การพัฒนาต้นแบบกระบวนการแปรรูปข้าวเหนียวนึ่งด้วยความร้อนสู่ระดับอุตสาหกรรม

DEVELOPMENT FOR THERMAL PROCESSING OF GLUTINOUS RICE ROASTED IN BAMBOO JOINT TO COMMERCIAL SCALE

นายกฤษ ต้านไพรี

นางสาวพรนภา ภิญโญ

นางสาวอัฐมาศ เสถียรกิจวณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนสู่เชิงพาณิชย์

DEVELOPMENT FOR THERMAL PROCESSING OF GLUTINOUS RICE ROASTED IN BAMBOO JOINT TO COMMERCIAL SCALE

นายกฤช ต้านไพรี

นางสาวณชนก ภิญโญ

นางสาวณัฐนารี เสถียรกิจวณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT FOR THERMAL PROCESSING OF GLUTINOUS RICE ROASTED IN BAMBOO JOINT TO COMMERCIAL SCALE

KRIS TANPAIREE

NACHANOK PINYO

NATNAREE SATIENKIJWANICH

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนสู่เชิงพาณิชย์

DEVELOPMENT FOR THERMAL PROCESSING OF GLUTINOUS RICE ROASTED IN BAMBOO JOINT TO COMMERCIAL SCALE

ผู้จัดทำ

1. นายกฤช ด้านไพรี รหัสนักศึกษา 53010033
2. นางสาวณชนก ภิญโญ รหัสนักศึกษา 53010416
3. นางสาวณัฐนารี เสถียรกิจวณิชย์ รหัสนักศึกษา 53010467

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนสู่เชิงพาณิชย์

โดย นายกฤช ต้านไพรี รหัสนักศึกษา 53010033
นางสาวณชนก ภิญโญ รหัสนักศึกษา 53010416
นางสาวณัฐนารี เสถียรกิจวณิชย์ รหัสนักศึกษา 53010467

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหลามในกระบอกไม้ไผ่ด้วยความร้อนสู่เชิงพาณิชย์ มีการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพดังนี้ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก (Citric acid, $C_6H_8O_7$) ที่มีความเข้มข้น (ร้อยละ 0, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก) และการพักข้าวหลังการนึ่งที่เวลา 0, 45 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 120°c โดยกำหนดเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) เป็น 8 นาที หลังจากผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางคุณภาพต่างๆดังนี้ การทดสอบความแข็ง (Hardness), การวัดสี(Whiteness index), ค่าการยึดติด (Adhesiveness) และวัดความเป็นกรดด่าง (pH) ปัจจัยที่ให้ผลเป็นที่น่ายอมรับที่สุด คือ ปริมาณความเข้มข้นของกรดซิตริกร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และการพักข้าวที่ 45 นาที โดยได้ผลจากการทดสอบดังนี้ ความแข็ง 12774.62±2580.47 g, ค่าการยึดติด 763.32±26.7939 gs, สี 20.84±0.0798 และค่า pH 4.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title Development for thermal processing of glutinous rice roasted in bamboo joint to commercial scale

By Mr. Kris Tanpairee ID : 53010033
Miss Nachanok Pinyo ID : 53010416
Miss Natnaree Satienkijwanich ID : 53010467

Degree Bachelor degree in Food Engineering
Department of Food Engineering
Faculty of Food Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Advisor Asst.Prof.Dr. Pimpen Pornchaloempong

Academic year 2013

Abstract

The objective of this study was for developing the prototype processes for glutinous rice roasted in bamboo joint. Effects of processing parameters including citric acid concentration (0, 1 and 2% (w/w)) and conditioning of glutinous rice after steaming for 0, 45 and 60 minutes at room temperature were investigated. The products were commercially sterilization at 120°c to achieve F_0 of 8 minutes. After the sterilization process, qualities of the products including hardness, adhesiveness, whiteness index and pH were measured. The optimized parameter which gave satisfied overall product's qualities were using 2% citric acid concentration and conditioning for 45 minutes. The products had hardness of 12774.62±2580.47 g., adhesiveness of 763.32±26.7939 gs., whiteness index of 20.84±0.0798 and pH of 4.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งช่วยปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณดิศรณ์ มาริษชัย และ คุณสุรัชนี มาริษชัย ผู้ประกอบการทางบริษัท ขนมแม่เอย-เปี๊ยะแอนด์พาย (2003) จำกัด ที่ได้ให้แง่คิดในการทำผลิตภัณฑ์นี้จนสามารถก่อให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้น

ขอขอบคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งความห่วงใยและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ, คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัยและข้อมูลในด้านเอกสารทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณขวัญใจ เสถียรกิจวณิชย์ ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุน รวมถึงการจัดหาซื้อวัสดุอุปกรณ์ ต่างๆ ในการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้อย่างเต็มที่

ขอขอบคุณออมสิน สัตยกุล ผู้ประกอบการทางบริษัท รอแยลแคนอินดัสทรีส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อถุงรีทอร์ทเพาช์ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยสอบถามความก้าวหน้าของโครงงานสุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กฤช ต้านไพรี
ณชนก ภิญโญ
ณัฐนารี เสถียรกิจวณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ปกในภาษาไทย	I
ปกในภาษาอังกฤษ	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วัตถุดิบ	3
2.1.1 ข้าวเหนียว	3
2.1.2 น้ำกะทิ	3
2.1.3 น้ำตาล	3
2.1.4 เกลือ	4
2.1.5 ถั่วดำ	4
2.1.6 เผือก	4
2.1.7 กรดซิตริก	4
2.2 การแบ่งประเภทอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทที่ใช้ความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อ	5
2.2.1 อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำ	5
2.2.2 อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีความเป็นกรด	5
2.2.3 อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีค่า a_w เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.85 ไม่ว่าจะมี pH สูงหรือต่ำกว่า 4.5	5
2.3 ประเภทของการใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหาร	6
2.3.1 การพาสเจอไรส์	6
2.3.2 การสเตอริไลส์	6
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหาร	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1 การถ่ายเทความร้อน	7
2.4.1.1 การนำความร้อน	7
2.4.1.2 การพาความร้อน	8
2.4.2 การแทรกซึมความร้อนในอาหาร	8
2.5 หลักการสเตอริไลส์อาหาร	9
2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์	9
2.5.1.1 สมบัติของอาหาร	9
2.5.1.2 ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์	9
2.5.1.3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหาร	10
2.5.1.4 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนในอาหาร	10
2.5.2 จุลินทรีย์กับการสเตอริไลส์	10
2.6 การคำนวณเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อในอาหารด้วยความร้อน	10
2.6.1 ค่า D-Value	10
2.6.2 ค่า Z-Value	11
2.6.3 ค่า F-Value	11
2.7 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข	11
2.8 การเติมสารละลายกรดซิตริก ก่อนบรรจุลงกระบอกไม้ไผ่	12
2.9 การพักข้าวเหนียวหลังการนึ่ง	12
บทที่ 3 การหาสูตรและกรรมวิธีการผลิตข้าวหลามเบื้องต้น	13
3.1 วัตถุดิบ	13
3.1.1 กระบอกไม้ไผ่	13
3.1.2 กะทิ	13
3.1.3 ข้าวเหนียว	13
3.1.4 เผือก	13
3.1.5 ถั่วดำ	13
3.1.6 การต้มผสม	14
3.2 วิธีการทดลอง	14
3.2.1 การเตรียมกระบอกไม้ไผ่	14
3.2.2 การผลิตข้าวหลาม	15
3.2.3 การเตรียมน้ำกะทิผสม	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.4 การหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด (Cold point)	17
3.2.5 การหาเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0)	18
3.3 การตรวจคุณภาพ	19
3.3.1 การวัดเนื้อสัมผัส	19
3.3.2 การวัดสี	19
3.3.3 การวัดความเป็นกรดด่าง	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	20
4.1 การวัดเนื้อสัมผัส	20
4.2 การวัดสี	28
4.3 การวัดความเป็นกรดด่าง	30
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ตารางที่		หน้า
3.1	แผนผังกระบวนการเตรียมกระบอกไม้ไผ่	14
3.2	แผนผังกระบวนการผลิตข้าวหลาม	15
3.3	แผนผังการเตรียมน้ำกะทิผสม	16
3.4	ตำแหน่งการวัดหาจุดที่ร้อนช้าที่สุดของข้าวหลามบรรจุในกระบอกไม้ไผ่	17
3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ระหว่างการฆ่าเชื้อข้าวหลามเพื่อหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด	17
3.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า F_0 และเวลา ระหว่างการฆ่าเชื้อกระบอกข้าวหลาม	18
4.1	ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	20
4.2	ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	21
4.3	ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน	22
4.4	ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด.	23
4.5	ค่าความเหนียวของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	24
4.6	ค่าความเหนียวของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	25
4.7	ค่าความเหนียวของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน	26
4.8	ค่าความเหนียวของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด	27
4.9	ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ตารางที่		หน้า
4.10	ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	28
4.11	ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน	29
4.12	ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด	29
4.13	ค่า pH ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	30
4.14	ค่า pH ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อาหารไทยเป็นอาหารที่มีรสชาติเฉพาะ ผู้ทำจะต้องมีความพิถีพิถัน ประณีต มีขั้นตอนในการทำเพื่อให้อาหารน่ารับประทาน ผู้คนส่วนใหญ่ทั้งในและต่างประเทศต่างนิยมชมชอบในอาหารไทยกันมากมาย โดยเฉพาะชื่อเสียงในด้านความเข้มข้น และจัดจ้านของรสอาหารที่ติดปากติดใจผู้คนมานับศตวรรษ

ตามที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมครัวไทยให้เป็นครัวโลก (Kitchen of the world) โดยมุ่งส่งเสริมให้อาหารไทยเป็นหนึ่งในอาหารที่ได้รับความนิยมทั่วโลก และข้าวหลามก็จะเป็นอาหารหวานของไทยอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่จะส่งออกไปทั่วโลก ให้ทุกคนได้ลิ้มรสถึงเอกลักษณ์ของข้าวหลามไทย คือ ข้าวหลาม เป็นอาหารหวานของไทยที่ทำมาจากข้าวเหนียวขาวหรือข้าเหนียวดำ ผสมกับกะทิ น้ำตาล และเกลือ อาจมีส่วนผสมอื่น เช่น ถั่วดำ หรือเผือก ทำให้สุกด้วยการเผาไฟหรือที่เรียกว่า การหลาม เมื่อสุกจะมีเยื่อไม้ไผ่บางๆหุ้มตัวข้าวเหนียว มีรสชาติหวานมัน มีกลิ่นหอมจากกะทิ และกลิ่นหอมจากตัวเยื่อไผ่ เมื่อสุกจะมีเยื่อไผ่หุ้มตัวข้าวเหนียว ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวแต่ข้อจำกัดที่สำคัญของข้าวหลาม คือ สามารถเก็บได้เพียง 1-2 วัน เนื่องจากเป็นประเภทอาหารที่มีกรดต่ำ มีค่า pH > 0.45 และมีค่า a_w > 0.85 ทำให้มีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องนำไม้ไผ่มาตั้งคอยไว้ อาจจะมีการปนเปื้อนจากสัตว์ แมลง และฝุ่นละออง ซึ่งทำให้เกิดอันตราย และเป็นที่ไม่พึงประสงค์ จึงทำให้ไม่สามารถจัดจำหน่าย หรือส่งออกไปต่างประเทศได้

แม้ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ข้าวหลามบรรจุกระป๋องจำหน่ายในท้องตลาดอยู่บ้างแล้ว แต่ยังคงขาดความเป็นเอกลักษณ์ของข้าวหลามไป งานวิจัยนี้เป็นโจทย์ความต้องจากทางบริษัท ขนมแม่เอย ตั้งอยู่ที่ 5-7 ถนนบำรุงเมือง แขวงศาลเจ้าพ่อเสือ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200 เป็นบริษัทผลิตขนมหวานไทย ต้องการสร้างนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม ที่ยังคงความเป็นเอกลักษณ์ ของข้าวหลามอยู่ โดยบรรจุในกระบอกไม้ไผ่ และมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 1 ปี สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อสะดวกในการบริโภคและการขนส่งออกไปจัดจำหน่ายได้กว้างขวางหลากหลายประเทศทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อหาสูตรพื้นฐานและกรรมวิธีการผลิตข้าวหลามเบื้องต้น

2. เพื่อศึกษาหาปัจจัยของปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกที่ 0%, 1% และ 2% (โดยน้ำหนัก) และระยะพักข้าวที่ 0, 45 และ 60 นาที ว่ามีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

3. เพื่อหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด รวมทั้งกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในระดับเชิงพาณิชย์ (Commercial sterilization)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนในระดับการค้า (Commercial sterilization) ที่บรรจุในกระบอกไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 นิ้ว และมีความยาวประมาณ 7 นิ้ว โดยศึกษาผลของปัจจัยที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวในข้าวหลาม ดังนี้ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกที่ 0%, 1% และ 2% (โดยน้ำหนัก) และระยะเวลาในการพักข้าวหลังการนึ่งที่มี 3 ระดับได้แก่ 30, 45 และ 60 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบกระบวนการผลิตข้าวหลาม และต้นแบบของผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม

2. ได้สูตรที่เหมาะสมในการผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนในระดับการค้า ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3. ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนที่มีอายุการเก็บรักษา 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียว (Sticky rice หรือ Glutinous rice) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* var. glutinosa เป็นข้าว (rice) ที่มีลักษณะเด่นคือเนื้อสัมผัสของข้าวซึ่งมีการติดกันระหว่างเมล็ดของข้าวที่หุงสุกแล้ว เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลเพกทิน (amylopectin) สูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเจ้า

ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศไทย และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากบริโภคโดยตรงแล้ว ยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมคบเคี้ยว (พิมพ์เพ็ญ, 2554)

2.1.2 น้ำกะทิ

น้ำกะทิคือ ของเหลวที่ได้จากการใช้น้ำคั้น หรือ สกัด (extraction) ส่วนเนื้อแก่ของมะพร้าว มีส่วนประกอบหลักคือ ไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปของอิมัลชัน (emulsion) และของแข็งต่างๆ เช่น โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ เป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ได้จากการบีบคั้นเนื้อมะพร้าวขูด โดยการเติมหรือไม่เติมน้ำ ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำกะทิคือ น้ำมัน น้ำ โปรตีน และน้ำตาล อยู่รวมกันเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ความเข้มข้นของน้ำกะทิขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำกะทิ เมื่อตั้งทิ้งไว้จะแยกชั้นเป็นหัวกะทิและหางกะทิ โดยความหนาของชั้นหัวกะทิแสดงถึงความเข้มข้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกะทิมีปริมาณน้ำมันมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีน โปรตีนไม่เพียงพอที่จะดึงน้ำมันให้กระจายแขวนลอยอยู่ทั่วไป

น้ำกะทิสดได้จากการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่อง แล้วเก็บรักษาด้วยความเย็นทันที ความเย็นสามารถรักษาน้ำกะทิจากการเน่าเสีย สามารถเก็บรักษาได้นาน 1-2 วัน แต่รสชาติจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย จึงนิยมจำหน่ายวันต่อวัน อุณหภูมิห้องเย็นในการเก็บรบักษาต้องไม่ต่ำเกินไปจนเกิดผลึกน้ำแข็ง เพราะจะทำให้เนื้อสัมผัสของน้ำกะทิเปลี่ยนไปคือ มีตะกอนโปรตีนแยกตัวและให้ลักษณะเนื้อเป็นทราย การขนส่งจะต้องรักษาอุณหภูมิด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีความเสี่ยงจากการเน่าเสียมาก (พิมพ์เพ็ญ, 2555)

2.1.3 น้ำตาล

น้ำตาลคือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกหลายแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของน้ำตาล เช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลกรวด น้ำตาลก้อน น้ำตาลปีบ เป็นต้น แต่ในทางเคมีโดยทั่วไปหมายถึง ซูโครส หรือ แซคคาโรส ไดแซคคาไรด์ ที่มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว น้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

เป็นสารเพิ่มความหวานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนมหวาน และเครื่องดื่ม ในทางการค้าน้ำตาลผลิตจากอ้อย ต้นตาล ต้นมะพร้าว ต้นเมเปิ้ลน้ำตาล และหัวบีท ฯลฯ ซึ่งนอกจากจะช่วยให้อาหารมีรสหวานแล้ว น้ำตาลทรายยังใช้ในการถนอมอาหารและหมักอาหารได้อีกด้วย

2.1.4 เกลือ

เกลือ (salt) หมายถึงเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายเพื่อเป็นเครื่องปรุงรส หรือใช้เพื่อการถนอมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (salt curing) ช่วยลดแอคทิวิตี้ของน้ำ (water activity) ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อาหารที่มีปริมาณเกลือสูง ได้แก่ กะปิ กุ้งแห้ง น้ำปลา ปลาร้า ปลาจ่อม (พิมพ์เพ็ญ, 2556)

2.1.5 ถั่วดำ

ถั่วดำคือ ถั่วเขียวผิวดำ เป็นพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) เป็นถั่วเมล็ดแห้ง (legume) ที่ใช้เมล็ดแห้งซึ่งแก่จัดเพื่อบริโภค นำไปแปรรูปเป็นอาหารหวานได้หลายชนิด

2.1.6 เผือก

เผือกประกอบด้วยแป้งมากมาย เนื้อละเอียด องค์ประกอบของหัวเผือกโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้นร้อยละ 63-85 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13-29 โปรตีนร้อยละ 1.4-3.0 ไขมันร้อยละ 0.16-0.36 เส้นใยร้อยละ 0.60-1.68 เถ้าร้อยละ 0.6-1.3 มีวิตามินซีมากประมาณ 7-9 มิลลิกรัม / 100 กรัม ของส่วนที่ทานได้ ไทอามีน ประมาณ 0.8 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน 0.04 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.9 มิลลิกรัม

2.1.7 กรดซิตริก

กรดซิตริก(citric acid) เป็นกรดอินทรีย์(organic acid) เป็นกรดอ่อน (Weak acid) มีสูตรโมเลกุล $C_6H_{10}O_8$ พบตามธรรมชาติในอาหารหลายชนิดได้แก่ พืชตระกูลส้ม (citrus) เช่น ส้ม มะนาว และผลไม้หลายชนิด มะนาวมีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบ 7-9 เปอร์เซ็นต์ กรดซิตริก เป็นวัตถุเจือปนอาหาร(food additive) ที่ใช้อย่างกว้างขวางในอาหาร และเครื่องดื่ม

กรดซิตริกใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยมีบทบาทสำคัญในการปรับให้อาหารมีรสเปรี้ยว ปรับภาวะความเป็นกรดโดยใช้ปรับค่าพีเอชของอาหารให้เป็นอาหารปรับกรด(acidified food) ปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ใช้ในเครื่องปรุงรส (seasoning) ลูกอม ลูกกวาด เป็นสารกันหืน (anti oxidant) เป็นสารกันเสีย (preservative) เป็นสารจับโลหะ (chelating agent) เป็นสารทำความสะอาด (cleaning agent) (พิมพ์เพ็ญ, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแบ่งประเภทอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทที่ใช้ความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อ

การผลิตอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท (hermectically sealed containers) ที่ทำการฆ่าเชื้อด้วยระดับความร้อนจะใช้ค่า pH ของอาหารร่วมกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของอาหาร เพื่อการกำหนดระดับความร้อนที่เหมาะสมกับอาหารแต่ละประเภทดังนี้

2.2.1 อาหารในภาชนะปิ ดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำ

อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำ โดยมี pH สูงกว่า 4.5 และ a_w สูงกว่า 0.85 เช่น อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง แกงบรรจุกระป๋อง ข้าวโพดหรือผักในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง การที่อาหารมีค่า pH และ a_w ดังกล่าว ประกอบกับอาหารอยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศเนื่องจากถูกบรรจุในภาชนะปิดสนิท และถ้าหากอาหารนั้นผ่านความร้อนจากการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ จะเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ โดยเป็นสายพันธุ์ที่ทนความร้อนสูงและเจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ที่สำคัญได้แก่ คลอสตริเดียม บอทูลินัม ดังนั้นการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจึงต้องใช้ความร้อนสูงในระดับการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 120-110 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน -10 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระยะเวลาที่เหมาะสม จึงจะสามารถทำลายแบคทีเรียเป้าหมายนี้ได้

คลอสตริเดียม บอทูลินัม พบได้ในดิน มีรูปร่างเป็นท่อน ติดสีแกรมบวก สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ แบคทีเรียชนิดนี้สร้างสปอร์เพื่อทำให้สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในระยะพักจนกระทั่งเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ก็จะเจริญเป็นเซลล์แบคทีเรีย ในระยะนี้แบคทีเรียมีการเจริญและแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว และมีการสร้างสารพิษภายใน 3-4 วันในสภาวะที่เหมาะสมเช่น มีความชื้น สภาวะที่เป็นกรดต่ำ อุณหภูมิประมาณ 5-48 องศาเซลเซียส และมีออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 2

2.2.2 อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีความเป็นกรด

อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีความเป็นกรด ได้แก่ อาหารที่มี pH ต่ำกว่า 4.6 และ a_w สูงกว่า 0.85 ทั้งนี้สภาพความเป็นกรดของอาหารอาจเป็นสภาวะธรรมชาติของอาหารนั้นเองหรือมีการเติมวัตถุเจือปนอาหารชนิดกรดลงไปเพื่อปรับ pH ให้ต่ำกว่า 4.6 พบว่า ความเป็นกรดในอาหารทำให้จุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ไม่สามารถเจริญเติบโตและทำให้ความต้านทานความร้อนของแบคทีเรียชนิดนั้นลดลง การฆ่าเชื้ออาหารประเภทนี้จึงใช้ความร้อนที่อุณหภูมิระดับน้ำเดือดหรือต่ำกว่าเล็กน้อยโดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมกับอาหารแต่ละประเภท ก็จะสามารถทำลายแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ ตัวอย่างอาหารประเภทนี้ เช่น ผลไม้ในภาชนะปิดสนิท ผักดองในภาชนะปิดสนิท น้ำผลไม้ในภาชนะปิดสนิท

2.2.3 อาหารในภาชนะที่มีค่า a_w เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.85 ไม่ว่าจะมี pH สูงหรือต่ำกว่า 4.5

อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีค่า a_w เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.85 ไม่ว่าจะมี pH สูงกว่าหรือต่ำกว่า 4.5 เช่น น้ำผลไม้เข้มข้น นมข้นหวาน อาหารประเภทนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ระดับสเตอริไลส์ทางการค้าเช่นเดียวกับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากส่วนประกอบของอาหารประเภทนี้มีผลต่อการลดโอกาส หรืออาจมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบคทีเรียส่วนใหญ่มีค่า a_w ต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.88-0.91 เช่น ความเป็นกรดของน้ำผลไม้เข้มข้นของน้ำตาลที่เติมในน้ำผลไม้เข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

2.3 ประเภทของการใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหาร

การใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหารโดยทั่วไปมี 3 ประเภท ได้แก่ การลวก (blanching) การพาสเจอไรส์ (pasteurization) และการสเตอริไลส์ (sterilization) การลวกมักใช้เป็นขั้นตอนหนึ่งของการถนอมอาหารและแปรรูปอาหารจำพวกผัก ผลไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อไล่อากาศออกจากเนื้อเยื่อ และเพื่อรักษาสีของผักและผลไม้ให้คงไว้ มักใช้ในกระบวนการผลิตผักและผลไม้แปรรูป สำหรับการพาสเจอไรส์ และการสเตอริไลส์ มีจุดมุ่งหมายที่แตกต่างไปจากการลวก กล่าวคือมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในอาหารหรือเพื่อฆ่าเชื้อ

2.3.1 การพาสเจอไรส์

การพาสเจอไรส์ เป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าการสเตอริไลส์ โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิระดับจุดน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในช่วงต่ำกว่าจุดน้ำเดือด 60-85 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อนที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่เป็นกลุ่มเป้าหมายในอาหารประเภทต่างๆ และเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในอาหารที่ทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลง ตลอดจนเพื่อรักษาคุณภาพของอาหารไว้ให้ได้มากที่สุดอันเนื่องมาจากการที่อาหารไม่ได้รับความร้อนที่สูงเกินไปซึ่งเป็นข้อดีของการพาสเจอไรส์เมื่อเปรียบเทียบกับการสเตอริไลส์

เนื่องจากระดับความร้อนของการพาสเจอไรส์ไม่สูงมากนักจึงอาจพบกับการเหลือรอดของจุลินทรีย์ในสภาพเซลล์และสปอร์ที่มีความต้านทานความร้อนสูง โดยไม่ได้เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคแต่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้หากเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิปกติ ดังนั้นภายหลังการพาสเจอไรส์แล้วต้องใช้วิธีการถนอมอาหารรูปแบบอื่นเข้าช่วยซึ่งก็คือ การลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีโดยเติมเกลือหรือน้ำตาล การเติมวัตถุกันเสีย การเก็บรักษาโดยการแช่เย็น การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารและอายุการเก็บรักษาของอาหาร

2.3.2 การสเตอริไลส์

การสเตอริไลส์ เป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำเดือด โดยใช้เวลานานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรคทั้งเซลล์และสปอร์เพื่อทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิปกติได้เป็นเวลานาน จึงเป็นข้อดีของการสเตอริไลส์เมื่อเปรียบเทียบกับการพาสเจอไรส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิสูงจนเป็นผลให้อาหารปราศจากจุลินทรีย์และสปอร์ได้นั้นจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพอาหารจนทำให้อาหารนั้นไม่เป็นที่ยอมรับโดยเนื้อสัมผัสจะนิ่มเละ สีซีด และสารอาหารที่ไม่ทนความร้อนอาจสูญเสียไปจนเกือบหมด การสเตอริไลส์อย่างสมบูรณ์จึงทำได้ยาก และไม่ได้ใช้กันในทางปฏิบัติ

จากการศึกษาระดับความร้อนของการสเตอริไลส์ที่เหมาะสม จะทำให้อาหารมีความปลอดภัยต่อการบริโภค และคุณภาพของอาหารทั้งในด้านกายภาพ ประสาทสัมผัส และคุณค่าทางอาหารเป็นที่ยอมรับได้ เรียกการสเตอริไลส์แบบนี้ว่า การสเตอริไลส์ทางการค้า (commercial sterilization) ข้อกำหนดของการสเตอริไลส์ทางการค้ามีดังนี้

1. ต้องสามารถทำลายเซลล์และสปอร์ของแบคทีเรียที่สร้างสารพิษ ซึ่งรวมถึง คลอสตริเดียม บอทูลินัม และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่เหลือรอดในอาหาร
2. ต้องสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารทุกสายพันธุ์
3. ต้องสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ที่ทนความร้อน
4. ต้องสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียสภาพของอาหารภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ และจุลินทรีย์ชนิดที่อาจเหลือรอดในอาหารนั้นต้องไม่สามารถเจริญได้ในภายหลังภายใต้สภาวะการเก็บรักษาอาหารในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิปกติ

ดังนั้นอาหารในภาชนะปิดสนิทที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการสเตอริไลส์ทางการค้าจึงไม่ใช่อาหารที่ปลอดเชื้อโดยสิ้นเชิง แต่จุลินทรีย์ในสภาพเซลล์หรือสปอร์ที่อาจเหลือรอดในอาหารเป็นชนิดที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความร้อนในการถนอมและแปรรูปอาหาร ได้แก่ การถ่ายเทความร้อน (heat distribution) และการแทรกซึมความร้อน (heat penetration)

2.4.1 การถ่ายเทความร้อน (heat distribution)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถเคลื่อนที่หรือถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

การถ่ายเทความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารในภาชนะปิดสนิททั้งวิธีการพาสเจอไรส์ และการสเตอริไลส์มี 2 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน และการพาความร้อน

2.4.1.1 การนำความร้อน (heat conduction)

การนำความร้อน (heat conduction) เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่สัมผัสกัน โดยโมเลกุลเหล่านั้นไม่ได้เคลื่อนที่ เช่น โมเลกุลอาหารที่ร้อนกว่าชนโมเลกุลอาหารที่เย็นกว่า ความร้อนจะถูกถ่ายเทเมื่อโมเลกุลมีการชนกัน อัตราการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะช้าหรือเร็วขึ้นกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ของส่วนประกอบอาหารที่มีชิ้นอาหารอัดแน่นในภาชนะเช่น ชิ้นเนื้อ หรือของเหลวที่ข้นหนืดมาก เช่น ซุปข้น

2.4.1.2 การพาความร้อน (heat convection)

การพาความร้อน (heat convection) เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่เป็นของไหล (fluid) ซึ่งได้แก่ ของเหลว หรือแก๊ส ความร้อนถูกถ่ายเทรวดเร็วกว่ามากเมื่อเทียบกับการนำความร้อน

2.4.2 การแทรกซึมความร้อนในอาหาร (heat penetration)

การผลิตอาหารในภาชนะปิดสนิท เช่น กระป๋อง ขวดแก้ว และบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่ทนร้อน หรือเรียกว่า รีทอร์ตเพาช์ (Retort pouch) ต้องมีการศึกษาเรื่องการแทรกซึมความร้อนในอาหารเพื่อการกำหนดอุณหภูมิ และระยะเวลาของการฆ่าเชื้อที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ความร้อนมาจากแหล่งกำเนิดความร้อนในรูปน้ำร้อน ไอน้ำ หรือไอน้ำยวดยิ่ง (superheated steam) จะแทรกซึมไปยังภาชนะบรรจุและต่อเนื่องเข้าไปในอาหารที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ

ตำแหน่งของอาหารภายในภาชนะบรรจุที่ถือว่าร้อนช้าที่สุด (cold spot) เป็นประเด็นสำคัญของการฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทโดยใช้ความร้อน ทั้งนี้เพื่อการฆ่าเชื้ออาหารด้วยความร้อนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะมั่นใจได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์เป้าหมายที่อาจปนเปื้อนในอาหารถูกทำลาย ขณะเดียวกันที่ตำแหน่งอื่นๆ ในภาชนะบรรจุอาหารก็ได้รับความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เป้าหมายด้วยเช่นกัน

ตำแหน่งร้อนช้าที่สุดขึ้นกับชนิด ขนาด และรูปร่างของภาชนะบรรจุ รูปแบบการถ่ายเทความร้อนและการแทรกซึมความร้อนในอาหาร พบว่า

1.) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ซึ่งโมเลกุลของอาหารได้รับความร้อนช้า เช่น ครีมซุป ผักบรรจุกระป๋อง หรือเนื้อสัตว์บรรจุกระป๋องที่แทบจะไม่มีส่วนผสมที่เป็นของเหลวภายในกระป๋อง ตำแหน่งที่ร้อนช้าที่สุดอยู่ที่ใจกลางกระป๋องพอดี

2.) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ส่วนใหญ่เป็นอาหารเหลว เช่น ซุปใส อาหารที่มีส่วนประกอบหลักเป็นของเหลวและมีชิ้นอาหารเพียงเล็กน้อย ตำแหน่งร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ระดับประมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้วจากด้านล่างสำหรับกระป๋องขนาดเล็ก และระดับประมาณ 1นิ้วครึ่งจากด้านล่างกระป๋องขนาดใหญ่

3.) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนทั้งการพาและการนำความร้อน เช่น อาหารที่มีส่วนประกอบของชิ้นอาหารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีของเหลวอยู่พอสมควร ตำแหน่งร้อนช้าที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไม่แน่นอน แต่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำและตำแหน่งที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

2.5 หลักการสเตอริไลส์อาหาร

การสเตอริไลส์ในทางทฤษฎีมีวัตถุประสงค์สำคัญคือเพื่อทำลายเซลล์รวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ทำให้อาหารปลอดจากจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียโดยสิ้นเชิง เพื่อให้สามารถเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิปกติได้ แต่การได้รับความร้อนสูงมากจะทำให้คุณภาพของอาหารไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นในทางปฏิบัติอุตสาหกรรมอาหารใช้วิธีการสเตอริไลส์ทางการค้าซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเซลล์และสปอร์ของจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด รวมทั้งจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ดังนั้นภายหลังการสเตอริไลส์ทางการค้าแล้วสปอร์ที่ทนความร้อนสูงแต่เป็นสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ก่อให้เกิดโรคอาจหลงเหลืออยู่ได้ แต่ก็ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ภายใต้สภาพการเก็บรักษาตามปกติ

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์

การใช้ความร้อนระดับการสเตอริไลส์ทางการค้าเพื่อทำให้การฆ่าเชื้ออาหารเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ขึ้นกับปัจจัยต่างๆดังนี้

2.5.1.1 สมบัติของอาหาร

สมบัติของอาหารที่สำคัญได้แก่ pH ของอาหาร ความเป็นกรดในอาหารจะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญได้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด แต่ถ้าอาหารมี pH เป็นกลางจะมีโอกาสพบจุลินทรีย์ปนเปื้อนสูงกว่าเนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในสภาพ pH ที่เป็นกลาง

2.5.1.2 ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์

ถ้าเซลล์สปอร์ของจุลินทรีย์ที่มีความต้านทานความร้อนสูงปนเปื้อนในอาหารก่อนทำการฆ่าเชื้อ จะทำให้มีโอกาสพบเซลล์และสปอร์ของจุลินทรีย์นั้นในอาหารที่ผ่านการสเตอริไลส์แล้วหากกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

ในกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความต้านทานความร้อนสูง จุลินทรีย์ในสภาพสปอร์มีความต้านทานความร้อนสูงกว่าในสภาพเซลล์ ดังนั้นถ้าความร้อนที่ใช้เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ ก็จะมั่นใจได้ว่าอาหารนั้นไม่มีเซลล์เหลือรอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหาร

การถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อนและการพาความร้อน ขึ้นกับส่วนประกอบของอาหารว่าเป็นของเหลวล้วน หรือมีชิ้นอาหารเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์จึงต้องมั่นใจได้ว่าจะเพียงพอต่อการทำให้จุดร้อนช้าที่สุดในอาหารได้รับความร้อนที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาตามค่า F_0

2.5.1.4 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนในอาหาร

ถ้าอาหารมีปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนสูง จึงย่อมมีโอกาสสูงที่อาจจะพบจุลินทรีย์เหลือรอดที่ทนความร้อนสูงหลังการ สเตอริไลส์ดังนั้นในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนต้องดำเนินการตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต GMP เป็นพื้นฐาน เพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต

2.5.2 จุลินทรีย์กับการสเตอริไลส์

จุลินทรีย์เป้าหมายของการสเตอริไลส์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH > 4.6) ที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท ได้แก่ คลอสตริ เดียม บอทูลินัม ในสภาพเซลล์และสปอร์ เป็นแบคทีเรียที่มีอันตรายมากเนื่องจากสามารถสร้างสารพิษที่อันตรายถึงแก่ชีวิตของผู้บริโภคได้ ลักษะณะสำคัญของคลอสตริเดียม บอทูลินัม คือมีความต้านทานความร้อนสูง เจริญได้ในสภาพที่อากาศเล็กน้อย และในสภาพที่ไม่มีอากาศ เจริญได้ดีในอาหารที่มี pH เท่ากับหรือสูงกว่า 4.6 การผลิตอาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีค่า pH ดังกล่าวจึงต้องใช้ความร้อนที่สมบูรณ์ที่จะสามารถทำลายได้ทั้งเซลล์และสปอร์รวมทั้งสารพิษที่เชื้อชนิดนี้สร้างขึ้น บอทูลินัมทอกซินมีหลายชนิด สารพิษชนิดนี้ไม่ทนความร้อน สามารถทำลายได้ถ้าใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 นาที

2.6 การคำนวณเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อในอาหารด้วยความร้อน

การคำนวณหาเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อในอาหารด้วยความร้อน มีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำลายจุลินทรีย์ในอาหาร 3 ค่า ได้แก่ ค่า D ค่า Z และค่า F สัญลักษณ์เหล่านี้บอกให้ทราบถึงความต้านทานความร้อนของแบคทีเรียและบ่งชี้ว่าการให้ความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อนั้นๆ มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด

2.6.1 ค่า D (D value หรือ decimal reduction time หรือ death rate constant)

ค่า D หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้ร้อยละ 90 ของจำนวนเริ่มต้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระยะเวลาที่ลดจำนวนสปอร์ของจุลินทรีย์ได้หนึ่งในสิบของจำนวนเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า D ทำได้โดยใส่สปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนแน่นอนในภาชนะบรรจุแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่โดยใช้เวลานานต่างๆ กัน ข้อมูลที่ได้นำมาแสดงในรูปกราฟชนิดเซไมล็อกการิทึม (semilogarithmic graph) เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยแนวตั้ง (แกน Y) เป็นล็อคสเกล (log scale) แสดงจำนวนสปอร์ที่เหลือรอด ส่วนแนวนอน (แกน X) เป็นสเกลปกติแสดงเวลาที่ให้ความร้อน

ค่า D แปรผันตามชนิดและวิธีการเจริญของสปอร์ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังขึ้นกับสภาวะของการให้ความร้อน และชนิดของอาหารที่มีสปอร์อยู่ ถ้าสปอร์ทนความร้อนสูงแสดงว่า ค่า D จะยิ่งสูงขึ้นซึ่งยิ่งยากต่อการทำลาย ดังนั้นในการกำหนดระดับความร้อนจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้มากที่สุดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์อาหารนั้นและสภาพแวดล้อมของโรงงาน

2.6.2 ค่า Z (Z value)

ค่า Z คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเพื่อทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 10 เท่า หรือ 1 ล็อกไซเคิล ในการหาค่า D ของสปอร์จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งโดยแปรค่าอุณหภูมิแล้วแสดงข้อมูลในรูปของกราฟเซไมล็อกการิทึม โดยแกนในแนวตั้งคือค่า D และแกนในแนวนอนคือค่าอุณหภูมิ กราฟที่ได้เรียกว่า กราฟแสดงเวลาของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (thermal death time curve : TDT curve) จากกราฟนี้จะสามารถหาค่า Z ได้ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของจุลินทรีย์แต่ละชนิด

2.6.3 ค่า F (F value หรือ lethal value หรือ sterilizing value)

ค่า F คือ เวลา (หน่วยเป็นนาที) ของการให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่เพื่อทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ในอาหารที่ทราบจำนวนแน่นอน ภายใต้สภาวะที่กำหนด

กระบวนการฆ่าเชื้ออาหารภายในภาชนะปิดสนิทให้ความสำคัญกับค่า F_0 มาก ค่า F_0 ไม่เพียงแต่เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงระดับความร้อนที่ใช้เพื่อการฆ่าเชื้อในอาหาร แต่ยังเป็นดัชนีที่บอกถึงความยากง่ายของการสเตอริไลส์อาหารชนิดต่างๆ ด้วย

2.7 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 301 พ.ศ.2549 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท (ฉบับที่ 4) ความในข้อ 7/1 ระบุว่า ผู้ผลิตอาหารชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ คือมี pH มากกว่า 4.6 และค่าวอเตอร์แอกติวิตีมากกว่า 0.85 ต้องดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

1.) ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด (schedule process) โดยให้ค่า F_0 ไม่ต่ำกว่า 3 นาทีซึ่งเพียงพอในการทำลายสปอร์ของคลอสตริเดียม บอทูลินัม ทั้งนี้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดจะต้องมีการศึกษาทดสอบการกระจายความร้อนภายในเครื่องฆ่าเชื้อ (heat distribution) และอัตราการแทรกผ่านความร้อน (heat penetration) ณ สถานที่ผลิตแห่งนั้นตามหลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) เติมกรดหรือปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหารไม่เกิน 4.6 ทั้งนี้วิธีการปรับให้ได้สภาพความเป็นกรด-ด่างสมดุล (equilibrium pH) และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนด

2.8 การเติมสารละลายกรดซิตริก ก่อนการบรรจุลงกระบอกไม้ไผ่

การเติมสารละลายกรดซิตริก เพื่อให้เม็ดข้าวเหนียวทนทานต่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการสเตอริไรซ์ได้ โดยข้าวเหนียวที่เติมกรดซิตริกนั้นจะเกิดพันธะภายในมากกว่าข้าวเหนียวดิบ ทำให้เกิดเป็นผลึกที่แข็งขึ้นจาก การเรียงตัวของอะไมโลสที่ซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น การทำให้เกิดโพลิเมอร์ใหม่ระหว่างเกิดปฏิกิริยา และการทำให้ช่วงที่แป้งไม่เป็นรูปร่างหายไป (Sang Ick Shin, 2009)

2.9 การพักข้าวเหนียวหลังการนึ่ง

พักช่วงเวลาต่างกัน เพื่อให้เกิดรีโทรกราเดชั่นหรือการคืนตัวของสตาร์ช ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์มาแล้วปล่อยให้เย็นลง โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจลจะมีโมเลกุลเป็นสารแขวนลอยที่ไม่เสถียร จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสในสายและเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดนเจนเพื่อทำให้ระบบมีความเสถียรเพิ่มขึ้น แล้วขับน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล ทำให้เม็ดข้าวเหนียวเกิดพันธะใหม่จับตัวกันเกิดเป็นผลึกแข็ง ทำให้อาหารมีลักษณะแห้งแข็งขึ้น ทั้งโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินสามารถทำให้เกิดรีโทรกราเดชั่นได้ แต่ทั้งสองมีบทบาทในการเกิดที่ต่างกัน โดยอะไมโลสเกิดรีโทรกราเดชั่นได้อย่างรวดเร็วและเกิดในระยะแรกของการเก็บรักษาเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรง โมเลกุลจึงสามารถรวมตัวกันใหม่ได้อย่างรวดเร็วทำให้ระบบมีความเสถียรเพิ่มขึ้น ส่วนอะไมโลเพกตินมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรกราเดชั่นในระยะยาวการเกิดรีโทรกราเดชั่นจะใช้เวลานานเนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านทำให้เกิดการรวมตัวได้ยากกว่า โดยลำดับขั้นตอนการเกิดรีโทรกราเดชั่นของทั้งสองนี้จะประกอบด้วย การที่สายโมเลกุลอะไมโลสหรืออะไมโลเพกตินเกิดอันตรกิริยา (interaction) กัน แล้วสายโมเลกุลก็จะพันกันเป็นเกลียวคู่ (double helices) จากนั้นจะรวมตัวกันจนลักษณะเป็นผลึก (crystallization) และเกิดเป็นร่างแห (network) (ศันสนีย์ อุดมระติ, 2005; M.H.Ong, & Blanshard, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 กระบอกไม้ไผ่

สั่งซื้อจากจังหวัดกาญจนบุรี มีลักษณะเป็นลำยาวประมาณ 30 นิ้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ถึง 1 นิ้วครึ่ง นำมาตัดจนติดปล้องของกระบอกไม้ไผ่เป็นท่อนความยาวท่อนละ 7 นิ้ว โดยนับความยาวจากข้อไปจนถึงปลายกระบอก นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทั้งภายในและขัดกำจัดสิ่งสกปรกภายนอกกระบอกไม้ไผ่ แล้วจึงบรรจุใส่ถุงรีทอร์ทเพ้าช์ และปิดผนึกสุญญากาศแล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อแบบสเปรย์น้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

3.1.2 กะทิ

น้ำกะทิ ที่ซื้อมาจากตลาด ซึ่งเป็นส่วนของหัวกะทิที่ได้จากการคั้นมะพร้าวขูดแบบไม่เติมน้ำมาเคี่ยวกับน้ำตาลและเกลือจนน้ำตาลละลายจนหมด ซึ่งกะทิที่ซื้อมาหากยังไม่ใช้จะต้องเก็บไว้ในตู้เย็น จะเก็บได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง

3.1.3 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียวที่ใช้เป็นพันธุ์ กข6 (RD6) เนื่องจากหาง่ายตามท้องตลาดจำนวน 1,000 กรัม จากนั้นจะต้องนำข้าวเหนียวไปล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด และนำไปแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงก่อนนำไปนึ่ง

3.1.4 เผือก

เผือกทั้งหัวซื้อจากตลาดหนัก 125 กรัม ปอกเปลือกและนำมาล้างด้วยน้ำ แล้วจึงผ่าครึ่งตามยาวของหัวเป็น 5 ส่วนและหั่นอีกแนวหนึ่งตั้งฉากเป็นชิ้นขนาด 2 ซม. สูง 2 ซม. นำไปใส่ในหวดปิดฝานึ่งเป็นเวลา 30 นาที

3.1.5 ถั่วดำ

ถั่วดำจากตลาด ปริมาณ 125 กรัม นำมาแช่น้ำเปล่าภายในหม้อปริมาตร 0.5 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เทน้ำออกและสะเด็ดน้ำให้แห้งด้วยตะแกรงพักทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที นำไปต้มในหม้อปริมาตร 0.5 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นยกลงเทน้ำออกจากหม้อและพักทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปผสมกับข้าวเหนียวพร้อมน้ำกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 การต้มผสม

นำกะทิ 425 กรัม น้ำตาล 800 กรัม เกลือ 45 กรัม นำมาผสมกันพร้อมกับการนำไปต้มให้ละลาย แล้วเคี่ยวจนน้ำตาลละลายจนหมด แล้วจึงปิดไฟ

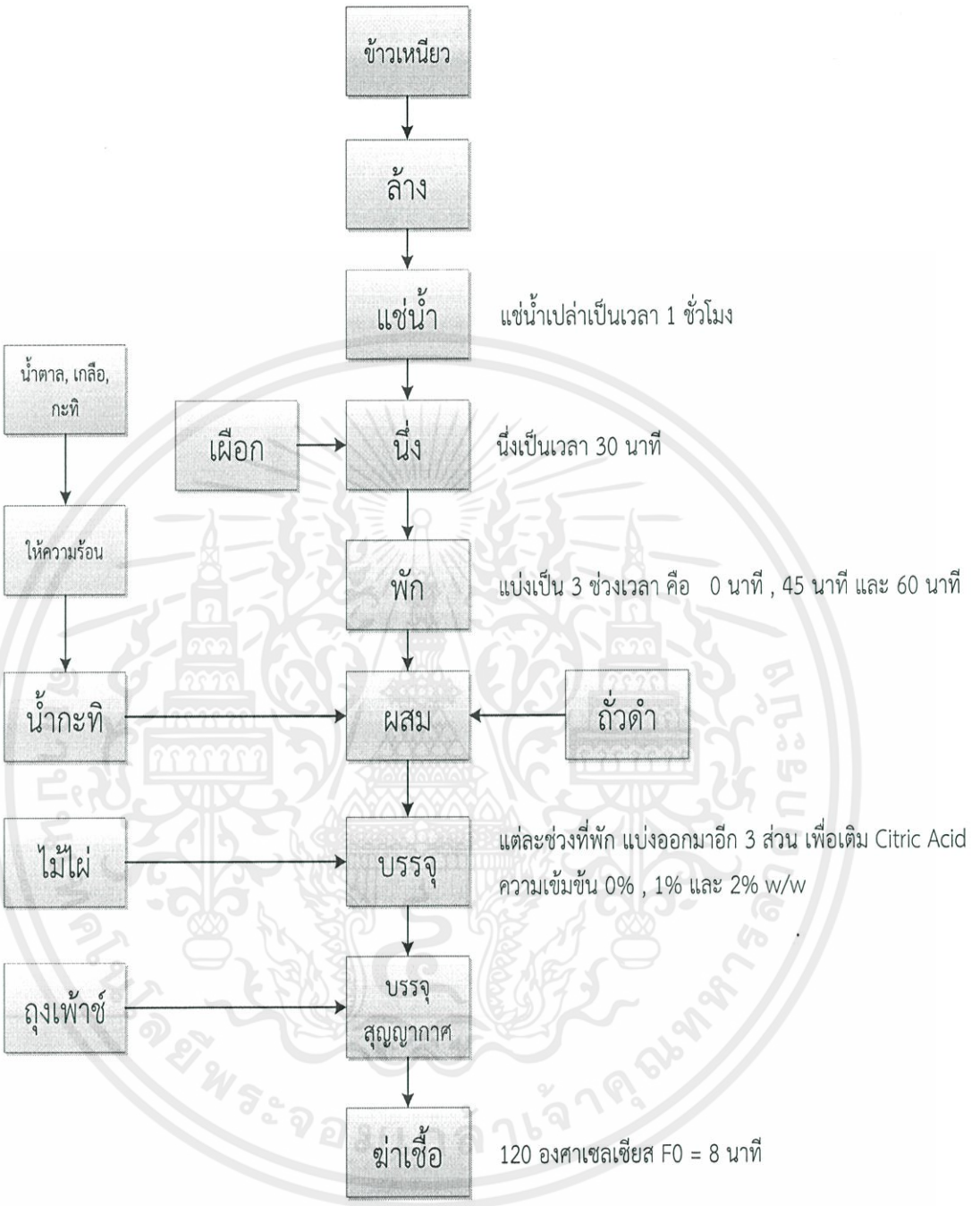
3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมกระบอกไม้ไผ่

รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการเตรียมกระบอกไม้ไผ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

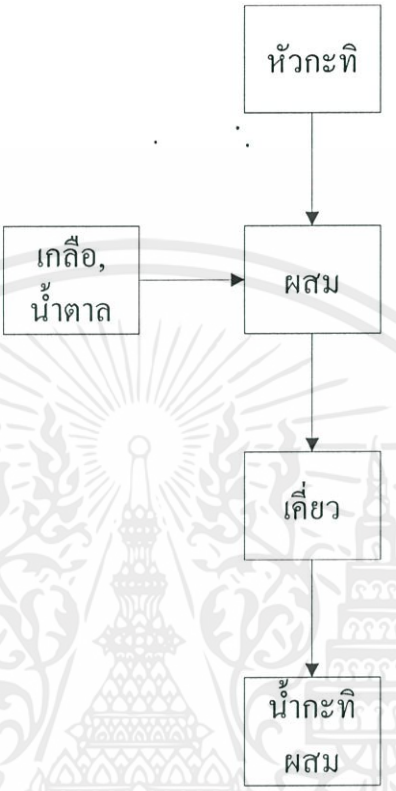
3.2.2 การผลิตข้าวหลาม



รูปที่ 3.2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวหลาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การเตรียมน้ำกะทิผสม

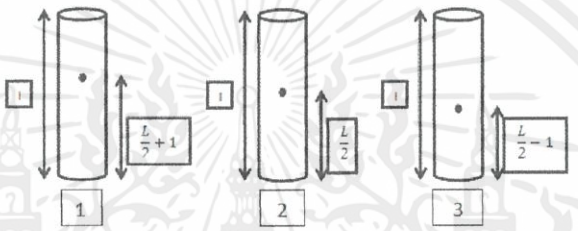


รูปที่ 3.3 แผนผังการเตรียมน้ำกะทิผสม

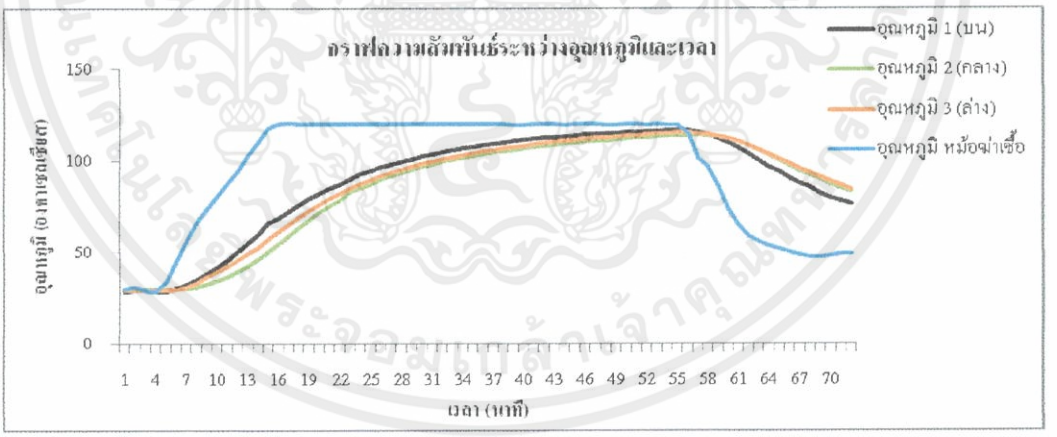
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การหาจุดร้อนช้าที่สุด (Cold point)

ข้าวหลามที่บรรจุในกระบอกไม้ไผ่มาเจาะรูกระบอกข้าวหลาม 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งกึ่งกลางกระบอกไม้ไผ่เยื้องไปทางด้านบน 1 เซนติเมตร ตำแหน่งกึ่งกลางกระบอกไม้ไผ่ และตำแหน่งกึ่งกลางกระบอกไม้ไผ่เยื้องไปทางด้านล่าง 1 เซนติเมตร จากนั้นเสียบหัววัดอุณหภูมิผ่านปะเก็นที่ติดอยู่กับถุงรีทอร์ทเพ้าช์ ซึ่งปะเก็นจะเข้าไปวัดอุณหภูมิระหว่างฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120°c เป็นเวลา 55 นาที ที่ตำแหน่งทั้ง 3 ซึ่งจุดที่ร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิของเนื้อข้าวหลามมีการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการวัดหาจุดที่ร้อนช้าที่สุดของข้าวหลามบรรจุในกระบอกไม้ไผ่



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ระหว่างการฆ่าเชื้อข้าวหลามเพื่อหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

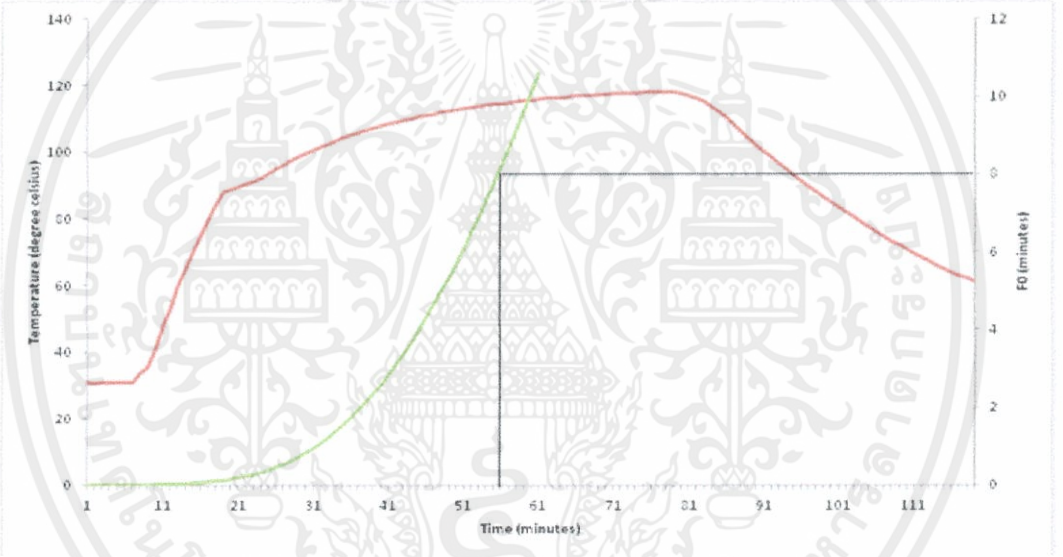
3.2.5 การหาเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0)

วัดอุณหภูมิของข้าวหลามที่ตำแหน่งที่ร้อนช้าที่สุด และนำอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหา Lethal rate (LR) จากสมการ

$$LR = 10^{(T-121.1)/10}$$

โดยค่า T คือ อุณหภูมิที่วัดได้ระหว่างการฆ่าเชื้อ

ค่า Lethal rate ที่ได้จะเป็นพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ซึ่งค่า F_0 คือผลรวมของ LR จนได้ F_0 = 8 นาที ซึ่งจากการวัดคำนวณจะได้เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 55 นาที



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า F_0 และเวลา ระหว่างการฆ่าเชื้อกระบอกข้าวหลาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจสอบคุณภาพ

3.3.1 การวัดเนื้อสัมผัส

ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer วัดข้าวหลามที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาหั่นเป็นชิ้น ตามขวางด้วยมีดคม ความหนาชิ้นละ 2.5 เซนติเมตร โดยใช้หัวโพรบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความเร็วก่อนกด 1 mm/s, ความเร็วการกด 1 mm/s, และความเร็วหลังการกด 10 mm/s โดยกำหนดให้กดลงไป 50% ของความสูงของชิ้นข้าวหลาม มีแรงกดเท่ากับ 5 g วัดหาค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Stickiness) โดยการกด (Compression)

3.3.2 การวัดสี

ใช้เครื่อง Colorimeter รุ่น JC 801 เลือกแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน บันทึกค่าที่ได้เป็น L, a, b ทำการเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Zero Calibration แล้วตามด้วย White Plate Calibration จากนั้นทำการวัดสีตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างที่มีความสูง 2.5 เซนติเมตร มาวางไว้ในแนวตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสง ทำการวัด 10 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้ทั้งหมด จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า Whiteness Index จากสมการของ Hunter ดังนี้

$$WI = L - (3 \times b)$$

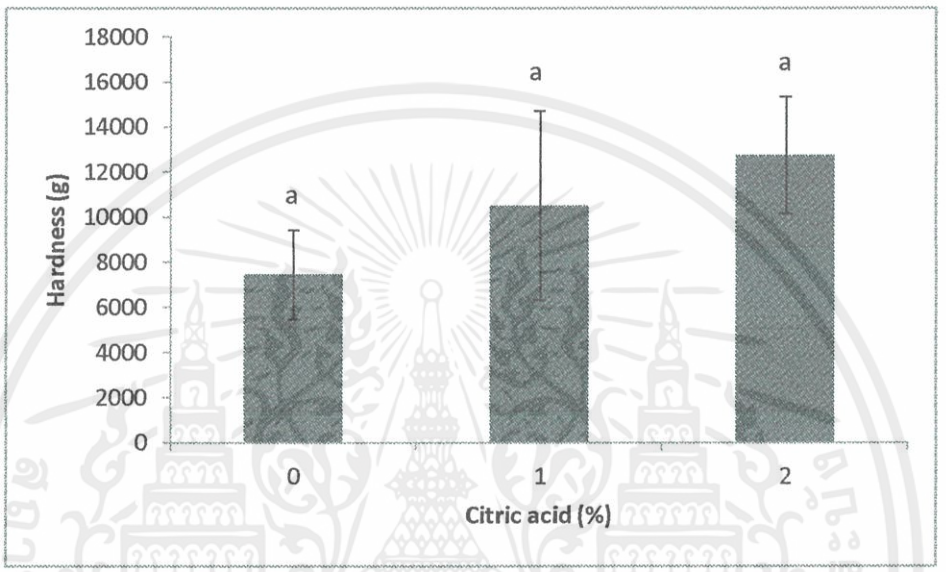
3.3.3 การวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

ใช้เครื่อง pH Meter วัดที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส โดยการนำข้าวหลามมาหั่นเป็นชิ้นขนาด 2.5 เซนติเมตร ผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตร และนำไปปั่นจนละเอียด แล้วนำหัวที่ผ่านการ Calibrate จุ่มลงไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ และทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

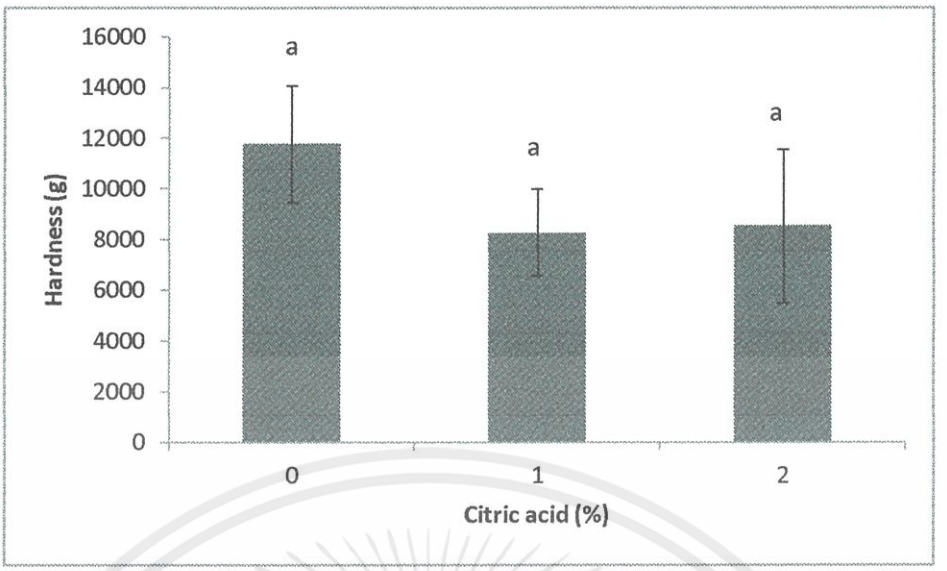
4.1 การวัดเนื้อสัมผัส



รูปที่ 4.1 ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน . (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุด (Hardness) ของข้าวหลาม หลังพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาทีและเติมสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0%, 1% และ 2% หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 7454.29±1974.503 g. , 10512.09±4173.584 g. และ 12744.62±2580.47 g. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

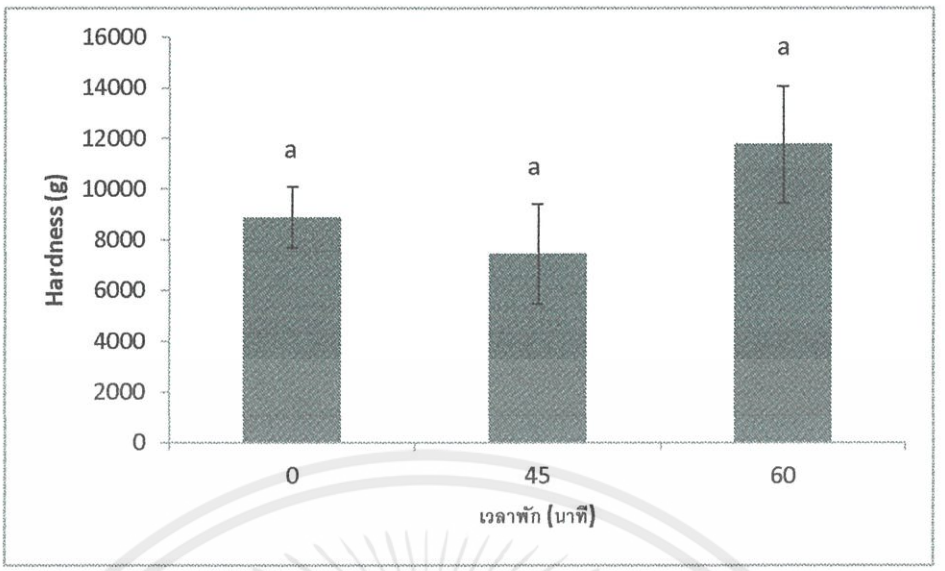
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุด (Hardness) ของข้าวหลาม หลังพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาทีและเติมสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0%, 1% และ 2% หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 11744.51±2303.116 g. , 8268.27±1717.951 g. และ 8542.14±3038.253 g. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

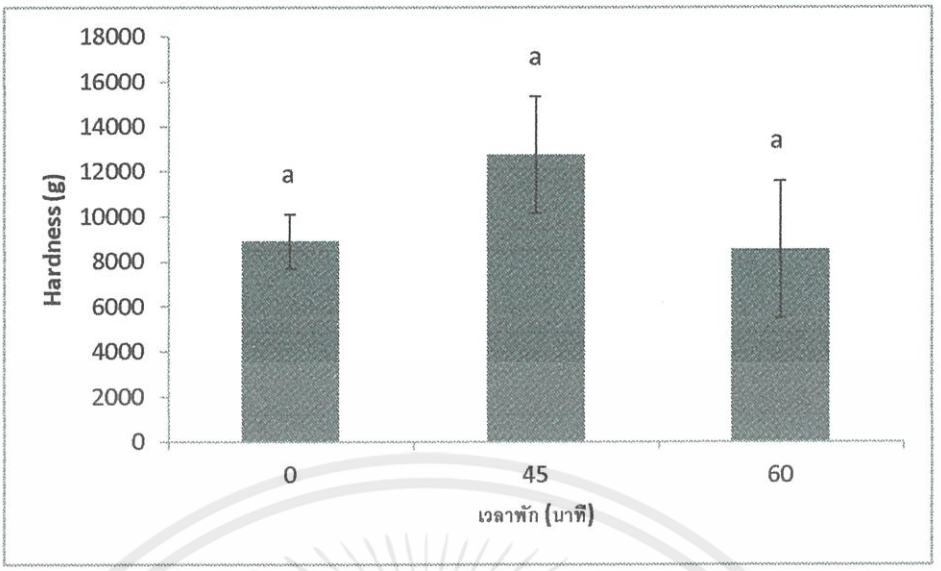
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุด (Hardness) ของข้าวหลาม ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก พักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน 0, 45 และ 60 นาที หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 8900.34±1211.701 g., 7454.29±1974.503 g. และ 11774.51±2303.116 g. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

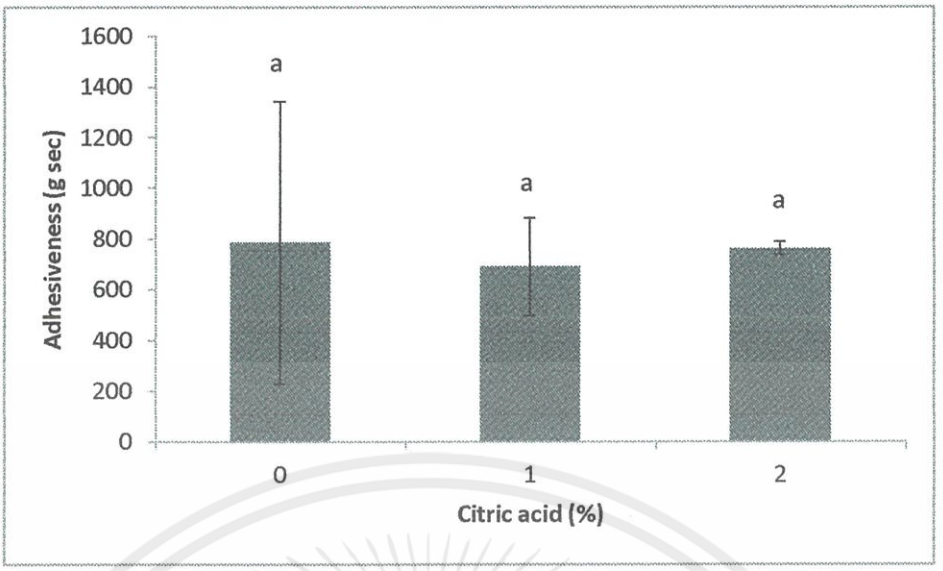
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด. (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุด (Hardness) ของข้าวหลาม ไม่พักและไม่เติมกรดซิตริก เทียบกับข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% และพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลา 45 และ 60 นาที หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 8900.34±1211.701 g.,12744.62±2580.47 g. และ 8542.14±3038.253 g. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

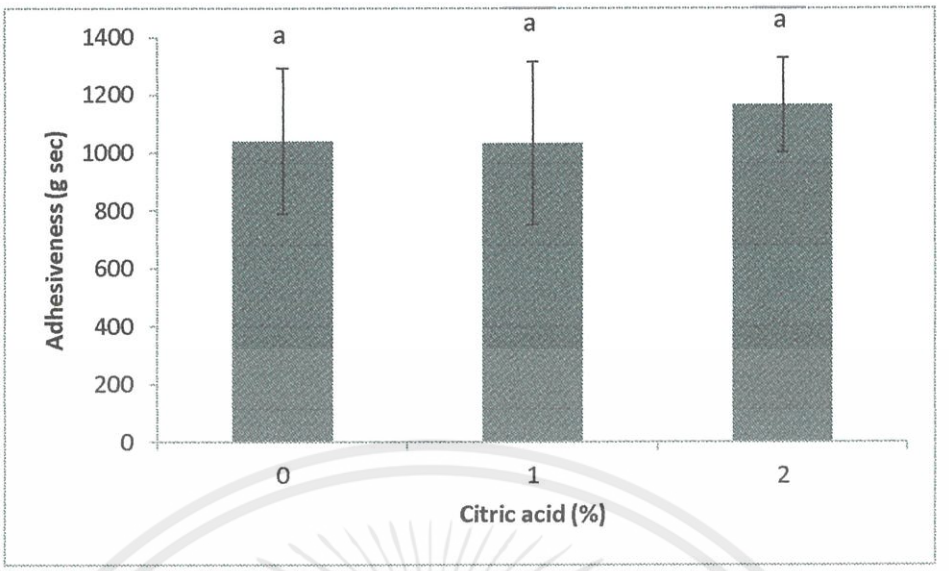
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าความเหนียวของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน . (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของข้าวหลาม หลังพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาทีและเติมสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0%, 1% และ 2% หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 786.24±557.2207 gs., 691.27±192.7788 gs. และ 763.32±26.7939 gs ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

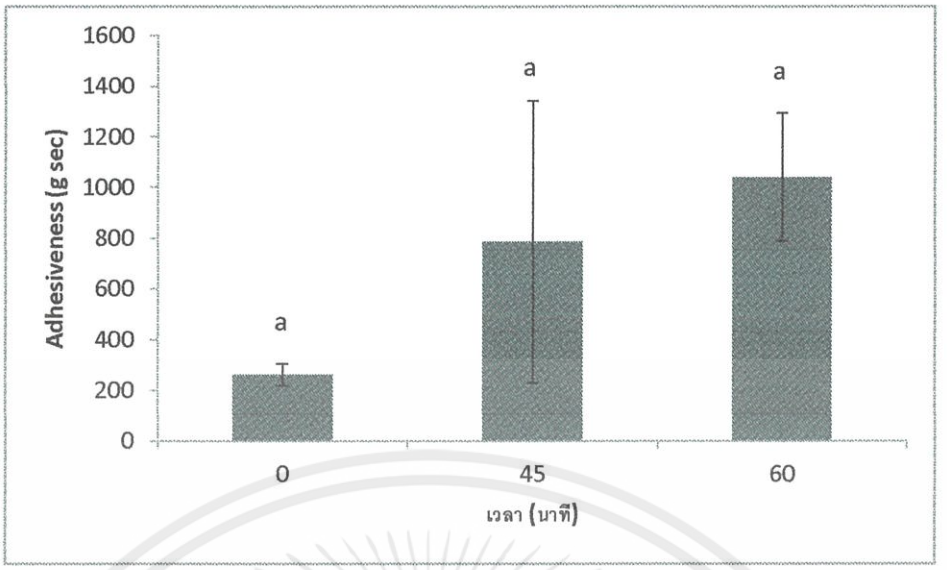
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าความเหนียวของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน . (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของข้าวหลาม หลังพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาทีและเติมสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0%, 1% และ 2% หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 1042.28±252.0431 gs., 1034.30±281.4429 gs. และ 1166.09±163.1933 gs. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

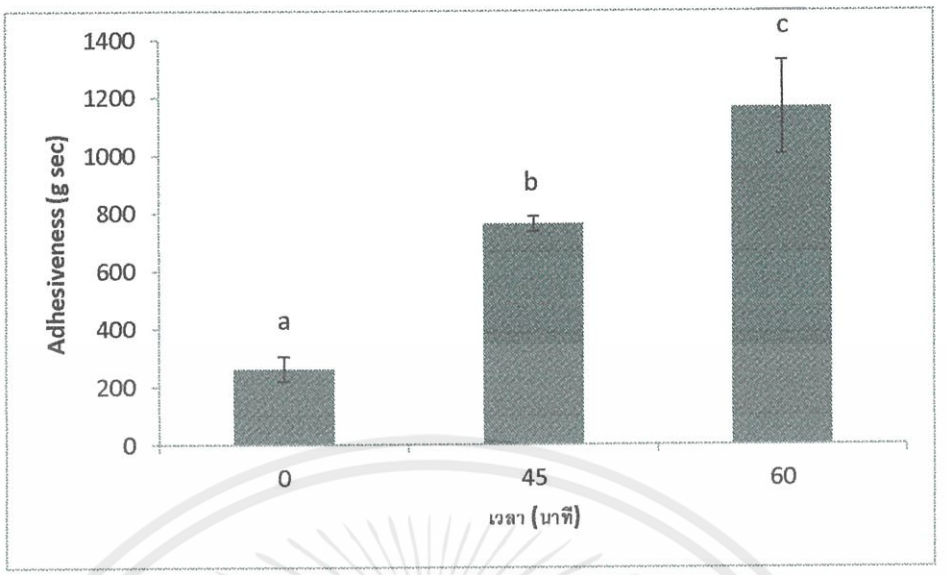
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าความเหนียวของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน. (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุด (Hardness) ของข้าวหลาม ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก พักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน 0, 45 และ 60 นาที หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 261.13±42.1922 gs., 786.24±557.2207 gs. และ 1042.278±252.0431 gs. ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

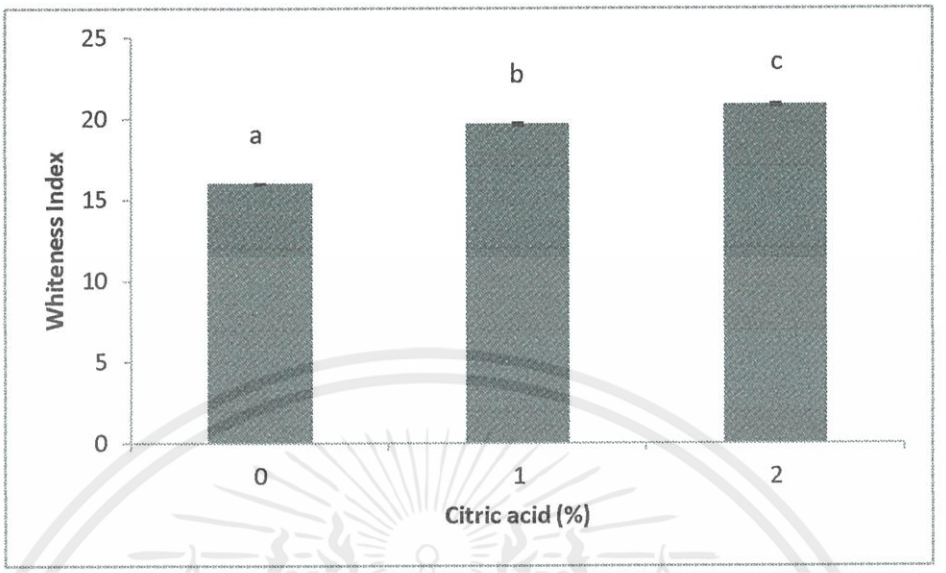


รูปที่ 4.8 ค่าความเหนียวของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด. (Mean ± SD จากการวัด 4 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

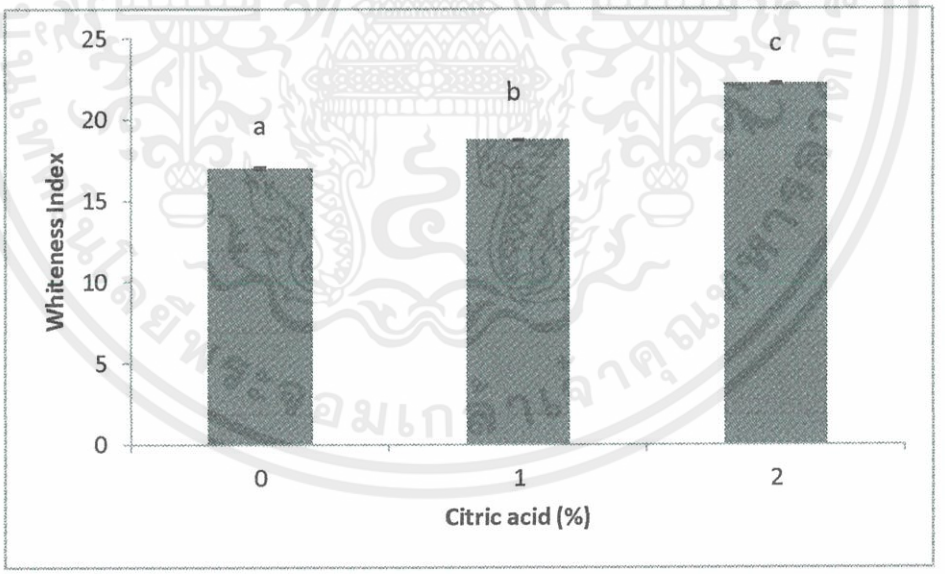
จากรูปที่ 4.8 พบว่า ค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของข้าวหลาม ไม่พักและไม่เติมกรดซิตริกเทียบกับข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% และพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลา 45 และ 60 นาที หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าเท่ากับ 261.13±42.9122 gs., 763.32±26.7939 gs. และ 1166.09±163.1933 gs.ตามลำดับ มีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ที่ระดับความชื่อมั่น 99%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดสี

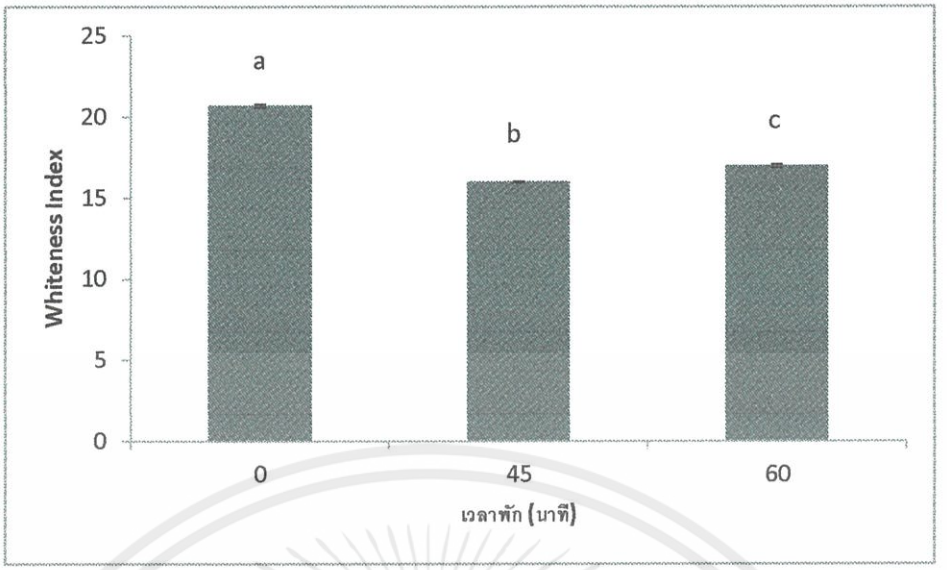


รูปที่ 4.9 ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน . (Mean ± SD จากการวัด 10 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

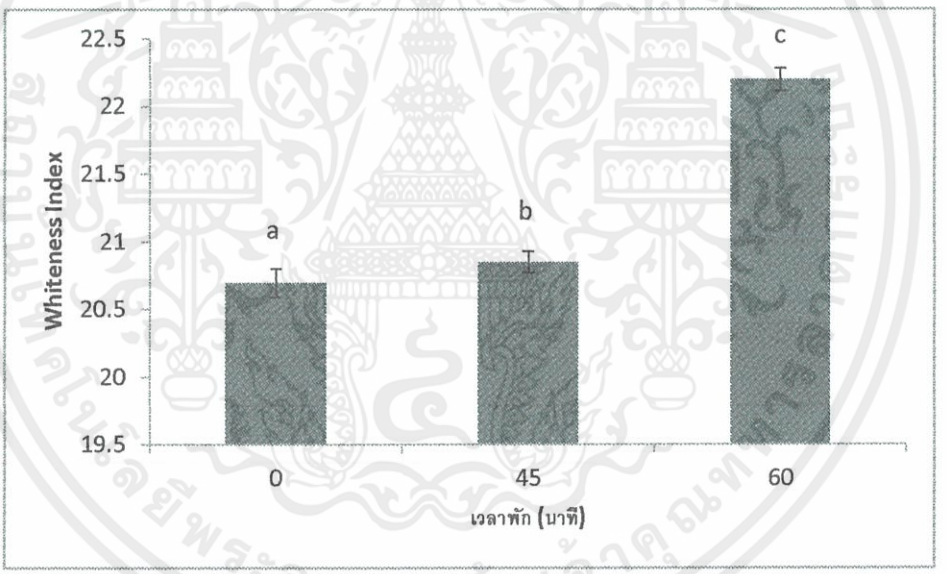


รูปที่ 4.10 ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน . (Mean ± SD จากการวัด 10 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามที่ไม่ได้เติมสารละลายกรดซิตริก เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน. (Mean ± SD จากการวัด 10 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

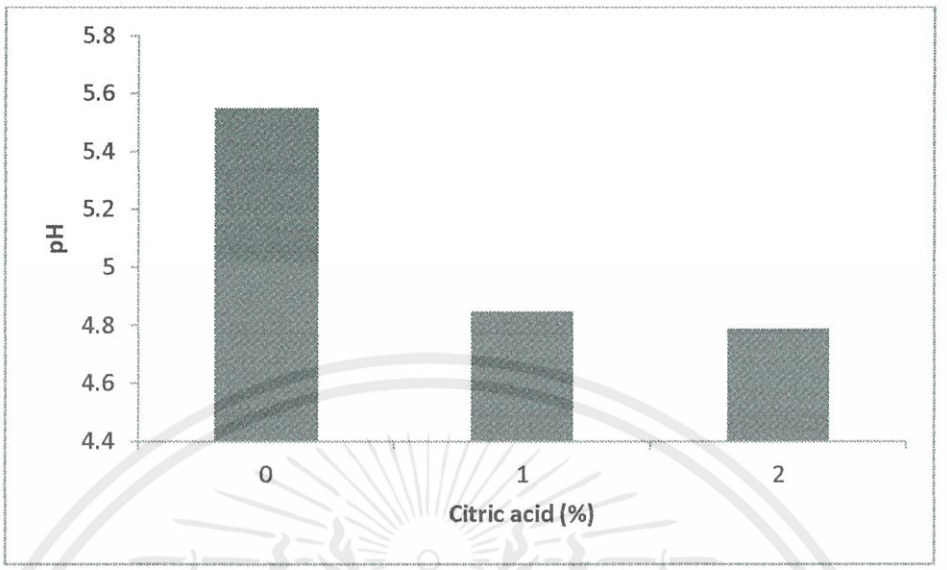


รูปที่ 4.12 ค่า Whiteness Index ของข้าวหลามที่เติมสารละลายกรดซิตริก 2% w/w เมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่เวลาต่างกัน เทียบกับข้าวหลามที่ไม่ได้พักและไม่ได้เติมกรด. (Mean ± SD จากการวัด 10 ซ้ำ ที่ความเชื่อมั่น 99%)

จากรูปที่ 4.9-4.12 พบว่า ค่าความขาว (Whiteness Index) ของข้าวหลามที่สภาวะต่างๆ คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกที่ต่างกัน และระยะเวลาพักข้าวเหนียวหลังการนึ่งต่างกัน มีผลกับสีของข้าวหลาม อย่างมีนัยสำคัญ 0.01 (ระดับความเชื่อมั่น 99%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

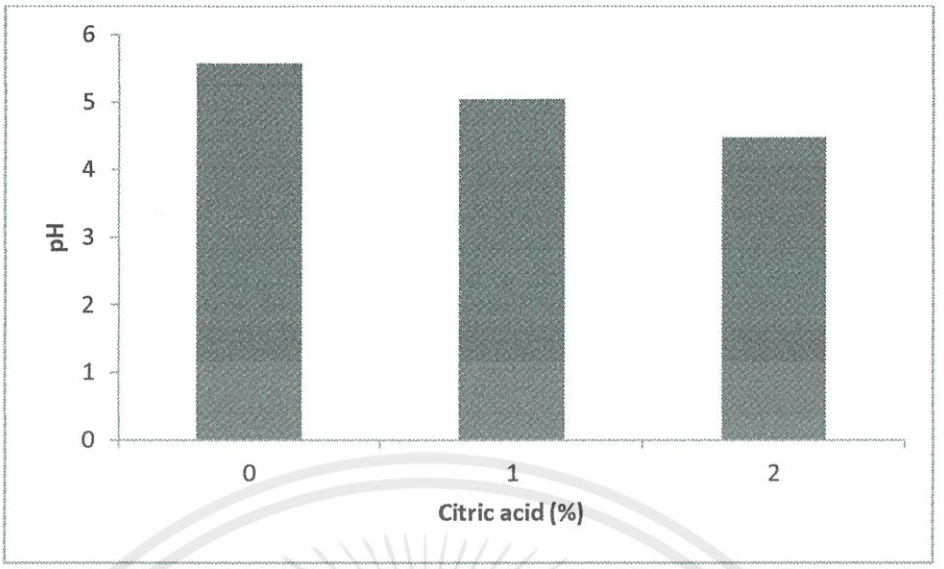
4.3 การวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH)



รูปที่ 4.13 ค่า pH ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 45 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกต่างกัน หลังการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง คือมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่า pH ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกความเข้มข้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของข้าวหลามเมื่อพักข้าวเหนียวหลังนึ่งที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิตริกต่างกัน หลังการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง คือมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อนสู่เชิงพาณิชย์ เพื่อศึกษาหาสูตรมาตรฐานและกรรมวิธีการผลิตข้าวหลามที่สามารถเก็บรักษาได้นาน 1 ปี ซึ่งได้อัตราส่วนของข้าวเหนียว 50.76%, หัวกะทิ 12.78%, น้ำตาล 22.55%, เกลือ 1.21%, เผือก 6.35% และถั่วดำ 6.35% และมีจุดที่ร้อนช้าที่สุดอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของกระบอกไม้ไผ่ ซึ่งจะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่ทำให้ค่า F_0 เท่ากับ 8 นาที ที่ 55 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และจากการทดลองปรับคุณภาพของข้าวหลามหลังการฆ่าเชื้อด้วยการเพิ่มระยะพักและเติมสารละลายกรดซิตริก พบว่า

5.1.1 การเติมสารละลายกรดซิตริกและเพิ่มระยะเวลาการพักข้าวเหนียวหลังนึ่ง มีผลกับค่าความเหนียว เนื่องจาก การเติมสารละลายกรดซิตริก เพื่อให้เม็ดข้าวเหนียวทนทานต่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการ สเตอริไรซ์ได้ โดยข้าวเหนียวที่เติมกรดซิตริกนั้นจะเกิดพันธะภายในมากกว่าข้าวเหนียวดิบ ทำให้เกิดเป็นผลึกที่แข็งขึ้นจาก การเรียงตัวของอะไมโลสที่ซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น การทำให้เกิดโพลิเมอร์ใหม่ระหว่างเกิดปฏิกิริยา และการทำให้ช่วงที่แป้งไม่เป็นรูปร่างหายไป (Sang Ick Shin, 2009)

5.1.2 การเติมสารละลายกรดซิตริกและเพิ่มระยะเวลาการพักข้าวเหนียวหลังการนึ่ง มีผลกับค่าความขาวเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกเพิ่มขึ้น

5.1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารละลายกรดซิตริกเพิ่มขึ้น คือจะมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น

จากการศึกษาผลของการพักข้าวเหนียวหลังการนึ่งและการเติมสารละลายกรดซิตริก มีผลต่อคุณลักษณะของข้าวหลามที่ผ่านการฆ่าเชื้อในระดับการค้า ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 55 นาที พบว่า การพักข้าวเหนียวหลังการนึ่งไว้ 45 นาที และเติมสารละลายกรดซิตริก 2% ให้ผลเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 กระบอกไม้ไผ่ ควรลบเหลี่ยมที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของกระบอกไม้ไผ่ เนื่องจากอาจทำให้เวลาบรรจุสุญญากาศแล้วเกิดรอยรั่ว ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารได้

5.2.2 ควรเลือกถุงที่เหมาะสม มีความยาวมากกว่าไม้ไผ่ประมาณ 3 นิ้ว เพื่อเว้นระยะเวลาในการบรรจุสุญญากาศ

5.2.3 เวลาปิดปากกระบอกไม้ไผ่ด้วยใบตอง ควรจะอุดที่ปากกระบอกให้สม่ำเสมอ

5.2.4 เวลานึ่งข้าวเหนียว ควรเติมน้ำให้ปริมาณพอดี เพื่อป้องกันน้ำระเหยออกหมดก่อนจะนึ่งเสร็จ ซึ่งอาจทำให้เกิดกลิ่นไหม้กับตัวข้าวเหนียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เทวี คุ้มวงศ์, สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. .2013 **ผลของสารชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันในข้าวสำเร็จรูปพร้อม รับประทานบรรจุกระป๋องวิทยานิพนธ์** ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ศันสนีย์ อุดมระติ . 2005. **การเกิดเจลาทิไนเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์** . .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A.Abd Karim, M.H.Norziah, C.C.Seow. 2000. **Methods for the study of starch retrogradation**. Food Chemistry 71, 9-36.

Chan-Eun Park, Yun-Sook Kim, Kee-Jai Park, Bum-Keun Kim. 2012. **Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different tempeartures**. Journal of Stored Products Research 48, 25-29.

Charles I. Tollefson; Claude W. Bice, both of Rochester, N.Y.. 1972. **Method of Preparing Canned Cooked Rice**. United States Patent.

J.Shanthilal and C.Anandharamakrishnan. 2013. **Computational and numerical modeling of rice hydration and dehydration: A review**. Trends in Food Science & Technology 31, 100-117.

Jung-Soo Son, Vinh Bao Do, Kwang-Ok Kim, Mi Sook Cho, Thongchai Suwonsichon, Dominique Valentin. 2013. **Comsumers' attitude towards rice cooking processes in Korea, Japan, Thailand and France**. Food Quality and Preference 29, 65-75.

M.H.Ong and J.M.V.Blanshard. 1995. **Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and fine stucture of amylopectin**. Journal of Cereal Science 21, 251-260.

M.H.Ong and J.M.V.Blanshard. 1995. **Texture determinants of cooked, parboiled rice. II: Physicochemical properties and leaching behaviour of rice**. 1995. Journal of Cereal Science 21, 261-269.

Norma Benton Gallenkamp, Houston, Tex.. 1951. **Process for Canning Rice**. United states patent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pongthorn Leelayuthsoontorn, Aluck Thipayarat. 2006. **Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions.** Food Chemistry 96, 606-613.

Prakash Oli, Rachelle Ward, Benu Adhikari, Peter Torley. 2014. **Parboiled rice: understanding from a materials science approach.** Journal of Food Engineering 124, 173-183.

Sang Ick Shin, Chang Joo Lee, Mi Jung Kim, Seung Jun Choi, Hye Jin Choi, Yang Kim, Tae Wha Moon. 2009. **Structural characteristics of low-glycemic response rice starch produced by citric acid treatment.** Carbohydrate Polymers 78, 588-595.

Shin Lu, Tan-Tiong Cik, Cheng-yi Lii, Phoency Lai, Hua-Han Chen. 2013. **Effect of amylose content on structure, texture and amylase reactivity of cooked rice.** LWT-Food Science and Technology 54, 224-228.

Suwinmon Keeratipibul, Naphatrapi Luangsakul, Thiti Lertsatchayarn. 2008. **The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker(arare).** LWT-Food Science and Technology 41, 1934-1943.

Woatthichai Narkrugsa and Mayyawadee Saeleaw. 2009. **The Retrogradation of Canned Rice During Storage.** KMITL Sci. Tech. J. Vol.9.

Xijun Lian, Changjun Wang, Kunsheng Zhang, Lin Li. 2014. **The retrogradation properties of glutinous rice and buckwheat starches as observed with FT-IR, C NMR and DSC.** International Journal of Biological Macromolecules 64, 288-293.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้าวหลามแปรรูปด้วยความร้อน

- การหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด (Cold point)
- การหาเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0)
- เนื้อสัมผัส (Hardness และ Adhesiveness)
- การวัดสี (Whiteness Index)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การหาจุดที่ร้อนช้าที่สุด

เวลา	อุณหภูมิ			
	สาย 3	สาย 5	สาย 6	สาย 2
0	28.8	29.6	29	29.8
1	28.9	29.7	29	30.9
2	28.9	29.6	29	29.3
3	28.8	29.6	29	28.5
4	28.8	29.6	29	33.8
5	30.1	29.8	29.6	45.3
6	32.3	30.3	31	55.4
7	35.1	31.1	33.1	66.2
8	38.2	32.4	36.5	73.6
9	41.8	34.2	39.3	80.3
10	45.7	36.5	42.2	87.4
11	50	39.3	45.4	93.9
12	54.7	42.5	49	102.2
13	60	46.1	52.6	110.4
14	65.8	50.1	56.7	117.5
15	68.3	54.4	60.8	120
16	72.5	58.9	64.8	120.3
17	75.9	63.1	68.6	120.1
18	79.2	67.4	72.3	120
19	82.2	71.5	75.8	120.1
20	84.8	75.2	79	119.9
21	87.3	78.7	81.8	119.9
22	90	87.8	84.6	119.8
23	92.5	84.7	87.1	120
24	94.5	87.2	89.4	119.9
25	96.4	89.6	91.4	119.8
26	98	91.5	93.3	120.2
27	99.5	93.3	95	120
28	100.9	95	96.6	120
29	102.2	96.6	98.1	119.9
30	103.4	98	99.5	119.7
31	104.6	99.3	100.7	119.9
32	105.7	100.5	101.9	119.8
33	106.6	101.6	103	119.8
34	107.6	102.6	104	120
35	108.4	103.5	105	119.7
36	109.2	104.4	105.9	119.9
37	109.9	105.2	106.8	119.8
38	110.6	106	107.5	119.6
39	111.2	106.7	108.2	119.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิ			
	สาย 3	สาย 5	สาย 6	สาย 2
40	111.8	107.4	109	119.7
41	112.3	108.1	109.6	119.7
42	112.8	108.7	110.2	119.8
43	113.2	109.3	110.8	119.6
44	113.7	109.8	111.3	119.7
45	114	110.2	111.8	119.9
46	114.4	110.7	112.3	119.7
47	114.7	111.1	112.7	119.6
48	115.1	111.6	113.1	119.6
49	115.3	112	113.5	119.7
50	115.6	112.4	113.9	119.7
51	115.9	112.7	114.2	119.6
52	116.1	113	114.6	119.8
53	116.3	113.4	114.9	119.6
54	116.5	113.7	115.2	119.6
55	116.5	113.9	115.3	114.6
56	115.5	114	114.9	101.2
57	114	113.8	114.2	96.9
58	112.2	113.1	113.2	86
59	109.8	111.8	111.8	73.6
60	107	110.2	110.1	64.8
61	103.6	108.2	108	58.7
62	100.2	105.8	105.7	56
63	96.9	103.1	103.3	53.8
64	93.6	100.2	100.7	51.9
65	90.6	97.4	98.2	50.3
66	87.8	94.6	95.6	48.7
67	95.1	92	93.2	47.4
68	82.2	89.6	90.8	47.2
69	79.9	87.2	88.5	47.7
70	78	85	86.3	49.1
71	76.3	83.1	84.4	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การหาเวลาในการฆ่าเชื้อของข้าวหลาม

เวลา	อุณหภูมิ		
	สาย 2	สาย 3	สาย 4
0	31.1	31.8	30.8
1	31.1	31.6	30.5
2	31.1	31.9	30.9
3	31.1	31.8	30.9
4	31.1	31.9	30.9
5	31.1	31.8	30.9
6	31.1	32	30.9
7	37.3	33.8	33.6
8	43.6	45.3	35.2
9	49.2	55.4	40.6
10	56.1	66.2	47.3
11	60.3	73.6	52.3
12	66.5	80.3	59.2
13	73.2	87.4	64.8
14	77.6	93.9	70.1
15	80.1	102.2	75
16	86.8	110.4	79.6
17	90.4	117.5	84.3
18	94.7	120	88
19	95.3	119.8	88.8
20	96	119.6	89.5
21	96.8	119.7	90.5
22	97.6	119.9	91.3
23	98.6	119.77	92.2
24	99.5	120.4	93.6
25	100.4	119.8	94.9
26	101.2	119.5	96.2
27	102	119.8	97.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิ		
	สาย 2	สาย 3	สาย 4
28	102.7	119.8	98.5
29	103.4	119.7	99.6
30	104.1	120.1	100.6
31	104.8	119.5	101.5
32	105.4	119.6	102.4
33	106	119.7	103.4
34	106.6	119.6	104.2
35	107.2	119.8	105
36	107.8	119.7	105.7
37	108.3	119.7	106.5
38	108.8	119.7	107.2
39	109.2	119.7	107.8
40	109.7	119.7	108.4
41	110.1	119.8	109
42	110.5	119.7	109.5
43	110.9	119.5	110
44	111.2	119.7	110.5
45	111.6	119.7	111
46	111.9	119.7	111.4
47	112.2	119.5	111.9
48	112.6	119.6	112.3
49	112.9	119.6	112.6
50	113.2	119.7	113
51	113.4	119.5	113.3
52	113.7	119.6	113.7
53	113.9	119.6	114
54	114.2	119.6	114.3
55	114.4	119.6	114.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิ		
	สาย 2	สาย 3	สาย 4
56	114.6	119.6	114.8
57	114.8	119.6	115.1
58	115.1	119.5	115.3
59	115.3	119.5	115.5
60	115.5	119.6	115.7
61	115.6	119.5	116
62	115.8	119.4	116.2
63	116	119.3	116.3
64	116.1	119.5	116.5
65	116.3	119.6	116.7
66	116.4	119.4	116.8
67	116.6	119.6	117
68	116.7	119.5	117.1
69	116.8	119.6	117.2
70	116.9	119.7	117.4
71	117	119.3	117.5
72	117.1	119.3	117.6
73	117.2	119.5	117.7
74	117.4	119.4	117.8
75	117.5	119.4	117.9
76	117.6	119.4	118
77	117.5	114.5	118
78	116.2	103	117.9
79	114.1	97.2	117.5
80	111.6	87.9	117
81	109.1	74.6	116.1
82	105.8	65.9	115
83	102.6	60.5	113.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	อุณหภูมิ		
	สาย 2	สาย 3	สาย 4
84	99.7	58.7	111.9
85	97.2	57.1	110.1
86	94.8	55.6	108.1
87	92.8	54.2	106
88	90.7	52.9	104
89	88.7	51.8	102
90	86.7	50.6	100.2
91	84.8	49.6	98.4
92	83	48.6	96.5
93	81.3	47.7	94.7
94	79.7	46.8	92.9
95	78	46	91.2
96	76.4	45.3	89.6
97	74.9	44.6	88
98	73.5	43.9	86.4
99	72.1	43.2	84.8
100	70.7	42.6	83.2
101	69.5	42	81.7
102	68.2	41.5	80.3
103	67	41	78.8
104	65.8	40.5	77.4
105	64.6	40	76
106	63.6	39.6	74.6
107	62.5	39.2	73.3
108	61.5	38.7	72
109	60.5	38.3	70.7
110	59.5	37.9	69.4
111	58.6	37.6	68.2
112	57.7	37.2	67.1
113	56.8	36.9	65.9
114	56	36.6	64.9
115	55.1	36.3	63.8
116	54.3	36	62.8
117	53.6	35.9	61.9
118	53	35.8	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของข้ามหลาม

ตัวอย่าง	ครั้งที่	Hardness (g)	Adhesiveness (g sec)
C	1	7544.67	-215.32
	2	10384.46	-305.73
	3	9257.99	-288.53
	4	8414.24	-234.94
	เฉลี่ย	8900.34	-261.13
C450	1	4749.81	-187.09
	2	7300.30	-437.69
	3	8514.34	-1228.87
	4	9252.72	-1291.31
	เฉลี่ย	7454.29	-786.24
C451	1	5365.89	-656.62
	2	9631.14	-646.61
	3	11677.18	-960.21
	4	15374.14	-501.62
	เฉลี่ย	10512.09	-691.27
C452	1	9797.94	-756.86
	2	12144.93	-746.70
	3	12993.74	-746.84
	4	16041.87	-802.87
	เฉลี่ย	12744.62	-763.32
C600	1	9211.30	-965.92
	2	12068.46	-831.20
	3	14736.95	-963.64
	4	11081.31	-1408.35
	เฉลี่ย	11774.51	-1042.28
C601	1	5984.62	-790.96
	2	8235.36	-995.06
	3	10117.46	-1437.27
	4	8735.63	-913.92
	เฉลี่ย	8268.27	-1034.30
C602	1	4825.29	-1210.69
	2	7440.50	-1063.69
	3	10224.92	-1013.68
	4	11677.84	-1376.31
	เฉลี่ย	8542.14	-1166.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวัดคุณภาพสีของข้าวหลาม

ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C	1	50.05	11.12	10.35	19.63	18.46	14.89	42.96	9.16	7.48
	2	50.05	11.19	10.27	19.65	18.46	14.92	42.96	9.22	7.43
	3	50.05	11.22	10.32	19.65	18.46	14.90	42.96	9.24	7.46
	4	50.05	11.19	10.26	19.65	18.46	14.92	42.96	9.22	7.42
	5	50.05	11.24	10.33	19.66	18.46	14.90	42.97	9.26	7.46
	6	50.06	11.29	10.25	19.67	18.47	14.94	42.97	9.30	7.41
	7	50.05	11.22	10.24	19.65	18.46	14.93	42.96	9.24	7.41
	8	50.05	11.36	10.24	19.68	18.46	14.94	42.97	9.36	7.40
	9	50.05	11.29	10.22	19.67	18.46	14.94	42.97	9.30	7.39
	10	50.06	11.31	10.20	19.68	18.47	14.96	42.98	9.32	7.38
	เฉลี่ย	50.05	11.24	10.27	19.66	18.46	14.92	42.97	9.26	7.42
ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C450	1	49.05	12.45	12.34	19.05	17.64	13.34	42.00	10.23	8.68
	2	49.04	12.50	12.32	19.05	17.63	13.34	41.99	10.27	8.66
	3	49.05	12.45	12.33	19.04	17.63	13.34	41.99	10.23	8.67
	4	49.06	12.43	12.35	19.05	17.64	13.34	42.00	10.21	8.68
	5	49.07	12.40	12.36	19.05	17.65	13.34	42.01	10.19	8.69
	6	49.05	12.47	12.33	19.05	17.63	13.34	41.99	10.25	8.67
	7	49.04	12.50	12.32	19.05	17.63	13.34	41.99	10.27	8.66
	8	49.04	12.50	12.32	19.05	17.63	13.34	41.99	10.27	8.66
	9	49.04	12.50	12.32	19.05	17.63	13.34	41.99	10.27	8.66
	10	49.06	12.43	12.35	19.05	17.64	13.34	42.00	10.21	8.68
	เฉลี่ย	49.05	12.46	12.33	19.05	17.64	13.34	42.00	10.24	8.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C451	1	52.08	11.81	9.72	21.58	20.22	16.74	42.25	9.89	7.56
	2	52.10	11.97	9.75	21.62	20.23	16.74	42.18	9.89	7.43
	3	52.10	12.03	9.75	21.64	20.23	16.74	42.18	9.95	7.53
	4	52.12	11.88	9.79	21.63	20.25	16.74	42.18	9.95	7.48
	5	52.09	12.03	9.73	21.63	20.22	16.74	42.18	9.89	7.50
	6	52.11	11.97	9.77	21.63	20.24	16.74	42.20	9.88	7.55
	7	52.10	11.99	9.76	21.63	20.24	16.74	42.20	9.88	7.55
	8	52.14	11.83	9.82	21.63	20.27	16.74	42.20	9.88	7.49
	9	52.14	11.81	9.83	21.63	20.27	16.74	42.22	9.89	7.52
	10	52.14	11.81	9.83	21.63	20.27	16.74	42.24	9.89	7.52
	เฉลี่ย	52.11	11.91	9.78	21.63	20.24	16.74	42.20	9.90	7.51
ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C452	1	53.76	9.88	7.58	26.40	24.68	15.04	42.53	9.77	7.19
	2	53.76	9.91	7.52	26.41	24.68	15.06	42.50	9.77	7.21
	3	53.76	9.91	7.54	26.41	24.68	15.06	42.55	9.79	7.21
	4	53.76	9.91	7.57	26.41	24.68	15.04	42.56	9.80	7.24
	5	53.76	9.88	7.55	26.40	24.68	15.05	42.53	9.75	7.20
	6	53.76	9.86	7.55	26.40	24.68	15.05	42.52	9.76	7.22
	7	53.76	9.86	7.54	26.39	24.68	15.05	42.53	9.77	7.22
	8	53.81	9.62	7.65	26.39	24.73	15.04	42.55	9.76	7.26
	9	53.81	9.65	7.64	26.39	24.73	15.04	42.54	9.79	7.27
	10	53.82	9.60	7.66	26.39	24.74	15.04	42.55	9.77	7.27
	เฉลี่ย	53.78	9.81	7.58	26.40	24.70	15.05	42.54	9.77	7.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C600	1	49.80	12.87	11.34	25.95	24.72	15.96	43.72	10.36	8.87
	2	49.84	12.71	11.61	25.95	24.76	15.96	43.76	10.22	8.90
	3	49.87	12.63	11.62	25.97	24.79	15.99	43.79	10.15	8.91
	4	49.81	12.84	11.52	25.96	24.73	15.99	43.73	10.34	8.95
	5	49.84	12.87	11.64	25.99	24.76	15.95	43.76	10.36	8.92
	6	49.97	12.58	11.74	25.95	24.79	15.93	43.79	10.11	8.98
	7	49.85	12.66	11.74	25.95	24.77	15.91	43.77	10.18	8.98
	8	49.85	12.69	11.66	25.97	24.77	15.96	43.77	10.20	8.93
	9	49.83	12.74	11.59	25.95	24.75	15.97	43.75	10.24	8.89
	10	49.85	12.66	11.64	25.96	24.77	15.96	43.77	10.18	8.92
	เฉลี่ย	49.85	12.73	11.61	25.96	24.76	15.96	43.76	10.23	8.93
ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C601	1	51.73	13.30	12.53	27.53	25.68	14.91	43.67	10.60	8.28
	2	51.78	13.22	12.62	27.57	25.73	14.91	43.73	10.54	8.33
	3	51.80	13.29	12.65	27.60	25.75	14.91	43.75	10.61	8.35
	4	51.80	13.19	12.65	27.58	25.75	14.91	43.75	10.52	8.35
	5	51.80	13.29	12.58	27.60	25.75	14.94	43.75	10.61	8.32
	6	51.80	13.29	12.65	27.60	25.75	14.91	43.75	10.61	8.35
	7	51.80	13.29	12.65	27.60	25.75	14.91	43.75	10.61	8.35
	8	51.80	13.32	12.65	27.61	25.75	14.91	43.75	10.63	8.35
	9	51.81	13.27	12.66	27.60	25.76	14.91	43.75	10.58	8.36
	10	51.80	13.29	12.58	27.60	25.75	14.94	43.75	10.61	8.32
	เฉลี่ย	51.79	13.28	12.62	27.59	25.74	14.92	43.74	10.59	8.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*	X	Y	Z	L	a	b
C602	1	52.83	14.41	14.00	25.56	23.74	14.17	43.77	9.57	7.14
	2	52.85	14.33	14.04	25.56	23.76	14.17	43.75	9.50	7.16
	3	52.84	14.36	14.04	25.56	23.75	14.16	43.74	9.52	7.16
	4	52.88	14.23	14.11	25.57	23.79	14.16	43.78	9.41	7.21
	5	52.86	14.31	14.06	25.57	23.77	14.17	43.76	9.48	7.18
	6	52.84	14.41	14.03	25.57	23.75	14.16	43.73	9.57	7.16
	7	52.90	14.21	14.15	25.57	23.82	14.16	43.80	9.50	7.23
	8	52.88	14.20	14.12	25.57	23.80	14.16	43.78	9.58	7.21
	9	52.90	14.12	14.15	25.57	23.82	14.16	43.80	9.31	7.23
	10	52.90	14.15	14.15	25.58	23.82	14.16	43.80	9.34	7.23
	เฉลี่ย	52.87	14.27	14.09	25.57	23.78	14.16	43.77	9.48	7.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของข้าวหลาม

Example	pH
C	5.51
TSP	5.22
C450	5.55
C451	4.85
C452	4.79
C600	5.57
C601	5.05
C602	4.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

- ข้อมูลแสดงค่าวิเคราะห์ทางสถิติ

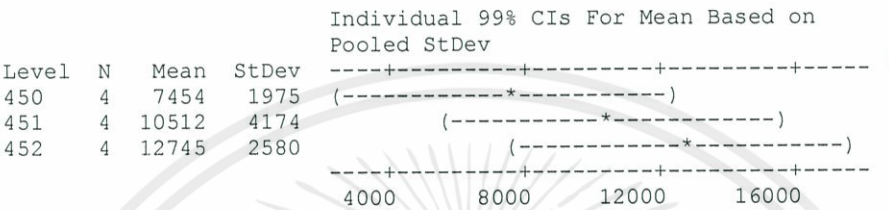
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลทางสถิติของการวัดคุณภาพเนื้อสัมผัส

One-way ANOVA: Hardness versus 45 min

```
Source  DF         SS        MS     F      P
45 min   2   56429169  28214584  3.03  0.099
Error    9   83928863   9325429
Total   11  140358032

S = 3054   R-Sq = 40.20%   R-Sq(adj) = 26.92%
```




```
Pooled StDev = 3054


Grouping Information Using Fisher Method

45 min  N   Mean  Grouping
452     4  12745  A
451     4  10512  A
450     4   7454  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 45 min

Simultaneous confidence level = 97.55%


45 min = 450 subtracted from:

45 min  Lower  Center  Upper  -----+---------+---------+---------+----
451     -3960    3058  10075          (-----------*-----------)
452     -1727    5290  12308                (-----------*----------)
                                -----+---------+---------+---------+----
                                -6000         0      6000     12000


45 min = 451 subtracted from:

45 min  Lower  Center  Upper  -----+---------+---------+---------+----
452     -4785    2233   9250          (-----------*----------)
                               -----+---------+---------+---------+----
                                -6000         0      6000     12000
```

One-way ANOVA: Adhesiveness versus 45 min

```
Source  DF       SS      MS     F      P
45 min   2    19650    9825  0.08  0.920
Error    9  1045130  116126
Total   11  1064779

S = 340.8   R-Sq = 1.85%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N    Mean  StDev  --------+---------+---------+---------+-
450    4  -786.2  557.2  (---------------*--------------)
451    4  -691.3  192.8    (---------------*---------------)
452    4  -763.3   26.8  (---------------*---------------)
                          --------+---------+---------+---------+-
                              -1050      -700      -350         0

Pooled StDev = 340.8
```

```
Grouping Information Using Fisher Method

45 min  N    Mean  Grouping
451     4  -691.3  A
452     4  -763.3  A
450     4  -786.2  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 45 min

Simultaneous confidence level = 97.55%


45 min = 450 subtracted from:

45 min   Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
451     -688.1    95.0  878.1    (---------------*---------------)
452     -760.2    22.9  806.0   (---------------*---------------)
                               -------+---------+---------+---------+--
                                    -500         0       500      1000


45 min = 451 subtracted from:

45 min   Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
452     -855.1   -72.1  711.0  (---------------*--------------)
                               -------+---------+---------+---------+--
                                    -500         0       500      1000
```

One-way ANOVA: Hardness versus 60 min

```
Source  DF        SS        MS     F      P
60 min   2  30422541  15211271  2.61  0.128
Error    9  52460046   5828894
Total   11  82882587

S = 2414   R-Sq = 36.71%   R-Sq(adj) = 22.64%
```

```
                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N   Mean  StDev  ------+---------+---------+---------+---
600    4  11775   2303                (------------*------------)
601    4   8268   1718  (-------------*------------)
602    4   8542   3038  (-------------*------------)
                         ------+---------+---------+---------+---
                             6000      9000     12000     15000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Pooled StDev = 2414


Grouping Information Using Fisher Method

60 min  N   Mean  Grouping
600     4  11775  A
602     4   8542  A
601     4   8268  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 60 min

Simultaneous confidence level = 88.66%


60 min = 600 subtracted from:

60 min  Lower  Center  Upper  -----+---------+---------+---------+----
601     -7368   -3506    356  (------------*-----------)
602     -7094   -3232    630   (------------*-----------)
                             -----+---------+---------+---------+----
                              -6000     -3000         0      3000


60 min = 601 subtracted from:

60 min  Lower  Center  Upper  -----+---------+---------+---------+----
602     -3588     274   4136               (------------*------------)
                             -----+---------+---------+---------+----
                              -6000     -3000         0      3000
```

One-way ANOVA: Adhesiveness versus 60 min

```
Source  DF      SS     MS     F      P
60 min   2   43683  21842  0.39  0.690
Error    9  508104  56456
Total   11  551787

S = 237.6   R-Sq = 7.92%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev   --+---------+---------+---------+-------
600    4  -1042.3  252.0     (--------------*---------------)
601    4  -1034.3  281.4       (---------------*--------------)
602    4  -1166.1  163.2    (--------------*---------------)
                           --+---------+---------+---------+-------
                         -1500     -1250     -1000      -750

Pooled StDev = 237.6


Grouping Information Using Fisher Method

60 min  N     Mean  Grouping
601     4  -1034.3  A
600     4  -1042.3  A
602     4  -1166.1  A

Means that do not share a letter are significantly different.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 60 min

Simultaneous confidence level = 88.66%


60 min = 600 subtracted from:

60 min   Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
601     -372.1     8.0  388.0       (-----------*-----------)
602     -503.9  -123.8  256.3  (-----------*-----------)
                              -------+---------+---------+---------+--
                                  -300         0       300       600


60 min = 601 subtracted from:

60 min   Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
602     -511.9  -131.8  248.3  (-----------*----------)
                              -------+---------+---------+---------+--
                                  -300         0       300       600
```

One-way ANOVA: Hardness versus Rest

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Rest     2  38688152  19344076  5.44  0.028
Error    9  32013671   3557075
Total   11  70701822

S = 1886   R-Sq = 54.72%   R-Sq(adj) = 44.66%

                          Individual 99% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N   Mean  StDev  -----+---------+---------+---------+----
 0     4   8900   1212      (----------*---------)
45     4   7454   1975  (---------*---------)
60     4  11775   2303            (---------*---------)
                         -----+---------+---------+---------+----
                           6000      9000     12000     15000

Pooled StDev = 1886


Grouping Information Using Fisher Method

Rest  N   Mean  Grouping
60    4  11775  A
 0    4   8900  A
45    4   7454  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Rest

Simultaneous confidence level = 97.55%

Rest = 0 subtracted from:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Rest  Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
45    -5780   -1446   2888       (--------*--------)
60    -1460    2874   7208                (--------*--------)
                             -------+---------+---------+---------+--
                                -5000         0       5000      10000


Rest = 45 subtracted from:

Rest  Lower  Center  Upper  -------+---------+---------+---------+--
60      -14    4320   8654                (--------*--------)
                             -------+---------+---------+---------+--
                                -5000         0       5000      10000
```

One-way ANOVA: Adhesiveness versus Rest

```
Source  DF       SS      MS     F      P
Rest     2  1268650  634325  5.06  0.034
Error    9  1127586  125287
Total   11  2396236

S = 354.0   R-Sq = 52.94%   R-Sq(adj) = 42.49%


                              Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev    --+---------+---------+---------+-------
 0     4   -261.1   42.9                    (----------*----------)
45     4   -786.2  557.2       (----------*----------)
60     4  -1042.3  252.0    (----------*----------)
                             --+---------+---------+---------+-------
                           -1500      -1000      -500         0

Pooled StDev = 354.0


Grouping Information Using Fisher Method

Rest  N     Mean  Grouping
 0    4   -261.1  A
45    4   -786.2  A
60    4  -1042.3  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Rest

Simultaneous confidence level = 97.55%


Rest =  0 subtracted from:

Rest    Lower  Center  Upper   ---+---------+---------+---------+------
45    -1338.5  -525.1  288.3       (----------*----------)
60    -1594.5  -781.1   32.2   (----------*----------)
                              ---+---------+---------+---------+------
                             -1400      -700         0       700


Rest = 45 subtracted from:

Rest    Lower  Center  Upper   ---+---------+---------+---------+------
60    -1069.4  -256.0  557.4            (----------*----------)
                              ---+---------+---------+---------+------
                             -1400      -700         0       700
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One-way ANOVA: Hardness versus Citric

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Citric   2  43423543  21711771  3.75  0.065
Error    9  52074077   5786009
Total   11  95497620

S = 2405   R-Sq = 45.47%   R-Sq(adj) = 33.35%

                          Individual 99% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N   Mean  StDev  -------+---------+---------+---------+--
  0    4   8900   1212   (----------*----------)
452    4  12745   2580              (----------*----------)
602    4   8542   3038  (----------*----------)
                         -------+---------+---------+---------+--
                             7000      10500     14000     17500

Pooled StDev = 2405


Grouping Information Using Fisher Method

Citric  N   Mean  Grouping
452     4  12745  A
  0     4   8900  A
602     4   8542  A

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Citric

Simultaneous confidence level = 97.55%


Citric =   0 subtracted from:

Citric  Lower  Center  Upper  ---------+---------+---------+---------+
452     -1683   3844   9372                   (----------*----------)
602     -5886   -358   5169         (----------*----------)
                            ---------+---------+---------+---------+
                                   -5000         0       5000     10000


Citric = 452 subtracted from:

Citric  Lower  Center  Upper  ---------+---------+---------+---------+
602     -9730  -4202   1325  (----------*----------)
                            ---------+---------+---------+---------+
                                   -5000         0       5000     10000
```

One-way ANOVA: Adhesiveness versus Citric

```
Source  DF       SS      MS      F      P
Citric   2  1644503  822251  84.50  0.000
Error    9    87574    9730
Total   11  1732077

S = 98.64   R-Sq = 94.94%   R-Sq(adj) = 93.82%

                          Individual 99% CIs For Mean Based on
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev  --------+---------+---------+---------+-
  0    4   -261.1   42.9                            (----*---)
452    4   -763.3   26.8                 (---*----)
602    4  -1166.1  163.2  (----*---)
                          --------+---------+---------+---------+-
                              -1050      -700      -350         0

Pooled StDev = 98.6


Grouping Information Using Fisher Method

Citric  N     Mean  Grouping
  0     4   -261.1  A
452     4   -763.3    B
602     4  -1166.1      C

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Citric

Simultaneous confidence level = 97.55%


Citric =   0 subtracted from:

Citric    Lower  Center   Upper   ---+---------+---------+---------+------
452      -728.9  -502.2  -275.5          (----*---)
602     -1131.6  -905.0  -678.3   (----*---)
                                  ---+---------+---------+---------+------
                                 -1000      -500         0       500


Citric = 452 subtracted from:

Citric   Lower  Center   Upper   ---+---------+---------+---------+------
602     -629.5  -402.8  -176.1           (----*---)
                                 ---+---------+---------+---------+------
                                -1000      -500         0       500
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสถิติของการวัดคุณภาพสี

One-way ANOVA: WI versus 45 min

```
Source  DF        SS        MS         F      P
45 min   2  128.8301   64.4151  10496.75  0.000
Error   27    0.1657    0.0061
Total   29  128.9958

S = 0.07834   R-Sq = 99.87%   R-Sq(adj) = 99.86%

                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level   N     Mean    StDev     ----+---------+---------+---------+-----
450    10  15.9820  0.0266     (*
451    10  19.6640  0.1065                          *)
452    10  20.8490  0.0798                            *
                                ----+---------+---------+---------+-----
                                 16.5      18.0      19.5      21.0

Pooled StDev = 0.0783


Grouping Information Using Fisher Method

45 min   N     Mean  Grouping
452     10  20.8490  A
451     10  19.6640     B
450     10  15.9820        C

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 45 min

Simultaneous confidence level = 97.38%


45 min = 450 subtracted from:

45 min   Lower  Center   Upper  --------+---------+---------+---------+-
451     3.5849  3.6820  3.7791                              (*)
452     4.7699  4.8670  4.9641                                        *)
                                --------+---------+---------+---------+-
                                      0.0       1.6       3.2       4.8


45 min = 451 subtracted from:

45 min   Lower  Center   Upper  --------+---------+---------+---------+-
452     1.0879  1.1850  1.2821                 *)
                                --------+---------+---------+---------+-
                                      0.0       1.6       3.2       4.8
```

One-way ANOVA: WI versus 60 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Source  DF        SS        MS         F      P
60 min   2  140.7554   70.3777  10641.79  0.000
Error   27    0.1786    0.0066
```

```
Total   29  140.9339

S = 0.08132   R-Sq = 99.87%   R-Sq(adj) = 99.86%

                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level   N     Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
600     10  16.9860  0.1000  *)
601     10  18.7320  0.0531           (*                          .
602     10  22.1980  0.0838                                       *
                               -------+---------+---------+---------+--
                                   18.0      19.5      21.0      22.5

Pooled StDev = 0.0813


Grouping Information Using Fisher Method

60 min   N     Mean  Grouping
602      10  22.1980  A
601      10  18.7320     B
600      10  16.9860        C

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of 60 min

Simultaneous confidence level = 97.38%


60 min = 600 subtracted from:

60 min   Lower  Center   Upper  ----+---------+---------+---------+-----
601     1.6452  1.7460  1.8468                      *         .
602     5.1112  5.2120  5.3128                                  (*
                               ----+---------+---------+---------+-----
                                -2.5       0.0       2.5       5.0


60 min = 601 subtracted from:

60 min   Lower  Center   Upper  ----+---------+---------+---------+-----
602     3.3652  3.4660  3.5668                            (*
                               ----+---------+---------+---------+-----
                                -2.5       0.0       2.5       5.0
```

One-way ANOVA: WI versus Rest

```
Source  DF        SS       MS        F      P
Min      2  123.2007  61.6004  8624.82  0.000
Error   27    0.1928   0.0071
Total   29  123.3936

S = 0.08451   R-Sq = 99.84%   R-Sq(adj) = 99.83%

                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Level    N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
 0      10  20.6940   0.1035                                    (*
45      10  15.9820   0.0266  (*
60      10  16.9860   0.1000         *)
                              ----+---------+---------+---------+-----
                               16.5      18.0      19.5      21.0

Pooled StDev = 0.0845


Grouping Information Using Fisher Method

Min   N     Mean  Grouping
 0   10  20.6940  A
60   10  16.9860     B
45   10  15.9820       C

Means that do not share a letter are significantly different.


Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Min

Simultaneous confidence level = 97.38%


Min =  0 subtracted from:

Min    Lower   Center    Upper   --+---------+---------+---------+-------
45   -4.8167  -4.7120  -4.6073   (*
60   -3.8127  -3.7080  -3.6033        *)
                                 --+---------+---------+---------+-------
                                -4.5      -3.0      -1.5       0.0


Min = 45 subtracted from:

Min   Lower  Center   Upper   --+---------+---------+---------+-------
60   0.8993  1.0040  1.1087                                        (*
                              --+---------+---------+---------+-------
                             -4.5      -3.0      -1.5       0.0
```

One-way ANOVA: WI versus Citric

```
Source  DF       SS       MS       F      P
Min      2  13.68614  6.84307  851.87  0.000
Error   27   0.21689  0.00803
Total   29  13.90303

S = 0.08963   R-Sq = 98.44%   R-Sq(adj) = 98.32%


                                Individual 99% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level    N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
  0     10  20.6940   0.1035  (-*)
452     10  20.8490   0.0798     (-*-)
602     10  22.1980   0.0838                  (-*-)
                               --------+---------+---------+---------+-
                                    21.00     21.50     22.00     22.50

Pooled StDev = 0.0896
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Grouping Information Using Fisher Method

Min	N	Mean	Grouping
602	10	22.1980	A
452	10	20.8490	B
0	10	20.6940	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher 99% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Min

Simultaneous confidence level = 97.38%

Min = 0 subtracted from:

Min	Lower	Center	Upper	--------+---------+---------+---------+-
452	0.0439	0.1550	0.2661	(*)
602	1.3929	1.5040	1.6151	(-*)
				--------+---------+---------+---------+-
				-0.80 0.00 0.80 1.60

Min = 452 subtracted from:

Min	Lower	Center	Upper	--------+---------+---------+---------+-
602	1.2379	1.3490	1.4601	(-*)
				--------+---------+---------+---------+-
				-0.80 0.00 0.80 1.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

- รูปวัสดุ อุปกรณ์
- รูปผลิตภัณฑ์

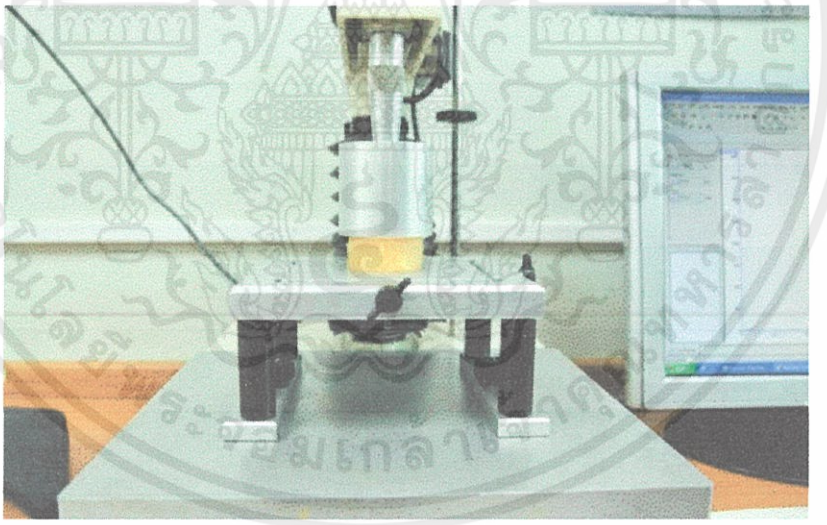
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.1 วัสดุและอุปกรณ์

รูปที่ ค.2 กระบอกไม้ไผ่ก่อนผ่านการสเตอริไลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

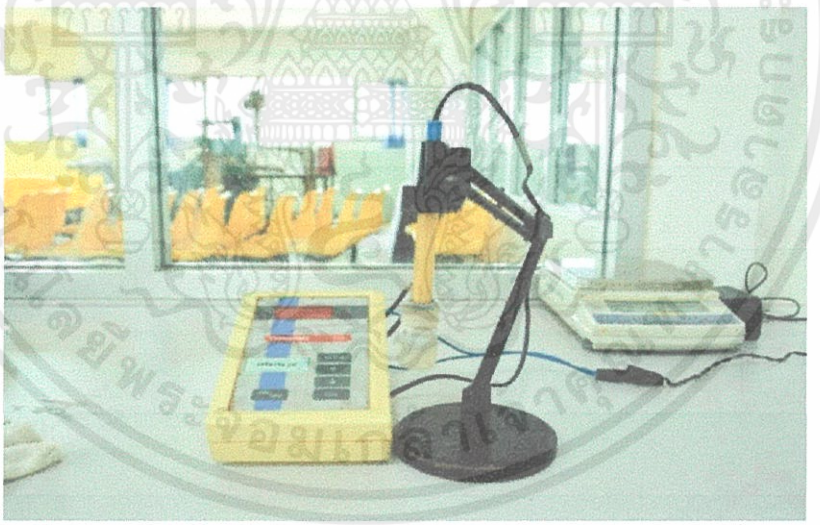
รูปที่ ค.3 กระบอกไม้ไผ่หลังผ่านการสเตอริไลซ์



รูปที่ ค.4 เครื่องวัดคุณภาพเนื้อสัมผัส

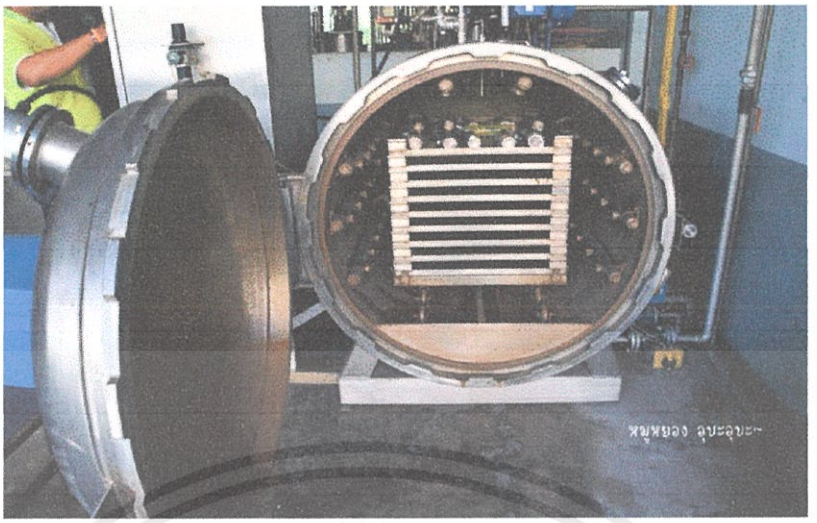
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.5 เครื่องวัดคุณภาพสี



รูปที่ ค.6 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

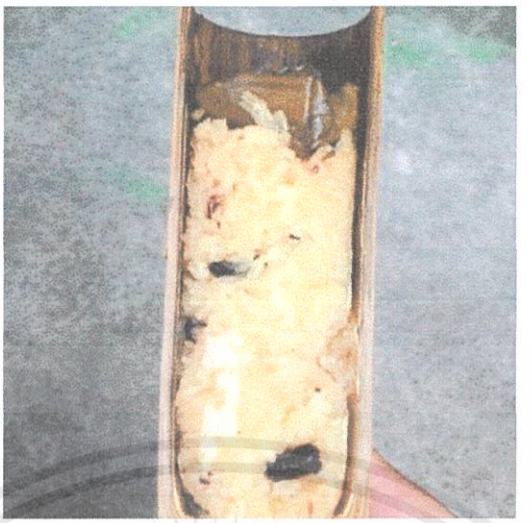
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 หม้อฆ่าเชื้อ

รูปที่ ค.8 ข้าวหลามก่อนและหลังการฆ่าเชื้อ เผาที่เวลาต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 ข้าวหลามที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

รูปที่ ค.10 ข้าวหลามเติมกรดซิตริก 2% หลังผ่านการฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้