.

Wright, J., Sumner, S., Hackney, C., Pierson, M., & Zoecklein, B. (2000). Efficacy of ultraviolet light for reducing Escherichia coli O157: H7 in unpasteurized apple cider. *Journal of Food Protection®, 63*(5), 563-567.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. ค่าสี

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter (Model CR-400 Series, Minolta, Japan) ด้วยระบบ CIELAB และบันทึกค่า *L**, *a** และ *b**

โดย ค่า *L** แสดงถึงค่าความสว่าง

ค่า *+a** แสดงถึงค่าสีแดง -*a** แสดงถึงค่าสีเขียว

ค่า *+b** แสดงถึงค่าสีเหลือง -*b** แสดงถึงค่าสีน้ำเงิน

และคำนวณค่า ΔE จากสมการ ก.1 โดย ΔE เป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^*-L_1^*)^2 + (a_2^*-a_1^*)^2 + (b_2^*-b_1^*)^2} \quad \text{ก.1}$$

โดย L_1^* a_1^* และ b_1^* = ค่าสีของตัวอย่างควบคุม

L_2^* a_2^* และ b_2^* = ค่าสีของตัวอย่าง

2. ความขุ่น

วัดความขุ่นด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, GENESYS 10 UV, USA) ที่ความยาวคลื่น 610 nm โดยมีน้ำกลั่นเป็นสารละลายอ้างอิง (blank) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณค่าความขุ่นจากสมการ ก.2 - ก.3

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

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

โดย Abs = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

1. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง hand refractometer (Atago, MASTER-α, USA) ที่ความเข้มข้น 0 - 32 °Brix

2. ค่า pH

วัดค่า pH ด้วย pH meter (Mettler Toledo, FEP20 FiveEasy Plus™, Switzerland)

3. ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของกรดมาลิก

วัดปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของกรดมาลิก โดยปิเปตตัวอย่าง 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่ 250 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2 - 3 หยด เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการบอกจุดยุติ จากนั้นไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งสารละลายมีสีชมพูอ่อนที่ไม่จางหายใน 30 วินาที บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดในตัวอย่างตามสมการ ข.1

$$\% \text{ titratable acidity} = \frac{N \times M \times V \times 100}{V_C} \quad \text{.....ข.1}$$

โดย N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N, normality)

M = milliequivalent weight (meq. wt.) malic acid = 0.067

V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (mL)

V_C = ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)

4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

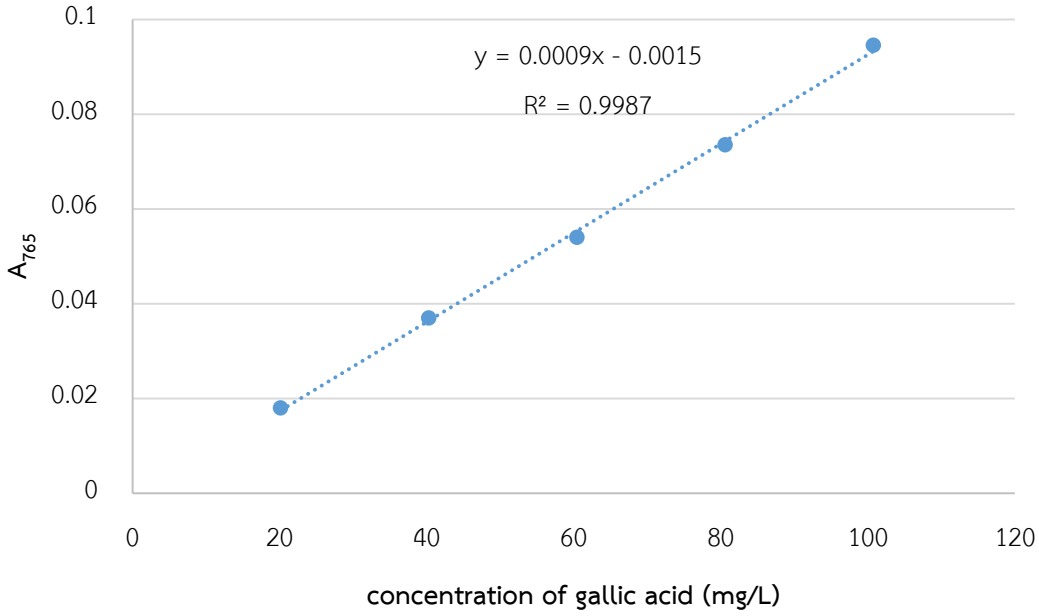
วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยปิเปตตัวอย่าง 0.1 mL ผสมกับน้ำกลั่น 7 mL และสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol 0.5 mL ตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 1.5 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 10 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, GENESYS 10 UV, USA) และใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายอ้างอิง คำนวณปริมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของกรดแกลลิกด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (รูปที่ ข.1)

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 500 mg/L เจือจางสารละลายกรดแกลลิกให้มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L จากนั้นวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

5. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-Diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-Diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH) โดยปิเปตตัวอย่าง 0.1 mL ผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 mL ความเข้มข้น $6x10^{5}$ mol/L ซึ่งเตรียมไว้ก่อนการวิเคราะห์ 3 ชั่วโมง ตั้งสารละลายผสมทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและสารละลาย DPPH ที่ความยาวคลื่น 515 nm ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, GENESYS 10 UV, USA) และใช้เอทานอลเป็นสารละลายอ้างอิง คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH จากกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox ด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันของสารละลาย DPPH กับตัวอย่างดังสมการ ข.2

$$A = A_0 - A_s \quad \text{ข.2}$$

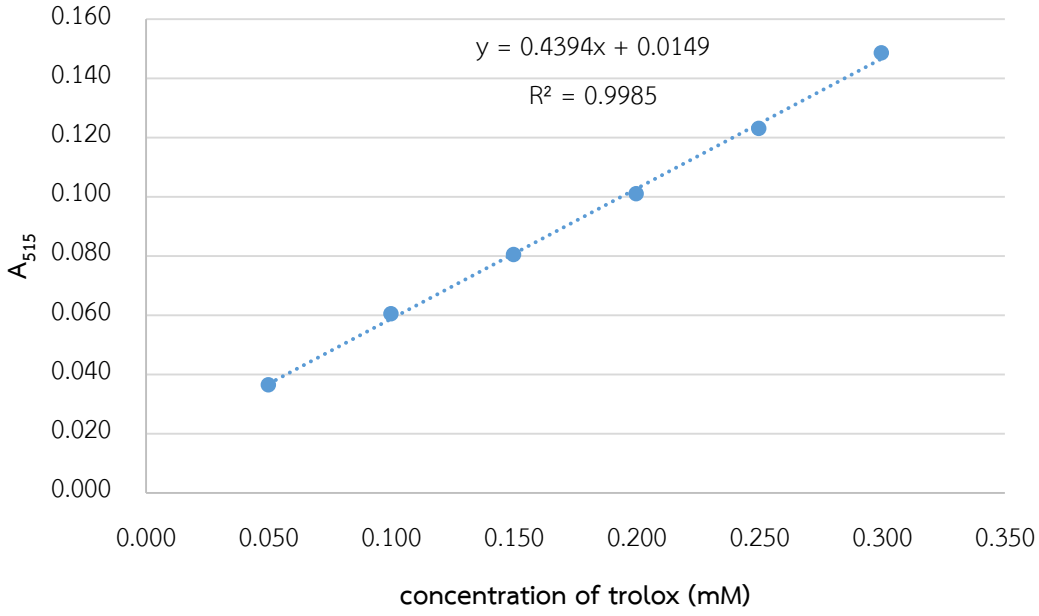
โดย A = ค่าการดูดกลืนแสงที่ใช้ในการคำนวณจากกราฟมาตรฐานของ trolox

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

กราฟมาตรฐานของ Trolox (รูปที่ ข.2)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox ที่ความเข้มข้น 1 mM เจือจางสารละลาย trolox ให้มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 mM จากนั้นวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของ trolox เพื่อใช้ในการคำนวณหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของ trolox

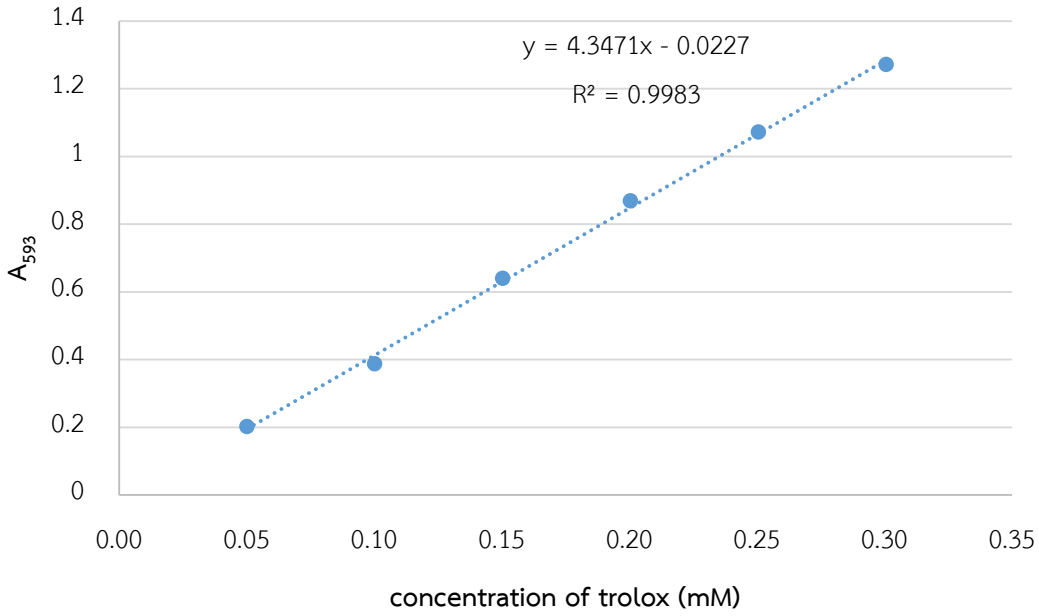
6. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric-reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric-reducing antioxidant power (FRAP) โดยผสมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 3.6 ความเข้มข้น 300 mM ปริมาตร 50 mL เข้ากับสารละลาย $FeCl_3$ ปริมาตรา 5 mL และ สารละลาย 2,3-dihydroxybutanedioic acid (TPTZ) ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 5 mL บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 15 นาที ปิเปตสารละลาย FRAP ที่เตรียมไว้ปริมาตร 8 mL ใส่ในหลอดทดลอง บ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น

เติมตัวอย่าง 0.8 mL ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 593 nm ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, GENESYS 10 UV, USA) และใช้สารละลาย FRAP เป็นสารละลายอ้างอิง คำนวณฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP จากกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

กราฟมาตรฐานของ Trolox (รูปที่ ข.3)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน trolox ที่ความเข้มข้น 1 mM เจือจางสารละลาย trolox ให้มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 mM จากนั้นวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของ trolox เพื่อใช้ในการคำนวณหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของ trolox

7. กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO)

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยผสมสารละลายบัฟเฟอร์ของ monobasic sodium phosphate/dibasic sodium phosphate pH 6.0 ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 5.5 mL กับสารละลาย pyrocatechol (phenolic substratr) ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 1.5 mL บ่มสารละลายที่อุณหภูมิ 25 °C จนอุณหภูมิคงที่ จึงเติมตัวอย่างปริมาตร 2 mL วัดค่าการดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer Double-beam (PerkinElmer,

Lambda25, Germany) ที่ความยาวคลื่น 425 nm โดยมีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 5.5 mL ผสมกับสารละลาย pyrocatechol ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 1.5 mL เป็นสารละลายอ้างอิง

8. กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (POD)

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ POD โดยผสมสารละลายบัฟเฟอร์ของ monobasic sodium phosphate/dibasic sodium phosphate pH 5.5 ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 7 mL กับสารละลาย guaiacol (phenolic substrate) ความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร 1.5 mL และสารละลาย hydrogen peroxide ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 0.5 mL ในหลอดทดลอง บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C จนอุณหภูมิคงที่ จากนั้นเติมตัวอย่างปริมาตร 2 mL วัดค่าการดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer Double-beam (PerkinElmer, Lambda25, Germany) ที่ความยาวคลื่น 470 nm โดยมีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 7 mL ผสมกับสารละลาย guaiacol ความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร 1.5 mL และสารละลาย hydrogen peroxide ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 0.5 mL เป็นสารละลายอ้างอิง

9. ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสด้วย HPCL ที่ภาวะดังนี้

Column	:	Zorbax Carbohydrate column
		(4.6*250mm, 5um.)
		Temp. 30 °C
Detector	:	Refractive Index (RI) Detector
		Temp. 35 °C
Sample volume	:	10 uL
Mobile phase	:	75% acetonitrile
Flow rate	:	1 mL/min

10. ปริมาณกรดอะมิโน

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ด้วยเครื่อง HPLC เตรียมตัวอย่างโดยเติม HCl ที่ความเข้มข้น 6N ให้ความร้อนที่ 110 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เติม internal standard และเจือจางด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติม AccQ-fluor deriveatization

buffer และ AccQ-fluor deriveatization reagent ให้ความร้อนที่ 50 ℃ เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงวิเคราะห์ด้วย HPLC (Waters Alliance 2695 with heater) โดยมีภาวะดังนี้

Column	:	Hypersil Gold column C18 (4.6*150mm, 3um.)
		Temp. 35 ℃
Detector	:	Fluorescence Detector
Sample volume	:	5 uL
Mobile phase	:	Sodium acetate buffer pH 4.90
		60% acetonitrile

11. ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีส

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ด้วยเครื่อง ICP-MS/OES (Inductively coupled plasma mass spectrometry/optical emission spectroscopy)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

1. ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

2. ปริมาณของยีสต์และรา

วิเคราะห์ปริมาณของยีสต์และราด้วยเทคนิค spread plate โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) ปริมาตร 12 - 15 mL ลงในจานเพาะเชื้อ ทิ้งไว้ข้ามคืนหรือจนกว่าผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแห้งสนิท เจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 0.1 mL ใส่จานจานเพาะเชื้อ จากนั้นใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวหน้า แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 72 - 120 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 10 – 100 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

3. ปริมาณของ *Escherichia coli*

วิเคราะห์ปริมาณของ *Escherichia coli* ด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue Agar (EMB) ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

4. ปริมาณของ *Escherichia coli* O157:H7

วิเคราะห์ปริมาณของ *Escherichia coli* O157:H7 ด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue Agar (EMB) ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

5. ปริมาณของ *Lactobacillus plantarum*

วิเคราะห์ปริมาณของ *Lactobacillus plantarum* ด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Agar ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. ปริมาณของ *Salmonella* Enteritidis

วิเคราะห์ปริมาณของ *Salmonella* Enteritidis ด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Salmonella Shigella Agar (SS Agar) ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

7. ปริมาณของ *Staphylococcus aureus*

วัดปริมาณของ *Staphylococcus aureus* ด้วยเทคนิค pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% (w/v) ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 mL ใส่จานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird Parker Agar (BPA) ที่หลอมแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 ℃ ปริมาตร 12 - 15 mL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วกลับจานเลี้ยงเชื้อให้อาหารอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35 ℃ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีในช่วง 25 – 250 โคโลนี คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ซ้ำและรายงานจำนวนโคโลนีในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/mL)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

การประเมินทางประสาทสัมผัส

1. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมของน้ำมะพร้าว

ชื่อผู้ทดสอบ.....

อายุ..... เพศ.....วันที่ทดสอบ.....

<u>คำชี้แจง</u> โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ โดยการดมกลิ่น สังเกตสี และให้ระดับความชอบหรือไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง ไม่อนุญาตให้รับประทาน โดยใส่ตัวเลขในช่องด้านซ้ายมือเพื่อแสดงรหัสตัวอย่าง และใส่ตัวเลขในช่องที่เหลือ เพื่ออธิบายความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบที่ระดับใด

โดย 9: ชอบมากที่สุด 8: ชอบมาก 7: ชอบปานกลาง 6: ชอบเล็กน้อย

5: เฉยๆ 4: ไม่ชอบเล็กน้อย 3: ไม่ชอบปานกลาง 2: ไม่ชอบมาก

1: ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	ความชอบด้านกลิ่น	ความชอบด้านสี	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....

.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมของน้ำมะพร้าว

ชื่อผู้ทดสอบ.....

อายุ..... เพศ.....วันที่ทดสอบ.....

<u>คำชี้แจง</u> โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ โดยการดมกลิ่น สังเกตสี ชิมรสชาติและให้ระดับความชอบหรือไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง โดยใส่ตัวเลขในช่องด้านซ้ายมือเพื่อแสดงรหัสตัวอย่าง และใส่ตัวเลขในช่องที่เหลือ เพื่ออธิบายความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบที่ระดับใด

โดย

9: ชอบมากที่สุด

8: ชอบมาก

7: ชอบปานกลาง

6: ชอบเล็กน้อย

5: เฉยๆ

4: ไม่ชอบเล็กน้อย

3: ไม่ชอบปานกลาง

2: ไม่ชอบมาก

1: ไม่ชอบมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รหัสตัวอย่าง	ความชอบด้านกลิ่น	ความชอบด้านสี	ความชอบด้านรสชาติ	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....

.....

คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมของน้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 1.6, 3.2 และ 4.8 J/mL เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์ดังแสดงในตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านสี ความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุม น้ำมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสียูวี และน้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์

	ความชอบด้านกลิ่น	**ความชอบด้านสี^{NS}**	**ความชอบด้านรสชาติ**	**ความชอบโดยรวม**
ตัวอย่างควบคุม	7.4^{ab}±1.3	8.0±0.9	6.9^{b}±1.6	7.3^{b}±1.4
UV 1.6 J/mL	6.9^{bc}±1.0	7.9±1.0	7.0^{b}±0.7	7.3^{b}±0.7
UV 3.2 J/mL	6.9^{bc}±0.7	7.8±1.0	6.9^{b}±0.6	7.0^{b}±0.7
UV 4.8 J/mL	6.8^{c}±0.8	7.8±1.2	6.8^{b}±0.6	6.9^{b}±0.7
น้ำมะพร้าวพาสเจอไรซ์	7.5^{a}±1.4	8.0±0.9	7.8^{a}±1.0	7.9^{a}±1.1

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากผู้ทดสอบ 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันกำกับไว้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

โครมาโตแกรม

1. โครมาโตแกรมของน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส)

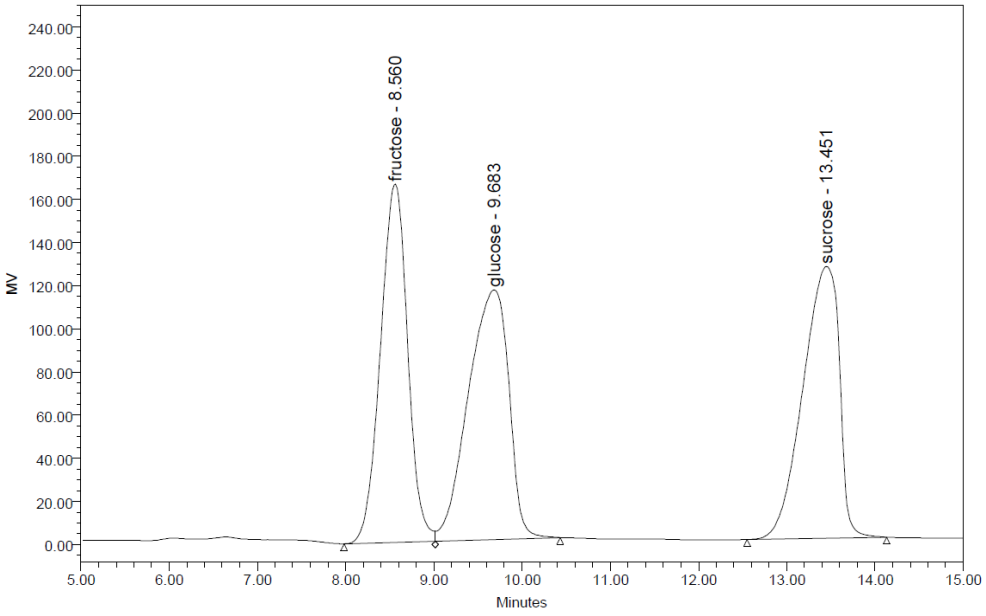
1.1 โครมาโตแกรมของน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส) ในสารละลายมาตรฐาน

Sugar

Reported by User: System Project Name: sirirat

SAMPLE INFORMATION

Sample Name:	std50g/L	Acquired By:	System
Sample Type:	Standard	Date Acquired:	11/11/2559 13:54:21
Vial:	12	Acq. Method Set:	sugar
Injection #:	1	Date Processed:	11/11/2559 14:21:14
Injection Volume:	10.00 ul	Processing Method:	11112016
Run Time:	15.0 Minutes	Channel Name:	410
Sample Set Name:	11_11_59_1	Proc. Chnl. Descr.:	



	Peak Name	RT	Area	% Area	Height	Amount	Units
1	fructose	8.560	3562163	32.74	166162	50.000	g/L
2	glucose	9.683	3702480	34.03	115766	50.000	g/L
3	sucrose	13.451	3614895	33.23	126027	50.000	g/L

Report Method: Default Individual Report Printed 14:21:55 11/11/2559 Page: 1 of 1

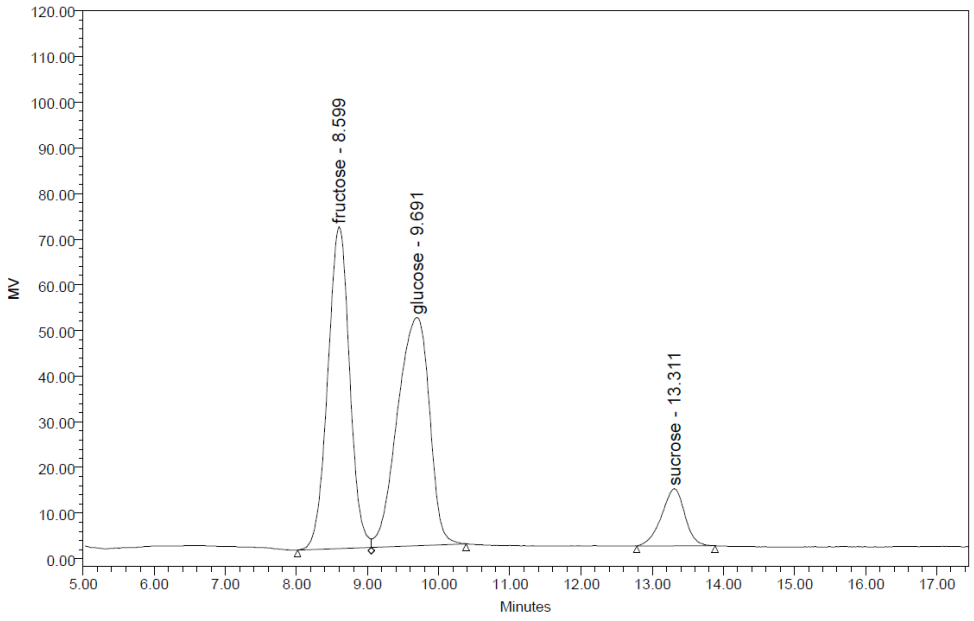
1.2 โครมาโตแกรมของน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส) ในตัวอย่างควบคุม

Sugar

Reported by User: System Project Name: sirirat

SAMPLE INFORMATION

Sample Name:	c1	Acquired By:	System
Sample Type:	Unknown	Date Acquired:	11/11/2559 11:13:12
Vial:	6	Acq. Method Set:	sugar
Injection #:	1	Date Processed:	11/11/2559 14:24:17
Injection Volume:	10.00 ul	Processing Method:	11112016
Run Time:	20.0 Minutes	Channel Name:	410
Sample Set Name:		Proc. Chnl. Descr.:	



	Peak Name	RT	Area	% Area	Height	Amount	Units
1	fructose	8.599	1499545	44.76	70463	21.054	g/L
2	glucose	9.691	1566384	46.75	49984	21.162	g/L
3	sucrose	13.311	284540	8.49	12494	3.935	g/L

Report Method: Default Individual Report Printed 14:25:43 11/11/2559 Page: 1 of 1

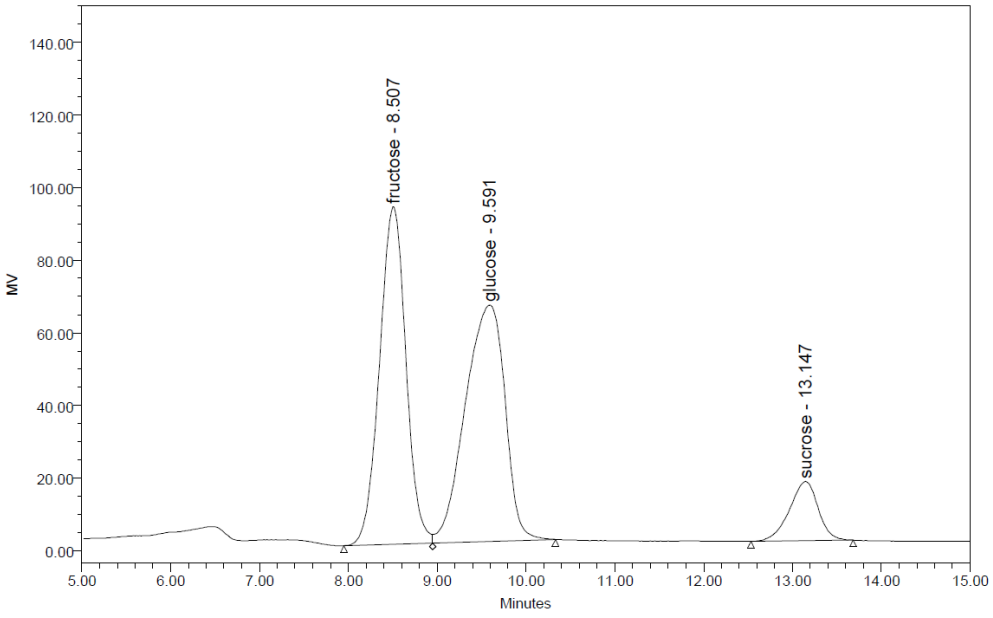
1.3 โครมาโตแกรมของน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส) ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL

Sugar

Reported by User: System Project Name: sirirat

SAMPLE INFORMATION

Sample Name:	uv1	Acquired By:	System
Sample Type:	Unknown	Date Acquired:	11/11/2559 14:26:19
Vial:	8	Acq. Method Set:	sugar
Injection #:	1	Date Processed:	11/11/2559 15:01:27
Injection Volume:	10.00 ul	Processing Method:	11112016
Run Time:	15.0 Minutes	Channel Name:	410
Sample Set Name:	11_11_59_1	Proc. Chnl. Descr.:	



	Peak Name	RT	Area	% Area	Height	Amount	Units
1	fructose	8.507	1920099	44.51	93027	26.959	g/L
2	glucose	9.591	2024838	46.94	65118	27.356	g/L
3	sucrose	13.147	368729	8.55	16337	5.099	g/L

Report Method: Default Individual Report Printed 15:47:56 11/11/2559 Page: 1 of 1

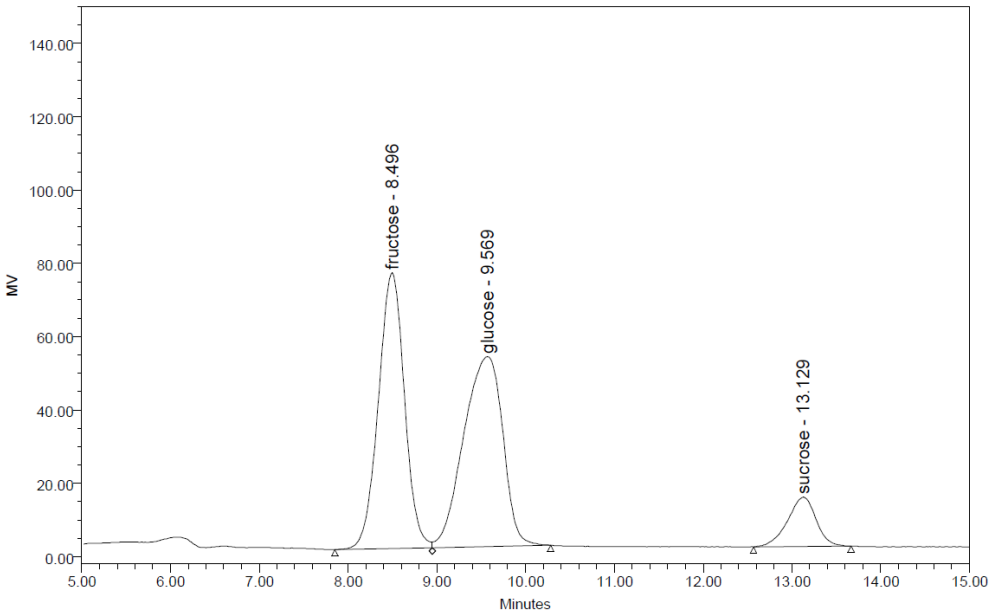
1.4 โครมาโตแกรมของน้ำตาล (กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส) ในตัวอย่างพาสเจอไรซ์

Sugar

Reported by User: System Project Name: sirirat

SAMPLE INFORMATION

Sample Name:	p1	Acquired By:	System
Sample Type:	Unknown	Date Acquired:	11/11/2559 14:58:13
Vial:	10	Acq. Method Set:	sugar
Injection #:	1	Date Processed:	11/11/2559 15:38:02
Injection Volume:	10.00 ul	Processing Method:	11112016
Run Time:	15.0 Minutes	Channel Name:	410
Sample Set Name:	11_11_59_1	Proc. Chnl. Descr.:	

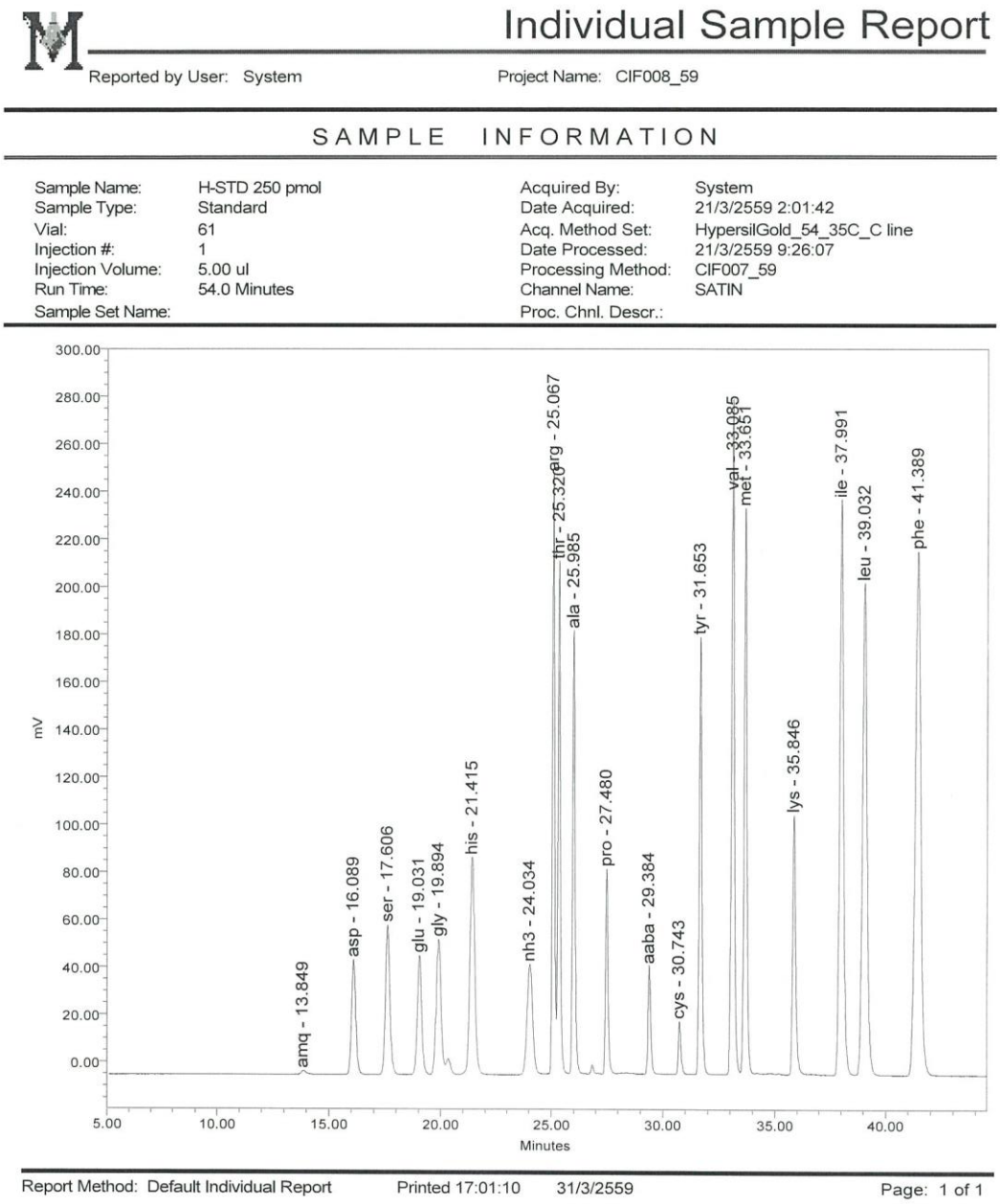


	Peak Name	RT	Area	% Area	Height	Amount	Units
1	fructose	8.496	1536919	44.83	75226	21.579	g/L
2	glucose	9.569	1590788	46.40	51835	21.492	g/L
3	sucrose	13.129	300733	8.77	13427	4.159	g/L

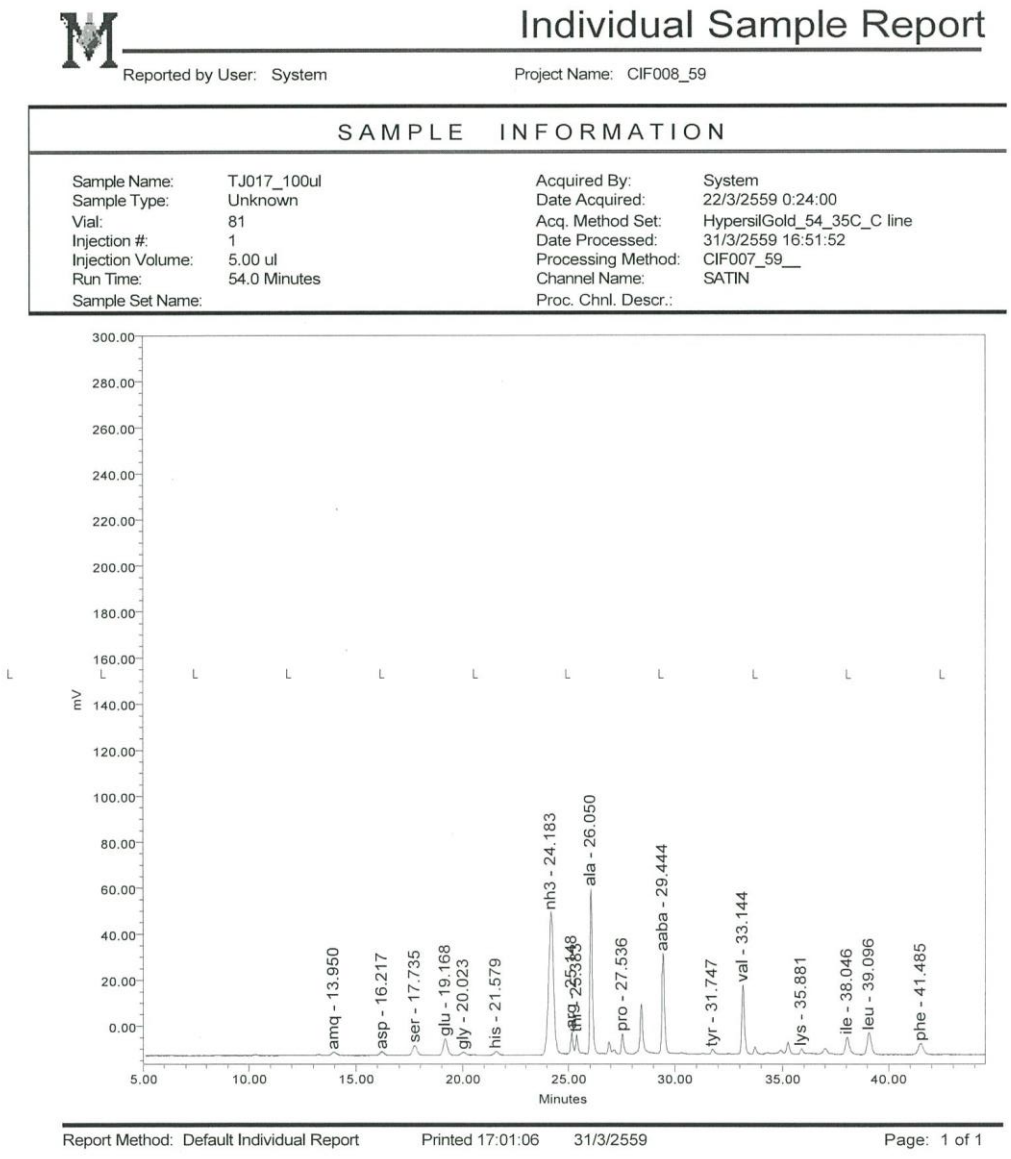
Report Method: Default Individual Report Printed 15:47:43 11/11/2559 Page: 1 of 1

2. โครมาโตแกรมของกรดอะมิโน

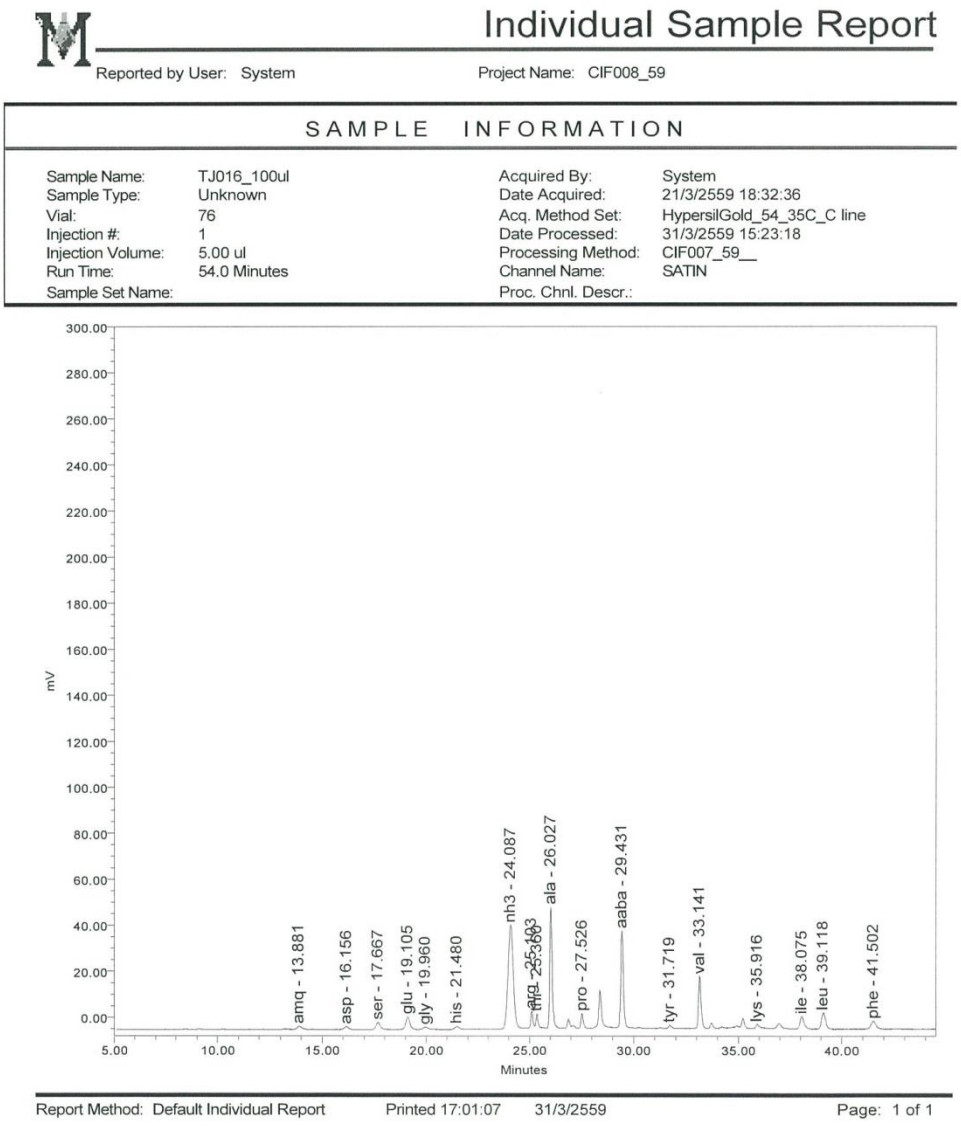
2.1 โครมาโตแกรมของกรดอะมิโนในสารละลายมาตรฐาน



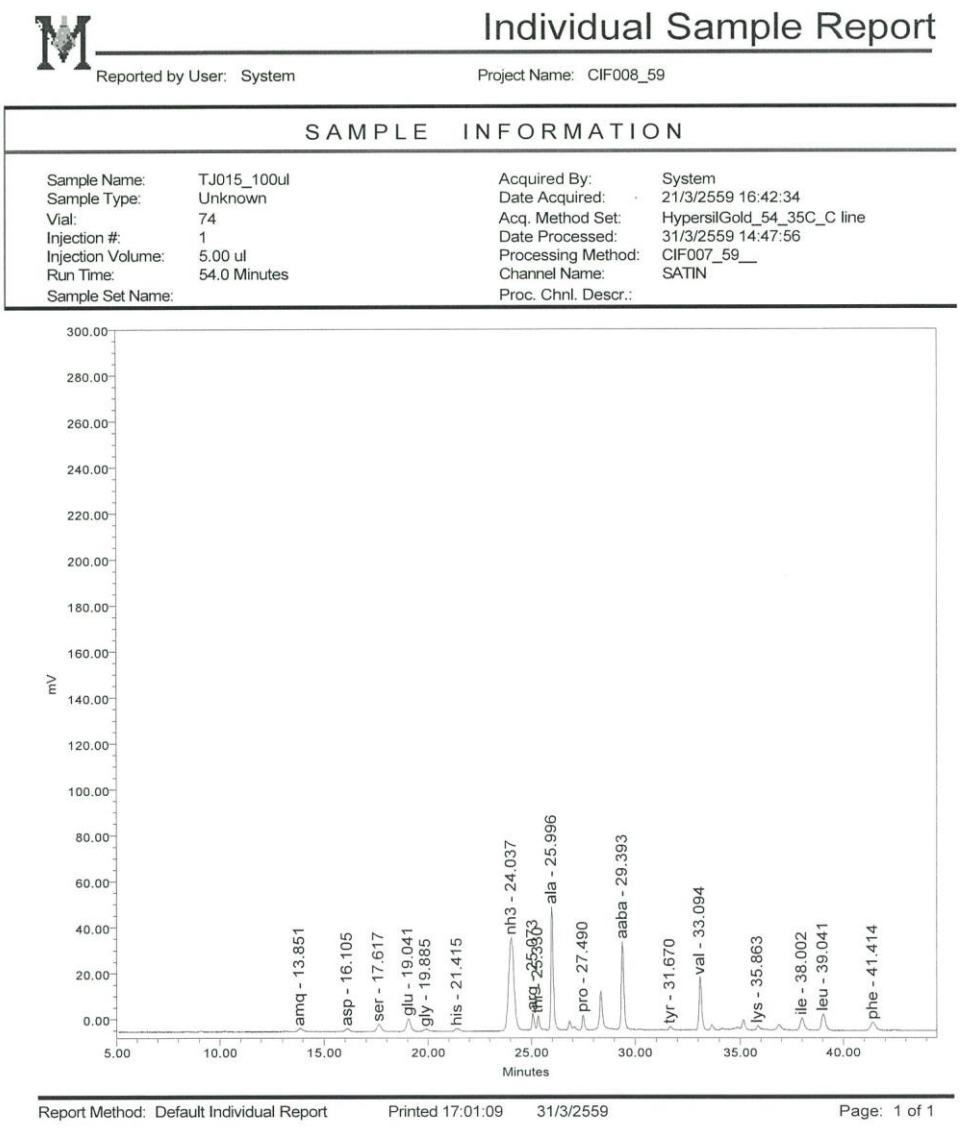
2.2 โครมาโตแกรมของกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุม



2.3 โครมาโตแกรมของกรดอะมิโนในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ 4.8 J/mL



2.4 โครมาโตแกรมของกรดอะมิโนในตัวอย่างพาสเจอไรซ์



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริรัตน์ ด่อนสิงหะ เกิดเมื่อวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

นางสาวศิริรัตน์ ด่อนสิงหะ ได้นำเสนอผลงานวิจัยด้วยวาจาในหัวข้อ ผลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และ จุลชีววิทยาของน้ำมะพร้าว ในโครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 เรื่อง “สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” ณ ศูนย์สันสกฤตศึกษา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 11 - 12 กรกฎาคม 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University