



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาฝรั่งสดตัดแต่ง
Effect of Ohmic Heating Process on Quality Change of
Fresh-cut Guava During Storage

ดร. ระจิตร สุวพานิช

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

TX

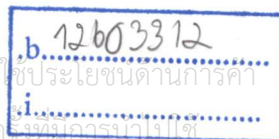
610

ร 214 ๗

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 131132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งวัน, เดือน, ปี 22 มี.ค. 2557



ชื่อโครงการ ผลของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาฝรั่งสดตัดแต่ง
แหล่งเงินทุน งบประมาณเงินแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวน 310,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2554 ถึง เดือน กันยายน 2555 /
หัวหน้าโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด
ดร. ระจิตร สุวพานิช สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งสด
ระหว่างการเก็บรักษา โดยนำชิ้นฝรั่งใส่ใน load cell ที่มีสารละลายวิตามินซีร้อยละ 2 และ ของแคลเซียม
คลอไรด์ร้อยละ 0.5 ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 100 150 และ 200 โวลต์ เปรียบเทียบเทียบกับคุณสมบัติทาง
กายภาพและทางเคมีของฝรั่งสดในชุดควบคุม ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์เป็น
สภาวะที่ดีที่สุดในการหะกระแสไฟฟ้า ศึกษาผลของการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงรวมกับการเก็บรักษาที่
อุณหภูมิต่ำ (5 และ 10 องศาเซลเซียส), ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ PET และ PS ต่อการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ผลการศึกษา พบว่าการเก็บรักษาฝรั่งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ใน บรรจุ
ภัณฑ์ชนิด PS เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : สภาวะที่เหมาะสม, กระแสไฟฟ้าโดยตรง, ฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title : Effect of Ohmic Heating Process on Quality Change of Fresh-cut Guava
During Storage

Researcher : Dr. Rachit Suwapanich

Faculty : Agro-Industry

Department : Food process engineering

ABSTRACT

Study optimum condition of ohmic heating process on quality changes of fresh-cut guava during storage. The experimental were done by put guava in load cell that contain 2 percent of ascorbic acid and 0.5 percent of calcium chloride. Applied different voltages at 100 150 and 200 volts. Compared with physical and chemical properties of fresh guava as control group. The results showed that the voltage at 100 volts was the best condition. The combination of storage temperature (5 and 10 degree celcius) , packaging (PET and PS) and ohmic heating on qualities changes were study. The result show that the optimum condition was storage at 5 degree celcius in PS packaging

Keywords : optimizing condition, ohmic Heating, guava

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย จากแหล่งทุน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2555 และ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการบริการสถานที่ ที่ทำวิจัย ทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ระจิตร สุวพานิช
ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ไทย)	ก
บทคัดย่อ(อังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ฝรั่ง	4
2.2 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการแปรรูปอาหาร	4
2.3 ปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก	6
2.4 การประยุกต์วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในระดับอุตสาหกรรม	8
2.6 การศึกษาและการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงไปใช้ประโยชน์ ในทางอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอ็นไซม์	13
2.7 กลไกของกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงต่อจุลินทรีย์	15
2.7 ผักและผลไม้ตัดแต่ง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า	23
4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่ง	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	54
ภาคผนวก ข	59
ภาคผนวก ค	82
ประวัติผู้วิจัย	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ผลของกิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) (Unit/gr weight)	45
ตารางที่ 2 ผลของการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ Total Plate Count (TPC) ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	46
ตารางที่ 3 ผลของการตรวจสอบปริมาณยีสต์และรา ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	46
ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชุดควบคุม (control) ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ polystyrene เป็นระยะเวลา 6 วัน	47
ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชุดชุดทดลอง (ohmic) ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ polystyrene เป็นระยะเวลา 6 วัน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1 Ohmic heating circuit	5
ภาพที่ 2 Schematic diagram of the ohmic heating system	7
ภาพที่ 3 Ohmic sterilization of liquid food by means of a continuous pilot scale	9
ภาพที่ 4 Aseptic continuous flow ohmic heating system	9
ภาพที่ 5 Changes of surimi temperature during the ohmic and conventional thawing	11
ภาพที่ 6 Diagram of Bacterial (Prokaryote) Cell	15
ภาพที่ 7 Electroporation Process of a cell	15
ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า	17
ภาพที่ 9 ขั้นตอนการหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้	18
ภาพที่ 10 ขั้นตอนการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง	18
ภาพที่ 11 ขั้นตอนการหาค่าสี	19
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการหาค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture analyzer	19
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสด หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100, 150 และ 200 โวลต์	23
ภาพที่ 14 การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที	24
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของฝรั่งตัดแต่งด้านเนื้อติดเมล็ดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที	25
ภาพที่ 16 ค่าความสว่าง (L*) ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที	26
ภาพที่ 17 ค่า a* และ b* ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์	27
ภาพที่ 18 : ค่าความสว่าง (L*) ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที	28
ภาพที่ 19 ค่า a* และ b* ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 20 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากการให้กระแสไฟฟ้าทันที	30
ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C	32
ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C	32
ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C ที่ระยะเวลาเก็บรักษานาน 6 วัน	33
ภาพที่ 24 ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L^*) ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	34
ภาพที่ 25 ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเมล็ดของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	35
ภาพที่ 26 ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	36
ภาพที่ 27 ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	37
ภาพที่ 28 ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเปลือกของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	38
ภาพที่ 29 ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเปลือก (ΔE^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	39
ภาพที่ 30 การสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	40
ภาพที่ 31 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	41

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 32 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(total soluble solid) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	42
ภาพที่ 33 ความเป็นกรดต่างของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °Cเป็นระยะเวลา 6 วัน	43
ภาพที่ 34 ปริมาณกรดซิตริกของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	44
ภาพที่ 35 ปริมาณกรดแอสคอบิกของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	44

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 Ohmic heating circuit	5
ภาพที่ 2 : Schematic diagram of the ohmic heating system	7
ภาพที่ 3 : Ohmic sterilization of liquid food by means of a continuous pilot scale	9
ภาพที่ 4 : Aseptic continuous flow ohmic heating system	9
ภาพที่ 5 : (A) Changes of surimi temperature during the ohmic and conventional thawing	11
ภาพที่ 6 Diagram of Bacterial (Prokaryote) Cell	15
ภาพที่ 7 Electroporation Process of a cell	15
ภาพที่ 8 : ขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า	17
ภาพที่ 9 : ขั้นตอนการหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้	18
ภาพที่ 10 : ขั้นตอนการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง	18
ภาพที่ 11 : ขั้นตอนการหาค่าสี	19
ภาพที่ 12 : ขั้นตอนการหาค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture analyzer	19
ภาพที่ 13 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฟรังตัดแต่งสด หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100, 150 และ 200 โวลต์	23
ภาพที่ 14 : การสูญเสียน้ำหนักของฟรังตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังการให้กระแสไฟฟ้าทันที	24
ภาพที่ 15 : การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของฟรังตัดแต่งด้านเนื้อติดเมล็ดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังการให้กระแสไฟฟ้าทันที	25
ภาพที่ 16 : ค่าความสว่าง (L*) ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชิ้นฟรังหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังการให้กระแสไฟฟ้าทันที	26
ภาพที่ 17 : ค่า a* และ b* ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชิ้นฟรังหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์	27

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ภาพที่ 18 : ค่าความสว่าง (L^*) ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังจากการให้กระแสไฟฟ้าทันที	28
ภาพที่ 19: ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์	29
ภาพที่ 20 : ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากการให้กระแสไฟฟ้าทันที	30
ภาพที่ 22 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C	32
ภาพที่ 23 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C ที่ระยะเวลาเก็บรักษานาน 6 วัน	33
ภาพที่ 24 : ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L^*) ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	34
ภาพที่ 25 : ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเมล็ดของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	35
ภาพที่ 26 : ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	36
ภาพที่ 27 ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน	37
ภาพที่ 28 : ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเปลือกของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน	38

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินซี นอกจากนี้ยังมีวิตามินเอ บี1 บี2 บี6 ธาตุเหล็ก แคลเซียมและอื่น ๆ (Shewfelt, 1987) ในปัจจุบันผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคต้องการความสะดวกมากขึ้น ในขณะที่มีกำลังซื้อเพิ่มขึ้นและเล็งเห็นคุณค่าทางอาหารของผักและผลไม้สดต่อสุขภาพของผู้บริโภค การแปรรูปพร้อมบริโภคมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นการลดขนาดผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงทำให้สะดวกต่อการขนส่ง ประหยัดพื้นที่ในการเก็บรักษา และสะดวกต่อการบริโภค อย่างไรก็ตามฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคมักประสบปัญหา การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และมีเนื้อสัมผัสนิ่มในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับการเกิด สีน้ำตาลบนผิวฝรั่งมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก โดยมีพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase, PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Lichter และคณะ, 2000) ในขณะที่การอ่อนตัวของเนื้อสัมผัสเป็นผลจากการย่อยสลายเพคตินด้วยเพคตินเนส (Pectinase, PE) ที่มีอยู่ในเนื้อผลไม้ (Whitaker, 1996) พรหมจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ (2552) ทดลองใช้สารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับความร้อนในการปรับปรุงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค ผลพบว่าสภาวะที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที ทำให้ฝรั่งที่มีคุณภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตามที่สภาวะดังกล่าวเมตาโบลิซึมในฝรั่งตัดแต่งยังคงดำเนินอยู่ รวมทั้งยังคงมีการหายใจ ดังนั้นจึงทำให้มีการเสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา Schlimme และ Rooney (1994) พบว่าการใช้สภาพบรรยากาศตัดแต่งร่วมกับการลดอุณหภูมิสามารถยืดอายุการเก็บผักและผลไม้ตัดแต่งได้ โดยมีการใช้เทคนิคนี้ กับแอปเปิ้ล (O'Bieme, 1990) แคนตาลูป (Bai และคณะ, 2003) และกล้วย (Bico และคณะ, 2008) เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวแล้ว การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมผลผลิตก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อายุการวางจำหน่ายและอายุการเก็บรักษา เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงมีการใช้สารเคมีในการลดการปนเปื้อนของเชื้อ ตลอดจนการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการป้องกันหรือชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาหรือระหว่างการรอจำหน่าย อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและอยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic heating process) ในการควบคุมหรือลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งการใช้บรรจุภัณฑ์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแส ไฟฟ้าโดยตรง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

2.2 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาขั้นตอนกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบให้ได้รังสีตัดแต่ง และศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ รวมทั้งการใช้บรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยแบ่งการดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนการศึกษาคือ

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยตรง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโอค

3.2 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโอค

4. ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมาใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร โดยการผ่านไฟฟ้ากระแสสลับลงไปในอาหารโดยตรง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นทั่วทุกส่วน เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของตัวอาหารเอง (electrical resistance) โดยอิเล็กทรอนิกส์จากกระแสไฟฟ้าจะวิ่งชนโมเลกุลของอาหาร จึงทำให้อาหารร้อนขึ้น โดยไม่มีผลต่อองค์ประกอบของอาหาร แต่อาจมีผลต่อโครงสร้างบางส่วน เช่น ทำให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการรั่ว หรือแตกได้ ถ้าอาหารทั้งสองเฟส (ของแข็งและของเหลว) มีความต้านทานไฟฟ้าเท่ากัน จะทำให้อัตราการเกิดความร้อนเท่ากัน จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการเกิดความร้อนในชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (conventional) และแบบโอห์มมิก

พบว่า อุณหภูมิของชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งที่ได้รับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จะเพิ่มขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของเหลว ในขณะที่กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้นพบว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของแข็งอาหารที่เป็นของแข็งจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในส่วนที่เป็นของเหลว (ภาพที่ 1) ดังนั้น จึงสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นของเหลวที่มีชิ้นอาหารอยู่ด้วย โดยจัดเป็นกระบวนการ HTST กระบวนการหนึ่ง นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้ายังมีผลต่อการทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์โดยตรงอีกด้วย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอาหารได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโอค

ปัจจุบันมีการผลิตฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโอคจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากมีความสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียม และที่สำคัญในปัจจุบันการผลิตผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโอค (Fresh-cut) มักจะจำเป็นต้องเติมสารเคมีที่มีผลต่อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อช่วยในการยืดอายุการเก็บ ดังนั้นถ้ากระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงสามารถนำมาใช้ทดแทนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวผลไม้ตัดแต่งได้จะเป็นการดีมาก ในด้านของความปลอดภัยในการบริโภค แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโอคยังขาดการศึกษา ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการศึกษาดังกล่าว ตลอดจนนำหลักการบรรจุในสภาพตัดแต่ง

รวมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาช่วย น่าจะทำให้ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคมีความปลอดภัยและมีอายุการวางจำหน่ายที่นานขึ้น

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 นำเสนอบทความในรูปแบบต่างๆ เช่นการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

5.2 เกิดเครือข่ายนักวิจัยเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตจากสาขาวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สาขาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมอาหาร สาขาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีจุลินทรีย์ทางอาหาร และ สาขาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์การอาหาร

5.3 ได้เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสอดคล้องตามสภาพแวดล้อม และได้พัฒนาเทคโนโลยี เพื่อนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งสดพร้อมบริโภค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝรั่ง (Guava)

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava* L. เป็นไม้ยืนต้นขนาดย่อม สูง 2-8 เมตร มีกิ่งเหนียวแผ่ กิ่งก้านสาขาออกไปได้กว้าง เปลือกต้นเรียบ ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม รูปวงรี กว้าง 3-8 เซนติเมตรดอกเดี่ยวหรือช่อ 2-3 ดอก ออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีขาวร่วงง่าย มีเกสรตัวผู้จำนวนมาก ผลเป็นผลสด เป็นผลไม้ที่มีตลอดปี เช่นเดียวกับส้ม มะละกอ กัลย และสับปะรด ทั้งนี้เพราะทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี (พร้อมจิตร, 2532) พันธุ์ฝรั่งที่พบในเมืองไทยมีหลายชนิด การจำแนกฝรั่งมี 2 แบบคือ จำแนกจากลักษณะผลและจำแนกจาก

ลักษณะการใช้ประโยชน์ ถ้าพิจารณาตามลักษณะผล ฝรั่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทผลหัวโต ก้นสอบ และประเภทผลกลม

ฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นหอม รสชาติดี มีวิตามินและเกลือแร่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิตามินซีและเอ ที่มีปริมาณสูง สำหรับคุณค่าทางอาหารของฝรั่งแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของฝรั่ง

รายการ	ปริมาณการวิเคราะห์
วิตามินบี 1 (mg/100g)	0.06
วิตามินบี 2 (mg/100g)	0.13
วิตามินซี (mg/100g)	160.0
วิตามินเอ (unit/100g)	89.0
ค่าพลังงานความร้อน (kcal/100g)	51.0
แคลเซียม (mg/100g)	13.0
เหล็ก (mg/100g)	0.5
ฟอสฟอรัส (kg/100g)	25.0
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	11.6
ความชื้น (ร้อยละ)	80.7
โปรตีน (ร้อยละ)	0.9
เส้นใย (ร้อยละ)	6.0
ไขมัน (ร้อยละ)	0.1

ที่มา: สวัสดิ์, 2541

2.2 การให้ความร้อนแบบโอห์มิกในการแปรรูปอาหาร (Ohmic Heating in Food Processing)

การแปรรูปด้วยความร้อน (thermal processing) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการแปรรูปอาหาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในลักษณะต่างๆ เช่น การลวก (blanching) เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) และการสเตอริไลซ์ (sterilization) ซึ่งเป็นรูปแบบการให้ความร้อนเพื่อทำลายสารพิษ, จุลินทรีย์, เอนไซม์ และพยาธิในการแปรรูปอาหาร โดยวัตถุประสงค์ของการพาสเจอร์ไรส์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและไม่สร้างสปอร์ คุณภาพของอาหารจะแตกต่างจากวัตถุดิบไม่มากนัก แต่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

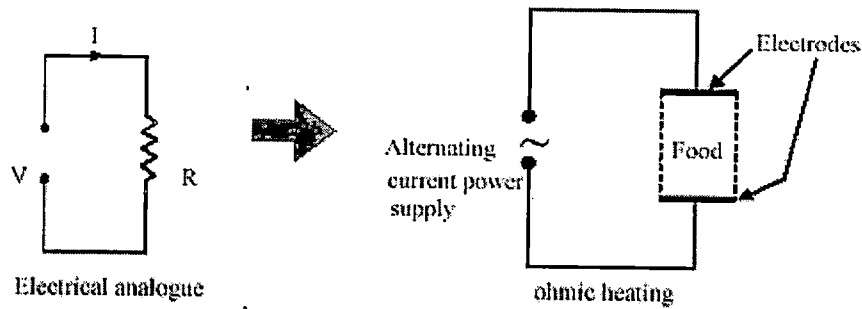
สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนวัตถุประสงค์ของสเตอริไลซ์เพื่อทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นอันตรายและที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การแปรรูปอาหารเหลวด้วยความร้อนในปัจจุบันใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ชนิดต่างๆ ที่มีกลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อนจากโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นข้อจำกัดอย่างมากเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้ความร้อนที่สูงและเวลาที่ยาวนานในการแปรรูปส่งผลเสียต่อคุณภาพ และคุณลักษณะด้านต่างๆ ของอาหาร และเมื่อใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเวลานานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง เนื่องจากการเกิดตะกอนเกาะที่ผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง จากข้อจำกัดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาการให้ความร้อนเพื่อการแปรรูปอาหารที่มีประสิทธิภาพ การเกิดความร้อนสูงและมีกลไก การเกิดความร้อนจากภายในอาหารซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนประหยัพลังงานและลดต้นทุนการผลิต

การเกิดความร้อน แบบโอห์มมิก (ohmic heating) เป็นเทคโนโลยีการสร้างความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีอัตราการเกิดความร้อนที่สูงมากกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบอื่นๆ โดยมีอัตราการเกิดความร้อนประมาณ 0.005 -1.2 องศาเซลเซียสต่อวินาที และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าร้อยละ 95 ซึ่งในขณะที่การสร้างความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้เพียงร้อยละ 45-48 เท่านั้น รวมทั้งการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกมีกลไกการเกิดความร้อนจากภายในตัวอาหาร จึงไม่มีผลกระทบต่อในด้านการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงาน ปัจจุบัน การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกถูกนำมาใช้ในการแปรรูปแบบอาหารปลอดเชื้อ (aseptic processing) สำหรับอาหารเหลวเนื้อเดียว ตลอดจนการนำไปใช้ในการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปในลักษณะต่างๆ เช่น การนำไปใช้ในการละลายอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งสามารถช่วยลดพื้นที่และปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายแบบดั้งเดิม การลวกเพื่อยับยั้งเอนไซม์ การนำไปใช้เพื่อเสริมประสิทธิภาพของการพาสเจอร์ไรส์และการสเตอริไลซ์

2.2 หลักการให้ความร้อนแบบวิธีโอห์มมิก

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (ohmic heating) เป็นวิธีการสร้างความร้อนจากภายในตัวอาหาร ซึ่งเป็นผลจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าสู่อาหาร และเกิดการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าในอาหารจนเกิดเป็นความร้อนที่อัตราความร้อนสูง โดยชนิดของอาหารที่เหมาะสมกับการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกนั้น ควรเป็นอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง และค่าการนำไฟฟ้าของอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของระบบมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเป็นผลจากปริมาณการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในอาหารได้มากขึ้น นอกจากสมบัติการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของอาหารที่มีผลต่อการเร่งอัตราการเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกแล้วปริมาณเกลือและความเข้มข้นของอาหารก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก เนื่องจากปริมาณเกลือจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการแตกประจุไอออนของอาหาร ซึ่งช่วยเสริมความสามารถในการนำไฟฟ้าในอาหารได้เป็นอย่างดี และผลของความเข้มข้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยอาหารที่ความเข้มข้นของเกลือมากจะเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกในอัตราที่สูงกว่าอาหารที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 : Ohmic heating circuit

ภาพที่ 1 แสดงวงจรการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในตัวอย่างอาหารที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าซึ่งผลของการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในอาหารจะเกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในเนื้ออาหารนั้น เนื่องจากในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดการเคลื่อนที่ของไอออนและเสียดสีกันระหว่างชั้นโมเลกุลในอาหารเกิดเป็นพลังงานความร้อนหรืออาจจะกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกจะเกิดขึ้นได้ดีและเหมาะสมกับอาหารเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous liquid food) และมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง (high electrical conductivity) เนื่องจากอาหารเหลวจะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณตามลักษณะภาวะที่บรรจุได้พอดีจึงทำให้สามารถสัมผัสขั้วอิเล็กโทรดได้สนิทพอดี ซึ่งมีส่วนช่วยให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าสู่อาหารได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการประยุกต์การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกในการแปรรูปอาหารจึงช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและทางประสาทสัมผัสของอาหารจากผลของการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน การศึกษาเพื่อพัฒนาการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกใช้ในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เช่น ค่าการนำไฟฟ้าความเข้มข้นของอาหารและความเข้มข้นของสนามไฟฟ้า

2.3 ปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก

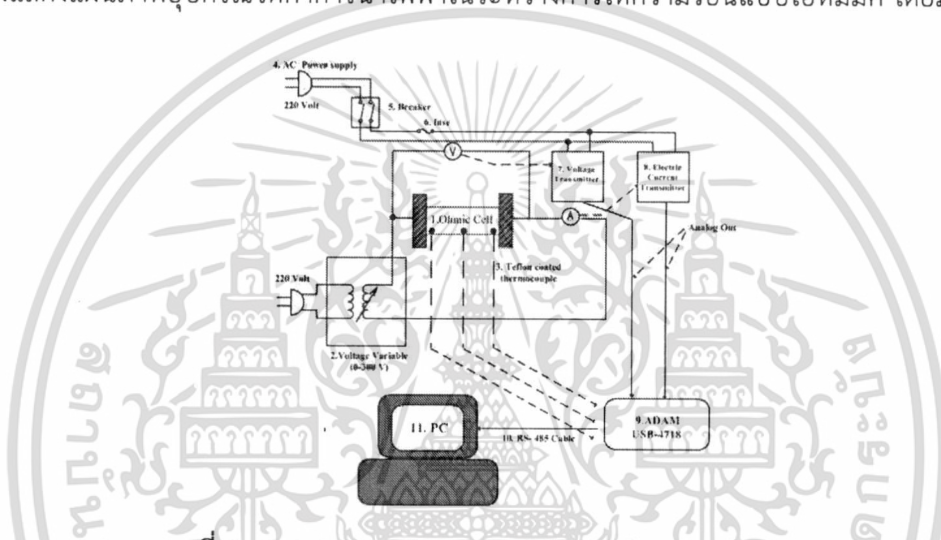
อัตราการเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาหาร ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะแปรผันตรงกับคุณสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร ดังนั้นอาหารที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สูง เช่น อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (acid food) และอาหารที่มีส่วนประกอบของเกลือคลอไรด์ ซึ่งอาหารที่มีความสามารถในการแตกตัวของประจุไอออนได้ดี จึงสามารถเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกได้ดีแต่ในอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ (low acid food) เช่น นม หรืออาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก อาหารประเภทดังกล่าวมีการแตกตัวของไอออนต่ำ จึงเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกได้ไม่ดี การนำไฟฟ้าของอาหารเป็นปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก อาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นปัจจัยหลัก (critical parameter) ต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิในอาหารด้วยการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้พัฒนาอุปกรณ์และวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของทั้งอาหารเหลวและชิ้นอาหารอาศัยหลักการและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในตัวอาหารและความเข้มข้นของกระแสไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม โดยใช้สมการพื้นฐานในการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของอาหารในระหว่างการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{I L}{V A} \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเหลว (ซีเมนต่อเมตร, S/m), I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (แอมแปร์, Amp.), V คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์, Volt), L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (เมตร, m) และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด (ตารางเมตร, m^2)

ชุดอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร มีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ โห้หมมิคเซลล์ ระบบการวัดสัญญาณไฟฟ้าและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบปรับแรงดัน ซึ่งมีวงจรการทำงานตามภาพที่ 2 ซึ่งแสดงแผนภาพอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการให้ความร้อนแบบโห้หมมิค โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2 : Schematic diagram of the ohmic heating system

โห้หมมิคเซลล์ : เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่มีความสามารถในการทนความร้อนสูง เช่น ท่ออะคริลิก (acrylic tube), ท่อเทฟลอน (teflon tube), ท่อไพเร็กซ์ (pyrex tube) หรือพลาสติกวิศวกรรมขั้นสูงชนิดต่างๆ เพื่อใช้บรรจุตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลอง โดยที่ปลายทั้งสองด้านของโห้หมมิคเซลล์จะประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรดซึ่งมีหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลเข้าสู่อาหาร แผ่นอิเล็กโทรดส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นโลหะ เช่น แผ่นเหล็กไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดจากอาหารได้ดีและมีความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นอย่างดี

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าชนิดปรับแรงดัน : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบ ซึ่งเป็นหม้อไฟฟ้าชนิดปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ โดยการเกิดความร้อนแบบโห้หมมิคไม่นิยมระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) เนื่องจากการให้ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้ทิศทางของไหลของกระแสไฟฟ้ามืดทิศทางเดียว ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis reaction) ส่งผลให้เกิดการเกิดกร่อนที่ผิวของอิเล็กโทรดอย่างรุนแรง และเกิดเป็นตะกอนของสนิมออกไซด์ของโลหะ ซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในอาหาร จึงนิยมใช้ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับในการศึกษาการเกิด ความร้อนแบบโห้หมมิคมากกว่า อย่างไรก็ตามระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าต่ำกว่า 5 โวลต์ต่อเซนติเมตรมีความเสี่ยงในการเกิดกร่อนที่ผิวของอิเล็กโทรด และเกิดเป็นตะกอนของสนิมออกไซด์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะได้เช่นกัน ดังนั้นการเลือกระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงรูปแบบและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้ให้เหมาะสม

ระบบการวัดและควบคุมสัญญาณทางไฟฟ้า : เป็นชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้า อาทิปริมาณกระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิในระหว่างการเกิดความร้อนแบบโอทึมมิก โดยมีส่วนประกอบภายในชุดอุปกรณ์ แบ่งออกเป็นเซ็นเซอร์วัดสัญญาณไฟฟ้า (ปริมาณกระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า) และอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งรับข้อมูลมาจากเซนเซอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานในรูปแบบข้อมูลอนาล็อกหรือข้อมูลดิจิทัล (analog or digital transmitter) และเครื่องบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ปัจจุบันจึงได้มีความพยายามในการนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทึมมิก มาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารมากขึ้น เนื่องจากวิธีการนี้มีข้อได้เปรียบวิธีการให้ความร้อนแบบทั่วๆไปคือ (Skudder, 1989)

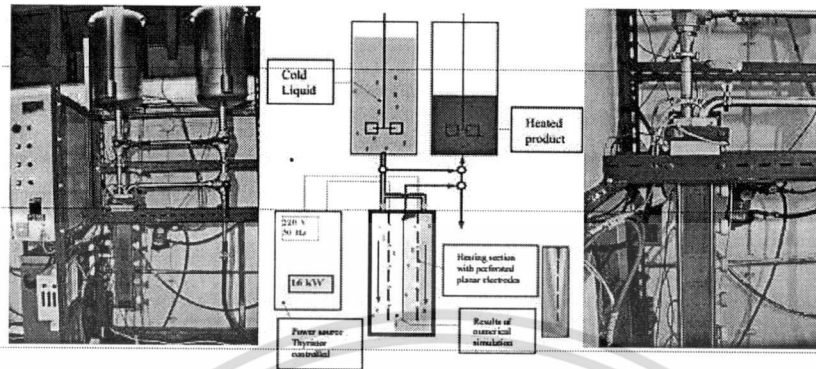
1. พลังงานที่ได้จะอยู่ในรูปความร้อนซึ่งจะเกิดอย่างทั่วถึงในของเหลวทำให้ลดระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวรอบๆไปยังชิ้นอาหารแข็ง จึงเหมาะสำหรับการผลิตอาหารที่มีความหนาแน่นของชิ้นอาหารแข็งอยู่สูง
2. เครื่องเดินเงียบ และ ดูแลรักษาง่ายสามารถล้างเครื่องมือหลังการใช้งาน โดยใช้ระบบ C.I.P (Cleaning in Place) ทั่วไปได้
3. อาหารถูกทำลายลดลง เนื่องจากการเสียมเสียที่ผิวของผลิตภัณฑ์เพราะความร้อนที่อาหารได้รับส่วนใหญ่ไม่ได้มาจากการส่งถ่ายความร้อนบริเวณผิว และ เวลาในการให้ความร้อนสั้น
4. เป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมได้ง่ายและแม่นยำ
5. ขยายกำลังผลิตได้ง่าย
6. สามารถออกแบบให้ถูกต้องตามหลักสุขอนามัยอาหารได้ง่าย
7. การนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทำได้ดีกว่าการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟ ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า
8. ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย
9. การแปลงพลังงานมีประสิทธิภาพมาก
10. การลงทุนต่ำ
11. กระบวนการนี้เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกได้ง่าย เพราะไม่ต้องการมีการกวนในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน เช่น ซุปที่มีการใส่ชิ้นของอาหารแข็งลงไปด้วย
12. สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางอื่นในการถ่ายเทความร้อน

2.4 การประยุกต์วิธีการให้ความร้อนแบบโอทึมมิกในระดับอุตสาหกรรม

การเกิดความร้อนด้วยวิธีโอทึมมิก มีข้อได้เปรียบเชิงวิศวกรรมหลายประการทำให้นักวิจัยในกลุ่มเทคโนโลยี และวิศวกรรมอาหารต่างให้ความสนใจศึกษาการให้ความร้อนเพื่อการแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงแต่ใช้เวลาสั้น (High Temperature Short Time; HTST) และการแปรรูปแบบอาหารปลอดเชื้อ (aseptic processing) บริษัท APV Baker ประเทศอังกฤษได้ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอทึมมิก สำหรับการแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อระบบต่อเนื่อง (continuous aseptic processing) โดยออกแบบระบบสร้างความร้อนด้วยวิธีโอทึมมิกเป็นท่อรูปทรงสี่เหลี่ยม เมื่ออาหารเหลวไหลเข้าสู่ท่อรูปทรงสี่เหลี่ยมระบบปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่อาหารและเปลี่ยน

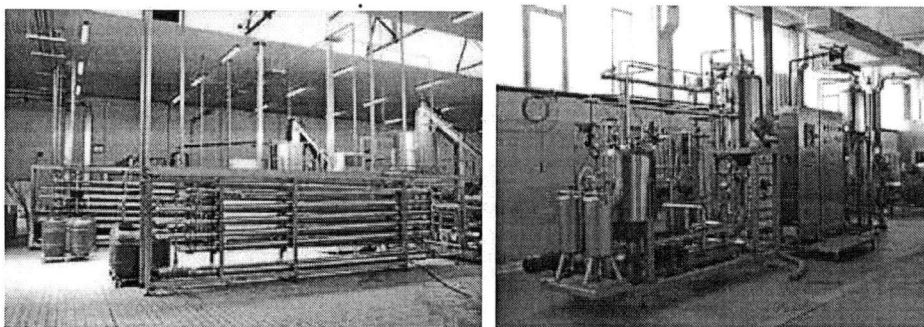
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน จนอาหารได้รับความร้อนตามกำหนดไว้ อาหารจะถูกส่งไปยังถังปลอดเชื้อเพื่อรอการบรรจุ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 : Ohmic sterilization of liquid food by means of a continuous pilot scale
(ที่มา : Zitny และคณะ, 2003)

รายงานของ Ramaswamy และคณะ (2005) มหาวิทยาลัย Ohio State ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ระบุว่ามีการนำเครื่องแปรรูปแบบปลอดเชื้อด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบต่อเนื่อง (ภาพที่ 4) ใช้ในอุตสาหกรรม และแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อระบบต่อเนื่องในผลิตภัณฑ์แบบพวกน้ำผลไม้เข้มข้น น้ำซूप โดยส่งไปขายในประเทศอิตาลี กรีซฝรั่งเศส เม็กซิโก และ ญี่ปุ่น ในขณะที่ในประเทศอังกฤษ ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ไข่ (liquid eggs) Pataro และคณะ (2011) ศึกษากระบวนการแปรรูปน้ำเชื่อมจากแอฟริคอตแบบปลอดเชื้อด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบต่อเนื่อง พบว่าน้ำเชื่อมจากแอฟริคอตมีการเก็บมากกว่า 52 สัปดาห์การพัฒนาวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิคจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหาร และการแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อระบบต่อเนื่องได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะที่การแปรรูปด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพต่างๆในการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนไปสู่อาหาร จึงใช้เวลาในการให้ความร้อนที่ยาวนาน กว่าที่จุดร้อนซ้ำที่สุดในอาหารจะได้รับความร้อนตามสภาวะที่กำหนด ส่งผลเสียต่อคุณภาพของอาหาร ทั้งในด้านคุณลักษณะทางกายภาพ (สี กลิ่น เนื้อสัมผัส) คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารจากการได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะส่งผลต่ออัตราการเสื่อมสลายของรงควัตถุในอาหารรวมถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล



ภาพที่ 4 : Aseptic continuous flow ohmic heating system ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ที่มา : Ramaswamy และคณะ, 2005)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความร้อนที่สูงและเป็นเวลานาน แต่การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกมีอัตราการเกิดความร้อนที่รวดเร็ว และเกิดขึ้นภายในตัวอาหารเอง จึงสามารถช่วยลดสูญเสีย คุณลักษณะทางกายภาพ (สี กลิ่น เนื้อสัมผัส) คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารได้ดี (ภาพที่ 5) โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีโอห์มมิก จะคุณภาพที่ดีกว่าการแปรรูปด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

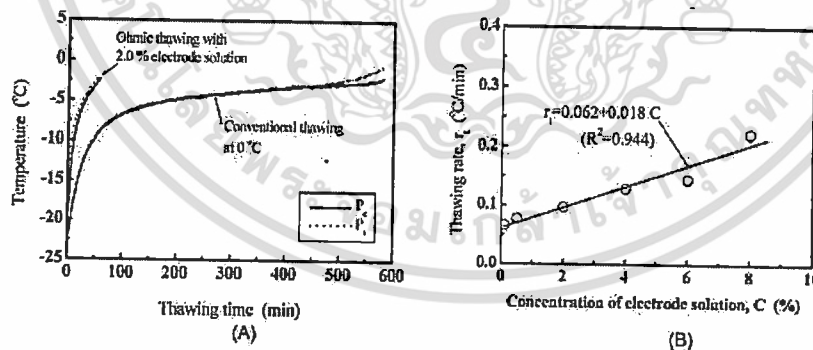
Icier และคณะ (2006) นำวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 โวลต์ต่อเซนติเมตร) ใช้ยับยั้งเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase inactivation) พิวเรของถั่วตีบ (pea puree) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเพียง 54 วินาที เมื่อเปรียบเทียบการให้ความร้อนเพื่อการยับยั้งเอนไซม์ด้วยการแช่ในอ่างควบคุมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 นาทีเพื่อให้พิวเรของถั่วตีบมีอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาคงอุณหภูมิในอ่างน้ำร้อนอีก 300 วินาที ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก จะช่วยลดเวลาและพลังงานในกระบวนการลวกเพื่อใช้ยับยั้งเอนไซม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Jakob และคณะ (2010) พบว่าการลวกด้วยวิธีโอห์มมิกสามารถยับยั้งเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase) เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (Pectin Methyl Esterase, PME) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในนม น้ำผักและผลไม้ได้ดีกว่าการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนหรือการพ่นละอองไอน้ำ

การประยุกต์วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในกระบวนการละลายอาหารแช่เยือกแข็งนับเป็นจุดเด่นที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความเหมาะสมในด้านต่างๆ สามารถลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการ และลดการเสื่อมเสียคุณภาพ อีกทั้งช่วยลดต้นทุนในกระบวนการละลายวัตถุดิบทางอาหารได้เป็นอย่างดี Ohtsuki (1993) พบว่าการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (ปลาทูน่า เนื้อวัว และ ไช้) ด้วยวิธีโอห์มมิกสามารถช่วยลดเวลาในการละลายได้มากถึงร้อยละ 67-75 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการละลายด้วยการแช่น้ำอุ่นในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน และ Fuchigami และคณะ (1994) ยังพบว่าวิธีการละลายด้วยการให้ความร้อนวิธีโอห์มมิกช่วยลดอัตราการทำลายของโครงสร้างเซลล์และรักษาสภาพของเนื้อสัมผัสได้อย่างดี Yun และคณะ (1998) ศึกษาการละลายเนื้อเป็ดแช่เยือกแข็งด้วยการแช่น้ำและการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก ซึ่งพบว่าสามารถช่วยลด เวลา และประหยัดพลังงานในกระบวนการละลายเนื้อเป็ดแช่เยือกแข็งได้มากกว่าการแช่น้ำ นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อเป็ดแช่เยือกแข็ง (drip loss) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการละลาย แนวความคิดดังกล่าวได้รับการสนใจและถูกนำไปออกแบบเพื่อสร้างระบบการละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก แต่อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแข็งมีค่าประมาณ $0.5 - 6.7 \times 10^{-10}$ ซีเมนต่อเมตร ซึ่งมีค่าต่ำมากกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลเข้าสู่ น้ำแข็งได้ ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งน้ำในองค์ประกอบเป็นน้ำแข็งมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็งได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย น้ำแข็งที่ชั้นผิวนอกของอาหารแช่เยือกแข็ง เริ่มเกิดการละลายและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็งได้มากขึ้น อัตราการเกิดร้อนและการละลายจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำแข็งที่ละลายเป็นของเหลวที่ชั้นผิวนอกจะเป็นตัวกลางในการนำความร้อนเข้าสู่ใจกลาง และจุดที่ร้อนซ่าสุดของของอาหารแช่เยือกแข็ง (cold spots) ดังนั้นเมื่อน้ำแข็งในองค์ประกอบของอาหารแช่เยือกแข็งเริ่มเกิดการละลาย ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าสู่อาหารได้มากขึ้นอัตราการเกิดความร้อนสูงขึ้นอย่างมาก และการละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การเกิดความร้อนแบบรันอะเวย์ (runaway heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยวิธีโอห์มมิก จึงสามารถใช้แทนระบบการละลายด้วยวิธีการแช่ในน้ำ สามารถช่วยประหยัดเวลา และลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายของระบบเดิม ซึ่งการละลายด้วยวิธีโอห์มมิก สามารถช่วยลดปรากฏการณ์การรวมตัวผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ (recrystallization) ซึ่งผลของการเกิดผลึกน้ำขนาดใหญ่ จะไปทำลายโครงสร้างผนังของเนื้อเยื่อเซลล์ในอาหารเกิดการฉีกขาด ของเหลวต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญภายในโครงสร้างเซลล์จะไหลซึมออกมา ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (drip loss) ซึ่งเป็นผลเสียต่อ สี รส และการสูญเสียสารอาหาร Roberts (1998) ออกแบบเครื่อง การละลายด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกใช้ในการละลายปลาทะเลแช่เยือกแข็ง เพื่อใช้งานในระดับอุตสาหกรรม พบว่าสามารถใช้แทนวิธีการละลายโดยการแช่ในน้ำวิธีดังกล่าวใช้พื้นที่และน้ำปริมาณมาก และมีต้นทุนการดำเนินการที่สูงมาก ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนของค่าน้ำที่ใช้ในการละลาย และต้นทุนการบำบัดน้ำทิ้งหลังจากกระบวนการละลาย น้ำทิ้งหลังการละลายด้วยวิธีการแช่ในน้ำจะมีอัตราการเน่าเสียที่สูงมาก เนื่องจากน้ำที่ใช้แช่ในการละลายมีการปนเปื้อนของโปรตีนจากปลา เช่น เลือดหรือเมือกปลาจำนวนมาก โดยเครื่องละลายด้วยวิธีโอห์มมิกสามารถช่วยลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 48 หรือคิดเป็น 95,000 เหรียญสหรัฐต่อปีและลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายได้มากถึง 12.6 พันล้านลิตรต่อปี

Miao และคณะ (2007) ศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการละลายของซูริมิเนื้อปลาซาตินขนาด 25 กิโลกรัม และถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (-23)±1 องศาเซลเซียส ระหว่างวิธีการแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดเวลา กับวิธีโอห์มมิกซึ่งแช่ตัวอย่างในอ่างที่มีสารละลายเกลือ พบว่าอัตราการละลายด้วยวิธีโอห์มมิกที่แช่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 2 มีอัตราที่เร็วกว่าวิธีแช่ในน้ำอุ่นถึง 9.83 เท่า (ภาพที่ 5A) และหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการละลายกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (ภาพที่ 5B) พบว่าอัตราการละลายของซูริมิ เนื้อปลาซาตินที่แช่ในอ่างที่มีความเข้มข้นของสารละลายเกลือสูง จะมีอัตราการละลายที่รวดเร็วกว่าอ่างที่มีความเข้มข้นของสารละลายเกลือต่ำ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการละลายและความเข้มข้นของสารละลายเกลือในรูปแบบสมการเส้นตรง



ภาพที่ 5 : (A) Changes of surimi temperature during the ohmic and conventional thawing
(B) Effect of the concentration of electrode solution on thawing rate in ohmic thawing
(ที่มา : Miao และคณะ, 2007)

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกซึ่งเป็นหนึ่งในนวัตกรรมการให้ความร้อนในเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร ด้วยวิธีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่อาหาร อัตราการเกิดความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในอาหาร ซึ่งจะแปรผันตรงกับคุณสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของอาหารชนิดนั้นๆ จุดเด่นที่สำคัญ ของวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สามารถเกิดความร้อนได้ภายในตัวของมันเอง มีอัตราการเกิดความร้อนที่รวดเร็ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และประสิทธิภาพในการกระจายของความร้อนที่ดี ซึ่งเป็นจุดเด่นที่ดีกว่ากระบวนการให้ความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน กระบวนการสร้างความร้อนแบบโอห์มมิกจึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหาร เช่น การลวก (blanching) กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) และกระบวนการสเตอริไลซ์ (sterilization) มีการพัฒนาและสร้างระบบการแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อ (aseptic processing) ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยยับยั้งเอนไซม์ด้วยความร้อนในผักและผลไม้ซึ่งมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกยังถูกนำมาใช้ในการลดเวลาในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งประเภทต่างๆ (thawing process) สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการละลายจากการใช้น้ำและการบำบัดน้ำเสียได้อย่างดี กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจึงเป็นเทคโนโลยีการให้ความร้อนที่เหมาะสม และสามารถพัฒนาไปสู่การแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม

Giovana Domeneghini Mercali และคณะ (2012) ศึกษาการศึกษาเพื่อประเมินผลการสลายตัวของวิตามินซีใน Acerola pulp หรือเชอร์รี่ไทยระหว่างการใช้ Ohmic กับการให้ความร้อนโดยวิธีแบบธรรมดา โดยใช้แผนการทดลอง Central Composite Rotatable Design ช่วยในการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา 2 ตัว คือ ปริมาณของแข็งในเนื้อผลไม้ (2-8 g/100 g) และปริมาณแรงดันไฟฟ้า (120-200V) ผลการทดลองระบุว่า ตัวแปรทั้งสองมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ Ascorbic acid อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการสลายตัวของ Total vitamin C ได้รับอิทธิพลจากสมการเชิงเส้นและสมการกำลังสองของผลจากแรงดันไฟฟ้า การประเมินผลเปรียบเทียบของกระบวนการให้ความร้อนโดยโอห์มมิก และการให้ความร้อนแบบธรรมดา ได้แสดงผลว่า เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำปริมาณการสลายตัวของทั้ง Ascorbic acid และ Total vitamin C มีค่าใกล้เคียงกับการให้ความร้อนแบบธรรมดา อย่างไรก็ตาม การใช้แรงดันไฟฟ้าสูงจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ Ascorbic acid มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้สนามไฟฟ้าสูง โดยจะสร้างสารประกอบซึ่งจะไปเร่งวิถีการสลายตัวของ Ascorbic acid ในที่มีออกซิเจน

Moreno และคณะ (2012) ศึกษาผลกระทบโดยรวมของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติก/การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (OD-OH) และการทำให้มีสูญญากาศ/การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (VI-OH) บนลักษณะทางเคมีกายภาพ และคุณภาพต่างๆของสตอเบอร์รี่ (aw, สี, ความแน่นเนื้อและจุลภาค) รวมทั้งความคงตัวของจุลินทรีย์ในการจัดเก็บ ตัวอย่างเช่นการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 65% ที่ 30 องศาเซลเซียส และทำการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก ที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 9.2, 13 และ 17 V/cm ซึ่งสอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าที่นำมาใช้คือ 70, 100, และ 130 V ตัวอย่างที่ทำแห้งพบว่าเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นในกระบวนการ OD-OH ที่ 17 V/cm และมีการสูญเสียความแน่นเนื้อและสีเพียงเล็กน้อย ในกระบวนการ VI-OH ที่ 13 V/cm อายุการเก็บรักษาของสตอเบอร์รี่ในกระบวนการ VI-OH ที่ 13 V/cm ที่ 5 องศาเซลเซียส ได้เพิ่มจาก 12 วัน (ตัวอย่างควบคุม) เป็น 25 วัน นอกจากนี้ในกระบวนการ VI-OH ที่ 13 V/cm เป็นกระบวนการที่ได้ผลดีที่สุดสำหรับการทำแห้งสตอเบอร์รี่

2.6 การศึกษาและการนำกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอ็นไซม์

1) ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และ สเตอริไลส์

สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นม เช่น Fatterman (1928) ศึกษาวิธีการให้ความร้อนด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับน้ำนม ซึ่งในขณะนั้นใช้ชื่อเรียกกระบวนการนี้ว่า Electropure process โดยวิธีการนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ในกลุ่ม tubercle bacilli ได้อย่างสมบูรณ์ กลิ่นของนมที่ได้จากกระบวนการนี้คล้ายกับ certified milk และข้อดีของกระบวนการนี้คือ ไม่ทำลายวิตามินในน้ำนม ซึ่งในเวลาต่อมา Getchell (1935) รายงานว่า การพาสเจอร์ไรส์นม โดยการใช้ไฟฟ้ามีผลในการทำลายแบคทีเรียได้หลายชนิดซึ่งวิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบอื่นมีผลน้อยกว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำนมด้วยไฟฟ้าจะไม่ทำลายคุณสมบัติของนมธรรมชาติ หรือทำลายน้อยมาก และ Moses (1938) ศึกษาการพาสเจอร์ไรส์นมแบบโอห์มมิก ได้รายงานไว้ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษานั้น มีโรงงานผู้ผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีนี้ 40 ถึง 50 ราย ซึ่งสามารถผลิตและจำหน่าย, ให้กับผู้บริโภคได้ถึงวันละ ห้าหมื่นคน และพบว่า เป็นเทคโนโลยีการพาสเจอร์ไรส์ที่ปลอดภัย

ส่วนการพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นน้ำผลไม้ต่างๆ Hung and Jindal (1992) ศึกษากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เพื่อใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ จากการทดลองสร้างเครื่องที่ใช้ในการให้ความร้อน มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม โดยให้น้ำผลไม้ไหลไปตามแนวยาวของกล่องสี่เหลี่ยมจากส่วนล่างขึ้นบน และปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับตัดผ่านแนวการไหลของน้ำผลไม้ โดยอาศัยหลักสมดุลย์พลังงาน การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และอุณหภูมิของน้ำผลไม้ เพื่อที่จะสามารถกำหนดค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำผลไม้ที่จะใช้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการคำนวณให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองปฏิบัติจริง หลังจากเดินเครื่องเพื่อปรับสภาพระบบอุณหภูมิของน้ำผลไม้จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึงระดับพาสเจอร์ไรส์ในเวลาไม่น้อยกว่า 100 วินาที (ให้อัตราการไหลสูงกว่า 160 กรัมต่อนาที) การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้ม และน้ำสับประรดที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆกันเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้หม้อน้ำต้ม พบว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงจะมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำผลไม้ ซึ่งผลการทดลองของ Hung and Jindal (1992) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประมวล (2536) ในปี ค.ศ. 1993 บริษัท APV Baker ได้สร้างเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกขึ้นในทางการค้าจนถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ได้ในอัตราสูงถึง 3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนการศึกษาในเชิงลึกของการเปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อทำการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีนี้มีมากมาย เช่น การศึกษาความคงตัว และอายุการเก็บที่มีผลต่อประสาทสัมผัสของการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มด้วยวิธีโอห์มมิก โดย Leizeron and Shimoni (2005) พบว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มสายพันธุ์ต่างๆ จะช่วยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับการใช้ไอน้ำ แต่จะมีความคงตัว และมีอายุการเก็บที่มากกว่าถึง 2 เท่า หรือ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำนมแพะที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีโอห์มมิก ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Pereira et al. (2008) พบว่าการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมแพะด้วยวิธีโอห์มมิก ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณของกรดไขมันอิสระ

สำหรับการนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ไปใช้ในการสเตอริไลส์ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การศึกษาการสเตอริไลส์อาหารประเภท ผลไม้ เช่น แอปเปิ้ลแดง แอปเปิ้ลเหลือง ลูกพีช ลูกแพร์ สับปะรด และ สตรอเบอร์รี่ เทียบกับ เนื้อสัตว์ ประเภทต่างๆ เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู และ เนื้อวัว ซึ่งใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของทุกผลิตภัณฑ์ จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิในการฆ่าเชื้อสูงขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลไม้สด จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าประเภทเนื้อสัตว์ (Sanjay et al., 2008) และอีกตัวอย่างหนึ่งที่มีการศึกษาผลของการสเตอริไลส์แบบโอห์มมิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีต่อ จุลินทรีย์และการเสีสภาพของโปรตีนในน้ำมัน โดย Huixian et al. (2008) พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการทำลาย เชื้อ *Streptococcus thermophilus* 2646 ได้มากกว่าแบบการใช้ไอน้ำในการพาสเจอร์ไรส์ แต่การตกตะกอนของโปรตีนในน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 2 วิธี

2) ใช้ในกระบวนการลวกผลิตภัณฑ์ทางอาหาร

เช่น การศึกษาของ Mizrahi et al. (1975) ศึกษาการใช้กระแสไฟฟ้าในการลวกผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายว่า ก่อนหน้านี้ วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการลวก คือ มักจะใช้น้ำร้อน หรือ ไอน้ำ ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ ในกรณีที่จะต้องมีการลวกผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดชิ้นใหญ่ เช่น ข้าวโพดทั้งฝัก การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ จะต้องใช้เวลานาน และอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองลวกข้าวโพดทั้งฝัก อุณหภูมิของข้าวโพดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตรา 2-3 องศาเซลเซียสต่อวินาที เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 380 โวลต์ และใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าที่มีความยาว 7 เซนติเมตร โดยไม่มีผลต่อ กลิ่นรสของข้าวโพดภายหลังการลวก และยังมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดสอย่างสมบูรณ์ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลวกโดยใช้ไอน้ำต้องใช้เวลาถึง 17 นาที ถึงจะให้ผลจากการลวกเท่ากัน อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกถั่วบดเพื่อศึกษาผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดส ซึ่งศึกษาโดย Filiz et al. (2006) พบว่าเมื่อทำการลวกถั่วบดด้วยวิธีโอห์มมิกเทียบกับการลวกโดยใช้อ่างน้ำร้อน การลวกด้วยวิธีโอห์มมิกจะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดส และจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่สุด ที่เวลาในการลวก 54 วินาที อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาการลวกผลิตภัณฑ์อาหารชนิดที่เป็นแบบของเหลวที่มีของแข็งปน โดยใช้เนื้อไก่ในซอสเป็นตัวแทนในการทดลอง ซึ่งศึกษาโดย Sarang et al. (2007) พบว่า เมื่อมีการลวกผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปให้ความร้อนจะเป็นผลดีมาก เนื่องจากจะทำให้เมื่อนำไปให้ความร้อนแล้วการกระจายความร้อนจะดีขึ้น และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเป็นอย่างดี

3) ใช้ในกระบวนการอื่นๆ

การศึกษา กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงแบบอื่นๆ ที่นำมาใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น Sandrine et al. (2001) ทดลองใช้กระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนกับอาหารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง เช่น ดอกกะหล่ำ ซึ่งได้ผลดีเป็นอย่างดี, ในปี ค.ศ. 2003 มีการทดลอง การเพิ่มปริมาณการสกัดน้ำมันรำข้าว จากรำข้าวดิบ โดย Lakkakula et al. ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้สูงสุดถึงร้อยละ 92, ในปี ค.ศ. 2004 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำให้ แอมเบเกอร์ที่ทำจากเนื้อให้สุก โดย Ozkan et al. พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยวิธีการอื่น, ในปี ค.ศ. 2007 มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงในการผลิตเต้าหู้แข็ง โดย Wang et al. ซึ่งพบว่า ช่วยให้เต้าหู้แข็งขึ้น และลดการซึมออกมาของน้ำจากก้อนเต้าหู้ได้ดีขึ้นอีกด้วย หรือ มีการทดลองใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกับผัก หรือ ผลไม้ก่อนที่จะนำไปอบแห้ง โดย Lima and Sastry (1999) ซึ่งจะผลดีคือ จะทำให้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น

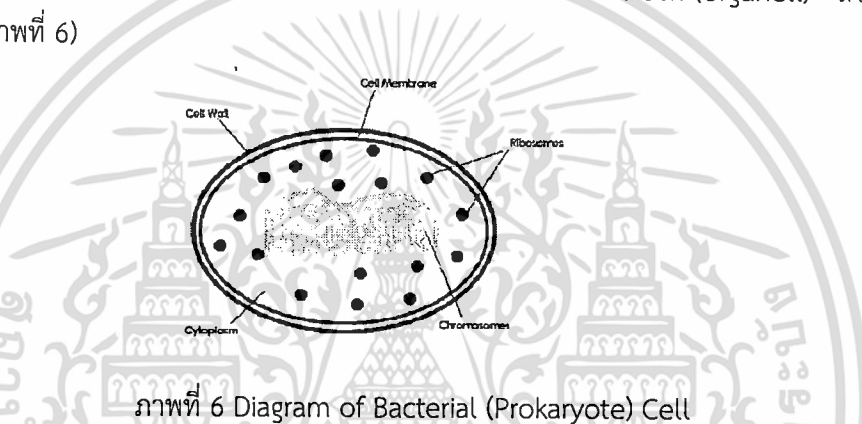
นอกจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการให้ความร้อนแล้ว ยังมีผู้ศึกษาผลของ กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่มีต่อจุลินทรีย์ที่สามารถปนเปื้อนอยู่ในอาหารด้วย ตัวอย่าง เช่น Ockerman and Szczawinski (1984) และ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการใช้สารเคมี ที่มีต่อการทำลายแบคทีเรีย โดยได้สรุปผลที่เกิดขึ้นว่า อนุมูลเคมีอิสระ และ ไอออนของโลหะจากขั้วไฟฟ้าสามารถทำให้แบคทีเรียตาย โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะเพิ่มขึ้นอย่างมากตามการแพร่ผ่านของสารประกอบเคมีที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ภายใต้ปฏิกิริยาของการช็อคด้วยกระแสไฟฟ้า ผลของความร้อนจะมีผลน้อยเมื่อใช้ความต่างศักย์สูงในการให้ความร้อน ในขณะที่ความร้อนเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้แบคทีเรียตาย เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับยีสต์ Palaniappan et al. (1991) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า และการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ร่วมกับการใช้วิธีการให้ความร้อนแบบอื่น ต่อการตายของจุลินทรีย์ที่เลือกมาทำการทดลอง สารละลายของยีสต์ *Zygosaccharomyces bacilli* ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่าสามารถใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงในการทำลายเซลล์ได้เป็นอย่างดี

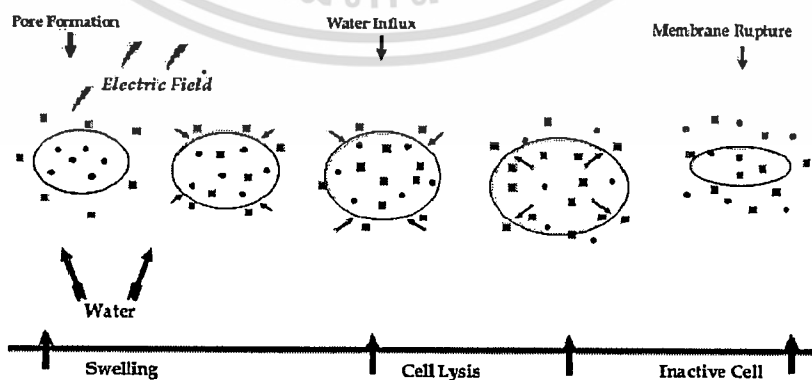
2.7 กลไกของกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงต่อจุลินทรีย์

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ ประกอบด้วย 1. เยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane หรือ cell membrane) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มของเหลวที่อยู่ภายในโดยทั่วไปเยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ซึ่งยอมให้สารบางชนิดแพร่ผ่านเข้าออกได้ และ 2. ของเหลวภายในเซลล์ ได้แก่ ส่วนที่เรียกว่า โปรโตพลาสซึม ของเหลวนี้มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของนิวเคลียส และส่วนที่อยู่รอบนิวเคลียส เรียกว่าไซโทพลาสซึม ซึ่งแบ่งเป็น ส่วนที่มีชีวิต (organelle) ส่วนที่ไม่มีชีวิต (inclusion) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 Diagram of Bacterial (Prokaryote) Cell

เยื่อหุ้มเซลล์ ของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 60 ลิพิดประมาณร้อยละ 40 การเรียงตัวของโปรตีนและลิพิดจัดเรียงตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน การเรียงตัวในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ยูนิท เมมเบรน (unit membrane) สำหรับเซลล์เซลล์โพรคาริโอตชั้นนอกสุดของเซลล์จะมีผนังเซลล์ (cell wall) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ต่ำ (low frequency alternating current) ประมาณ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) ความแรงของสนามไฟฟ้ามากกว่า 100 V/cm เข้าไปในเซลล์ ส่งผลให้เกิดประจุที่เยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดรูรั่ว (Electroporation) ขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้คุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไป ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารที่อยู่ภายในเซลล์ ส่งผลทำให้เซลล์เสียสภาพ และตายในที่สุด (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 Electroporation Process of a cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ผักและผลไม้ตัดแต่ง

ผักและผลไม้ตัดแต่ง หมายถึง การนำผักหรือผลไม้สด ที่ผ่านการคัดเลือกคุณภาพมีความแก่-อ่อน ที่เหมาะสมในการบริโภค มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกเจาะแกนตัดแต่งตำหนิ ล้างทำความสะอาด หั่นให้เป็นชิ้นและบรรจุ ซึ่งผักและผลไม้ตัดแต่งนั้นถือเป็นการแปรรูปขั้นต่ำ (minimal process) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่ง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดบรรจุพร้อมบริโภค อย่างไรก็ตามผักและผลไม้ตัดแต่งยังเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต ซึ่งยังคงกิจกรรมการมีชีวิตหรือมีปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์เหมือนกับผักและผลไม้สด เช่น มีการหายใจอยู่ตลอดเวลา จึงยังคงมีกระบวนการสุกตามธรรมชาติ (Greve และ Labavitch , 1991) ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ของเนื้อเยื่อในทางเสื่อมคุณภาพ เช่น การนิ่มขึ้นของเนื้อผลไม้ สีของผักหรือเนื้อผลไม้ที่ซีดลง และมีการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของผลไม้ตัดแต่งที่สำคัญได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวและการสูญเสียความกรอบไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในที่สุด

โดยปกติผักและผลไม้ตัดแต่งเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักและผลไม้ที่มีเปลือก เนื่องจากเปลือกเป็นโครงสร้างของพืชที่ช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากแรงกระแทกบริเวณส่วนที่เป็นรอยตัดที่เกิดจากการปอกเปลือกการตัดแต่ง และการหั่นให้เป็นชิ้นจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการแปรรูปผักและผลไม้ตัดแต่งจึงต้องมีการจัดการแนวทางในการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) อย่างเคร่งครัด และมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นขั้นตอนเหล่านี้ควรจะเป็นกรรมวิธีที่ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดการเสียหายน้อยที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์และเทคนิคในการตัดแต่งจึงจำเป็นต้องใช้ใบมีด ที่มีความคมมากเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งให้คงลักษณะปรากฏที่ดึงดูดผู้บริโภคให้สนใจในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะลำดับต้นๆ ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ใช้ตัดสินในการยอมรับหรือซื้อผลิตภัณฑ์ นอกเหนือไปจากระสชาติเนื้อ สัมผัสความสดกรอบของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่ง

มีการใช้กรรมวิธีการต่างๆมากมายที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ดีของผลไม้ตัดแต่ง เช่น การใช้สารมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อในน้ำล้าง การควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำในระหว่างกระบวนการผลิต การแช่ในสารละลายกรด สารละลายแคลเซียม การใช้สารธรรมชาติเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ การบรรจุในภาชนะที่มีการปรับสภาพบรรยากาศ เป็นต้น ลักษณะของเนื้อผลไม้ภายหลังการตัดแต่งจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดและสายพันธุ์ของผลไม้ อุณหภูมิในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาการผลิตและการเก็บรักษาปริมาณ O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษา และสารยับยั้งต่างๆ ที่ใช้ชะลอการเสื่อมสภาพ

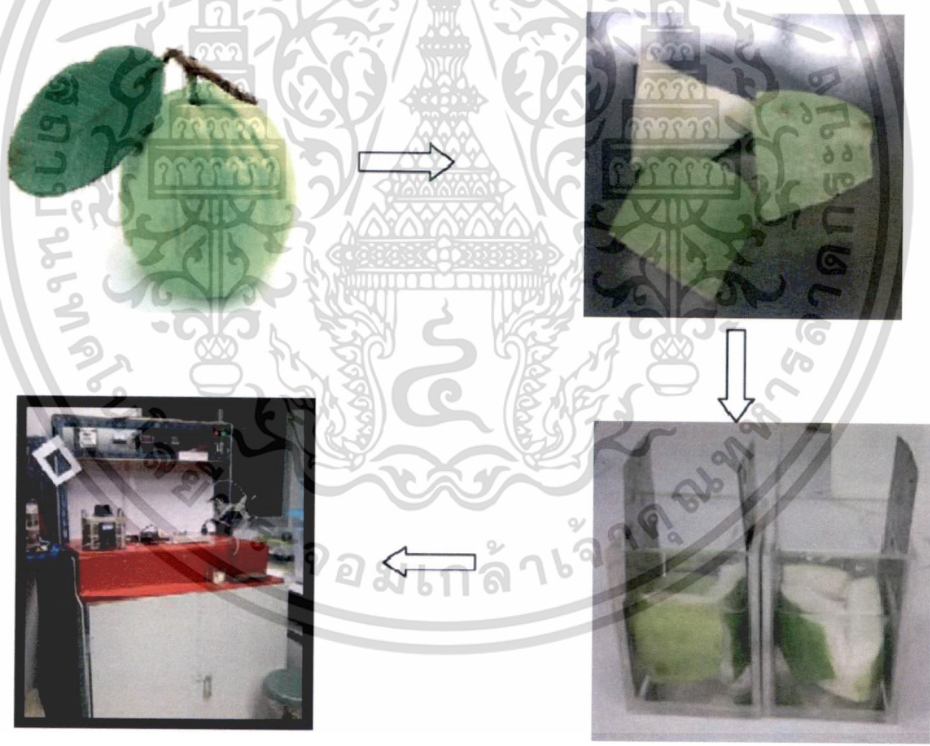
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

ฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง ที่มีความแก่ทางการค้าจากตลาดสี่มุมเมือง คัดเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ปราศจากโรค แมลง และตำหนิ

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการให้ความร้อนด้วย กระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพของฝรั่งตัดแต่งสดโดยนำผลฝรั่งที่มี ความแก่ใกล้เคียงกัน น้ำหนักประมาณ 300 กรัมต่อ นำผลฝรั่งมาทำล้างทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้น ให้มีขนาด 20 ± 1 กรัม นำชิ้นฝรั่งที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว ไปใส่ในชุดเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งในชุดเซลล์ไฟฟ้าจะประกอบ ด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้นร้อยละ 2 เพื่อใช้เป็นสารที่ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล ร่วมกับสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เพื่อใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า จากนั้นกำหนดค่าความต่างศักย์ในระดับที่แตก ต่างกันคือ กำหนดสภาวะควบคุม 100, 150 และ 200 โวลต์ เปรียบเทียบกับฝรั่งตัดแต่งสด ที่ไม่ผ่านการให้ กระแสไฟฟ้า และทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนอุณหภูมิถึง 47.5 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงได้ดังภาพ 8 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพต่างๆดังนี้คือ



ภาพที่ 8 : ขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า

นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกราฟความสำคัญระหว่างเวลาและอุณหภูมิ และเปรียบเทียบ คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพต่างๆดังนี้คือ

1. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

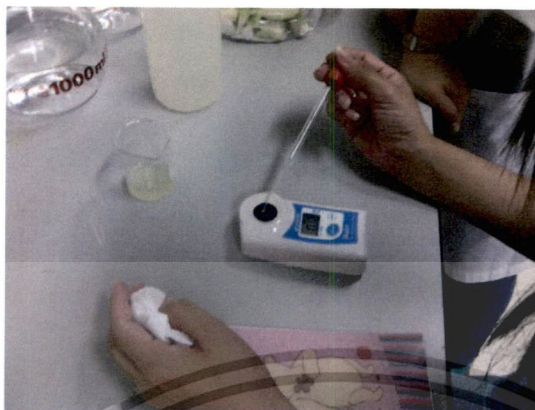
วิธีวิเคราะห์

- 1.1 นำตัวอย่างมาสับให้ละเอียด นำไปกรอกผ่านผ้าขาวบางเอาแต่น้ำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

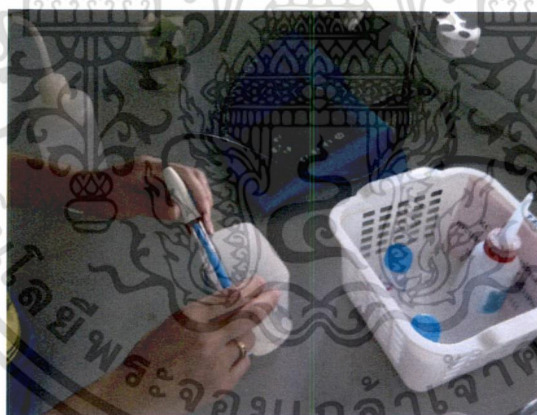
1.2 นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมาตรวจปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้เครื่อง Digital refractometer



ภาพที่ 9 : ขั้นตอนการหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้

2.การวัดความเป็นกรด-ด่าง
วิธีวิเคราะห์

- 2.1 นำตัวอย่างมาล้างให้ละเอียด นำไปกรองผ่านผ้าขาวบางเอาแต่น้ำมาใช้
- 2.2 นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมาตรวจค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัด pH meter



ภาพที่ 10 : ขั้นตอนการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.การวัดสี และความแตกต่างของค่าสี (ΔE) โดยใช้เครื่องรายงานผลเป็นค่า L, a, b
วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างมาใส่ลงในภาชนะเปิดเครื่องวัดสีและควรทำการ Calibrate เครื่องก่อนวัดทุกครั้ง เลือก mode การวัดเป็น mode สี L* a* และ b* ทำการวัดสีและบันทึกค่าสีที่อ่านได้

L* คือ ความสว่างของสีซึ่งมีค่าจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือ สีขาว

a* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดงที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b^* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลืองที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ความแตกต่างของค่าสี (ΔE)

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \Delta E &= (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0.5} \\ \text{เมื่อ} \quad \Delta L &= L_{st.} - L_{sam.} \\ \Delta a &= a_{st.} - a_{sam.} \\ \Delta b &= b_{st.} - b_{sam.} \end{aligned}$$



ภาพที่ 11 : ขั้นตอนการหาค่าสี

4. ร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

$$\text{จากสูตร} \quad \text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

5. การวัดความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Texture analyzer

วัดค่า Firmness (ความแน่นเนื้อ) ของเนื้อฝรั่งสดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser (TA-XT2i) ใช้ชิ้นฝรั่งน้ำหนัก 20 กรัม ใช้หัวรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5)



ภาพที่ 12 : ขั้นตอนการหาค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.รวบรวมข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทางด้านเคมี และกายภาพ นำข้อมูลที่ได้ไปทำวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง เลือกสภาวะที่ดีที่สุดมาใช้ในการศึกษาตอนที่ 2

3.4.2 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการศึกษาครั้งที่ 1 มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง (ที่สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากทดลองตอนที่ 1) บรรจุในกล่องพลาสติก 2 ชนิด คือ Polyethylene Terephthalate (PET) และ Polystyrene (PS) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพทุก 2 วัน จนไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค โดยตรวจสอบคุณภาพได้แก่

- 1.การสูญเสียน้ำหนัก
- 2.วัดค่าสี และความแตกต่างของค่าสี (ΔE) โดยใช้เครื่อง Color spectrophotometer
- 3.วัดความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Texture analyzer

คุณภาพทางเคมี ได้แก่

- 1.ปริมาณ Soluble solids (SS) โดยใช้เครื่อง Digital refractometer
- 2.การหาปริมาณกรดทั้งหมด (Total titratable acid)

วิธีวิเคราะห์

ปิเปตน้ำฝรั่งมา 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นและหยดสารละลายฟีนอล์ฟธาลิน 3 หยด แล้วจึงนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนสังเกตเห็นจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จากนั้นคำนวณหา ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ดังนี้

$$\text{คำนวณ \%ปริมาณกรดซิตริก} = \frac{A}{B} \times \frac{C}{1000} \times 64.04 \times 100$$

- A = ความเข้มข้นของ NaOH (N)
 B = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (ml)
 C = ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)

3.การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

วิธีวิเคราะห์

เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) ซึ่งประกอบด้วย 3% metaphosphoric acid ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ crude extract ปริมาตร 3 มิลลิลิตรในชุดทดลอง (สำหรับชุด blank ใช้ 3% metaphosphoric acid และชุดสารละลายมาตรฐานใช้ ascorbic acid แทน crude extract) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายผสมไปไทเทรตกับ 0.0001 M DPIP จนถึงจุดยุติ นำปริมาตรสารละลาย DPIP ที่ใช้ทำปฏิกิริยามาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยปริมาณวิตามินซีที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ($mg/100\text{ g fresh weight}$) โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{จากสูตร ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g fresh weight)} = \frac{(V_s - V_b) \times 20,000}{(V_c - V_b)} / 1,000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_s คือ ปริมาตรเฉลี่ยของ DPIP ที่ใช้ในชุดทดลอง (ml)

V_b คือ ปริมาตรเฉลี่ยของ DPIP ที่ใช้ไทเทรตในชุด blank (ml)

V_c คือ ปริมาตรเฉลี่ยของ DPIP ที่ใช้ไทเทรตในชุดสารละลายมาตรฐาน (ml)

4.กิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO)

วิธีการสกัดเอนไซม์

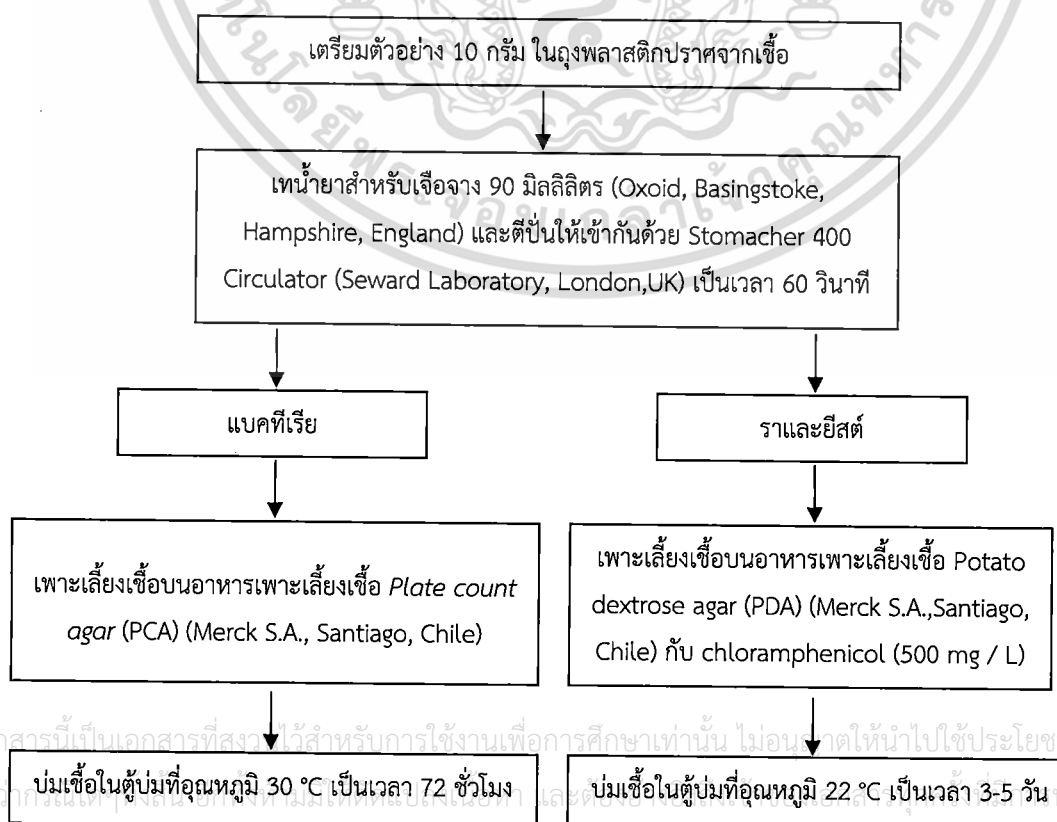
ซึ่งตัวอย่างที่ปั่นจนละเอียด 10g. ผสมกับ Sodium hydrogenphosphate buffer ความเข้มข้น 0.05M ; pH 6.2 กับ NaCl ความเข้มข้น 2M ที่ผ่านการแช่เย็นมาแล้ว ปริมาตร 25 ml. ผสมให้เข้ากันแล้ว กรอกด้วยผ้าขาวบาง รินเอาส่วนใสไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็ว 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4°C นาน 30 นาที นำส่วนใสที่สกัดได้ไปวัดกิจกรรม

การวัดกิจกรรมเอนไซม์ PPO

ปีเปตสารสกัดเอนไซม์ที่สกัดได้ปริมาตร 0.2 ml. เติมนสารละลายสับสเตรทคือ Pyrocatechol ความเข้มข้น 0.5M ปริมาตร 0.8 ml. และ Sodium hydrogenphosphate buffer ความเข้มข้น 0.2M ; pH 7.0 ปริมาตร 4.0 ml. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm. อ่านค่าทุก 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที นำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟระหว่างระยะเวลาที่ค่าการดูดกลืนแสง วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวอย่างในช่วงของเส้นกราฟที่มีความชันเป็นเส้นตรง โดยกำหนดให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส 1 หน่วย เท่ากับปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm. เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย ในเวลา 2 นาที ที่ pH = 7.0 แล้วคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็น Unit/ml.

5.ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์ รา และทดลอง 3 ชั่วโมง

ทำการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่จำกัดสิทธิ์ในการเผยแพร่เอกสารฉบับนี้

3.4.3 รวบรวมข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทางด้านเคมี กายภาพ ทางจุลินทรีย์ และทางด้านประสาทสัมผัส นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน




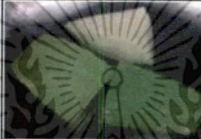













เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการสังเกตลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่ระดับความต่างศักย์ 100, 150 และ 200 โวลต์ ทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาทั้งหมด 4 ชั่วโมง สภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพที่ 13

ชุดทดลอง	ระยะเวลาหลังการผ่านกระแสไฟฟ้าโดยตรง			
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
ชุดควบคุม				
ให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ความต่างศักย์ 100 โวลต์				
ให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ความต่างศักย์ 150 โวลต์				
ให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ความต่างศักย์ 200 โวลต์				

ภาพที่ 13 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสด หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100, 150 และ 200 โวลต์

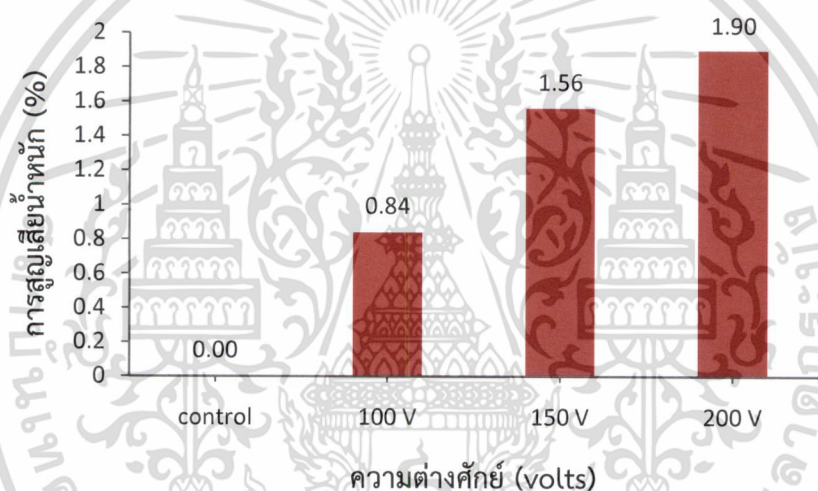
จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระดับความต่างศักย์ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าทำการวัดคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของชิ้นฝรั่งภายหลังการผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงทันที ทำให้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงทำการสังเกตลักษณะปรากฏของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100 150 และ 200 โวลต์ ทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อเลือกสภาวะของระดับความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งจากภาพที่ 12 พบว่า ชิ้นฝรั่งจะมีสีน้ำตาลปรากฏมากขึ้น ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลบนชิ้นฝรั่งน้อยที่สุด และมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับฝรั่งสดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์ ซึ่งมีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

ผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นฝรั่งแป้นสีทองทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง 3 ระดับความต่างศักย์คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 14 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นฝรั่งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระดับความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์ และเมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดค่าภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้า ไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ผลของระดับความต่างศักย์ต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นฝรั่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การสูญเสียน้ำหนักส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์และความดันไอ ระหว่างน้ำภายในผลไม้กับอากาศที่อยู่รอบๆ และจากการที่เนื้อเยื่อผิวหนัง (epidermis) ที่ทำหน้าที่ปกคลุมชั้นนอก หรือชั้นเพอริเดิร์ม (periderm) ถูกทำลาย ทำให้น้ำระเหยสู่อากาศได้ง่ายส่งผลให้น้ำหนักสดของชิ้นเนื้อลดลง (จริงแท้, 2549)

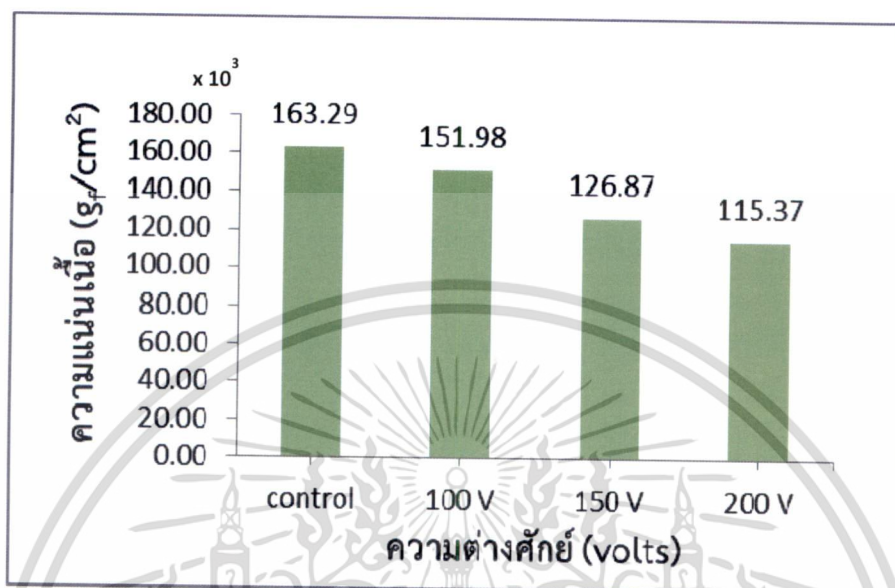


ภาพที่ 14 : การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที

4.1.2 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

ผลการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของชิ้นฝรั่งแป้นสีทองทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง 3 ระดับความต่างศักย์คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 14 ผลการทดลองพบว่าชุดควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ $163.293 \times 10^3 \text{ gf/cm}^2$ เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นฝรั่งในแต่ละการทดลองมีความแน่นเนื้อลดลง โดยชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด ส่วนที่ระดับความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์ มีค่าความแน่นเนื้อลดลงตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่ระดับความต่างศักย์ทั้ง 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

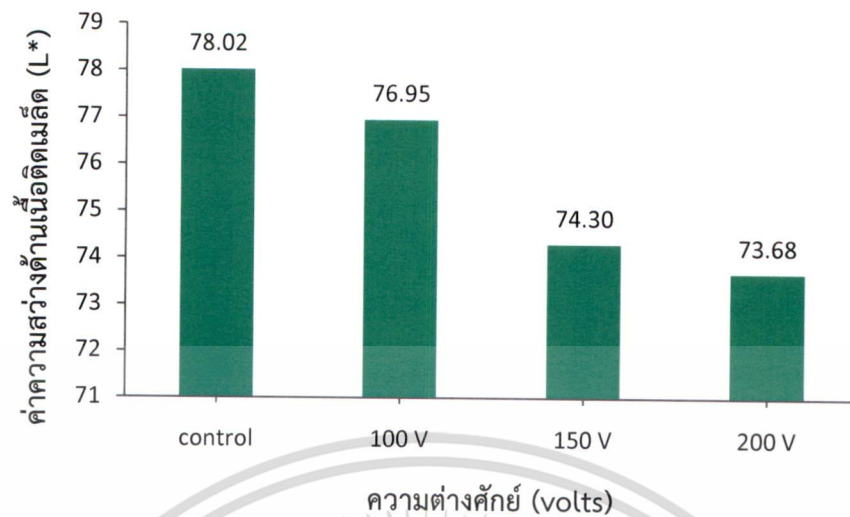
กระบวนการให้ความร้อนเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสเนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลาย ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคนิคเพื่อถนอมเนื้อสัมผัสโดยเกี่ยวข้องกับการลดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ คือการลวกที่อุณหภูมิต่ำ การใช้ความดันสูงก่อนการแปรรูป เป็นต้น



ภาพที่ 15 : การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของฝรั่งตัดแต่งด้านเนื้อติดเมล็ดหลังจากกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที

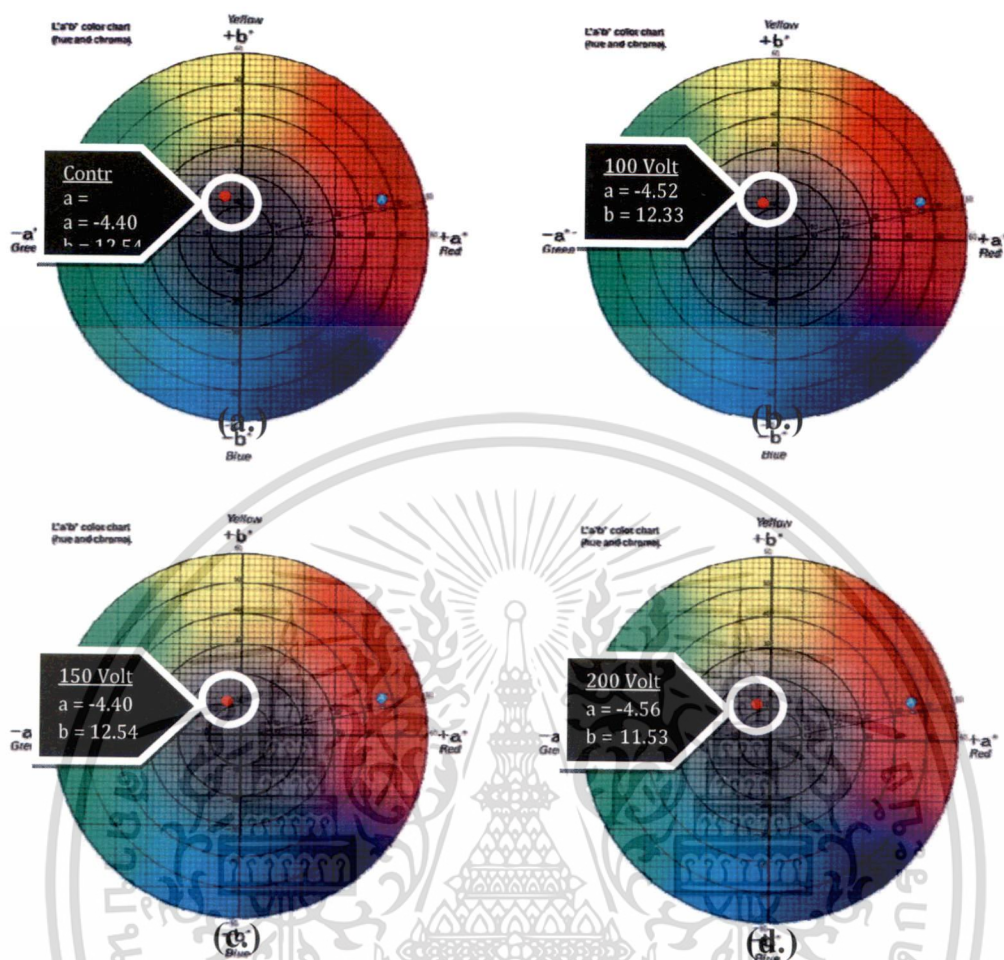
4.1.3 ผลการวิเคราะห์สีด้านเนื้อติดเมล็ดของฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง

ผลการวิเคราะห์ค่า L^* , a^* และ b^* ของชิ้นฝรั่งทันทีหลังจากกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง 3 ระดับความต่างศักย์คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 16 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับความต่างศักย์ต่างๆมีค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ดลดลง เมื่อระดับความต่างศักย์เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ดใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด เท่ากับ 76.95 ส่วนที่ระดับความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 74.30 และ 73.68 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ระดับความต่างศักย์ทั้ง 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ดของชิ้นฝรั่ง



ภาพที่ 16 : ค่าความสว่าง (L*) ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชั้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที

จากการวิเคราะห์ค่า a^* และ b^* ของชั้นฝรั่งด้านเนื้อติดเมล็ด ดังแสดงในภาพที่ 17 พบว่าเมื่อนำค่า a^* และ b^* มาพลอตลงในชาร์ตสีแล้วเปรียบเทียบแต่ละระดับความต่างศักย์พบว่ามีความใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้ทดลองทำการวัดค่าทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน อีกทั้งชั้นฝรั่งที่นำมาวัด ได้มาจากการสุ่มจากฝรั่งหลายๆลูก จึงทำให้ค่าที่วัดได้ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งค่า a^* นั้นแสดงถึงการมีสีเขียวและสีแดงของวัตถุโดยถ้า ค่า a^* มีค่าเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดง ถ้าค่า a^* เป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีเขียว เช่นกันกับค่า b^* ถ้าเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลืองถ้าเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน



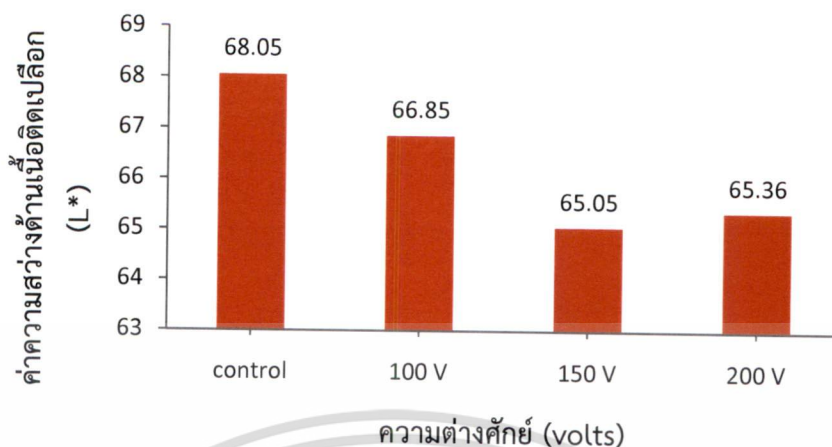
ภาพที่ 17 : ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเมล็ด (Flesh) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์

- (a.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ของชุดควบคุม (Control)
- (b.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์
- (c.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 150 โวลต์
- (d.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 200 โวลต์

4.1.4 ผลการวิเคราะห์สีด้านเนื้อติดเปลือกของฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง

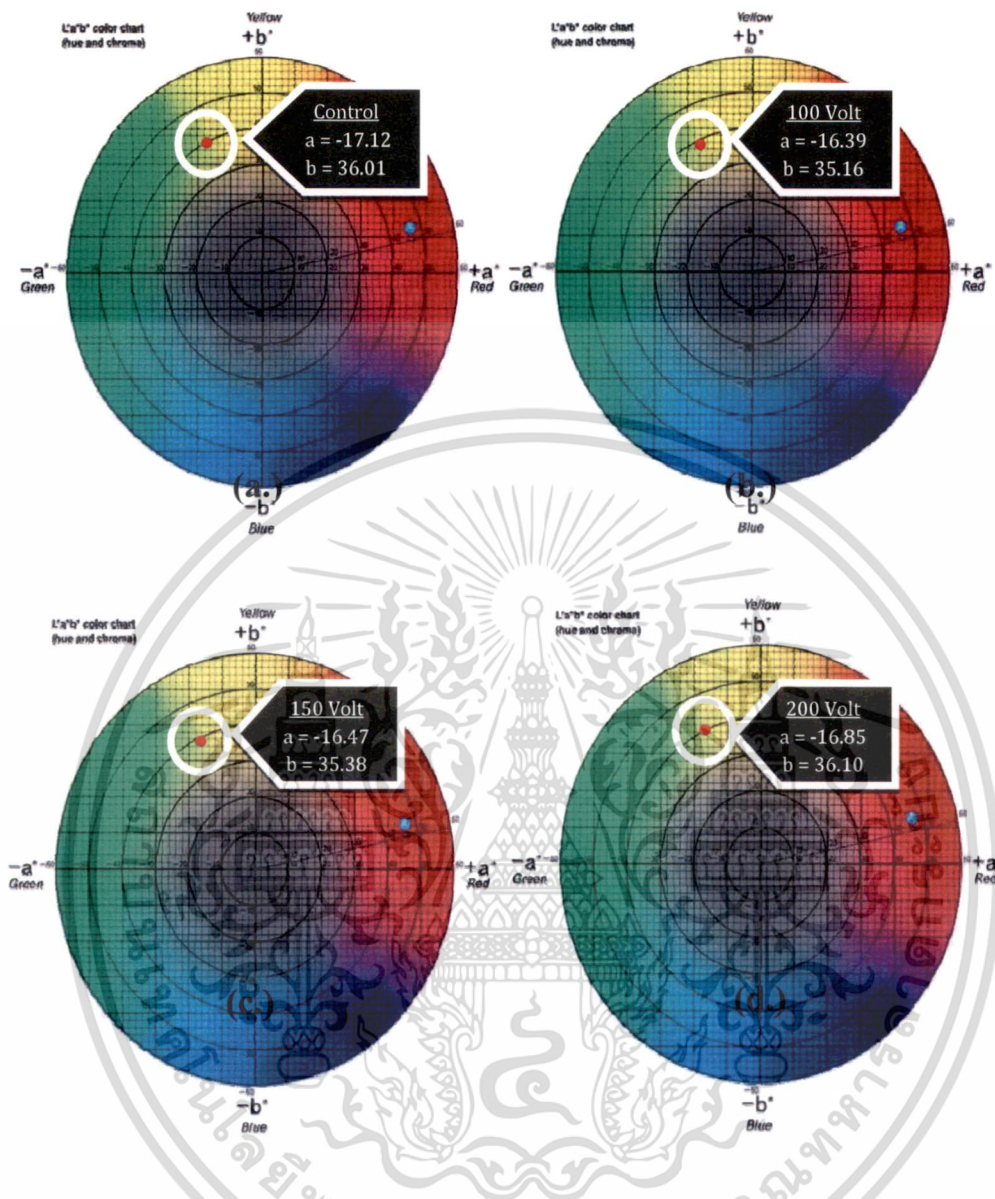
ผลการวิเคราะห์ค่า L^* , a^* และ b^* ของชิ้นฝรั่งทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง 3 ระดับความต่างศักย์คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 18 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับความต่างศักย์ต่างๆมีแนวโน้มของค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือกลดลง เมื่อระดับความต่างศักย์เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ดใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด เท่ากับ 66.85 ส่วนที่ระดับความต่างศักย์ 150 และ 200 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 65.05 และ 65.36 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ระดับความต่างศักย์ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือกของชิ้นฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 : ค่าความสว่าง (L*) ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชั้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์ ภายหลังจากให้กระแสไฟฟ้าทันที

จากการวิเคราะห์ค่า a^* และ b^* ของชั้นฝรั่งด้านเนื้อติดเปลือก ดังแสดงในภาพที่ 19 พบว่าเมื่อนำค่า a^* และ b^* มาพลอตลงในชาร์ตสีแล้วเปรียบเทียบแต่ละระดับความต่างศักย์พบว่ามีความใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้ทดลองทำการวัดค่าทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน อีกทั้งชั้นฝรั่งที่นำมาวัด ได้มาจากการสุ่มจากฝรั่งหลายๆลูกซึ่งแต่ละลูกมีสีที่แตกต่างกันไป จึงทำให้ค่าที่วัดได้ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งค่า a^* นั้นแสดงถึงการมีสีเขียวและสีแดงของวัตถุ โดยถ้า ค่า a^* มีค่าเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดง ถ้าค่า a^* เป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีเขียว เช่นกันกับค่า b^* ถ้าเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลืองถ้าเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน



ภาพที่ 19: ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเปลือก (peel) ของชินฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150 และ 200 โวลต์

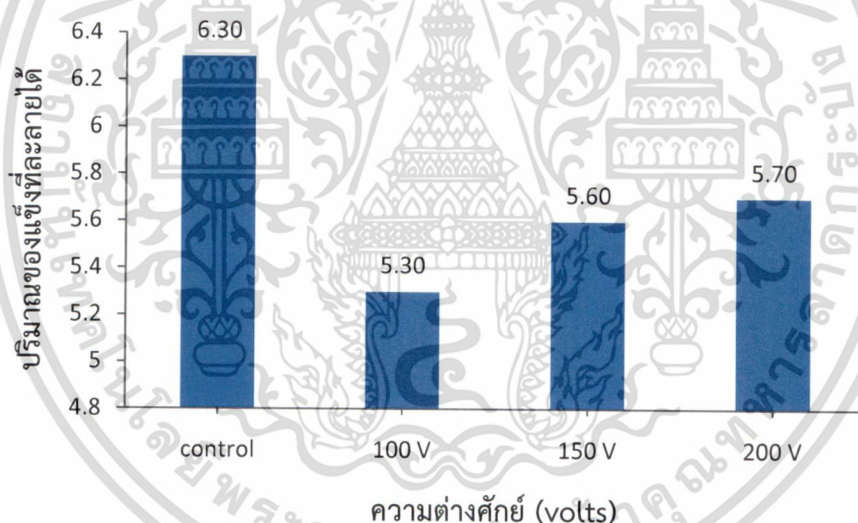
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ของชุดควบคุม (Control)
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 150 โวลต์
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระดับความต่างศักย์ 200 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid, TSS)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของชิ้นฝรั่งแป้นสีทองทันทีหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง 3 ระดับความต่างศักย์คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 20 ผลการทดลองพบว่า ชุดควบคุมมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุดเท่ากับ 6.30 ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระดับความต่างศักย์เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความต่างศักย์ 100, 150 และ 200 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 5.30, 5.60 และ 5.70 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่ระดับความต่างศักย์ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้คือ ปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณน้ำตาลในชิ้นฝรั่ง ซึ่งจากการสังเกตพบว่าการให้ความร้อนที่ระดับความต่างศักย์ต่ำคือ 100 โวลต์มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าน้อยลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ต้องใช้เวลาในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ 3 นาที ซึ่งนานกว่าการใช้ระดับความต่างศักย์ที่สูงขึ้นคือ 150 และ 200 โวลต์ใช้เวลาเพียง 2 นาที และ 1 นาที ตามลำดับ ทำให้ชิ้นฝรั่งต้องแช่อยู่ในน้ำร้อนเป็นเวลานานกว่า ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้บางส่วนละลายออกไป จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าน้อยที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ รุจิภรณ์ (2546) ที่พบว่า การแช่มะม่วงสุกในน้ำร้อน เป็นผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าลดลง



ภาพที่ 20 : ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 0 (ชุดควบคุม), 100, 150, และ 200 โวลต์ ภายหลังจากการให้กระแสไฟฟ้าทันที

จากการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพของฝรั่งตัดแต่งสด โดยจะทำการทดลองที่ความต่างศักย์ 3 ระดับ คือ 100, 150 และ 200 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลอง เมื่อสังเกตด้วยสายตาทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะพบว่า การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของฝรั่ง ทำให้มีลักษณะนุ่มลง แต่ถึงอย่างไรหลังจากการสังเกตด้วยสายตาจะเห็นได้ว่า ที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของฝรั่งน้อยที่สุด กล่าวคือ ฝรั่งมีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด และมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงฝรั่งสดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความต่างศักย์อีก 2 ระดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปทำการทดลองในตอนที่ 2 ต่อไป

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่ง

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บรักษาตัวอย่างเป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทุกๆ 2 วัน เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าลักษณะปรากฏของตัวอย่างแต่ละสภาวะในระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 0 ถึง วันที่ 4 มีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 6 วันพบว่าชุดควบคุม (Control) มีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง และผลของบรรจุภัณฑ์จะพบว่า บรรจุภัณฑ์ชนิด Polystyrene (P2) ทำให้ตัวอย่างเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (P1) ดังแสดงในภาพที่ 21

และจากการสังเกตลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทุกๆ 2 วันเป็นระยะเวลาเวลา 6 วัน พบว่าลักษณะของตัวอย่างในแต่ละสภาวะมีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 2 เป็นต้นไป โดยที่ชุดควบคุม (Control) มีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง และผลของบรรจุภัณฑ์จะพบว่า บรรจุภัณฑ์ชนิด Polystyrene (P2) ทำให้ตัวอย่างเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (P1) ดังแสดงในภาพที่ 22

ชุดทดลอง	ระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการผ่านกระแสไฟฟ้าโดยตรง (อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส)			
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6
ชุดควบคุม พลาสติกที่ 1				
ชุดควบคุม พลาสติกที่ 2				
ชุดให้กระแสไฟฟ้า โดยตรง พลาสติกที่ 1				
ชุดให้กระแสไฟฟ้า โดยตรง พลาสติกที่ 2				

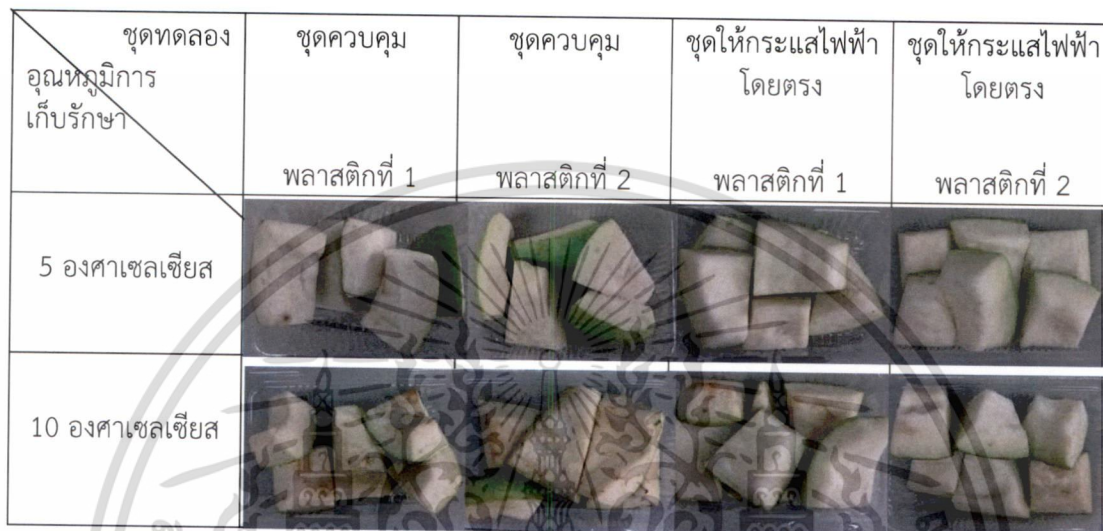
ภาพที่ 21 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C

ชุดทดลอง	ระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการผ่านกระแสไฟฟ้าโดยตรง (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส)			
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6
ชุดควบคุม พลาสติกที่ 1				
ชุดควบคุม พลาสติกที่ 2				
ชุดให้กระแสไฟฟ้า โดยตรง พลาสติกที่ 1				
ชุดให้กระแสไฟฟ้า โดยตรง พลาสติกที่ 2				

ภาพที่ 22 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรั่งตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของขึ้นฝรังหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดคือ Polyethylene Terephthalate (P1) และ Polystyrene (P2) เป็นระยะเวลา 6 วัน จึงทำการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของขึ้นฝรังทั้งสองอุณหภูมิ ณ ระยะเวลาการเก็บรักษาในวันที่ 6 ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 : การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของฝรังตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C ที่ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 วัน

จากภาพที่ 23 จะสังเกตเห็นว่าชุดควบคุม (Control) มีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่าฝรังที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีการเกิดสีน้ำตาลของขึ้นฝรังน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส กล่าวคือ การเก็บรักษาขึ้นฝรังที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นานกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ เบญจมาศ รัตนชินกร และคณะ ที่พบว่า การเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 8 และ 4 วัน ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อเก็บรักษามะม่วงเป็นระยะเวลานานขึ้นจะส่งผลให้เนื้อมะม่วงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีอาการฉ่ำน้ำ ทำให้มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด Polystyrene (P2) ในการเก็บรักษาสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลบนขึ้นฝรังได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (P1)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อคุณภาพของผลผลิต ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยรักษาสภาพของลักษณะปรากฏ รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำชะลอการหายใจและปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ให้ดำเนินช้าลง ทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น (Lipton, 1987; Watkins and Ekman, 2005) นอกจากนี้ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้คือ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจะเป็ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลให้เป็นควิโนน แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นได้สารประกอบที่มีสีน้ำตาล

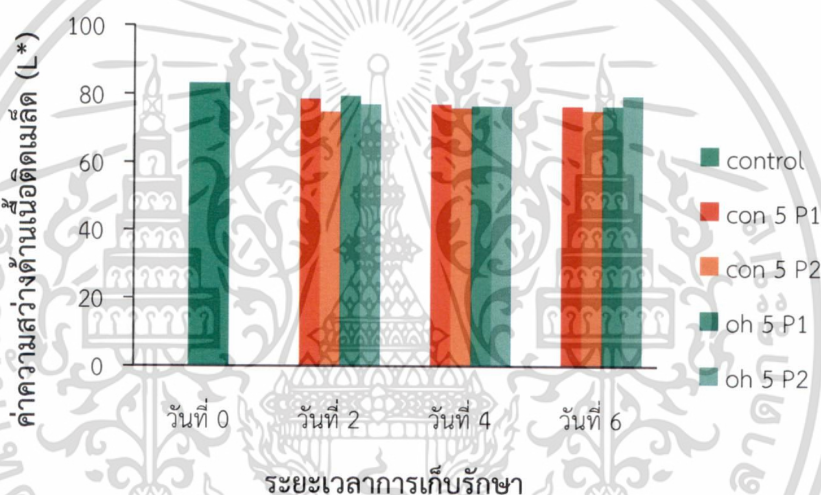
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 ค่าสีด้านเนื้อติดเมล็ดของฝรั่ง

4.2.1.2.1 ค่า L*

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 24 จะเห็นว่า ชุดควบคุมในวันที่ 0 มีค่าความสว่างสูงสุด และค่าความสว่างของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้า ซึ่งมีระยะเวลาการเก็บรักษา 2 และ 6 วัน มีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย ส่วนชนิดของบรรจุภัณฑ์พบว่าไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของชิ้นฝรั่งใกล้เคียงกัน

แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลของระยะเวลาในการเก็บรักษามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของชิ้นฝรั่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยค่า L* เข้าใกล้ 100 แสดงถึงตัวอย่างสว่างมากจนเป็นสีขาวมากหรือสีจาง ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างสว่างน้อยลงจนเป็นสีดำ (สุคนธ์ชื่น, 2543) หากค่า L* ที่วัดได้ลดลงแสดงว่าเนื้อฝรั่งมีสีคล้ำ



ภาพที่ 24 : ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L*) ของฝรั่งตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

หมายเหตุ : con 5 คือ ชุดควบคุมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Oh 5 คือ ชุดทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

P1 คือ บรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate

P2 คือ บรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene

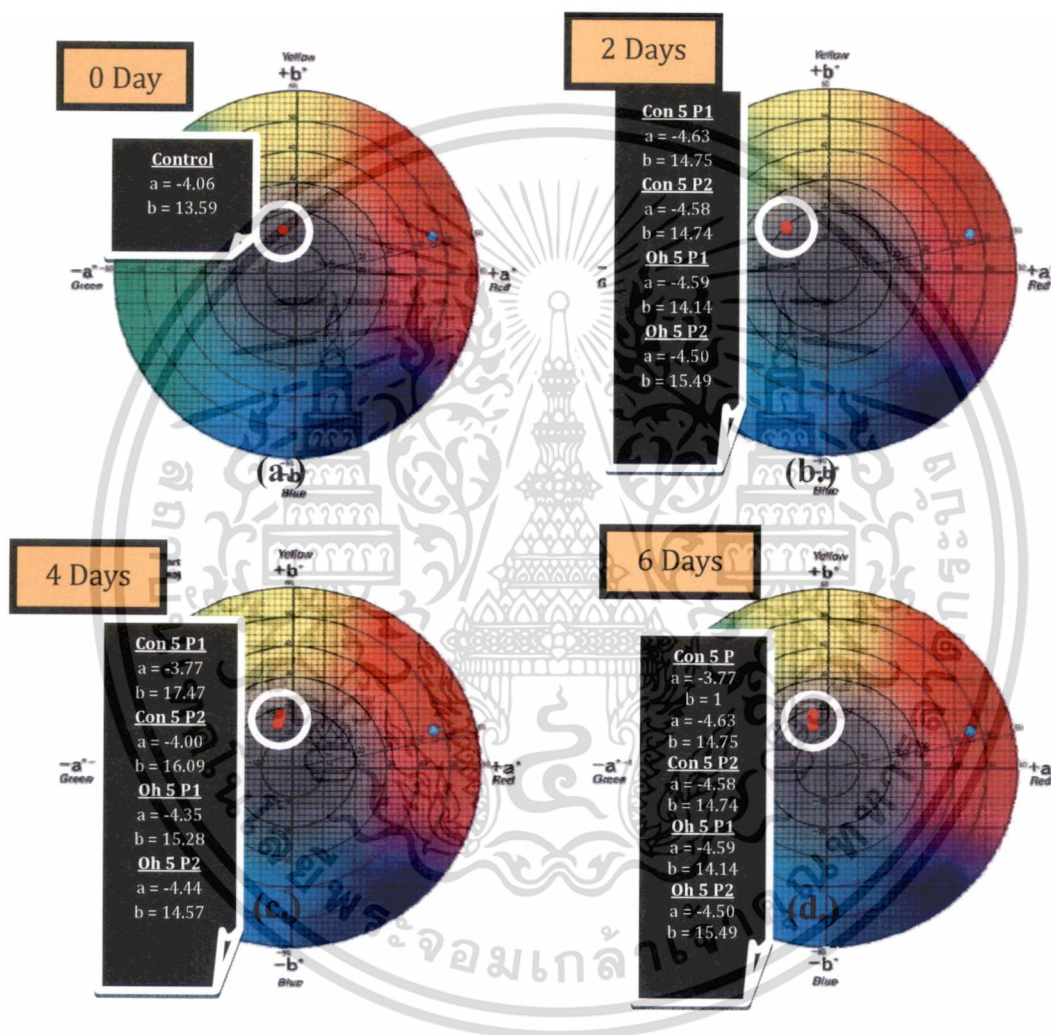
4.2.1.2.2 ค่า a* และ b*

ผลการวิเคราะห์ค่า a* และ b* ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 25 จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อนำค่า a* และ b* ด้านเนื้อติดเมล็ดของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ มาพลอตลงบนชาร์ตสีแล้วเปรียบเทียบกันในแต่ละวันพบว่าจุดที่ได้อยู่ในช่วงสีขาวเนื่องจากเนื้อฝรั่งมีสีขาว และในแต่ละวันมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกันกล่าวคือ การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการเก็บรักษา และชนิดของบรรจุภัณฑ์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* b^* ด้านเนื้อของตัวอย่างเล็กน้อย สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งให้ผลว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ทั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* และ b^* ของชิ้นฝรั่ง

เช่นเดียวกับงานวิจัยของจิราภรณ์ (2548) ที่พบว่าการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิต่ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* และ b^*



ภาพที่ 25 : ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเมล็ดของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่

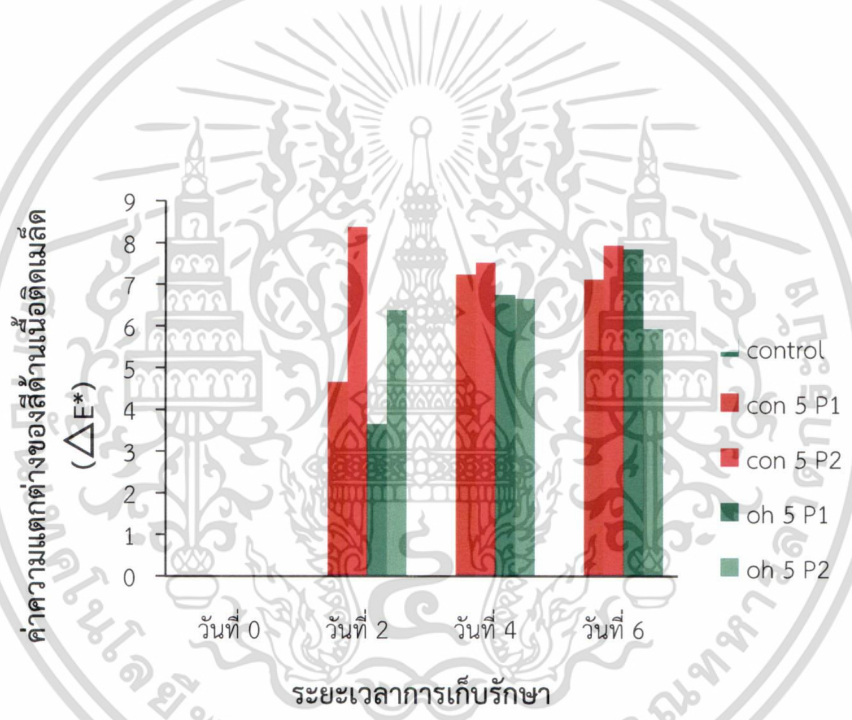
อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน

- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันแรก
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 2
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 4
- ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2.3 ความแตกต่างของสี (ΔE^*)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเมล็ดของขึ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้า โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ภาพที่ 26 จะเห็นว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาชุดควบคุมในบรรจุภัณฑ์ชนิด polyethylene มีแนวโน้มของค่าความแตกต่างสีมากกว่า ขึ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้กระแสไฟฟ้า (ชุดทดลอง) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเก็บชุดทดลองในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate จะมีค่าความแตกต่างของค่าสีสูงในวันที่ 4 และ 6 อย่างไรก็ตามพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างสีของขึ้นฝรั่ง แต่จากงานวิจัยของ พรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ พบว่าการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งสดพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



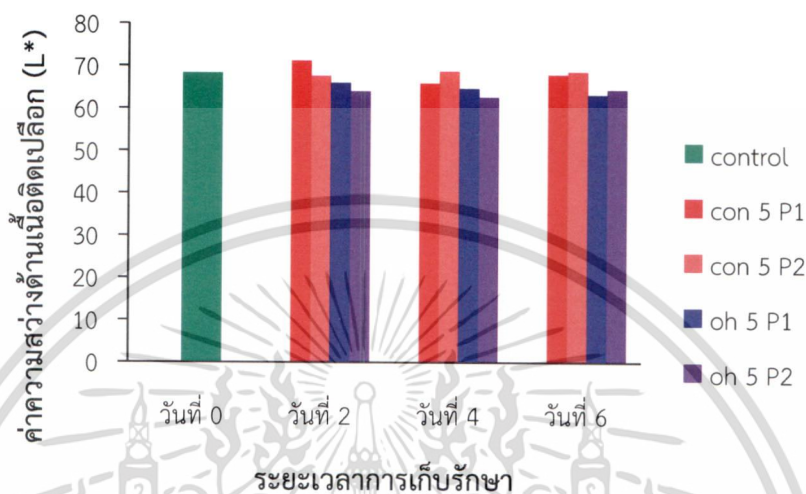
ภาพที่ 26 : ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.1.3 ค่าสีด้านเนื้อติดเปลือกของฝรั่ง

4.2.1.3.1 ค่า L*

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ของขึ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 27 จะเห็นว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาชุดทดลองมีแนวโน้มการลดลงของค่าความสว่างเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของตัวอย่างทั้งชุดควบคุม และชุดทดลองเพียงเล็กน้อย ซึ่งบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดให้ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของสมพิศ และคณะ (2553) ที่พบว่า การเก็บรักษาหัวแค้นที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้สีเปลือกมีสีคล้ำลง สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



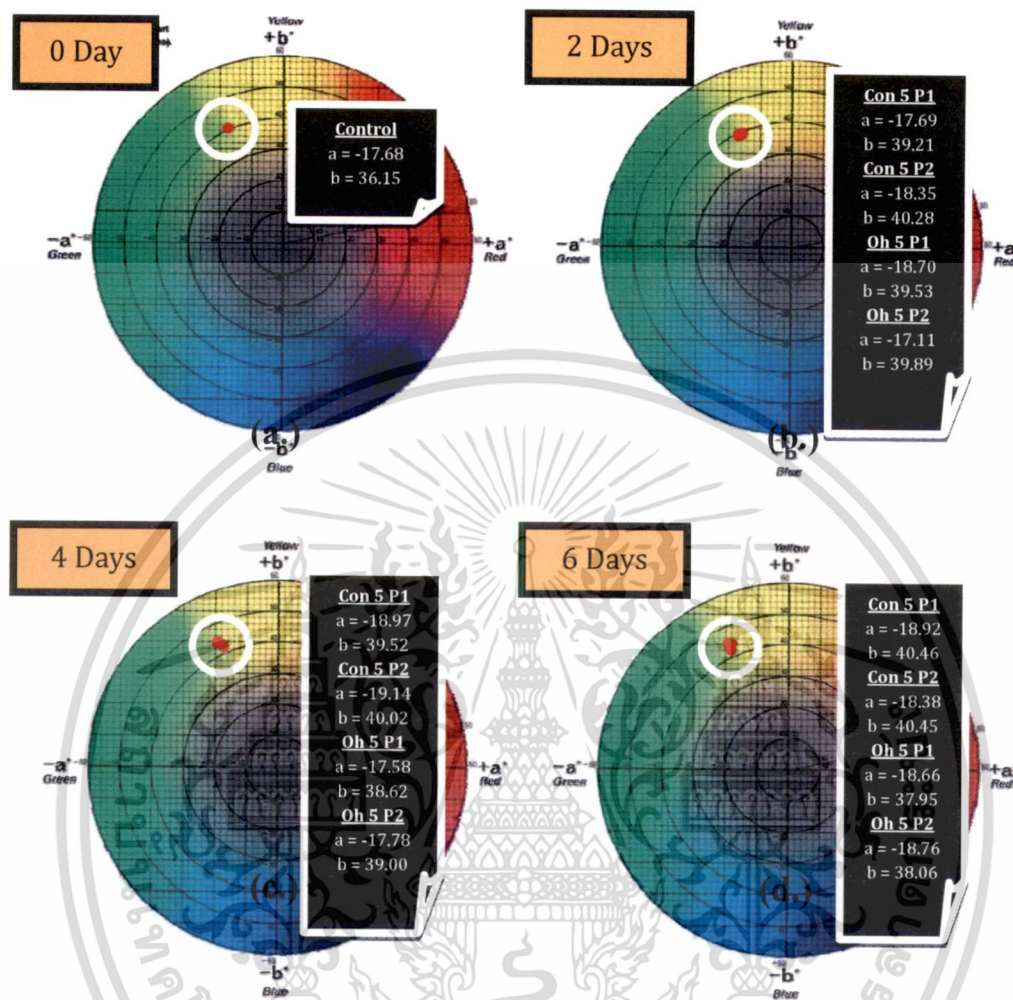
ภาพที่ 27 ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.1.3.2 ค่า a* และ b*

ผลการวิเคราะห์ค่า a* และ b* ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 28 จะสังเกตได้ว่าเมื่อนำค่า a* และ b* ด้านเนื้อติดเมล็ดของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ มา พล็อตลงบนชาร์ตสีแล้วเปรียบเทียบกับกันในแต่ละวันพบว่าจุดที่ได้อยู่ในช่วงสี่เหลี่ยมและเหลือ เนื่องจากเปลือกฝรั่งมีสีเขียว และในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันกล่าวคือ การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการเก็บรักษา และชนิดของบรรจุภัณฑ์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* b* ด้านเนื้อของตัวอย่างเล็กน้อย สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งให้ผลว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ทั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* และ b* ของชิ้นฝรั่ง

Fellows (2000) กล่าวว่า เม็ดสีในธรรมชาติ เช่น คลอโรฟิลล์จะถูกทำลายโดยการให้ความร้อน การเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือการออกซิไดซ์ระหว่าง การเก็บสีเขียวของเปลือกฝรั่งเป็น รงควัตถุจำพวกคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบพอร์ไฟรินที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนหรือกรด เป็นผลให้แมกนีเซียมไอออนถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟิโอฟิติน (นิธิยา, 2545) จึงเป็นผลทำให้สีของเปลือกฝรั่งซีดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



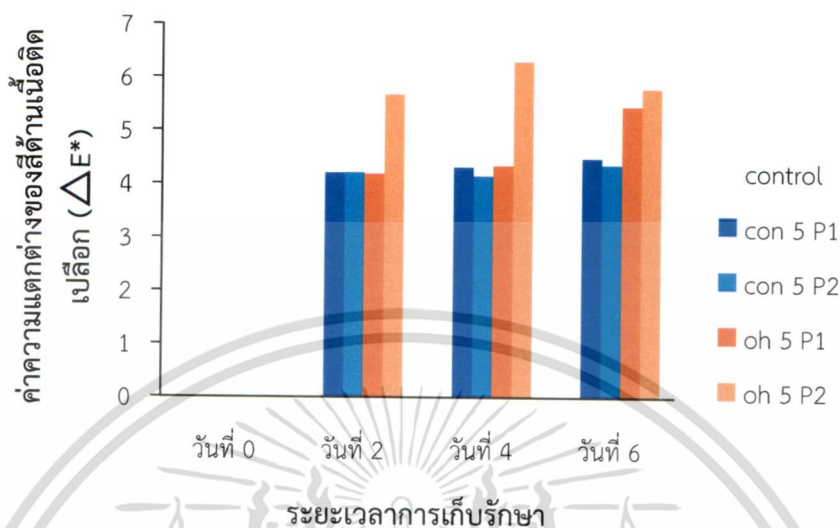
ภาพที่ 28 : ค่า a^* และ b^* ด้านเนื้อติดเปลือกของชุดควบคุม (Control) และฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกันในการเก็บรักษาที่

- อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน
- (a.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันแรก
- (b.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 2
- (c.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 4
- (d.) ชาร์ตสีแสดงค่า a^* b^* ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 6

4.2.1.3.3 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเปลือกของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ภาพที่ 29 จะเห็นว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาของชุดทดลอง มีค่าความแตกต่างของสีสูงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม อีกทั้งการเก็บรักษาชุดทดลองในบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแตกต่างของสีของชิ้นฝรั่งมากกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามพบว่าความแตกต่างของค่าสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างของค่าสีทั้งหมด เมื่อเทียบกับแผ่นขาวมาตรฐาน (standard white plate)



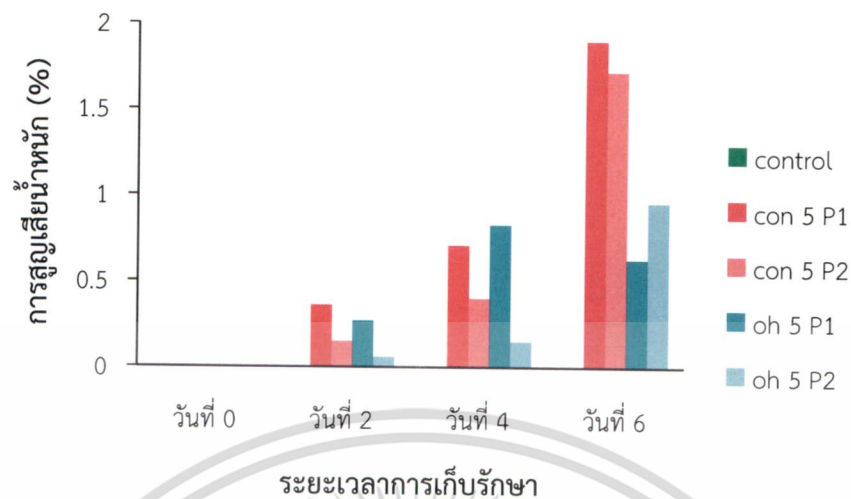
ภาพที่ 29 : ค่าความแตกต่างของสีด้านเนื้อติดเปลือก (ΔE^*) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.1.4 การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

ผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 30 ผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ชิ้นฝรั่งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังพบว่าในวันที่ 6 ชุดควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดทดลอง และการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate มีแนวโน้มทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นฝรั่งมากกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การสูญเสียน้ำหนักเกิดจากการสูญเสียน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์และความดันไอ (vapor pressure) ระหว่างน้ำในผลไม้กับอากาศที่รอบๆ ทำให้น้ำเคลื่อนที่จากภายในออกสู่ภายนอกได้ (จริงแท้, 2549) ซึ่ง polystyrene มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว) ได้ดี แต่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่าง ๆ ได้มากนัก ต่างจาก Polyethylene Terephthalate ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ปานกลาง จึงส่งผลให้มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



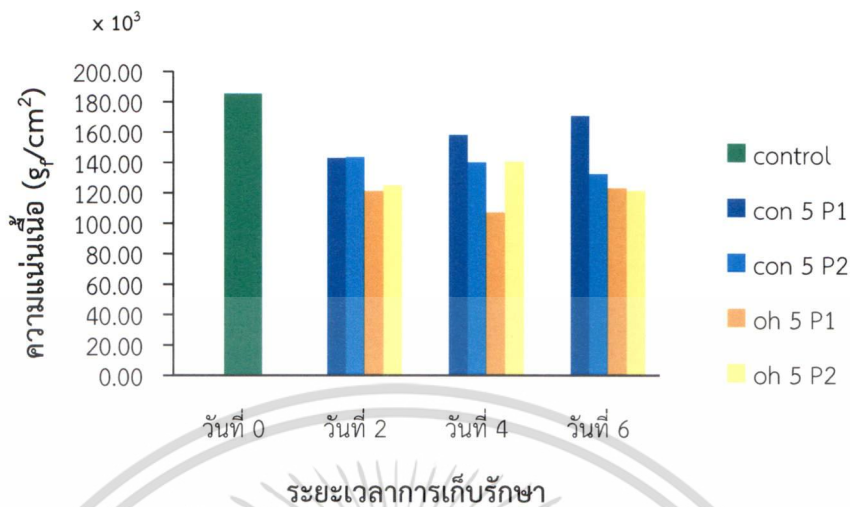
ภาพที่ 30 : การสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.1.5 ค่าความแน่นเนื้อ

ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาภายในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในภาพที่ 31 พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาชุดทดลองมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งการเก็บรักษาชิ้นฝรั่งในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate สามารถช่วยชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อของชิ้นฝรั่งได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การอ่อนนุ่มของผลไม้เกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบผนังเซลล์ โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆที่ย่อยสลายพอลิแซคาไรด์ (Gross, 1990) เอนไซม์ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลไม้เกิดการอ่อนนุ่มมีอยู่ 2 ชนิดคือ เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส และเอนไซม์โพลีกาแลกทูโรเนส ซึ่งจะย่อยสลายโมเลกุลของโพรโทเพกทินซึ่งไม่ละลายน้ำ ให้เป็นเพกทินที่ละลายน้ำได้ (Brett and Waldron, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



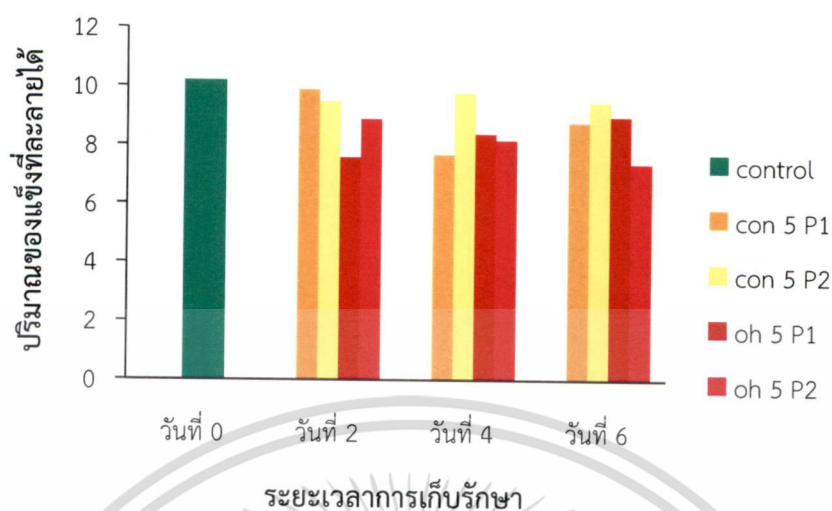
ภาพที่ 31 : ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและชีวเคมี

4.2.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของชิ้นฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 31 พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาชุดควบคุมมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากกว่าชุดทดลอง อีกทั้งการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene มีแนวโน้มของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด polyethylene terephthalate อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ มีระดับความเชื่อมั่น 95 %

เช่นเดียวกับงานวิจัยของนภกานต์ (2547) ที่พบว่า การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 2 เดือนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลาย และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

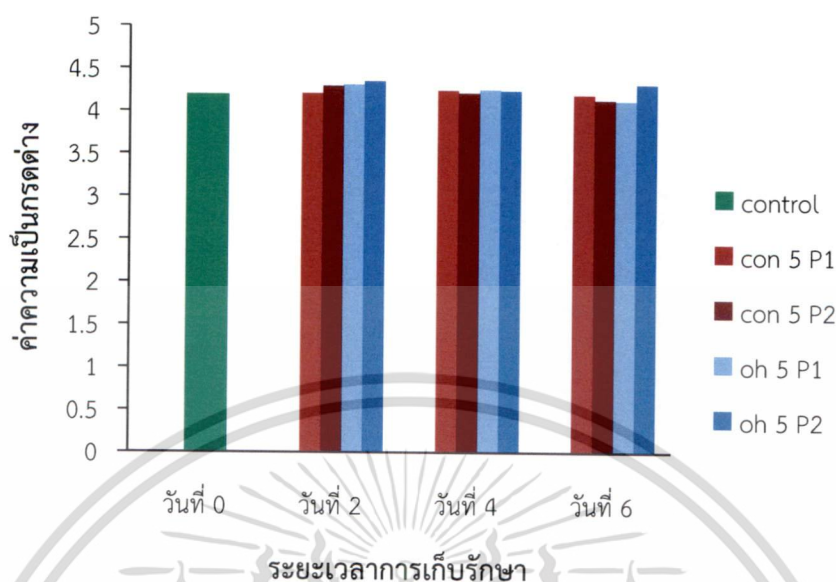


ภาพที่ 32 : ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.2.2 ความเป็นกรดต่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 33 พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่าความเป็นกรดต่างมีค่าใกล้เคียงกัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อีกทั้งชุดทดลองและชนิดบรรจุภัณฑ์ให้ผลไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เช่นเดียวกับงานวิจัยของธเนศวร์ (2541) ที่พบว่าค่าพีเอชของผลมะม่วงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

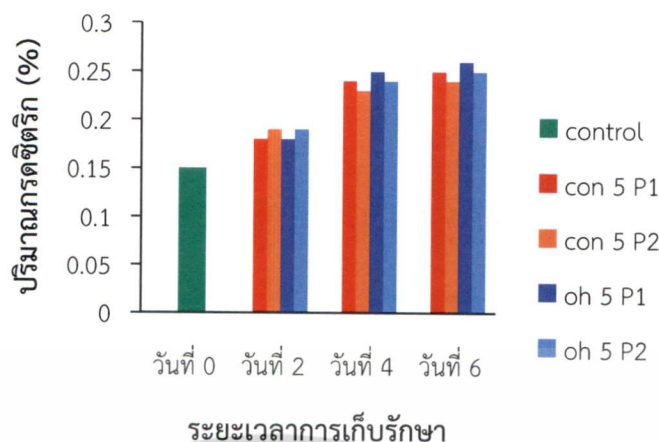


ภาพที่ 33 : ความเป็นกรดต่างของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.2.3 ปริมาณกรดซิตริก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 34 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จะส่งผลให้ชิ้นฝรั่งมีปริมาณกรดซิตริกเพิ่มขึ้น โดยชุดทดลองมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกรดซิตริกในทุก 2 วัน มากกว่าชุดควบคุม อีกทั้งการการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด polyethylene terephthalate มีผลทำให้ปริมาณกรดซิตริกเพิ่มสูงกว่าการเก็บใน polystyrene สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติที่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

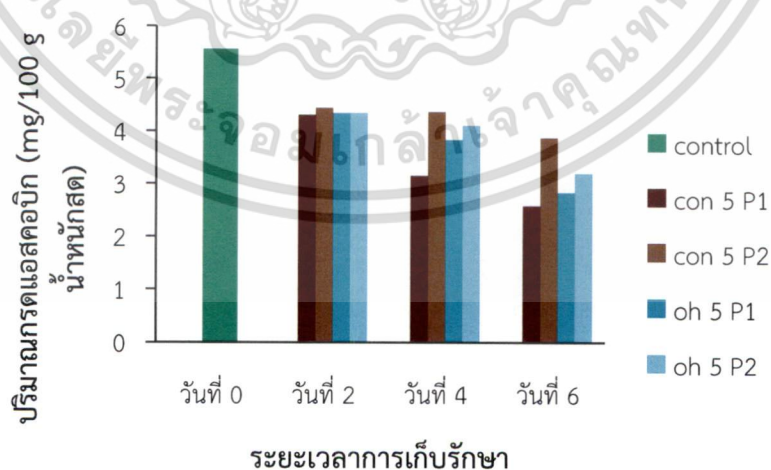
ธเนศวร์ (2541) พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วัน



ภาพที่ 34 : ปริมาณกรดซีตริกของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.2.2.3 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 35 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ทำให้มีปริมาณลดลง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อเก็บรักษาชุดควบคุมในบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene จะสามารถลดการสูญเสียวิตามินซีได้ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติที่พบว่า การลดลงของปริมาณวิตามินซีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สอดคล้องกับ Franworth และคณะ (2001) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในระหว่างการเก็บรักษาน้ำส้มคั้น พบว่าปริมาณวิตามินซีจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น Kimball (1991) กล่าวว่าสภาวะบรรยากาศที่มีออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ จะมีผลต่อการสูญเสียปริมาณวิตามินซี เมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอบิกได้แก่ เวลาและอุณหภูมิในการเก็บ รวมไปถึงคุณสมบัติการซึมผ่านของออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์ด้วย



ภาพที่ 35 : ปริมาณกรดแอสคอบิกของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase)

จากผลการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่มีต่อชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง และตัวควบคุม โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปัจจัยของอุณหภูมิ บรรจุภัณฑ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของชิ้นฝรั่ง โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene มีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ นอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เอนไซม์ชนิดนี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระยะเวลาที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะส่งผลให้ผลไม้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลซึ่งมีสารที่สามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ชนิดนี้ได้คือ กรดแอสคอร์บิกโดยจะสามารถรีดิวซ์ สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ให้กลับมายู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมได้ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็น สารสีน้ำตาล (มณฑาทิพย์, 2539)

ตารางที่ 1 ผลของกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) (Unit/g_f weight)

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	0.1952	1.8285	3.4	3.2619
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	0.1952	1.7714	1.6238	0.9238
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	0.1952	0.2047	1.7238	1.3571
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	0.1952	1.9619	0.2095	0.9238
Control Temp 5°C พลาสติก 1	0.1952	0.2476	0.6523	0.4333
Control Temp 5°C พลาสติก 2	0.1952	1.1619	0.4761	0.6571
Control Temp 10°C พลาสติก 1	0.1952	0.9	0.4666	0.8047
Control Temp 10°C พลาสติก 2	0.1952	0.3857	1.0	1.5714

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของชิ้นฝรั่งหลังผ่านการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกับชุดควบคุม ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยสุ่มตรวจปริมาณเชื้อทุกๆ 2 วัน เป็นระยะเวลา 6 วัน ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าในวันที่ 6 ชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้กระแสไฟฟ้า แล้วเก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด polystyrene ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.40×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดทดลองที่มีการเก็บรักษาในสภาวะที่ต่างกัน ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับผลไม้แห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) พบว่าปริมาณที่ตรวจพบยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม นอกจากนี้ยังทำการศึกษาน้ำยีสต์ และรา ให้ผลดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ซีนฝรั่งที่ผ่านการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรง แล้วเก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณยีสต์ ราน้อยที่สุดเท่ากับ 4.10×10^4 โคโลนีต่อ 1 กรัม เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน

เนื่องจากซีนฝรั่งผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้บางส่วน ฤทธิชัย (2555) อีกทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ยังสามารถช่วยชะลอและยับยั้งการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ในซีนฝรั่งได้

ตารางที่ 2 ผลของการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ Total Plate Count (TPC) ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	1.33×10^4	1.20×10^3	7.00×10^3	8.15×10^3
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	1.33×10^4	8.70×10^3	1.75×10^3	1.40×10^3
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	1.33×10^4	1.38×10^4	6.23×10^4	1.99×10^6
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	1.33×10^4	5.00×10^4	8.65×10^3	4.30×10^5
Control Temp 5°C พลาสติก 1	1.33×10^4	2.10×10^3	3.30×10^3	3.35×10^3
Control Temp 5°C พลาสติก 2	1.33×10^4	1.03×10^4	1.90×10^3	4.80×10^3
Control Temp 10°C พลาสติก 1	1.33×10^4	5.30×10^4	1.05×10^5	5.70×10^6
Control Temp 10°C พลาสติก 2	1.33×10^4	5.60×10^4	2.69×10^5	7.85×10^6

ตารางที่ 3 ผลของการตรวจสอบปริมาณยีสต์และรา ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	1.13×10^3	8.10×10^2	1.86×10^2	4.10×10^4
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	1.13×10^3	9.23×10^2	9.86×10^2	9.25×10^4
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	1.13×10^3	1.22×10^3	1.39×10^4	8.15×10^5
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	1.13×10^3	1.19×10^3	1.28×10^4	1.13×10^6
Control Temp 5°C พลาสติก 1	1.13×10^3	2.89×10^3	2.56×10^3	2.20×10^5
Control Temp 5°C พลาสติก 2	1.13×10^3	4.35×10^3	6.95×10^3	4.15×10^4
Control Temp 10°C พลาสติก 1	1.13×10^3	1.84×10^3	3.70×10^4	8.15×10^5
Control Temp 10°C พลาสติก 2	1.13×10^3	4.45×10^3	5.60×10^4	4.55×10^5

4.2.4 การยอมรับของผู้บริโภค

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และทางกายภาพของฝรั่งตัดแต่งสดหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ Polyethylene Terephthalate และ Polystyrene พบว่าสภาวะ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polystyrene ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีแนวโน้มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพของชิ้นฝรั่งน้อยที่สุด จึงนำสภาวะดังกล่าวมาสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อระยะเวลาการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งสดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งใช้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยให้คะแนนลักษณะของเนื้อมะม่วงสุกที่ผู้ทดสอบชิมชอบมากที่สุด เท่ากับ 5 คะแนน สำหรับผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสจากลักษณะต่างๆ ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

สีที่ปรากฏ โดยให้ผู้ทดสอบดูทั้งสีขาวด้านเนื้อ และสีเขียวด้านเปลือก ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบที่มีต่อสีที่ปรากฏในวันที่ 6 โดยให้คะแนนเฉลี่ยในชุดทดลองเท่ากับ 3.10 ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมที่ได้คะแนนเท่ากับ 2.30 แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่ปรากฏในชิ้นฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน ส่งผลให้ผู้ชิมให้การยอมรับสีของชิ้นฝรั่งที่ผ่านการให้กระแสไฟฟ้ามากกว่าฝรั่งทั่วไป

กลิ่น จากผลการทดสอบการยอมรับพบว่า ผู้ชิมให้คะแนนชุดควบคุมเท่ากับ 2.80 ซึ่งน้อยกว่าชุดทดลองคือ 3.20 แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงส่งผลต่อกลิ่นของชิ้นฝรั่ง ทำให้ผู้ชิมยอมรับมากกว่าชุดทดลองเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน

ความแน่นเนื้อ ผู้ชิมให้คะแนนความชอบที่มีต่อความแน่นเนื้อของชุดควบคุมมากกว่าชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 2.3 และ 3.9 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การให้กระแสไฟฟ้าสามารถ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ ซึ่งทำให้ผู้ชิมให้การยอมรับมากกว่าชุดควบคุมปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมนอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคสามารถชี้บ่งความแตกต่างของลักษณะความแน่นเนื้อระหว่างเนื้อฝรั่งชุดควบคุมและชุดทดลองได้

จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้ชิมทำให้ทราบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับชิ้นฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงมากกว่าชิ้นฝรั่งทั่วไปทั้งในเรื่องของ สี กลิ่น และความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมซึ่งผู้ชิมให้คะแนนชุดทดลองมากกว่าชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 3.40 และ 2.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชุดควบคุม (control) ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ polystyrene เป็นระยะเวลา 6 วัน

ปัจจัยคุณภาพ ระยะเวลา การเก็บรักษา	สี	กลิ่น	ความแน่นเนื้อ	ความชอบ โดยรวม
0	3.9	3.7	4.1	3.9
2	3.0	2.9	3.4	3.1
4	3.0	2.5	3.5	3.0
6	2.3	2.8	2.3	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชุดชุดทดลอง (ohmic) ภายหลังจากการรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ polystyrene เป็นระยะเวลา 6 วัน

ปัจจัยคุณภาพ ระยะเวลา การรักษา	สี	กลิ่น	ความแน่นเนื้อ	ความชอบ โดยรวม
0	4.2	4.0	4.7	4.3
2	4.1	3.8	4.4	4.1
4	3.6	3.9	4.2	3.9
6	3.1	3.2	3.9	3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ระดับความต่างศักย์ 100 โวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการให้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกับฟุ้งสตัดแต่งพร้อมบริโกล โดยมึผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายของฟุ้งน้อยที่สุด กล่าวคือ ฟุ้งมีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด และมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงฟุ้งสตัดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนมากที่สุด
2. การเก็บรักษาฟุ้งสตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polystyrene ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีอายุการเก็บรักษามากกว่าฟุ้งชุดควมถึง 4 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- จิราภรณ์ กั๊วะขุนทด. 2548. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาและอาการสัสนหนาวของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 396 น.
- พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ มณฑิรา นพรัตน์ พัชยา วิริยะประกอบ และ ริสสา ดิษฐ์น้อย. 2552. ฝรั่งเศส แต่งพร้อมบริโภคร: ตอนที่ 1 ผลของแคลเซียมคลอไรด์และการใช้ความร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของฝรั่ง. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 3, สารสั ก และน้ำมันหอมระเหยและการใช้ประโยชน์ของพืช. วันที่ 3-4 กันยายน 2552 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , P037: 61.
- นภกานต์ แดงสุวรรณ. 2547. กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดสระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์โชคอนันต์แช่เยือกแข็ง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประมวล ศรีกาหลง. 2539. กระบวนการให้ความร้อนน้ำสับประตด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าโดยตรง. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รุจิภรณ์ พัฒนจันทร์. 2546. ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ระหว่างการสุกและการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สมพิศ สายแก้ว รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และ อัมพร แซ่เอียว. 2554. การเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพและกิจกรรมของเอนไซม์ในหัวแค้นตะวันในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 : 1 (พิเศษ) : 381-384 (2554)
- Bai, J., Saftner, R.A. and Watada, A.E. 2003. Characteristics of Fresh-Cut Honeydew (*Cucumis x melo L.*) Available to Processors in Winter and Summer and Its Quality Maintenance by Modified Atmosphere Packaging. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 349-359.
- Bico, S.L.S., Raposo, M.F.J., Morais, R.M.S.C. and Morais, A.M.M.B. 2008. Combined Effects of Chemical Dip and/or Carrageenan Coating and/or Controlled Atmosphere on Quality of Fresh-Cut Banana. *Journal of Food Control*. 20: 508-514
- Brett, C. and Waldron, K. 1990.. *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls* .Unwin Hyman, London.
- Fatterman J.C . 1928. The Electrical Conductivity Method of Processing Milk. *Agric. Eng.* 9: 107-108.
- Filiz I., Y. Hasan and B. Taner. 2006. Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *J. of Food Engineering*. 74: 424-429.
- Greve, L. C. and Labavitch, J M. 1991. Cell Wall Metabolism in Ripening Fruit. *Plant*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Physiology. 97:1456-1461
- Gross, K.C.1990. Recent development on tomato fruit softening Postharvest News Inf. 1 :109-112
- Huixian S., K. Shuso, H. Jun-ichi, I. Kazuhiko, W. Tatsuhiko and K. Toshinori. 2008. "Effect of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk". Food Science and Technology Research. Vol. 14: 117-123.
- Hung N.L. and V.K. Jindal. 1992. Pasteurization of fruit juices using a continuous flow ohmic heating unit. Thesis No.AE-93-13. Bangkok : Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.
- Lakkakula N.R., M. Lima and T. Walker. 2003. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. Bioresource Technology. 92: 157-161.
- Lima M. and S.K. Sastry. 1999. The effect of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and Juice yield. J. of Food Engineering. 41: 115-119.
- Lichter, A., Dvir, O., Rot, I., Ackerman, M., Regev, R., Wiesblum, A., Fallik, E., Zauberman G. and Fuchus, Y. 2000. Hot Water Brushing: An Alternative Method to SO₂ Fumigation for Colour Retention of Litchi Fruits. Postharvest Biology and Technology, 18: 235-244.
- Lipton, W.J. 1987. Senescence of leafy vegetable. HortScience. 22: 854-859.
- Leizeron S. and E. Shimoni . 2005. "Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating". J. of agricultural and food chemistry. Vol. 53: 4012-4018.
- Mizrahi S., I.J. Kopelman and J. Perlman. 1975. Blanching by electroconductive heating. J. Food Technol. 10: 281-288.
- Moses D.B . 1938 . Electrical pasteurization of milk. Agric. Eng. 19: 525-526.
- O'Bieme, D., 1990, Some Effects of Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging in Combination with Antioxidants on Quality and Storage life of Ready-to-Use Chilled Apples Slices, In: Zeuthen, P., Chefteol, J.,
- Ockerman H.W. and J. Szczawinski. 1984. Combined effects of electrical stimulation and methods of meat preservation upon the survival of bacteria. J. of Food processing and Preservation. 8: 47-56.
- Palaniappan S., S.K. Sastry and E.R. Richter. 1991. Effect of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms. Biotechnology and Bioengineering. 39 : 225-232.
- Pereira R.N., R.C. Martins and A.A. Vicente. 2008. Goat milk free fatty acid characterization during conventional and ohmic heating pasteurization. J. Dairy Science. Vol. 91: 2925-2937.
- Sanjay S., K. Sastry Sudhir and K. Lynn. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. J. of Food Engineering. Vol 87: 351-356.

- Sandrine C., E. Godereaux, F. Zuber and A. Goullieux. 2001. Processing and stabilization of cauliflower by ohmic heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 2 : 279-287.
- Sarang S., S.K. Sastry, J. Gaines, T.C.S Yang and P. Dunne. 2007. Product formulation for ohmic heating: Blanching as a pretreatment method to improve uniformity in heating of solid-liquid food mixtures. *J. of Food Science*. 72: E227-E234.
- Schlimme, D.V., Rooney, M.L., 1994, Packaging of Minimally Processed Fruits and Vegetables, In: Wiley, R.C. (Ed.) *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, Chapman & Hall, New York, pp. 135-176.
- Shewfelt, R.L., 1987, Quality of Minimally Processed Fruits and Vegetables, *Journal of Food Quality*. 10: 143-156.
- Skudder Paul J. 1989 . Ohmic heating in food processing. *Asian Food Journal*. Vol.4 , No.4: 320-324.
- Watkins, C.B. and J.H. Ekman. 2005. Storage Technologies : Temperature interactions and effects on quality of horticultural products. *Acta Horticulturae*. 682: 1527-1533.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า
ตารางผลการทดลองตอนที่ 1

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนัก	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ความแน่นเนื้อ ด้วย (g/cm ³)
Control	0	6.3	4.42	163.29×10 ³
100V	0.84	5.3	4.37	151.92×10 ³
150V	1.56	5.6	4.34	126.88×10 ³
200V	1.90	5.7	4.29	115.36×10 ³

ค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้า	ค่าสีด้านเนื้อ			ค่าสีด้านเปลือก		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Control	78.02	-4.23	13.23	68.05	-17.12	36.00
100V	76.95	-4.52	12.33	66.85	-16.39	35.16
150V	74.30	-4.39	12.53	65.05	-16.46	35.38
200V	73.68	-4.55	11.53	65.36	-16.85	36.10

ข้อมูลผลการศึกษาบรรจุภัณฑ์ร่วมกับกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง
ตารางผลการทดลองตอนที่ 2

1. การสูญเสียน้ำหนัก (%)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	0	0.27	0.83	0.63
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	0	0.06	0.15	0.96
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	0	0.92	2.82	2.14
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	0	0.33	0.66	0.99
Control Temp 5°C พลาสติก 1	0	0.36	0.71	1.9
Control Temp 5°C พลาสติก 2	0	0.15	0.4	1.72
Control Temp 10°C พลาสติก 1	0	1.04	1.72	9.93
Control Temp 10°C พลาสติก 2	0	0.69	1.38	1.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L*)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	83.16	79.58	76.63	76.64
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	83.16	77.07	76.58	79.64
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	83.16	77.50	77.03	76.16
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	83.16	78.88	75.84	77.58
Control Temp 5°C พลาสติก 1	83.16	78.67	77.05	76.58
Control Temp 5°C พลาสติก 2	83.16	74.87	76.06	75.25
Control Temp 10°C พลาสติก 1	83.16	73.04	71.86	77.56
Control Temp 10°C พลาสติก 2	83.16	75.48	72.35	74.21

3. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L*)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	68.38	66.12	64.80	63.31
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	68.38	64.11	62.74	64.55
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	68.38	60.54	67.04	61.56
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	68.38	68.31	64.33	62.41
Control Temp 5°C พลาสติก 1	68.38	71.28	66.00	68.06
Control Temp 5°C พลาสติก 2	68.38	67.74	68.87	68.80
Control Temp 10°C พลาสติก 1	68.38	66.11	66.82	65.91
Control Temp 10°C พลาสติก 2	68.38	66.64	64.93	67.91

4. ค่า a* ด้านเนื้อติดเมล็ด

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	-4.06	-4.59	-4.35	-4.83
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	-4.06	-4.06	-4.44	-4.60
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	-4.06	-4.74	-4.49	-4.29
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	-4.06	-4.92	-4.68	-3.89
Control Temp 5°C พลาสติก 1	-4.06	-4.63	-3.77	-5.46
Control Temp 5°C พลาสติก 2	-4.06	-4.58	-4.00	-4.86
Control Temp 10°C พลาสติก 1	-4.06	-3.29	-1.78	-3.03
Control Temp 10°C พลาสติก 2	-4.06	-3.47	-3.87	-3.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่า a* ด้านเนื้อติดเปลือก

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	-17.68	-18.7	-17.58	-18.66
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	-17.68	-17.11	-17.78	-13.76
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	-17.68	-18.41	-16.51	-12.82
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	-17.68	-16.60	-16.14	-15.39
Control Temp 5°C พลาสติก 1	-17.68	-17.69	-18.97	-18.92
Control Temp 5°C พลาสติก 2	-17.68	-18.35	-19.14	-18.38
Control Temp 10°C พลาสติก 1	-17.68	-17.35	-16.55	-18.81
Control Temp 10°C พลาสติก 2	-17.68	-16.74	-17.05	-18.71

6. ค่า b* ด้านเนื้อติดเมล็ด

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	13.59	14.14	15.28	17.91
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	13.59	15.49	14.57	18.35
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	13.59	14.34	14.42	17.94
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	13.59	14.93	14.56	15.40
Control Temp 5°C พลาสติก 1	13.59	14.75	17.47	15.95
Control Temp 5°C พลาสติก 2	13.59	14.74	16.09	13.98
Control Temp 10°C พลาสติก 1	13.59	18.42	22.98	20.48
Control Temp 10°C พลาสติก 2	13.59	19.34	23.74	18.44

7. ค่า b* ด้านเนื้อติดเปลือก

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	36.15	39.53	38.62	37.95
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	36.15	39.89	39.00	38.06
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	36.15	38.51	40.16	38.28
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	36.15	39.47	38.70	39.72
Control Temp 5°C พลาสติก 1	36.15	39.21	39.52	40.46
Control Temp 5°C พลาสติก 2	36.15	40.28	40.02	40.45
Control Temp 10°C พลาสติก 1	36.15	39.16	39.38	40.13
Control Temp 10°C พลาสติก 2	36.15	37.38	39.77	41.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ค่าความแตกต่างของค่าสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	0	3.66	6.75	7.85
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	0	6.39	6.66	5.94
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	0	5.74	6.21	5.69
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	0	4.56	7.40	5.86
Control Temp 5°C พลาสติก 1	0	4.67	7.24	7.12
Control Temp 5°C พลาสติก 2	0	8.38	7.52	7.93
Control Temp 10°C พลาสติก 1	0	11.23	14.87	8.94
Control Temp 10°C พลาสติก 2	0	9.62	14.82	9.31

9. ค่าความแตกต่างของค่าสีด้านเนื้อติดเปลือก (ΔE^*)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	0	4.19	4.35	5.46
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	0	5.68	6.31	5.80
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	0	8.21	4.38	8.64
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	0	3.43	5.02	7.33
Control Temp 5°C พลาสติก 1	0	4.21	4.32	4.49
Control Temp 5°C พลาสติก 2	0	4.22	4.16	4.37
Control Temp 10°C พลาสติก 1	0	3.77	3.76	4.81
Control Temp 10°C พลาสติก 2	0	2.33	5.04	5.35

10. ค่าความแน่นเนื้อ (g/cm^3)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	185.32×10^3	121.18×10^3	107.28×10^3	123.15×10^3
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	185.32×10^3	125.20×10^3	140.80×10^3	121.47×10^3
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	185.32×10^3	125.82×10^3	116.03×10^3	151.75×10^3
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	185.32×10^3	147.80×10^3	142.48×10^3	130.81×10^3
Control Temp 5°C พลาสติก 1	185.32×10^3	143.14×10^3	158.49×10^3	171.09×10^3
Control Temp 5°C พลาสติก 2	185.32×10^3	143.76×10^3	140.23×10^3	132.73×10^3
Control Temp 10°C พลาสติก 1	185.32×10^3	131.66×10^3	144.59×10^3	183.63×10^3
Control Temp 10°C พลาสติก 2	185.32×10^3	124.33×10^3	134.83×10^3	146.14×10^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	10.2	7.60	8.40	9.00
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	10.2	8.90	8.20	7.40
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	10.2	9.30	8.20	9.00
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	10.2	8.10	8.20	7.40
Control Temp 5°C พลาสติก 1	10.2	9.90	7.70	8.80
Control Temp 5°C พลาสติก 2	10.2	9.50	9.80	9.50
Control Temp 10°C พลาสติก 1	10.2	7.70	8.50	8.80
Control Temp 10°C พลาสติก 2	10.2	8.00	8.30	9.50

12. ปริมาณกรดซิตริก (%)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	0.15	0.18	0.25	0.26
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	0.15	0.19	0.24	0.25
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	0.15	2.10	1.80	1.60
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	0.15	1.47	1.80	1.70
Control Temp 5°C พลาสติก 1	0.15	0.18	0.24	0.25
Control Temp 5°C พลาสติก 2	0.15	0.19	0.23	0.24
Control Temp 10°C พลาสติก 1	0.15	1.13	1.40	1.97
Control Temp 10°C พลาสติก 2	0.15	1.47	1.70	2.00

13. ปริมาณวิตามินซี (mg /100 g fresh weight)

ตัวอย่าง	วัน			
	0	2	4	6
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 1	5.56	4.35	3.84	2.84
Ohmic Temp 5°C พลาสติก 2	5.56	4.35	4.11	3.2
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 1	5.56	2.63	2.57	2.40
Ohmic Temp 10°C พลาสติก 2	5.56	3.93	1.93	1.83
Control Temp 5°C พลาสติก 1	5.56	4.31	3.15	2.58
Control Temp 5°C พลาสติก 2	5.56	4.44	4.37	3.88
Control Temp 10°C พลาสติก 1	5.56	4.50	4.50	3.50
Control Temp 10°C พลาสติก 2	5.56	4.70	3.23	2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการศึกษสภาวะที่เหมาะสมของความต่างศักย์ไฟฟ้า
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตอนที่ 1

1. การสูญเสียน้ำหนัก (%)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Weightloss

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.326 ^a	3	.775	1.071	.414
Intercept	13.825	1	13.825	19.090	.002
Treatment	2.326	3	.775	1.071	.414
Error	5.793	8	.724		
Total	21.944	12			
Corrected Total	8.120	11			

a. R Squared = .287 (Adjusted R Squared = .019)

2. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L* flesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.279 ^a	3	2.093	.292	.830
Intercept	68832.512	1	68832.512	9.604E3	.000
Treatment	6.279	3	2.093	.292	.830
Error	57.338	8	7.167		
Total	68896.130	12			
Corrected Total	63.617	11			

a. R Squared = .099 (Adjusted R Squared = -.239)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L* peel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.664 ^a	3	1.888	.307	.820
Intercept	52792.047	1	52792.047	8.575E3	.000
Treatment	5.664	3	1.888	.307	.820
Error	49.252	8	6.156		
Total	52846.963	12			
Corrected Total	54.916	11			

a. R Squared = .103 (Adjusted R Squared = -.233)

4. ค่า a* ด้านเนื้อติดเมล็ด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:aflesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.122 ^a	3	.041	.769	.543
Intercept	235.056	1	235.056	4.445E3	.000
Treatment	.122	3	.041	.769	.543
Error	.423	8	.053		
Total	235.601	12			
Corrected Total	.545	11			

a. R Squared = .224 (Adjusted R Squared = -.067)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่า a* ด้านเนื้อติดเปลือก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:apeel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.211 ^a	3	4.070	2.012	.191
Intercept	3350.021	1	3350.021	1.656E3	.000
Treatment	12.211	3	4.070	2.012	.191
Error	16.185	8	2.023		
Total	3378.417	12			
Corrected Total	28.396	11			

a. R Squared = .430 (Adjusted R Squared = .216)

6. ค่า b* ด้านเนื้อติดเมล็ด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:bflesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.569 ^a	3	3.523	.580	.645
Intercept	1847.105	1	1847.105	303.829	.000
Treatment	10.569	3	3.523	.580	.645
Error	48.635	8	6.079		
Total	1906.309	12			
Corrected Total	59.204	11			

a. R-Squared = .179 (Adjusted R Squared = -.130)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ค่า b* ด้านเนื้อติดเปลือก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: bpeel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.743 ^a	3	3.581	1.251	.354
Intercept	15261.054	1	15261.054	5.333E3	.000
Treatment	10.743	3	3.581	1.251	.354
Error	22.893	8	2.862		
Total	15294.690	12			
Corrected Total	33.636	11			

a. R Squared = .319 (Adjusted R Squared = .064)

8. ค่าความแตกต่างของค่าสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DeltaEflash

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.491 ^a	3	1.164	.129	.940
Intercept	118.818	1	118.818	13.182	.007
Treatment	3.491	3	1.164	.129	.940
Error	72.108	8	9.014		
Total	194.417	12			
Corrected Total	75.599	11			

a. R Squared = .046 (Adjusted R Squared = -.312)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ค่าความแตกต่างของค่าสีด้านเนื้อติดเปลือก (ΔE^*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent

Variable:DeltaEpeel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.347 ^a	3	1.449	.222	.878
Intercept	99.590	1	99.590	15.274	.004
Treatment	4.347	3	1.449	.222	.878
Error	52.161	8	6.520		
Total	156.098	12			
Corrected Total	56.508	11			

a. R Squared = .077 (Adjusted R Squared = -.269)

10. ค่าความแน่นเนื้อ (g/cm^2)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Firmness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	712.870 ^a	3	237.623	.377	.772
Intercept	236863.330	1	236863.330	376.027	.000
Treatment	712.870	3	237.623	.377	.772
Error	5039.284	8	629.910		
Total	242615.484	12			
Corrected Total	5752.153	11			

a. R Squared = .124 (Adjusted R Squared = -.205)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total soluble solid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.500 ^a	3	.167	.685	.586
Intercept	394.453	1	394.453	1.621E3	.000
Treatment	.500	3	.167	.685	.586
Error	1.947	8	.243		
Total	396.900	12			
Corrected Total	2.447	11			

a. R Squared = .204 (Adjusted R Squared = -.094)

12. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH value

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.032 ^a	3	.011	1.285	.344
Intercept	227.592	1	227.592	2.761E4	.000
Treatment	.032	3	.011	1.285	.344
Error	.066	8	.008		
Total	227.690	12			
Corrected Total	.098	11			

a. R Squared = .325 (Adjusted R Squared = .072)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลผลการศึกษาระรจกัณท์ร่วมกั้กระบวนกรให้ควมร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตอนที่ 2

1. การสูญเสียน้้าหนัก (%)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Weight loss

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	298.478 ^a	31	9.628	22.624	.000
Intercept	90.948	1	90.948	213.708	.000
Temp	30.330	1	30.330	71.269	.000
Treatment	9.779	1	9.779	22.979	.000
Plastic	23.285	1	23.285	54.716	.000
Time	73.040	3	24.347	57.209	.000
Temp * Treatment	5.208	1	5.208	12.238	.001
Temp * Plastic	8.284	1	8.284	19.465	.000
Temp * Time	27.474	3	9.158	21.519	.000
Treatment * Plastic	2.196	1	2.196	5.160	.026
Treatment * Time	26.589	3	8.863	20.826	.000
Plastic * Time	26.574	3	8.858	20.815	.000
Temp * Treatment * Plastic	2.089	1	2.089	4.908	.030
Temp * Treatment * Time	16.905	3	5.635	13.241	.000
Temp * Plastic * Time	13.140	3	4.380	10.292	.000
Treatment * Plastic * Time	19.444	3	6.481	15.230	.000
Temp * Treatment * Plastic * Time	14.142	3	4.714	11.077	.000
Error	27.237	64	.426		
Total	416.663	96			
Corrected Total	325.715	95			

a. R Squared = .916 (Adjusted R Squared = .876)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเมล็ด (L*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L* flesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1123.630 ^a	31	36.246	3.137	.000
Intercept	584728.749	1	584728.749	5.060E4	.000
Temp	27.671	1	27.671	2.395	.127
Treatment	64.157	1	64.157	5.552	.022
Plastic	1.887	1	1.887	.163	.687
Time	867.792	3	289.264	25.033	.000
Temp * Treatment	10.989	1	10.989	.951	.333
Temp * Plastic	4.463	1	4.463	.386	.536
Temp * Time	17.636	3	5.879	.509	.678
Treatment * Plastic	6.934	1	6.934	.600	.441
Treatment * Time	25.269	3	8.423	.729	.539
Plastic * Time	1.611	3	.537	.046	.987
Temp * Treatment * Plastic	1.927	1	1.927	.167	.684
Temp * Treatment * Time	27.197	3	9.066	.785	.507
Temp * Plastic * Time	38.924	3	12.975	1.123	.347
Treatment * Plastic * Time	24.367	3	8.122	.703	.554
Temp * Treatment * Plastic * Time	2.806	3	.935	.081	.970
Error	739.554	64	11.556		
Total	586591.933	96			
Corrected Total	1863.184	95			

a. R Squared = .603 (Adjusted R Squared = .411)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าความสว่างด้านเนื้อติดเปลือก (L*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L* peel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	579.092 ^a	31	18.680	6.584	.000
Intercept	423723.759	1	423723.759	1.493E5	.000
Temp	18.087	1	18.087	6.375	.014
Treatment	144.575	1	144.575	50.954	.000
Plastic	1.337	1	1.337	.471	.495
Time	134.266	3	44.755	15.774	.000
Temp * Treatment	11.309	1	11.309	3.986	.050
Temp * Plastic	8.126	1	8.126	2.864	.095
Temp * Time	22.147	3	7.382	2.602	.060
Treatment * Plastic	.533	1	.533	.188	.666
Treatment * Time	71.535	3	23.845	8.404	.000
Plastic * Time	15.612	3	5.204	1.834	.150
Temp * Treatment * Plastic	6.278	1	6.278	2.213	.142
Temp * Treatment * Time	16.119	3	5.373	1.894	.140
Temp * Plastic * Time	74.954	3	24.985	8.806	.000
Treatment * Plastic * Time	40.893	3	13.631	4.804	.004
Temp * Treatment * Plastic * Time	13.320	3	4.440	1.565	.207
Error	181.590	64	2.837		
Total	424484.441	96			
Corrected Total	760.682	95			

a. R Squared = .761 (Adjusted R Squared = .646)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่า a* ด้านเนื้อติดเมล็ด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:a*flesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.038 ^a	31	1.227	2.156	.005
Intercept	1638.041	1	1638.041	2.879E3	.000
Temp	3.670	1	3.670	6.450	.014
Treatment	10.069	1	10.069	17.696	.000
Plastic	2.888	1	2.888	5.075	.028
Time	1.578	3	.526	.924	.434
Temp * Treatment	4.651	1	4.651	8.174	.006
Temp * Plastic	.616	1	.616	1.083	.302
Temp * Time	1.288	3	.429	.754	.524
Treatment * Plastic	1.300	1	1.300	2.284	.136
Treatment * Time	3.622	3	1.207	2.122	.106
Plastic * Time	2.733	3	.911	1.601	.198
Temp * Treatment * Plastic	.323	1	.323	.568	.454
Temp * Treatment * Time	2.806	3	.935	1.644	.188
Temp * Plastic * Time	.320	3	.107	.188	.904
Treatment * Plastic * Time	1.808	3	.603	1.059	.373
Temp * Treatment * Plastic * Time	.366	3	.122	.215	.886
Error	36.416	64	.569		
Total	1712.494	96			
Corrected Total	74.453	95			

a. R Squared = .511 (Adjusted R Squared = .274)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่า a* ด้านเนื้อติดเปลือก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:a*peel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	734.333 ^a	31	23.688	1.011	.472
Intercept	26695.341	1	26695.341	1.139E3	.000
Temp	79.388	1	79.388	3.388	.070
Treatment	2.857	1	2.857	.122	.728
Plastic	78.409	1	78.409	3.346	.072
Time	97.115	3	32.372	1.381	.256
Temp * Treatment	.920	1	.920	.039	.844
Temp * Plastic	30.736	1	30.736	1.312	.256
Temp * Time	103.645	3	34.548	1.474	.230
Treatment * Plastic	.146	1	.146	.006	.937
Treatment * Time	9.357	3	3.119	.133	.940
Plastic * Time	168.218	3	56.073	2.393	.077
Temp * Treatment * Plastic	1.832	1	1.832	.078	.781
Temp * Treatment * Time	10.754	3	3.585	.153	.927
Temp * Plastic * Time	143.064	3	47.688	2.035	.118
Treatment * Plastic * Time	3.864	3	1.288	.055	.983
Temp * Treatment * Plastic * Time	4.027	3	1.342	.057	.982
Error	1499.806	64	23.434		
Total	28929.481	96			
Corrected Total	2234.140	95			

a. R Squared = .329 (Adjusted R Squared = .004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่า b* ด้านเนื้อติดเมล็ด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: b*flesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	951.567 ^a	31	30.696	20.824	.000
Intercept	24847.787	1	24847.787	1.686E4	.000
Temp	90.734	1	90.734	61.555	.000
Treatment	239.939	1	239.939	162.778	.000
Plastic	.001	1	.001	.001	.979
Time	238.574	3	79.525	53.951	.000
Temp * Treatment	143.938	1	143.938	97.649	.000
Temp * Plastic	2.328	1	2.328	1.579	.213
Temp * Time	39.638	3	13.213	8.964	.000
Treatment * Plastic	.218	1	.218	.148	.702
Treatment * Time	110.829	3	36.943	25.063	.000
Plastic * Time	9.437	3	3.146	2.134	.105
Temp * Treatment * Plastic	1.309	1	1.309	.888	.350
Temp * Treatment * Time	65.564	3	21.855	14.827	.000
Temp * Plastic * Time	6.487	3	2.162	1.467	.232
Treatment * Plastic * Time	.709	3	.236	.160	.923
Temp * Treatment * Plastic * Time	1.863	3	.621	.421	.738
Error	94.338	64	1.474		
Total	25893.692	96			
Corrected Total	1045.904	95			

a. R Squared = .910 (Adjusted R Squared = .866)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ค่า b* ด้านเนื้อติดเปลือก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: b* peel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	203.275 ^a	31	6.557	5.662	.000
Intercept	142556.379	1	142556.379	1.231E5	.000
Temp	.037	1	.037	.032	.859
Treatment	.129	1	.129	.111	.740
Plastic	.236	1	.236	.204	.653
Time	182.396	3	60.799	52.495	.000
Temp * Treatment	.419	1	.419	.362	.550
Temp * Plastic	.116	1	.116	.100	.752
Temp * Time	4.855	3	1.618	1.397	.252
Treatment * Plastic	1.799	1	1.799	1.553	.217
Treatment * Time	.252	3	.084	.073	.974
Plastic * Time	2.804	3	.935	.807	.495
Temp * Treatment * Plastic	.004	1	.004	.003	.955
Temp * Treatment * Time	.475	3	.158	.137	.938
Temp * Plastic * Time	.702	3	.234	.202	.895
Treatment * Plastic * Time	4.085	3	1.362	1.176	.326
Temp * Treatment * Plastic * Time	4.966	3	1.655	1.429	.242
Error	74.123	64	1.158		
Total	142833.777	96			
Corrected Total	277.398	95			

a. R Squared = .733 (Adjusted R Squared = .603)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ค่าความแตกต่างของค่าสีด้านเนื้อติดเมล็ด (ΔE^*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ΔE^* flesh

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1945.666 ^a	31	62.763	7.147	.000
Intercept	3462.363	1	3462.363	394.254	.000
Temp	61.009	1	61.009	6.947	.011
Treatment	243.812	1	243.812	27.762	.000
Plastic	14.099	1	14.099	1.605	.210
Time	1185.110	3	395.037	44.982	.000
Temp * Treatment	118.082	1	118.082	13.446	.001
Temp * Plastic	1.394	1	1.394	.159	.692
Temp * Time	41.993	3	13.998	1.594	.200
Treatment * Plastic	4.784	1	4.784	.545	.463
Treatment * Time	92.120	3	30.707	3.497	.020
Plastic * Time	15.596	3	5.199	.592	.623
Temp * Treatment * Plastic	.974	1	.974	.111	.740
Temp * Treatment * Time	39.899	3	13.300	1.514	.219
Temp * Plastic * Time	68.835	3	22.945	2.613	.059
Treatment * Plastic * Time	23.459	3	7.820	.890	.451
Temp * Treatment * Plastic * Time	34.500	3	11.500	1.310	.279
Error	562.052	64	8.782		
Total	5970.081	96			
Corrected Total	2507.718	95			

a. R Squared = .776 (Adjusted R Squared = .667)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ค่าความแตกต่างของค่าสีต้านเนื้อติดเปลือก (ΔE^*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ΔE^* peel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1165.582 ^a	31	37.599	1.957	.012
Intercept	1899.349	1	1899.349	98.872	.000
Temp	60.404	1	60.404	3.144	.081
Treatment	15.304	1	15.304	.797	.375
Plastic	1.862	1	1.862	.097	.757
Time	734.665	3	244.888	12.748	.000
Temp * Treatment	1.208	1	1.208	.063	.803
Temp * Plastic	.033	1	.033	.002	.967
Temp * Time	111.255	3	37.085	1.930	.134
Treatment * Plastic	8.742	1	8.742	.455	.502
Treatment * Time	9.964	3	3.321	.173	.914
Plastic * Time	10.880	3	3.627	.189	.904
Temp * Treatment * Plastic	18.436	1	18.436	.960	.331
Temp * Treatment * Time	.644	3	.215	.011	.998
Temp * Plastic * Time	2.491	3	.830	.043	.988
Treatment * Plastic * Time	114.144	3	38.048	1.981	.126
Temp * Treatment * Plastic * Time	75.551	3	25.184	1.311	.279
Error	1229.458	64	19.210		
Total	4294.390	96			
Corrected Total	2395.040	95			

a. R Squared = .487 (Adjusted R Squared = .238)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ค่าความแน่นเนื้อ (g/cm²)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Firmness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30702.856 ^a	31	990.415	3.090	.000
Intercept	1888247.461	1	1888247.461	5.891E3	.000
Temp	142.155	1	142.155	.444	.508
Treatment	2422.251	1	2422.251	7.557	.008
Plastic	315.085	1	315.085	.983	.325
Time	13118.213	3	4372.738	13.643	.000
Temp * Treatment	717.883	1	717.883	2.240	.139
Temp * Plastic	23.940	1	23.940	.075	.786
Temp * Time	2435.592	3	811.864	2.533	.065
Treatment * Plastic	3945.227	1	3945.227	12.309	.001
Treatment * Time	2359.188	3	786.396	2.454	.071
Plastic * Time	1848.429	3	616.143	1.922	.135
Temp * Treatment * Plastic	19.440	1	19.440	.061	.806
Temp * Treatment * Time	633.372	3	211.124	.659	.580
Temp * Plastic * Time	1140.788	3	380.263	1.186	.322
Treatment * Plastic * Time	1440.433	3	480.144	1.498	.224
Temp * Treatment * Plastic * Time	140.860	3	46.953	.146	.932
Error	20512.708	64	320.511		
Total	1939463.025	96			
Corrected Total	51215.564	95			

a. R Squared = .599 (Adjusted R Squared = .405)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ปริมาณกรดซิตริก (%)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Citric acid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.393 ^a	31	.045	2.727	.000
Intercept	8.845	1	8.845	536.954	.000
Temp	.010	1	.010	.583	.448
Treatment	.219	1	.219	13.264	.001
Plastic	.003	1	.003	.158	.692
Time	.815	3	.272	16.493	.000
Temp * Treatment	.001	1	.001	.036	.849
Temp * Plastic	.008	1	.008	.490	.487
Temp * Time	.019	3	.006	.377	.770
Treatment * Plastic	.001	1	.001	.057	.812
Treatment * Time	.088	3	.029	1.782	.160
Plastic * Time	.060	3	.020	1.205	.315
Temp * Treatment * Plastic	.000	1	.000	.009	.924
Temp * Treatment * Time	.054	3	.018	1.091	.359
Temp * Plastic * Time	.032	3	.011	.648	.587
Treatment * Plastic * Time	.007	3	.002	.147	.931
Temp * Treatment * Plastic * Time	.078	3	.026	1.573	.204
Error	1.054	64	.016		
Total	11.292	96			
Corrected Total	2.447	95			

a. R Squared = .569 (Adjusted R Squared = .360)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ปริมาณวิตามินซี (mg / 100 g fresh weight)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ascorbic acid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	186.234 ^a	31	6.008	345.344	.000
Intercept	1430.979	1	1430.979	8.226E4	.000
Temp	1.000	1	1.000	57.509	.000
Treatment	32.900	1	32.900	1.891E3	.000
Plastic	.350	1	.350	20.144	.000
Time	100.285	3	33.428	1.922E3	.000
Temp * Treatment	.167	1	.167	9.581	.003
Temp * Plastic	1.127	1	1.127	64.766	.000
Temp * Time	1.902	3	.634	36.447	.000
Treatment * Plastic	.015	1	.015	.862	.357
Treatment * Time	12.287	3	4.096	235.441	.000
Plastic * Time	8.495	3	2.832	162.786	.000
Temp * Treatment * Plastic	.004	1	.004	.216	.644
Temp * Treatment * Time	10.622	3	3.541	203.545	.000
Temp * Plastic * Time	5.504	3	1.835	105.469	.000
Treatment * Plastic * Time	1.191	3	.397	22.818	.000
Temp * Treatment * Plastic * Time	10.384	3	3.461	198.970	.000
Error	1.113	64	.017		
Total	1618.326	96			
Corrected Total	187.347	95			

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	Between Groups	125.000	18	6.944	1.204	.373
	Within Groups	75.000	13	5.769		
	Total	200.000	31			
Treatment	Between Groups	5.000	18	.278	1.204	.373
	Within Groups	3.000	13	.231		
	Total	8.000	31			
Plastic	Between Groups	5.000	18	.278	1.204	.373
	Within Groups	3.000	13	.231		
	Total	8.000	31			
Time	Between Groups	132.000	18	7.333	3.405	.015
	Within Groups	28.000	13	2.154		
	Total	160.000	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	Between Groups	132.143	20	6.607	1.071	.470
	Within Groups	67.857	11	6.169		
	Total	200.000	31			
Treatment	Between Groups	4.786	20	.239	.819	.665
	Within Groups	3.214	11	.292		
	Total	8.000	31			
Plastic	Between Groups	4.286	20	.214	.635	.818
	Within Groups	3.714	11	.338		
	Total	8.000	31			
Time	Between Groups	146.000	20	7.300	5.736	.002
	Within Groups	14.000	11	1.273		
	Total	160.000	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	Between Groups	144.444	19	7.602	1.642	.191
	Within Groups	55.556	12	4.630		
	Total	200.000	31			
Treatment	Between Groups	5.778	19	.304	1.642	.191
	Within Groups	2.222	12	.185		
	Total	8.000	31			
Plastic	Between Groups	5.778	19	.304	1.642	.191
	Within Groups	2.222	12	.185		
	Total	8.000	31			
Time	Between Groups	148.444	19	7.813	8.113	.000
	Within Groups	11.556	12	.963		
	Total	160.000	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ปริมาณแบคทีเรีย Total plate count (TPC)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	Between Groups	150.000	24	6.250	.875	.629
	Within Groups	50.000	7	7.143		
	Total	200.000	31			
Treatment	Between Groups	6.000	24	.250	.875	.629
	Within Groups	2.000	7	.286		
	Total	8.000	31			
Plastic	Between Groups	6.000	24	.250	.875	.629
	Within Groups	2.000	7	.286		
	Total	8.000	31			
Time	Between Groups	160.000	24	6.667		
	Within Groups	.000	7	.000		
	Total	160.000	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ปริมาณยีสต์และรา Potato dextrose agar (PDA)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	Between Groups	119.444	21	5.688	.706	.760
	Within Groups	80.556	10	8.056		
	Total	200.000	31			
Treatment	Between Groups	4.778	21	.228	.706	.760
	Within Groups	3.222	10	.322		
	Total	8.000	31			
Plastic	Between Groups	5.278	21	.251	.923	.583
	Within Groups	2.722	10	.272		
	Total	8.000	31			
Time	Between Groups	126.000	21	6.000	1.765	.178
	Within Groups	34.000	10	3.400		
	Total	160.000	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อ วันที่

ผลิตภัณฑ์ ฝรั่งเศสตัดแต่ง

คำแนะนำ กรุณาให้คะแนนความชอบโดยการระบุเป็นตัวเลข และ ✓ เลือกระดับความพอดีในแต่ละปัจจัยคุณภาพ

เกณฑ์การให้คะแนนความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = เฉยๆ

4 = ชอบเล็กน้อย

5 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนความชอบ	น้อยไป	พอดีไป	มากไป
สี				
กลิ่น				
ความแน่นของเนื้อฝรั่ง				
ความชอบโดยรวม				

วิจารณ์

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางระจิตร สุวพานิช
(ภาษาอังกฤษ) Mrs.Rachit Suwapanich
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน. 3 1014 02389 54 3
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 0 2329 8526 โทรสาร 0 2329 8526

E-mail : kcrachit@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับและสาขา	ปีที่จบ	สถาบันการศึกษา
ปริญญาตรี สาขาชีววิทยา	พ.ศ. 2532	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปริญญาโท สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	พ.ศ. 2536	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปริญญาเอก สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	พ.ศ. 2550	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ปาริชาติ เทียนจุมพล ระจิตร สุวพานิช และวิชา สะอาดสุด. 2551. การตอบสนองของอาการสะท้อนหนาวในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์สาขาเกษตร ปีที่ 9 ฉบับที่3(พิเศษ) หน้า 58-61

Suwapanich, R. and Haewsungcharern, M. 2005. Modeling of Internal Temperature in Mango Fruit by Thermal Properties". 5th National Horticultural Conference. 26-29 April 2005. Welcome Beach Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.

Suwapanich, R. and Haewsungcharern, M. 2005. Effect of Storage Temperature on Thermal Properties of mango cv. Nam Dok Mai Si Thong. Tropentag 2005. "Conference on International Agricultural Research for Development" Stuttgart Hohenheim, October 11-13, 2005

Suwapanich, R. and Haewsungcharern, M. 2005. Application of Thermal Properties for Predict Chilling Injury in Mango Fruits cv. Nam Dok Mai Si Thong". 31st Congress on Science and Technology of Thailand (STT 2005). 18 - 20 October 2005 at Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suwapanich, R. and Haewsungcharern, M. 2005. Prediction of Internal Temperature in Mango Fruit using Thermal Properties”. 4th National Seminar on Postharvest/post production Technology 8-9 June 2006. The Empress Hotel, Chiang Mai Thailand.

7. ประสบการณ์อื่นๆ/การอบรม

1. Training courses on “Short Course on Near Infrared Spectroscopy and Its Applications on Persihable Crops and Grain” 28-30 June 2005
2. Training courses on “Quality of Plant Products and Foods: determination of components and processing properties” 18-18 November 2005
3. Training courses on “Fresh-cut Fruit and Vegetable Processing” 14-16 March 2007
4. Training courses on “ Near Infrared Spectroscopy Application on Industrial Agricultural Products” 29-31 August 2007
5. Training courses on “Wax Microemulsion Coatings: Preparation and Emulsion” 30 November – 1 December 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้