สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของการบำบัดกล้วยก่อนอบด้วยวิธีทางกายภาพต่อลักษณะการอบแห้งและเนื้อสัมผัส

Effect of Physical Pretreatment of Banana on Its Drying and Textural Characteristics

สิรินทิพย์ จิระเรืองฤทธิ์
สิริพร โสพส
ฤมิตร ออเจษฎากุล

วิทย.
ศ ว 3161
ว 1 ร ค
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....83032
วัน,เดือน,ปี...31 ก.ค. 2551
b.....11961132.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF PHYSICAL PRETREATMENT OF BANANA ON ITS DRYING AND TEXTURAL CHARACTERISTICS

SIRINTIP JIRARUNGRIT

SIRIPORN SOROS

SUMIT ORJEDSADAKUL

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของการบำบัดกล้วยก่อนอบด้วยวิธีทางกายภาพต่อลักษณะการอบแห้งและเนื้อสัมผัส

Effect of Physical Pretreatment of Banana on its Drying and Textural Characteristics

ผู้จัดทำ

1. นางสาวสิรินทิพย์ จิระเรืองฤทธิ์ รหัสนักศึกษา47010840
2. นางสาวสิริพร โสพส รหัสนักศึกษา47010841
3. นายสุมิตร ออเจษฎากุล รหัสนักศึกษา47010886

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์มธุรดา จิในรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลของการบำบัดก่อนการอบแห้งด้วยวิธีทางกายภาพต่อคุณลักษณะการอบแห้งและเนื้อสัมผัสของกล้วย
นักศึกษา	นางสาวสิรินทิพย์ จิระเรืองฤทธิ์
	นางสาวสิริพร โสพส
	นายสุมิตร ออเจษฎากุล
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อ. มธุรดา จิโนรส

บทคัดย่อ

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อน อย่างไรก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสิ่งจำเป็น การอบแห้งเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งอาจใช้ในการรักษาคุณภาพของกล้วยโดยการลดค่าความชื้นของกล้วยให้มีค่าที่เหมาะสม นอกจากนี้การอบแห้งยังเป็นกระบวนการซึ่งสามารถเพิ่มหรือปรับปรุงคุณภาพของกล้วยเพื่อให้มีมูลค่าสูงขึ้น วิธีการหนึ่งซึ่งอาจใช้เพิ่มมูลค่าของกล้วยคือการทำกล้วยให้เป็นกล้วยแผ่นกรอบซึ่งสามารถบริโภคเป็นขนมขบเคี้ยวได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองอบกล้วยหอมทอง (*Musa sapientum*(AAA group)) ที่ระดับความสุกของกล้วยเทียบเท่ากับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในช่วงที่ 13-14 °บริกซ์ ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด และทำการเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสและสีของกล้วยซึ่งผ่านการลวกในน้ำเดือดและการแช่แข็ง โดยพิจารณาผลของระยะเวลาในการแช่แข็งกล้วยและผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (70 และ 90 °ซ ที่ความเร็วลม 0.9275 เมตร/วินาที) จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการลวกและการแช่แข็งเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความกรอบ (พิจารณาจากจำนวนยอดของกราฟแรง-ระยะทาง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของค่าความกรอบ) อยู่ในช่วง 35-45 ยอด และมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.30-1.80 นิวตัน โดยสภาวะที่ให้ค่าความกรอบมากที่สุดคือ การลวกและแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ การเตรียมตัวอย่างตัวอย่างโดยการลวกและแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีความเหมาะสมมากที่สุด แต่ถ้ามีการละลายน้ำแข็งร่วมด้วยจะส่งผลให้ค่าความกรอบลดลงแต่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Effect of Physical Pretreatment of Banana on its Drying and Textural Characteristics
Students	Miss Sirintip Jiraruangrit Miss Siriporn Soros Mr. Sumit Orjedsadakul
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2007
Advisor	Miss Maturada Jinorose

Abstract

Banana is a fruit grown widely in the areas of tropical and subtropical climates. After harvesting the quality of banana deteriorates rapidly, hence the need for post-harvest treatment. Drying is largely used to preserve banana by reducing its moisture content to a safe storage value. In addition, drying is also conducted to improve or alter the quality of the product in order to add its value. One possible way to add the value to fresh banana is to transform it into banana chips, which can be consumed as a snack. The purpose of this research was to study the effect of physical pretreatment on the drying characteristics and quality of "Hom Thong" banana (*Musa sapientum* (AAA group)) with ripeness level equivalent to the total soluble solids content in the range of 13-14 °Brix using a tray dryer. Texture and color of dried banana, which was pretreated by blanching (in boiling water) and freezing were analyzed. By varying the freezing time and drying temperature (70 and 90 °C at a fixed air velocity of 0.9275 m/s), it was found that the number of peaks in the force-deformation curve (which is the representative of crispness) of blanched banana frozen either for 24 or 48 hours was in the range of 35-45 peaks while the hardness (maximum force of break) was between 1.3-1.8 N. The most suitable condition in terms of crispness was 48 hours of freezing after blanching. However, 24-hour freezing was recommended to produce the product from an economic point of view. However, if freezing was combined with thawing, the crispness value would be reduced but the hardness would be higher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากอาจารย์มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาและไว้วางใจในการใช้ห้องปฏิบัติการล่วงเวลาเพื่อทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ (พี่แมน) คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พี่นุ้ย) และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ช่วยแนะนำการใช้ยืมเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงการขอใช้ห้องทำงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคนที่ให้ข้อมูล คำแนะนำ กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ และอยู่เป็นเพื่อนกันตลอดเวลาในระหว่างทำการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

สิรินทิพย์ จิระเรืองฤทธิ์
สิริพร โสพส
สุมิตร ออเจษฎากุล
19 มีนาคม 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
สัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะทั่วไปของกล้วยหอมทอง	3
2.2 ระดับความสุก	4
2.3 การแปรรูปกล้วยหอมทอง	6
2.3.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญของไทย	6
2.3.2 การศึกษาวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่	7
2.3.3 ส่วนประกอบอื่น ๆ ของกล้วย	7
2.4 ไขมันในอาหารทอดกรอบ	8
2.5 กระบวนการอบแห้ง	9
2.5.1 หลักการอบแห้ง	10
2.5.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นสมดุล	10
2.5.3 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve)	12
2.6 การอบแห้งผลไม้	13
2.7 เครื่องอบแห้ง	13
2.7.1 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด	14
2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากกระบวนการทำแห้ง	15
2.8.1 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.2 การหดตัวของอาหาร	16
2.8.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส	16
2.8.4 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล	17
2.8.5 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ	18
2.9 แป้ง	19
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	23
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2 การเตรียมวัตถุดิบ	23
3.2.1 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid)	23
3.3 วิธีการทดลอง	24
3.3.1 การทดลองขั้นต้น	24
3.3.2 การทดลองขั้นที่ 1	25
3.3.3 การทดลองขั้นที่ 2	25
3.3.4 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง	25
3.3.5 การวัดค่าสี	25
3.3.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	30
4.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุกและความหนาของตัวอย่างที่เหมาะสมก่อนอบแห้ง	30
4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง	33
4.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง	34
4.3.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์	34
4.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	37
4.3.3 การวิเคราะห์สี	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง	49
ภาคผนวก ข ตาราง ANOVA	51
ภาคผนวก ค รูปการทดลอง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของผลกล้วยหอมทอง ต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม	4
2.2 ค่าร้อยละของปริมาณแป้งและน้ำตาลของผลกล้วยที่มีการสุกในระยะต่าง ๆ	5
2.3 แสดงปริมาณของอะไมโลสในแป้ง	19
4.1 ผลการเปรียบเทียบระดับความสุกและความหนากล้วยก่อนอบแห้ง	30
4.2 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง	33
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งที่ชั่วโมงที่ 10	35
4.4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งและความกรอบของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ ระดับความสุก 13-14 บริกซ์ ความหนา 5 มม. ความชื้น 3เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง	37
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ที่ระดับความสุก 13-14 บริกซ์ ความหนา 5 มม. ความชื้น 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง	41
ก.1 ข้อมูลผลการทดลองผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C	49
ก.2 ข้อมูลผลการทดลองผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C	50
ข.1 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบ แช่แข็งเป็น เวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	51
ข.2 ANOVA ของค่า Crispnessของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	52
ข.3 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบ แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	53
ข.4 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	54
ข.5 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็น เวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	55
ข.6 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.7 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	57
ข.8 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	58
ข.9 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่ แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	59
ข.10 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	60
ข.11 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	61
ข.12 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	62
ข.13 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	63
ข.14 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	64
ข.15 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	65
ข.16 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของกล้วยหอมทอง	3
2.2 แสดงระดับความสุกของกล้วย	5
2.3 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	12
2.4 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด	15
2.5 แสดงลักษณะของแป้งก่อนและหลังพองตัว	20
2.6 แสดงลักษณะการจับตัวของโมเลกุลของแป้ง	20
2.7 แสดงลักษณะของโมเลกุลแป้งในฝรั่งก่อนและหลังทำให้สุก	21
3.1 กล้วยหั่นขนาด 5 มม.	24
3.2 ระบบสี CIELAB	26
3.3 การวัดสีของผลิตภัณฑ์	27
3.4 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์	28
3.5 แผนผังการทดลอง	29
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้น	36
4.2 การเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการต่อค่าความแข็งที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ	38
4.3 การเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการต่อความกรอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ	38
4.4 การเปรียบเทียบผลของจำนวนรอบต่อค่าความแข็งที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ	39
4.5 การเปรียบเทียบผลของจำนวนรอบต่อค่าความกรอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ	39
4.6 การเปรียบเทียบผลของการแช่และไม่แช่ที่มีต่อค่าความกรอบที่ อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ	40
4.7 การเปรียบเทียบจำนวนรอบการละลายที่มีต่อความกรอบที่ อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ	41
4.8 การเปรียบเทียบผลของรอบของการแช่ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL^*) ที่อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ	42
4.9 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL^*) ที่ อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ	43
4.10 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*) ที่อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ	43
ค.1 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่าง หลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.2 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวก ด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ	68
ค.3 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ	68
ค.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ	69
ค.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาทีกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ	69
ค.6 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ	70
ค.7 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ	70
ค.8 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ	71
ค.9 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ	71
ค.10 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาทีกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ	72
ค.11 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ	73
ค.12 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 48ชั่วโมง อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ	73
ค.13 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.14 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 90 °ซ	73
ค.14 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ	73
ค.15 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 90 °ซ	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a*	ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว
b	ปริมาณน้ำใน Soluble solid (เปอร์เซ็นต์)
b*	ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีฟ้า
F	อัตราส่วนความชื้นอิสระ
L*	ค่าความสว่าง
M	น้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง (kg)
M_s	น้ำหนักของของแข็ง (kg)
M_w	น้ำหนักของน้ำ (kg)
MC_{db}	ความชื้นฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)
MC_{wb}	ความชื้นฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)
tw	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°ซ)
w	อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
w_c	อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ
w_e	อัตราส่วนความชื้นสมดุล
0	ค่าอ้างอิงที่สีอ่านจากกล้วยสด
ΔE*	ความเปลี่ยนแปลงของสี
ΔL*	ค่าความเปลี่ยนแปลงความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

กล้วยเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีการเพาะปลูกและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากปลูกง่าย ให้ผลเร็วรับประทานง่าย และอุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร มีเส้นใยและกากอาหาร อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างพลังงานให้แก่ร่างกายได้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งรวมแร่ธาตุและวิตามิน เช่น ธาตุเหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินซี วิตามินเอ และ บี 6 เป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนมีประโยชน์ทั้งเรื่องของการป้องกันโรค เช่นโรคหัวใจ ความดัน และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น โดยเฉพาะกล้วยหอมทอง (*Musa* (AAA group)) (เบญจมาศ, 2545) ซึ่งผลมีสีเหลืองสวยรสชาติหวานอร่อยเนื้อนุ่มละเอียดและมีกลิ่นหอม

กล้วยหอมทองสามารถส่งออกขายทำตลาดในต่างประเทศได้ราคาสูง และมีตลาดรองรับอยู่แล้ว โดยตลาดที่สำคัญ ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น อ่องกง และไต้หวัน กล้วยหอมทองจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูงชนิดหนึ่ง สามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศสร้างรายได้ให้กับประเทศได้ถึง 99.3 ล้านบาท ในปี 2549 (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2549) โดยเฉพาะกล้วยที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้วจะยิ่งได้รับความนิยมและมีมูลค่าเพิ่มเป็นอย่างมาก ประกอบกับตลาดขนมขบเคี้ยวในปัจจุบันซึ่งมีมูลค่าตลาดมหาศาล แต่ทว่าขนมขบเคี้ยวทั่วไปมักจะเป็นของไม่มีประโยชน์ ขาดคุณค่าทางโภชนาการ จึงเป็นโอกาสดีที่จะผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยซึ่งมีคุณค่าทางสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และมีกากใยอาหารช่วยในการขับถ่าย ทำให้มีการคิดค้นวิธีการแปรรูปต่าง ๆ มากมาย ที่เป็นที่นิยมคือ กล้วยแผ่นกรอบ (banana chip) โดยแปรรูปจากการทอดในน้ำมัน แต่เนื่องจากกระแสอาหารเพื่อสุขภาพเป็นที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย จึงทำให้มีการหลีกเลี่ยงการทอดเพื่อป้องกันการได้รับสารก่อมะเร็ง เช่น Trans Fatty Acid และ Acrylamide ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงที่จะได้รับสารก่อมะเร็ง และการบริโภคไขมันที่มากเกินไป ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การเปลี่ยนวิธีแปรรูปเป็นการอบแห้ง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตกล้วยอบกรอบ วิธีที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันได้แก่การทำแห้งโดยการระเหิด (Freeze Drying) ซึ่งถึงแม้ว่าจะช่วยถนอมคุณค่าได้ดีแต่ก็มีราคาแพง

การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งในวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนาน โดยอาศัยหลักการในการลดความชื้นของอาหาร ให้อยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การอบด้วยลมร้อนเป็นวิธีอบแห้งที่มีต้นทุนต่ำเหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง ทว่าการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ได้กล้วยแผ่นที่มีลักษณะกรอบได้ ทางคณะวิจัยจึงได้นำการเตรียมกล้วยก่อนการอบเข้ามาใช้ เพื่อให้กล้วยหลังจากผ่านการอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความกรอบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเตรียมสามารถทำได้หลายวิธีทั้งการแช่สารเคมีเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและลดการเกิดสีน้ำตาล (คารุณีและคณะ, 2549) แต่การใช้สารเคมีที่มากเกินไปอาจมีการตกค้างซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้นำกระบวนการเตรียมกล้วยก่อนการอบเข้ามาใช้ เพื่อให้กล้วยหลังผ่านการอบแล้วมีความกรอบมากกว่ากล้วยอบธรรมดา โดยใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะทางกายภาพของแป้งในกล้วยเมื่อได้รับอิทธิพลจากการลวกและการแช่แข็ง และอบให้เหลือความชื้นประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ ฐานแห้ง เพื่อให้ได้ความกรอบที่เหมาะสม ซึ่งแป้งในกล้วยที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะการเตรียมทางกายภาพที่แตกต่างกันก็จะให้ผลทางเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการลวกที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยหลังอบ

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการแช่แข็งที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยหลังอบ

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาผลของการเตรียมกล้วยหอมทองก่อนการทำแห้ง โดยศึกษา

1. ผลของการลวกกล้วยต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัส
2. ผลของการแช่แข็งกล้วยต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัส

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล้วยแบบลมร้อน โดยศึกษา

1. ผลของการอบที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °ซ ต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัส

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยอบกรอบที่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการทอด และปราศจากสารปรุงแต่งใด ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกาย และไม่ใช้น้ำมันในการแปรรูป ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของกล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทอง[*Musa* (AAA group) "Kluai Hom thong" กลุ่มย่อย Gros Michel] ชื่ออื่น ๆ กล้วยหอม ชื่อสามัญ Hom Thong Banana กล้วยหอมทองมีลำต้นสูง 2.5-3.5 ม. เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดมากกว่า 20 ซม. กาบลำต้นด้านนอกมีประดำ ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านเครือมีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างยาวปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วงมีไข ด้านใบสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล กว้าง 3-4 ซม. ยาว 21-25 ซม. ปลายผลมีจุกเห็นชัดเจน เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุกจะมีสีเขียวแล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน กล้วยหอมทองมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการส่งออกในลักษณะสดเพราะมีเปลือกบางและขั้วหลุดง่ายจึงนิยมใช้การแปรรูปแทน (เบญจมาศ, 2545)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของกล้วยหอมทอง (Doae, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของผลกล้วยหอมทอง ต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (g)	77.19
ไขมัน (g)	0.73
โปรตีน (N× 6.25)	1.82
คาร์โบไฮเดรต (g)	18.42
เถ้า (g)	0.65
แคลเซียม (mg)	14.27
ฟอสฟอรัส (mg)	21.09
เหล็ก (mg)	8.71
β- Carotene (Ug)	197.20
แอสคอบิก (mg)	11.06

ที่มา: เบญจมาศ (2545)

2.2 ระดับความสุก

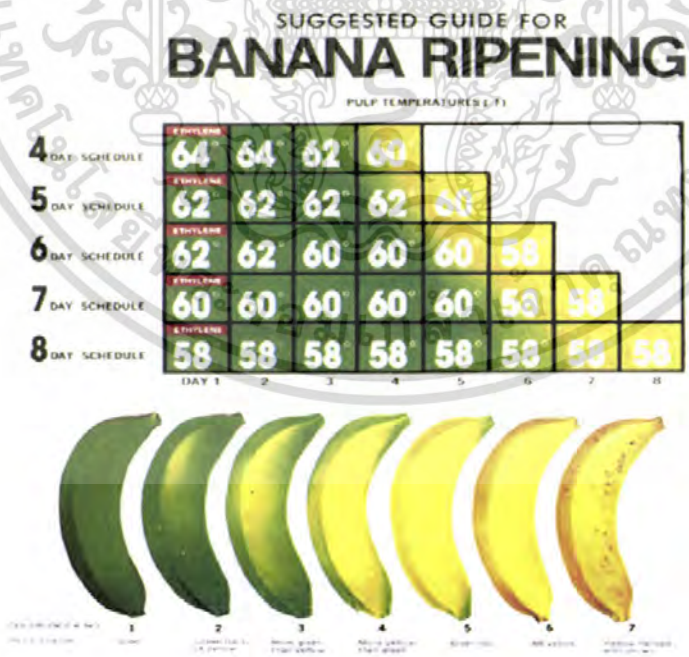
ระดับความสุกของกล้วยแบ่งออกได้ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งในช่วงระดับความสุกนี้จะทำให้คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะแป้งที่มีมากตอนผลกล้วยดิบจะลดลงและเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ทำให้สามารถคัดเลือกกล้วยจากปริมาณน้ำตาลได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในกล้วยหอมทอง กล้วยหอมคาเวนดิช และกล้วยของมาเลเซีย ได้ผลใกล้เคียงกัน (เบญจมาศ, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าร้อยละของปริมาณแป้งและน้ำตาลของผลกล้วยที่มีการสุกในระยะต่าง ๆ

ลักษณะของกล้วยที่ระดับความสุก	ค่าร้อยละของปริมาณ	
	น้ำตาล	แป้ง
ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก	0.8	21.1
ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเปลืองนิด ๆ	2.7	18.4
ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง	4.8	16.1
ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว	8.2	12.5
ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่มีปลายยังเป็นสีเขียว	13.2	6.8
ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)	17.6	13.3
ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)	18.5	2.4
ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)	19.9	1.3

ที่มา: เบญจมาศ (2545)



รูปที่ 2.2 แสดงระดับความสุกของกล้วย (Banana-Rite Limited, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การแปรรูปกล้วยหอมทอง

กล้วยมีบทบาทเกี่ยวข้องกับคนไทยมาตั้งแต่สมัยโบราณ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายในทุกภาคของประเทศเติบโตเร็ว ให้ผลตลอดปี ผลกล้วยเหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย ตั้งแต่ทารกจนถึงวัยชรา เพราะเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร ในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นได้ทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ส่วนอื่น ๆ ของกล้วยยังสามารถนำไปใช้ทำประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การประดิษฐ์กระทง บายศรี เป็นต้น

แต่ปัญหาของกล้วยคือ เป็นผลไม้ที่มีปริมาณมากและราคาต่ำในบางช่วงของปี หรือเป็นกล้วยที่มีคุณภาพต่ำที่เหลือจากการคัดคุณภาพขนาดมาตรฐานเพื่อเป็นสินค้าส่งออก จึงได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากกล้วย โดยแปรรูปกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางเกษตร ช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และเป็นการสร้างข้อมูลเพื่อนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ให้แก่ผู้สนใจและนักธุรกิจและอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม

2.3.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญของไทย

กล้วยสดแช่เย็นมีสัดส่วนการส่งออกมากที่สุดในบรรดากล้วยและผลิตภัณฑ์กล้วยส่งออกทั้งหมด ชนิดของกล้วยที่นิยมส่งออกในลักษณะกล้วยสดแช่เย็นได้แก่

1. กล้วยหอมโดยเฉพาะกล้วยหอมทองที่นิยมรับประทานผลสดเนื่องจากผลมีสีเหลืองสวย รสชาติหวานอร่อย เนื้อนุ่มละเอียด และมีกลิ่นหอม ปลูกมากที่จังหวัดชุมพร ระนองและสุโขทัย ตลาดส่งออกกล้วยหอมที่สำคัญของไทยได้แก่ ญี่ปุ่น จีน ฮ่องกง และไต้หวัน

2. กล้วยอื่น ๆ เช่น กล้วยไข่และกล้วยน้ำว้า ตลาดส่งออกสำคัญได้แก่ ฮ่องกง จีน และญี่ปุ่น

ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญได้แก่

- กล้วยแปรรูปอย่างง่าย เช่น กล้วยกวน กล้วยตาก กล้วยฉาบ กล้วยอบน้ำผึ้งและกล้วยอบกรอบ(banana chip) ปัจจุบันมีการควบคุมความสะอาดในการผลิตและคุณภาพของสินค้าอย่างเคร่งครัด เพื่อให้สินค้าได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ ตลาดส่งออกกล้วยแปรรูปอย่างง่ายที่สำคัญของไทยได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย

- กล้วยกระป๋อง วัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยไข่ที่สุกแล้วนำมาปอกเปลือกฝานเป็นชิ้นบาง ๆ หรือใช้ทั้งผล แช่ลงในน้ำเชื่อมแล้วนำไปบรรจุกระป๋องพร้อมรับประทาน ตลาดส่งออกกล้วยกระป๋องที่สำคัญของไทยได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และฝรั่งเศส

- สารปรุงแต่งรสและกลิ่นกล้วย ใช้สำหรับปรุงแต่งอาหารที่ต้องการให้มีรสหรือกลิ่นกล้วย เช่น ไอศกรีม ขนมปังเค้ก แยม เครื่องดื่ม ขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ ฯลฯ ตลาดส่งออกสำคัญคือ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อิตาลี ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การศึกษาวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

นอกจากนี้ยังได้มีการวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งได้มีการรวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาการผลิตเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์
2. เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์
3. เครื่องปรุงรสนอกจากกาใช้กล้วยสุกทำเครื่องดื่มแล้ว ยังสามารถนำมาผลิตเครื่องปรุงรส เพื่อเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบ ลดข้อจำกัดของการใช้วัตถุดิบทำให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ เช่น ซอสกล้วยปรุงรส
4. ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ผลิตภัณฑ์กล้วยอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นขนมหวานที่คุ้นเคยกับคนไทย ได้แก่ กล้วยบวชชี เพื่อเพิ่มความสะดวกต่อการหาซื้อมาบริโภค เพิ่มมูลคาผลิตผลทางการเกษตร และเป็นแนวทางการส่งเสริมการส่งออก ผลิตภัณฑ์กล้วยอีกชนิดหนึ่งจึงได้มีการศึกษาวิจัย เรื่องกล้วยบวชชีบรรจุกระป๋อง
5. แป้งกล้วย กล้วยดิบเป็นผลิตผลที่นำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปสตาร์ปริมาณสูง จึงเหมาะต่อการทำแป้งกล้วย มีผู้ทดลองทำแป้งกล้วยน้ำว้าดิบและนำประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดแทนที่แป้งชนิดอื่นบางส่วนในการทำขนม เช่น ทดแทนแป้งสาลีในขนมเค้ก ช่วยลดดุลทางการค้าในการนำเข้าแป้งสาลี

2.3.3 ส่วนประกอบอื่น ๆ ของกล้วย

นอกจากผลกล้วยจะมีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมายแล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ ของกล้วยยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกล้วย ตัวอย่างเช่น

1. *เปลือกกล้วย* ทั้งกล้วยสุกและกล้วยดิบมีส่วนเปลือกเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก สารประกอบที่น่าสนใจในเปลือกกล้วยคือ แทนนิน (Tanin) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจำพวก ฟีโนลิก (Phenolic) แบ่งเป็นไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (Hydrolysable Tanin) และคอนเดนซ์แทนนิน (Condense Tanin) โดยแทนนินทั้ง 2 ประเภทนี้กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของผักผลไม้ ทั้งเปลือก เนื้อ เมล็ดและใบ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารเสริมรสชาติของอาหาร เช่น ทำให้ไวน์แดงมีสารให้ความคงตัวโดยใช้เป็นตัวตกตะกอนโปรตีน และใช้จับกับไอออนของโลหะในอุตสาหกรรม เบียร์ ไวน์ และสาเก ทำให้มีกลิ่นรสค่อนข้างดีและไม่มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ โดยผสมกับเจลาตินหรือโปรตีนจากนมทำให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น แทนนินที่สกัดจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะสกัดจากส่วนของเปลือกไม้ เช่น เปลือก ไม้สกุลก่อ ไม้โอ๊ก ไม้ยูคาลิปตัส และไม้โกงกาง ไม้เหล่านี้ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปริมาณลดลงมาก ในขณะที่ความต้องการแทนนินในอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมต่างๆ มีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบอื่นที่มีศักยภาพและมีปริมาณแทนนินมากพอที่จะนำมาใช้สกัดให้คุ้มทุนในเชิงพาณิชย์ เปลือกกล้วยเป็นวัสดุเหลือใช้แหล่งหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาเพื่อนำแทนนินมาใช้ประโยชน์ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเรื่อง การสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย

2. หัวปลี หยวกกล้วย เป็น อีกส่วนหนึ่งของต้นกล้วยที่น่าสนใจศึกษา ต้นเทียมหรือหยวกกล้วย (Pseudostem) เป็นส่วนที่เห็นบนพื้นดิน ทำหน้าที่ยึดตัวหน่อหรือเหง้า ซึ่งเป็นลำต้นแท้อยู่ใต้ดิน ลำต้นเทียมมีความสูงไม่เกิน 3.5 m เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 cm ส่วนภายในหยวกเป็นไส้อ่อน (Heart of pseudostem) สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น แกงส้ม แกงเลียง และห่อหมก เป็นต้น การเจริญของลำต้นเทียมจะหยุดลงเมื่อแทงช่อดอก (แทงปลี) กล้วยจะออกปลี (Banana flower) และเครือกล้วยเมื่ออายุ 8-18 เดือน หัวปลีคือส่วนที่ดอกของกล้วยและจะเปลี่ยนเป็นผลกล้วย เมื่อบางส่วนของหัวปลีเจริญเติบโตเป็นผลกล้วยแล้วยังเหลือส่วนปลายที่ไม่ให้ผลกล้วยอีกต่อไปแล้ว แต่ยังสามารถนำมาใช้บริโภคได้ ฉะนั้นเมื่อกล้วยหวีสุดท้ายติดผลแล้วจึงควรตัดปลีทันที หัวปลีสามารถนำมาทำเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ ได้เช่นกัน เช่น แกงเลียง แกงเผ็ด หรือทำเป็น ผักจิ้ม ทั้งหัวปลีและหยวกกล้วยอาจนำมาแปรรูปด้วยเทคโนโลยีการบรรจุในภาชนะปิดสนิทเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องกรรมวิธีการผลิตหัวปลีและไส้หยวกกล้วยบรรจุกระป๋อง

2.4 ไขมันในอาหารทอดกรอบ

การแปรรูปกล้วยโดยทั่วไปจะทำให้กล้วยอยู่ในลักษณะเป็นของแห้งและกรอบ โดยใช้วิธีการทอด ในการทอดนั้นไขมันเป็นส่วนสำคัญหนึ่งที่ใช้ปรุงกลิ่นและรสสัมผัสในอาหารให้อร่อยน่ารับประทาน เราสามารถพบไขมันได้ทั้งในเนื้อสัตว์และพืช เช่น มันหมู น้ำมันพืช เมล็ดธัญพืช และนม อาหารที่เรารับประทานประกอบส่วนผสมของกรดไขมันดังนี้คือ

- กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid)
- กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid)
- กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids)
- Trans-fatty acids

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid, MUFA) จัดอยู่ในกลุ่มกรดไขมันที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายเช่นกัน เพราะร่างกายสามารถสร้างขึ้นเองได้ มีคุณสมบัติช่วยลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี (LDL-C) ป้องกันเส้นเลือดตีบได้ พบมากในน้ำมันมะกอก น้ำมันคาโนล่า เหมาะกับการทอดหรือผัดที่ใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน โดยไม่ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid, PUFA) หรือกรดไขมันจำเป็น คือกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากการรับประทานอาหารเข้าไปเท่านั้น กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันชนิดนี้ช่วยลดคอเลสเตอรอลและช่วยให้ร่างกายสามารถสังเคราะห์สารที่สำคัญหลายชนิด ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายหลายอย่าง กรดไขมันชนิดนี้พบมากในน้ำมันพืชหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด เป็นต้น แต่กรดไขมันชนิดนี้ไม่คงตัวเมื่อถูกความร้อนสูงเป็นเวลานาน จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและมะเร็ง กรดไขมันประเภทนี้จึงเหมาะสมหรับการปรุงอาหารประเภทผัดหรือประเภทที่ใช้ความร้อนสูงในเวลาไม่นานนัก

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid, SAFA) กรดไขมันชนิดนี้มีมากในน้ำมันสัตว์ และน้ำมันมะพร้าว มักจะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปจะเพิ่มระดับคอลเลสเตอรอลในร่างกาย ทำให้เกิดการสะสมของไขมันในเส้นเลือด และก่อให้เกิดเส้นเลือดตีบ แต่จะช่วยทำให้อาหารทอดกรอบนาน

Trans-fatty acid มีผลเสียต่อหัวใจ และยังเป็นสารก่อมะเร็ง ไขมันชนิดนี้ได้จากการนำเอาไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated) มาใส่ไฮโดรเจน (ปฏิกิริยาไฮโดรจีไนเซชั่น) เพื่อป้องกันเหม็นหืนและทำให้อยู่ในรูปของแข็ง หากรับประทานไขมันชนิดนี้มากจะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจเพิ่มขึ้น 53เปอร์เซ็นต์ อาหารที่ใช้ส่วนประกอบของไขมันชนิดนี้คือ อาหารที่อบหรือปิ้ง เช่นพวกขนมปัง คุกกี้ เค้ก มาการีน อาหารทอด เนยเทียม ขนมกรุบกรอบสำเร็จรูปบรรจุซอง ๆ หรือขนมอบแบบฝรั่งในร้านเบเกอร์รี่ อาหารเหล่านี้มีไขมัน transfatty acid ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นไขมันจากพืชที่ไม่มีคอลเลสเตอรอล แต่เมื่อถูกความร้อนสูง ๆ หรือถูกทำให้แข็ง (มาการีน) โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชจะเปลี่ยน เมื่อกินแล้วทำให้ระดับ HDL ในเลือดต่ำลง และระดับไขมัน LDL สูงขึ้น นอกจากนี้ไขมัน Trans fatty acid ยังก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายคือ ทำให้ไขมันในเลือดสูงขึ้นซึ่งเพิ่มปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ ซึ่งหากบริโภคไขมันชนิดนี้ติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้เกิดโรคหัวใจขาดเลือดหรือหลอดเลือดหัวใจอุดตัน องค์การอาหารและยาของอเมริกาให้แจ้งปริมาณของ Trans fatty acid ในฉลากอาหารตั้งแต่ปี 2006

2.5 กระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังผิววัสดุที่ต้องการอบแห้งโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น การพา การนำ การแผ่รังสี หรือทั้งสามแบบผสมกัน เพื่อทำให้น้ำหรือของเหลวที่อยู่ในเนื้อวัสดุระเหยออกมาอยู่ในรูปความดันไอ โดยความร้อนที่ได้รับคือความร้อนแฝงในการระเหย วัสดุสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

ในกระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งอัตราการอบแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง ที่ช่วงการอบแห้งคงที่ความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านกระแสอากาศไปบนตัววัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 หลักการอบแห้ง

การอบแห้งอาหารโดยทั่วไป อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีอาหารสูง ๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น การอบแห้งเป็นวิธีที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารเป็นระยะเวลานาน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้ามาก ถ้าปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้เป็นเวลานานโดยไม่เสีย ทั้งนี้หลักการอบแห้งอาหารจะเกี่ยวเนื่องกับจุดประสงค์ของการอบแห้งซึ่งการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป จะมีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อต้องการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกจนมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของอาหาร สะดวกต่อการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสดจะกินเนื้อที่และดูแลรักษาลำบางโดยเฉพาะพวกนมสด ถ้าทำเป็นนมผงจะทำให้น้ำหนักเบาขึ้น การบรรจุ การขนส่งก็สะดวกและประหยัด ในการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไปพบว่าอาหาร แห้งที่ได้มีน้ำหนักลดไปมาก

การกล่าวว่าอาหารที่มีปริมาณน้ำน้อยจะเก็บรักษาได้นานกว่านั้น จะสัมพันธ์อยู่กับลักษณะการเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์เป็นสำคัญ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีอยู่ทั่ว ๆ ไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ดังนั้นโอกาสที่เชื้อจุลินทรีย์จะสัมผัสกับอาหารก็มีมาก แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ทุกชนิดจะมีความสามารถในการดำรงชีพหรือเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

2.5.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นสมดุล

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน เช่น เมล็ดพืชไปวางไว้ในอากาศที่มีสภาวะคงที่คือมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ผลิตภัณฑ์นั้นอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ (Desorption) หรือดูดซับความชื้นอากาศ (Adsorption) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นอากาศ และเมื่อวางไว้เป็นเวลานาน ๆ ผลิตภัณฑ์นี้จะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content : EMC) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้น อัตราการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศรอบ ๆ มีค่าเท่ากับ อัตราการได้รับความชื้นจากอากาศรอบ ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้นความดันไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศรอบ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทฤษฎีความชื้น

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ ฐานเปียกและฐานแห้ง เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลความชื้นของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการ

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \quad (2.1)$$

ในทางตรงกันข้ามเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของมวลน้ำในอาหารต่อมวลแห้งของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการ

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (2.2)$$

แนวโน้มในการใช้ความชื้นเพื่ออ้างอิงในงานวิจัยมักจะใช้ความชื้นฐานแห้งมากกว่าฐานเปียก เนื่องจากการอ้างอิงโดยใช้ฐานเปียกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเพราะมีความชื้นของวัสดุความชื้นของอาหาร อาจหาได้จากการใช้ตู้อบไล่ความชื้นธรรมดาหรือตู้อบสุญญากาศก็ได้ เช่น ผลไม้แห้งที่อบที่ 70 °ซ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ เมล็ดพันธุ์อบที่ 130 °ซ เป็นเวลา 1-2 ชั่งโมงในตู้อบไล่ความชื้นธรรมดา เป็นต้น ซึ่งค่าความชื้นฐานแห้ง (kg/kg) ของกล้วยหอมอบกรอบมีค่าเท่ากับ 0.33 ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

2. ทฤษฎีคุณสมบัติของอากาศ-น้ำ

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์โดยตรง ค่าที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของอากาศแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

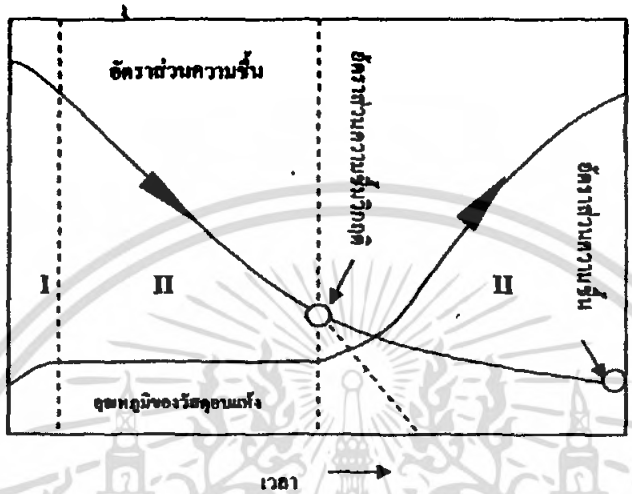
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศโดยการวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดาแต่ตรงปลายหลอดแก้วที่เป็นกระเปาะบรรจุปรอทห่อหุ้มด้วยผ้าชุบน้ำ ดังนั้น อุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของน้ำที่ห่อหุ้มกระเปาะ โดยปรอทภายในหลอดแก้วจะลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิของน้ำที่ห่อหุ้มปรอท และจะต้องอ่านอุณหภูมิทันที โดยปกติแล้วค่าอุณหภูมิของกระเปาะเปียกจะอ่านค่าได้ต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นมีผ้าชุบน้ำหุ้มอยู่ ไอน้ำจากถุงผ้าที่อยู่รอบ ๆ กระเปาะเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะระเหยออกมา ซึ่งไอน้ำที่ระเหยออกมารอบ ๆ กระเปาะนี้จะทำให้ปรอทเย็นลงทำให้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้โดยอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ซึ่งความแตกต่างระหว่าง 2 ค่านี้ จะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศด้วย ถ้าไอน้ำในอากาศมีมาก อัตราการระเหยของน้ำในอากาศได้น้อย อัตราการระเหยของน้ำจากถุงผ้าจะสูงทำให้ค่าที่อ่านได้แตกต่างกันมากขึ้น แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกระเปาะเปียกจะมีค่าเท่ากับกระเปาะแห้ง เนื่องจากสภาพดังกล่าวอากาศไม่สามารถดูดซึมความชื้นหรือไอน้ำได้อีกแล้ว ทำให้การระเหยของไอน้ำจากถุงผ้าไม่มีจึงอ่านอุณหภูมิได้เท่ากัน

2.5.3 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve)

การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

II : ช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่

III : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) t_w ของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้ คือ ช่วงที่ I ในรูปที่ 2.3 ในช่วง II ที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ t_w ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูปที่2.3 อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย (w) ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง II นี้ ดังนั้นความเร็วของการระเหยในช่วงนี้จะมีค่าคงที่ (Constant drying rate) ในช่วงที่ III ความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุสงผ่านมาที่ผิวไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น ความเร็วของการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลงเพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้ว ความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล, w_e (Equilibrium moisture content) ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ, w_c (Critical moisture content) ผลต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย w ใด ๆ และ w_e มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ, F (Free moisture content) F คือ ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุที่มีช่วงที่ II และ III ยาวนานมาก จะไม่คำนึงถึงช่วงที่ I ก็ได้ อนึ่งในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้นหรือในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะชนิด อาจไม่มีช่วง II เลยก็ได้

2.6 การอบแห้งผลไม้

การอบแห้งผลไม้เป็นหนึ่งในวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ใน การถนอมรักษาอาหารให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนาน โดยใช้หลักการในการลดความชื้นของอาหารให้อยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ การอบแห้งโดยทั่วไปจะอาศัยพลังงานความร้อนในการระเหยน้ำออกไปเป็นไอน้ำ ยกเว้นวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

ข้อดีของการอบแห้งผลไม้

1. เป็นวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายและเกลือแร่ที่มีอยู่ในผลไม้ ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน มากกว่าวิธีการแปรรูปแบบอื่น และสามารถเสริมวิตามินเข้าไปในผลิตได้ง่าย

2. มีอายุการเก็บรักษายาวนานและตลอดไปหากเก็บไว้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย เอนไซม์และเชื้อราในระดับสูง

3. ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งและเก็บรักษา เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ในด้านพลังงานในการแช่เย็นทั้งในช่วงขนส่งและเก็บรักษา อีกทั้งมีน้ำหนักเบา ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 1/7 - 1/9 ของผลไม้สด ผลไม้กระป๋อง หรือผลไม้แช่เยือกแข็ง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

4. มีผลิตภัณฑ์จำหน่ายตลอดปีและสม่ำเสมอไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล

5. กระบวนการผลิตสะดวก ยืดหยุ่น และคุ้มทุน เนื่องจากสามารถกำหนดขนาดและรูปร่างได้ตามความต้องการ

6. สามารถเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีราคาถูกได้ แต่จำเป็นต้องมีการดูดออกซิเจนและความชื้นออกไป

7. เป็นผลิตภัณฑ์ที่บริโภคได้ง่าย เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

2.7 เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการบุฉนวนไว้ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อประหยัดพลังงาน มีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบเพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมความชื้นของอากาศโดยอัตโนมัติ การควบคุมเครื่องอบแห้งโดยคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนขึ้น ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น การอบแห้งที่เหมาะสมกับอาหารชิ้นเล็กและเป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะต้นทุนต่ำ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน(วิไล, 2546)

2.7.1 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด

เป็นเครื่องอบแห้งที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบนี้ ได้แก่ ตู้หรือห้องอบ (Drying chamber) แหล่งพลังงานความร้อน (Heater) พัดลม (Fan) ตัวกรองอากาศ (Screen หรือ Filter) และช่องระบายอากาศ (Damper) โดยชิ้นอาหารที่ต้องการทำแห้งที่ผ่านการเตรียมมาเรียบร้อยแล้ว จะจัดวางไว้ในถาดที่เรียงอยู่ในห้องอบ โดยถาดที่ใช้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่ในตู้ ถาดควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิมและมีรูเปิดที่ถาด เพื่อทำให้ลมร้อนสามารถไหลเวียนผ่านถาดได้ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง

ในระดับอุตสาหกรรม ถาดอาจวางซ้อนกันบนโครงเหล็กที่มีล้อเลื่อน โดยเมื่อจัดวางอาหารที่ต้องการทำแห้งเรียบร้อยแล้ว จะเคลื่อนถาดทั้งหมดเข้าไปในตู้อบพร้อม ๆ กัน ทำให้สะดวกในการปฏิบัติ

ขณะเครื่องทำแห้งทำงาน พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่อง ซึ่งส่วนมากมักจะผ่านแผ่นกรองเพื่อกรองฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ปะปนมาในอากาศ อากาศที่กรองแล้วจะผ่านขดลวดให้ความร้อน ทำให้เกิดกระแสลมร้อน ซึ่งจะพัดผ่านอาหารในถาดที่วางอยู่ภายในตู้ ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหาร เพื่อให้น้ำกลายเป็นไอและระเหยออกจากผิวอาหาร ลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกไปทางช่องระบายอากาศ ในขณะเดียวกันจะปล่อยให้ลมร้อนบางส่วนหมุนเวียนอยู่ภายในตู้ เพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ยังอยู่ในอาหารร่วมกับความร้อนจากลมร้อนที่เข้ามาใหม่

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้จะใช้กับการทำแห้งในระดับครัวเรือน อุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง การทำแห้งแบบนี้จัดว่าเสียค่าใช้จ่ายไม่แพงนัก บำรุงรักษาและควบคุมได้ง่ายและมักเป็นแบบกะ (Batch process) ส่วนมากมักใช้ในการทำแห้งผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ เป็นต้น (ปานศรัณย์และคณะ, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด

2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากกระบวนการทำแห้ง

2.8.1 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร

น้ำในอาหารและองค์ประกอบภายในอาหารจะมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการทำแห้ง เนื่องจากน้ำภายในอาหารซึ่งเป็นตัวทำละลาย น้ำเกิดการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่ง จึงพาองค์ประกอบเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปด้วย เมื่อนำชิ้นอาหารมาทำแห้งด้วยลมอุ่น การหดตัวของอาหารที่ผิวจะทำให้ภายในชิ้นอาหารเกิดแรงอัด ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของของเหลวจากภายในออกมาสู่ภายนอก ลักษณะการยอมให้ผ่านของผนังเซลล์ (Cell permeability) ในเนื้อเยื่ออาหารจะเป็นตัวกำหนดการไหลของน้ำจากภายในสู่ภายนอก ขณะที่น้ำเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวเพื่อการระเหยนั้น ก็จะพาเอาตัวถูกละลายออกมาด้วย เมื่อน้ำระเหยออกไปจากผิว ตัวถูกละลายจะตกค้างอยู่ที่ผิว ทำให้ที่ผิวนอกมีปริมาณตัวถูกละลายมากกว่าภายใน ในขณะเดียวกันจะเกิดกลไกอีกอย่างหนึ่งซึ่งตรงกันข้าม คือ ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวมากกว่าความเข้มข้นภายใน จะเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายนี้จากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านในด้วยทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีแรก ในการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบนี้ การที่จะเกิดการเคลื่อนที่แบบใดมากกว่านั้นจะขึ้นกับสมบัติเฉพาะตัวของอาหารและสภาวะในการทำแห้ง แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเกิดการเคลื่อนที่แบบแรกมากกว่า การที่ตัวถูกละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ออกมาอยู่ที่ผิวของชิ้นอาหารมากเกินไปอาจเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการทำแห้ง ในกรณีนี้จะทำให้เกิดลักษณะแห้งแข็งที่ผิว เรียกว่า "Case hardening" กลไกการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ยังไม่รู้แน่ชัด แต่คาดว่าหนึ่งในปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุคือ การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย และการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่สูงเกิดไป ลักษณะผิดปกติที่พบคือ ที่ผิวของอาหารด้านนอกจะมีลักษณะเหมือนกับอาหารนั้นแห้งแล้ว แต่ถ้าดูภายในพบว่าอาหารนั้นยังชื้นสูงอยู่ บางครั้งผิวด้านนอกที่แห้งจะมีลักษณะเหนียวเป็นยาง (Gummy) ใส (Glassy) หรือมีลักษณะคล้ายหนัง (Leathery) โดยมากการเกิดลักษณะแห้งแข็งที่ผิวนี้ จะเกิดขึ้นในการทำแห้งผลไม้ เนื้อสัตว์ และปลา แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนว่าลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใช้สภาวะอบแห้งเช่นใด หรือจะเกิดกับอาหารชนิดใดบ้าง ถ้าต้องการหลีกเลี่ยงสภาวะนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิของอาหารอยู่ประมาณ 49-55 °ซ และอุณหภูมิกระเปาะเปียกลดลงไม่เกิน 68-86 °ซ ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของความชื้นภายในกับภายนอกมากนัก การใช้ลมร้อนเพื่อป้องกันการแห้งแข็งที่ผิวนั้น เป็นวิธีที่ไม่ประสบผลสำเร็จนัก เพราะความชื้นในอากาศจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง

2.8.2 การหดตัวของอาหาร

การทำแห้งทุกแบบยกเว้นการทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง (Freeze Dry) จะทำให้เกิดการหดตัวของอาหารมากน้อยต่างกันไปในแต่ละวิธี แม้อาหารที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ก็จะมีการหดตัวด้วย ในช่วงต้น การหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ลดลง แต่ในช่วงปลายของการทำแห้ง การหดตัวจะลดลง อาหารจะมีขนาดและรูปร่างคงที่ก่อนที่การทำแห้งจะสิ้นสุด ความโปร่งพรุนของโครงสร้างและความหนาแน่นเนื้อ (Bulk density) ของผักแห้งจะขึ้นกับสภาวะในการทำแห้ง เมื่ออัตราการทำแห้งในตอนต้นสูง ผิวภายนอกของชิ้นอาหารจะแข็ง ปริมาตรจะคงที่อยู่ตัว ขณะที่การทำแห้งดำเนินต่อไป เนื้อเยื่อภายในจะแยกตัวเป็นโครงสร้างที่โปร่ง อาหารที่เกิดการทำแห้งในลักษณะนี้จะมี Bulk density สูง การหดตัวนี้อาจมีผลต่ออัตราการทำแห้งเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิว การป้องกันการหดตัวนี้อาจทำโดยการควบคุมความดันของบรรยากาศให้มีความดัน 500-1500 psi ด้วยก๊าซต่าง ๆ เช่น มีเทน ไนโตรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ อากาศ ฟรีออน หรือ อีเทน แล้วนำไปแช่แข็ง จากนั้นจึงทำให้แห้งโดยใช้อากาศ ผลิตภัณฑ์จะโปร่งพรุนและไม่หดตัว ก๊าซที่ใช้ถ้าเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดอื่น

2.8.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ข้อบกพร่องที่พบมากในด้านการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส คือ เนื้อสัมผัสหลังคืนรูปแข็งหรือเหนียวเกินไป และมีการสูญเสียความชุ่มน้ำ เป็นต้น

เหตุผลทางกายภาพเคมีของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ยังไม่ทราบแน่ชัด ในกรณีเนื้อเยื่อพืช การสูญเสียความเต่งของเซลล์และการตกผลึกของโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) อาจเป็นสาเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการเปลี่ยนแปลง การตกผลึกของโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง หรือ เซลลูโลส อาจเกิดจากการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้งเป็นหลัก มักเกิดปฏิกิริยารีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ควบคู่ไปกับการทำแห้ง ในกรณีเนื้อเยื่อสัตว์ ความนุ่มจะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะแอกโตไมโอซิน (Actomyosin) การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากการรวมตัว หรือการเชื่อมข้ามของโปรตีนที่ยังไม่แปรสภาพธรรมชาติ หรือเกิดการแปรสภาพธรรมชาติของโปรตีนก่อนการรวมตัว หรือเกิดจากปฏิกิริยาของโปรตีนทั้งที่แปรสภาพและยังไม่แปรสภาพธรรมชาติกับไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต ส่วนสำคัญที่เกิดการเชื่อมข้ามในแอกโตไมโอซิน คือ ไมโอซิน (Myosin) คาดว่าการเชื่อมข้ามเกิดจากพันธะไดซัลไฟด์ (S-S bond) พันธะนี้อาจเกิดขึ้นได้แม้ในสภาวะแช่เย็น การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสนี้จะพบได้ทั้งในการทำแห้งด้วยอากาศร้อนและการทำแห้งในสภาวะแช่แข็งซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิของการทำแห้งจะเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงนี้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้

2.8.4 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบย้อนกลับไม่ได้ ปฏิกิริยานี้บางครั้งเป็นที่ต้องการในอาหารบางชนิด เช่น การเกิดเปลือกสีน้ำตาลของก้อนขนมปัง แต่ในการทำแห้งโดยมากจะถือว่าเป็นข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่สำคัญที่สุด ถ้าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นไม่รุนแรงนักจะสังเกตเห็นเพียงการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นรุนแรงจะมีผลต่อกลิ่นรสและการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ด้วยปฏิกิริยาที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลนี้มักเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) และกลุ่มอะมิโน (Amino group) ปฏิกิริยาจะเป็นแบบลูกโซ่ เกิดสารที่มีสีชมพูหรือแดงก่อน และจะเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์สีน้ำตาล ในทางอาหารปฏิกิริยามักเกิดระหว่างน้ำตาลกับโปรตีน ดังนั้นนอกจากจะทำให้ลักษณะปรากฏไม่น่าดูแล้ว ปฏิกิริยานี้ยังก่อให้เกิดการสูญเสียสารอาหารไปในตัวด้วย อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทันที การเปลี่ยนแปลงมักจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิร่วมกับเวลา อาหารที่ไม่ทนอุณหภูมิสูงจะทนอุณหภูมิ 200 °F หรือ 93 °ซ หรือสูงกว่าได้เพียง 2-3 วินาทีเท่านั้นโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่โดยทั่วไปน้ำตาลจะเกิดขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 120 °F หรือ 49 °ซ เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง อัตราเร็วของการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหาร ในสารละลายที่เจือจางมากจะเกิดปฏิกิริยาช้า แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะมีความเร็วสูงสุด เมื่อมีความชื้น 15-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นลดลงกว่านี้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงที่ความชื้น 1-2 เปอร์เซ็นต์ จะไม่เกิดปฏิกิริยาแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้น สำหรับอาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมากๆ นี้ ลักษณะของคุณภาพอื่น ๆ เช่น การเกิดกลิ่นหืนจะเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มากกว่าการเกิดสีน้ำตาล การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลอาจทำได้โดยใช้ซัลเฟอร์ได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83032

ออกไซด์ หรืออาจใช้ในรูปของซัลไฟต์ (Sulfite) และเมตาไบซัลไฟต์ (Metabisulfite) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ การทำแห้งด้วยอากาศร้อนจากการเผาแก๊สหรือน้ำมัน ถ้าในเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่อาจทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินปริมาณที่กำหนดได้ จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

2.8.5 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ

สำหรับการทำแห้งที่อุณหภูมิจะมีข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแห้งแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ทำแห้ง และสภาวะที่เก็บที่แตกต่างกัน ในการทำแห้งผักและผลไม้ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจากการเตรียมวัตถุดิบมักจะมากกว่ากระบวนการทำแห้ง จากการติดตามการสูญเสียวิตามินซีในแอบเปิ้ลเกล็ดพบว่า การสูญเสียจากการหั่นจะมีค่า 8 เปอร์เซ็นต์ จากการลวก 62 เปอร์เซ็นต์ จากการบด 10 เปอร์เซ็นต์ และจากการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพียง 5เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการทำแห้ง สารละลายของวิตามินที่ละลายน้ำในอาหารจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายของวิตามินบางชนิดอาจจะมีความเข้มข้นสูงจนถึงระดับอิ่มตัว และมีวิตามินตกตะกอนออกมา แต่การสูญเสียในลักษณะนี้จะมีน้อย วิตามินบางชนิด เช่น วิตามินซี จะมีการละลายสูงมาก และไม่เกิดการตกตะกอน การสูญเสียวิตามินซีจะเกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน สภาวะการทำแห้งจึงควรใช้เวลาสั้น อุณหภูมิต่ำ และควบคุมออกซิเจนและความชื้นให้น้อยที่สุด ไทอะมีน (Tiamine) ก็จะมีการสูญเสียเนื่องจากความร้อนเช่นเดียวกัน ส่วนวิตามินที่ละลายน้ำอื่น ๆ จะทนต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า และมีการสูญเสียเพียง 5-10เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรวมทั้งการสูญเสียจากการลวก วิตามินที่ละลายในน้ำมันจะไม่ถูกเพิ่มความเข้มข้นเช่นเดียวกับวิตามินที่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณน้ำลงอาจทำให้ความเข้มข้นของโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ วิตามินที่ละลายในไขมันจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การลดการสูญเสียวิตามินเหล่านี้ระหว่างการเก็บจะทำโดยการลดปริมาณออกซิเจน ลดอุณหภูมิ และป้องกันแสง การทำแห้งที่มีอุณหภูมิต่ำนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโปรตีน สตาร์ช และคาร์โบไฮเดรตอื่นน้อยมาก แต่เนื่องจากอาหารแห้งซึ่งได้จากกระบวนการนี้จะมีโครงสร้างโปร่งพรุน จึงช่วยให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันภายในอาหารได้ดีขึ้น อาหารเหล่านี้จึงมักบรรจุภายในก๊าซเฉื่อยหรือในสุญญากาศ การเปลี่ยนแปลงและการสูญเสียของ ไทอะมีน วิตามินซี และวิตามินอื่นๆจะมีน้อย ส่วนมากการสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงการเตรียมวัตถุดิบ (นิธิยา, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 แป้ง

แป้งจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน 2 ชนิดคือ อะไมโลส (amylose) 15-20 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลเพคติน (amylopectin) 80-85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะไมโลสในแป้งต่าง ๆ จะแตกต่างกันออกไปสังเกตจากตารางที่ 2.3

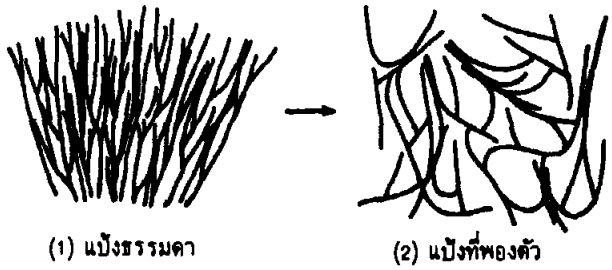
ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณของอะไมโลสในแป้ง

ชนิดของแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)
ข้าวเจ้าธรรมดา	16
ข้าวบาร์เลย์	27
ข้าวโพด	26
ข้าวสาลี	25
มันสำปะหลัง	20
มันเทศ	18
มันฝรั่ง	20
หัวเท่าขายม่อม	20
กล้วย	21

ที่มา: ศศิเกษม และพรรณี (2545)

แป้งสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ ในภาวะปกติแป้งจากธัญพืชสามารถดูดความชื้นได้ 12-14เปอร์เซ็นต์ โดยปกติแป้งไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่เมื่อนำแป้งไปใส่ในน้ำเย็น น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของแป้งโดยไม่ทำลายโครงสร้างของแป้งได้ถึง 30เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งมองดูด้วยตาเปล่าไม่เห็นแต่เม็ดแป้งจะจมน้ำ ถ้านำน้ำแป้งไปทำให้ร้อน ส่วนที่เป็นอะไมโลสจะละลายน้ำและดูดน้ำได้มากทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น โมเลกุลจะเข้ามาใกล้ชิดกันและยึดเข้าด้วยกัน บางส่วนของอะไมโลสจะแตกออกมาอยู่ในน้ำ จะเห็นเม็ดแป้งกระจายอยู่ในน้ำเป็นน้ำแป้ง ทำให้ได้สารละลายที่ข้นขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การทำให้เป็นเจลาติน (gelatinization) สำหรับอะไมโลเพคตินในแป้งจะไม่มีการตกตะกอนเพราะมีโมเลกุลใหญ่ แป้งที่มีอะไมเพคตินจะไม่เหนียว เช่น แป้งข้าวเจ้าตรงกันข้ามกับแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลสมากจะข้นเหนียว การพองตัวของเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของแป้งก่อนและหลังพองตัว (ศศิเกษม และพรรณี, 2545)

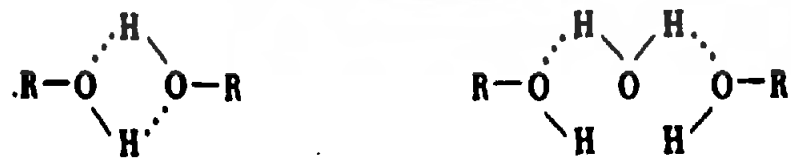
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาตินมีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ pH และขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะเป็นเจลาตินที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อนำเม็ดแป้งไปใส่ในน้ำเย็นจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ขั้นคือ

ขั้นที่ 1 เม็ดแป้งจะดูดน้ำประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์

ขั้นที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วและดูดน้ำกลับเข้าไปมาก ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 65 ° ซ เม็ดแป้งสามารถดูดดูดน้ำได้มากได้ถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ที่ 60 ° ซ 1000 เปอร์เซ็นต์ ที่ 70 ° ซ และอาจดูดน้ำได้สูงสุดถึง 2500 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักเดิมของแป้ง เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงในขั้นที่ 2 และโมเลกุลบางส่วนของแป้งจะละลายน้ำ ดังนั้นของเหลวที่ได้รับจะให้สีกับไอโอดีน อะไมโลสในแป้งสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard และBowler, 1987) ให้สีน้ำเงินม่วง

ขั้นที่ 3 เม็ดแป้งจะขยายใหญ่ขึ้น เม็ดแป้งจะถูกทำลายและแป้งจะออกมาอยู่ในน้ำ ความเหนียวของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกาะติดกันและไม่อาจดึงออกจากกันได้

การพองตัวของแป้งโดยเฉพาะอะไมโลสทำให้น้ำแป้งเหนียว และเกิดเป็นเจลาตินขึ้น ในเม็ดแป้งโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แต่เป็นพันธะอย่างอ่อนในโมเลกุลดังไดอาแกรมที่ (1) ในรูปที่ 2.6

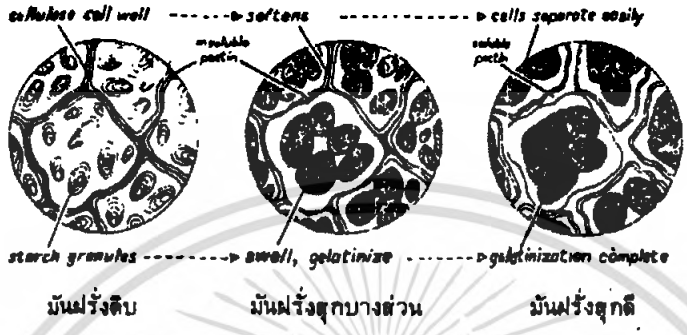


ไดอาแกรมที่ (1) ไดอาแกรมที่ (2)

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการจับตัวของ โมเลกุลของแป้ง (ศศิเกษม และพรรณี, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น พันธะไฮโดรเจนทั้งในน้ำและในแป้งจะถูกทำลาย น้ำจะซึมเข้าไประหว่างโมเลกุลของแป้งดังไดอาแกรมที่ (2) จึงทำให้แป้งมีการเพิ่มขนาดหรือพองตัว เพราะโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปอยู่ในโมเลกุลของแป้ง ตัวอย่างเช่นมันฝรั่งเมื่อนำไปทำให้สุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของโมเลกุลแป้งในฝรั่งก่อนและหลังทำให้สุก (ศศิเกษม และพรรณี, 2545)

เมื่อเจลเกิดขึ้นแล้ว พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์จะค่อย ๆ แผ่ขยายออก ทำให้ส่วนที่เป็นไมเซลล์ขยายออกไปด้วย ซึ่งมีผลให้เจลที่เกิดขึ้นมีลักษณะแน่นขึ้น เกิดการหดตัวและมีบางส่วนของน้ำ ที่ถูกจับอยู่ในเจลออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า รีโทรเกรเดชั่น ลักษณะนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมีความสำคัญมากในอาหาร

ปริมาณและอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชั่น ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ขนาด รูปร่าง และความเข้มข้นของโมเลกุลแป้ง กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเร็วที่สุดที่อุณหภูมิใกล้ 0 °ซ

แป้งซึ่งส่วนใหญ่เป็นอะไมโลสจะละลายในสารละลายทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น หรือเกิด เจลาดิไนเซชั่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้กรานูลแตกออก เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะเกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชั่นขึ้น (ศศิเกษม และพรรณี, 2545)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ratiya และคณะ ได้ศึกษาวิธีอบแห้งร่วมกับโฟมมิ่งในการผลิตกล้วยอบกรอบ โดยศึกษาจากปัจจัย คือ เวลาในการตีไข่และความเข้มข้นของไข่ขาวต่อความหนาแน่นโฟม และได้ศึกษาความหนาแน่นของโฟม อุณหภูมิในการอบแห้ง และความเข้มข้นไข่ขาว ที่มีผลต่อคุณลักษณะหลังการอบแห้ง และคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้าน การหดตัว เนื้อสัมผัส และโครงสร้างโมเลกุล กล้วยข้นและไข่ขาวที่เป็นตัวโฟมมิ่งที่มีความเข้มข้น 0.3 0.5 และ 0.7 กรัม/ลบ.ซม. โดยโฟมกล้วยมีความหนา 5 มม. และอบแห้งจนความชื้น 0.03 kg/kg db ที่ 60 70 และ80 °ซ ความเร็วลม 0.5 ม./วินาที จากผลการทดลองแสดงถึงการขยายของโครงสร้างรูพรุนของโฟมที่ความหนาแน่นต่ำกว่าที่แสดงถึงอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สูงกว่าของการอบแห้ง การแพร่ความชื้น และอัตราการหดตัว โฟมของกล้วยอบที่ความหนาแน่นต่ำกว่ายังให้ค่าความแข็งและความกรอบที่ต่ำกว่า ส่วนอุณหภูมิอบแห้งและความเข้มข้นของไข่ขาวนั้น ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามได้แนะนำความหนาแน่นโฟมเริ่มต้น 0.5 กรัม/ลบ.ซม. และอุณหภูมิอบแห้ง 80 °ซ ในการผลิตกล้วยแผ่นอบกรอบ

Lovedeep Kaur และคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกัลเคมีคอล เชิงรูปลักษณะ เชิงความร้อน และเชิงการไหลของแป้ง จากมันฝรั่งพันธุ์ cultivars เม็ดแป้งที่มาจากมันฝรั่งดิบมีค่าที่ต่ำกว่าในการถ่ายโอนความร้อนและค่าของพีคดรรชนีความสูง และมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันกับเอนทัลปีของการเกิดเจลาติไนซ์ที่สูงกว่าเม็ดแป้งจากมันฝรั่งที่ต้มแล้ว ซึ่งการพองตัว การละลาย อัตราส่วนอะไมโลส และค่าที่เปลี่ยนแปลง จะเห็นได้ชัดในเม็ดแป้งจากมันฝรั่งพันธุ์ Kufri Jyoti และKufri Budshah ขณะที่คุณสมบัติความข้นของแป้งจะต่ำกว่า ส่วนคุณสมบัติการไหลของแป้งจะวัดได้จาก ไดนามิกเรียวโอมิเตอร์ ซึ่งจะแสดงค่าความผันแปรที่มีนัยสำคัญ ในรูปของพีค G G′ และพีคtanδ โดยแป้งจาก Kufri Badshah และ Kufri Jyoti จะมีค่าพีค G′ G′′ ที่สูงกว่า และมีค่าพีค tanδ ที่ต่ำกว่าเม็ดแป้งของ Pukhraj ระหว่างช่วงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัว เม็ดแป้ง Kufri Jyoti และ Kufri Badshah จะมีค่า G′ที่แสดงค่าที่แตกหักที่สูงกว่าเม็ดแป้งจาก Pukhraj potato cultivar ซึ่งเมล็ดไซด์ใหญ่ของแป้งจาก Kufri Badshah และ Kufri Jyoti จะมีความคล้ายกัน เห็นได้จากค่าพีค G′ G′′ และสัมประสิทธิ์ความหนืด ซึ่งแป้งของ Cultivars ที่ต้มแล้วจะเกิดเรโทรเกรเดชันสูงกว่า ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างมากระหว่างเก็บที่ 4 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบลมร้อนแบบถาด (กล้วยน้ำไทการช่าง)
2. Hot Air Oven (MEMMERT, UM500)
3. Texture Analyzer (Stable Micro System, TA-XT plus)
4. Tri-stimulus colorimeter (Juki, JC801)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Yamato Blectronic Balance, HB-120)
6. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Shimadzu,BX 3000)
7. Hand Refractometer ที่ 0-32°บริกซ์ (Tamco)
8. ตู้แช่ (SANYO, SF-C992 NG)

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง กล้วยด้วยวิธีต่าง ๆ อุณหภูมิการอบ 70 และ 90°ซ โดยใช้กล้วยที่ระดับความสุกประมาณ 13-14°บริกซ์ และ 19-20°บริกซ์

กล้วยหอมถูกซื้อจากตลาดเสรีแล้วเก็บไว้ก่อนจนมีระดับความสุกที่ต้องการ โดยวัดปริมาณจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble Solid) ต้องได้ตามระดับความสุกที่ต้องการ นำไปล้างให้สะอาด แล้วปอกเปลือก หั่นกล้วยตามขวาง ให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา ประมาณ 2 และ 5 มม. ดังรูปที่ 3.1

3.2.1 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid) ทำได้โดย

1. นำกล้วยที่เตรียมไว้มาล้างให้สะอาด แล้วปอกเปลือก
2. หั่นกล้วยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปบดให้น้ำและเนื้อเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน
3. ใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Refractrometer) อ่านค่าที่ได้แล้วนำไปแทนในสมการ (3.1)

$$\% \text{ Soluble Solid} = \%\text{ของแข็งที่อ่านค่าได้จาก Refractrometer} \times \frac{(100 - b)}{100} \% \qquad (3.1)$$

โดยที่ b คือ ปริมาณน้ำ (%) ใน Soluble Solid (AOAC, 1995)

4. ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทุกครั้งก่อนการเตรียมตัวอย่างเพื่อควบคุมให้ได้ระดับความสุกตามต้องการ

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างกล้วยที่หั่นหนา 5 มม.

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การทดลองขั้นต้น ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งและเนื้อสัมผัสของกล้วยอบกรอบ

1. เตรียมกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 13-14 °บริกซ์ และ 19-20 °บริกซ์ หั่นตามขวาง ให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา 2 มม. และ 5 มม. โดยใช้เครื่องหั่นกล้วย

2. นำกล้วยไปผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างต่าง ๆ ดังนี้

- การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที
- การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบสลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที
- การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบสลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที
- การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบสลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

3. นำกล้วยแต่ละชุดไปอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด (กล้วยน้ำไทยการช่าง)

4. สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างกล้วยแต่ละชุดโดยดูจากลักษณะภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาลักษณะการอบแห้งเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบกล้วย

1. เตรียมกล้วยที่ระดับความสุกและความหนาที่สรุปได้จากการทดลองขั้นต้น

2. เตรียมตัวอย่างเหมือนการทดลองขั้นต้นโดยเพิ่มการแช่แข็งหลังการลวกเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงอีก 2 วิธี

3. นำกล้วยที่ผ่านการเตรียมแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยเครื่องชั่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

4. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

5. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิการอบเป็น 90 °ซ

6. หาเวลาการอบที่ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบที่เหมาะสม (Ratiya, 2008)

3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

1. ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง

2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

3. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งจากสมการ 3.2

$$\%\ \text{ความชื้นฐานแห้ง} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ- น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}\right] \times 100\% \qquad (3.2)$$

3.3.4 การทดลองขั้นที่ 2 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยนำกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างต่าง ๆ อบด้วยอุณหภูมิ 70 และ 90 °ซ ซึ่งใช้เวลาในการอบที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 1 มาวัดค่าสีและเนื้อสัมผัส

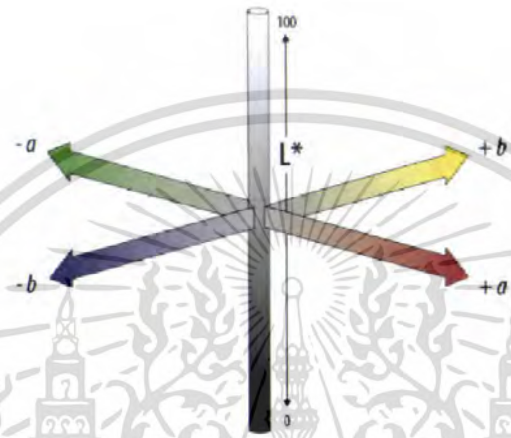
3.3.5 การวัดค่าสี

การวัดค่าสีทำได้โดยใช้เครื่อง Tri-stimulus Colorimeter แหล่งกำเนิดแสงชนิด D65 ที่มุม Standard Observer Angle 10 ° ทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง โดยอ่านค่าสีระบบ CIELAB (L*, a*, b*) วัดค่า L* (ค่าความสว่าง) a* (แดง/เขียว) b* (เหลือง/ฟ้า) เพื่อมาคำนวณค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด ΔE^* (Total Difference1976) ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*) + (b^*_0 - b^*)^2} \qquad (3.3)$$

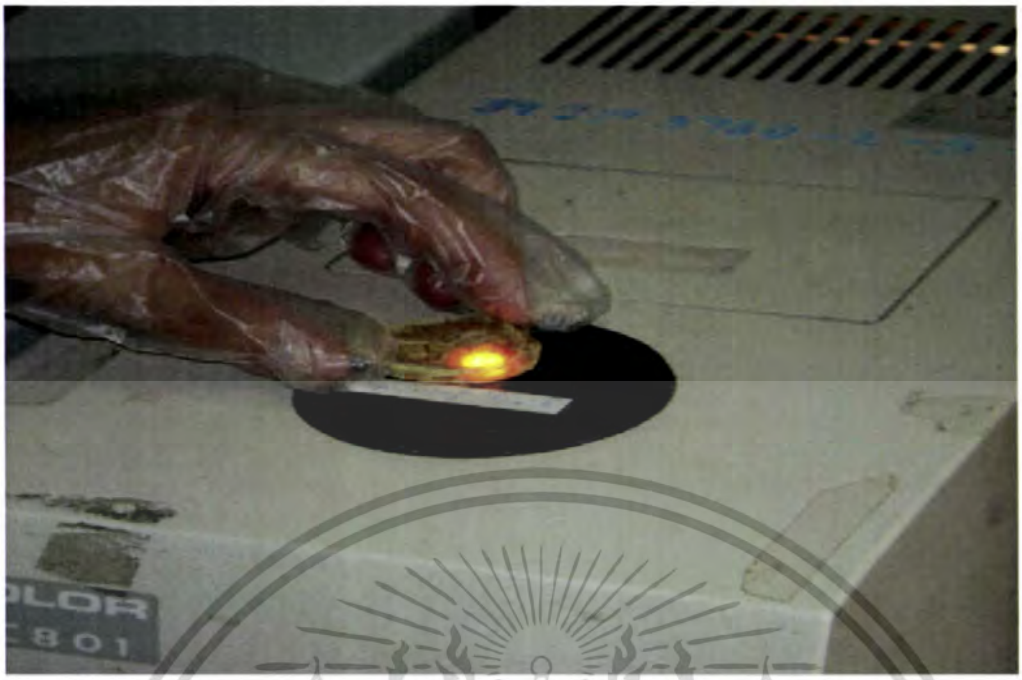
โดยตัวที่ห้อย " 0 " หมายถึง ค่าอ้างอิงสีที่อ่านจากกล้วยสด และยิ่งค่า ΔE^* มาก แสดงว่าสีมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก



รูปที่ 3.2 ระบบสี CIELAB (Technical Guides. 2008)

การวัดค่าสีของตัวอย่างแต่ละการทดลองทำโดยวัดสีบนชิ้นกล้วยอบแห้งตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง 3 จุด ซึ่งจะต้องเป็นจุดที่ไม่ตรงกับเส้นสีขาวที่แบ่งกั้นกลางหรือที่เมล็ดของชิ้นกล้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วจึงใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละชิ้นมาวิเคราะห์ด้วยสมการที่ 3.3 เพื่อหาค่า ΔE^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



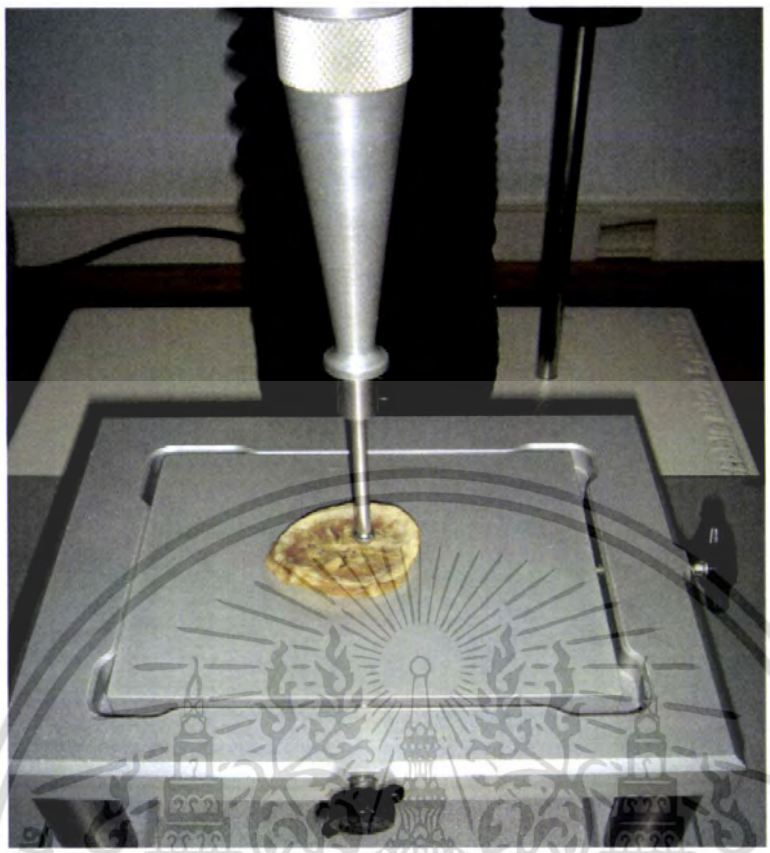
รูปที่ 3.3 การวัดสีของผลิตภัณฑ์

3.3.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจะวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยตั้งค่า Test Speed เท่ากับ 2 .00 mm/s ระยะทาง 5.00 มม. และ Trigger Force เท่ากับ 0.04903 นิวตัน ใช้หัวกดแบบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. (P/5S) โดยวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจากกราฟระหว่างแรงกด (นิวตัน) กับเวลา เลือกอ่านค่าแรงที่จุดสูงสุดของกราฟในการวิเคราะห์ แรงที่ได้นั้น คือ Breaking Force ซึ่งก็คือค่าความแข็ง (Hardness) และหาจำนวนพีคของกราฟ ซึ่งจะแสดงถึงค่าความกรอบ (Crispness)

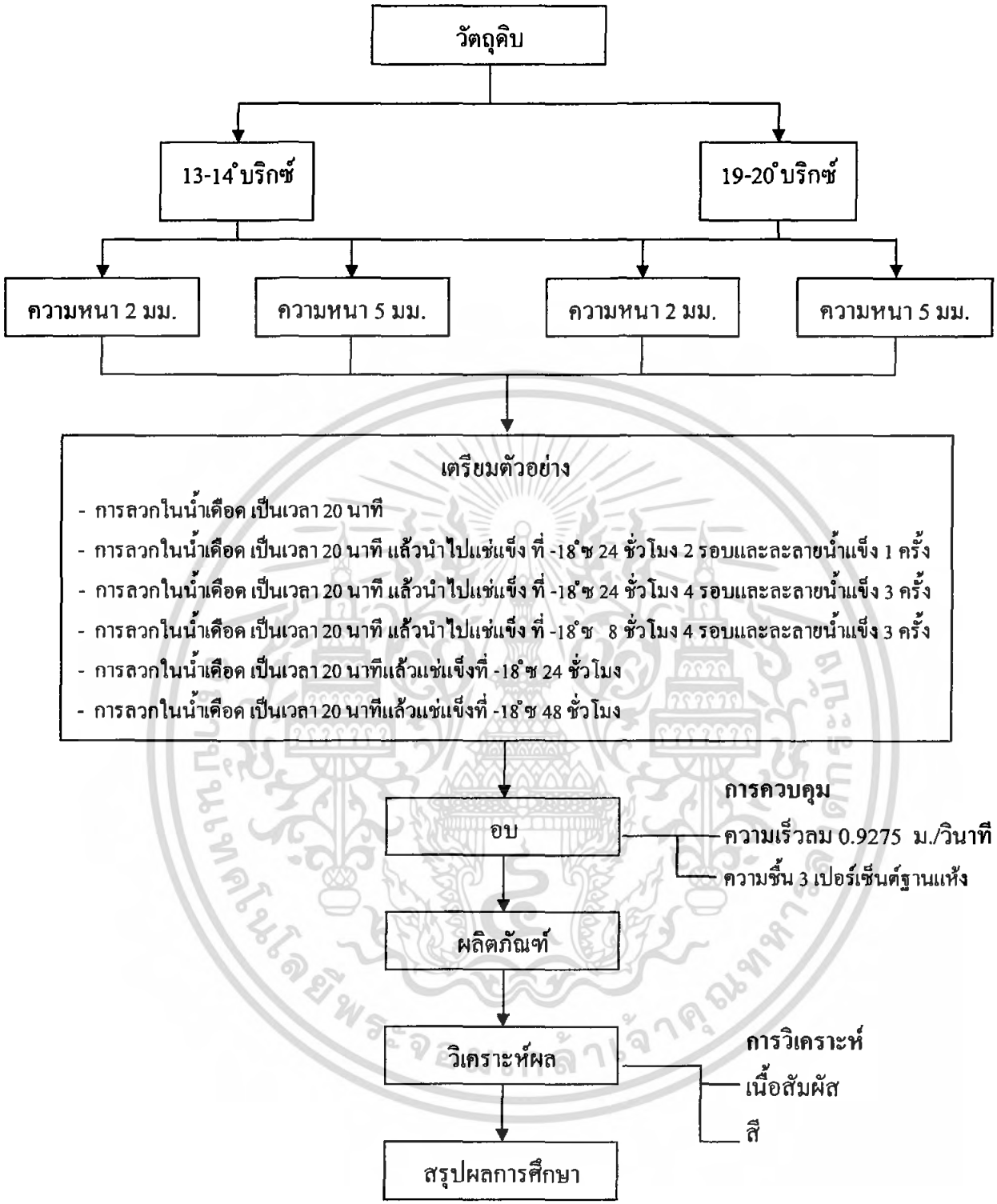
การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างในแต่ละการทดลอง จะสุ่มชิ้นตัวอย่าง 10 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำการบันทึกค่าความแข็ง (Hardness) โดยอ่านค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ (Breaking Force) และวัดค่าความกรอบ (Crispness) โดยนับจำนวนยอดแหลมของกราฟ (peak)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุกและความหนาของตัวอย่างที่เหมาะสมก่อนอบแห้ง

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระดับความสุกและความหนาของกล้วยหอมทองก่อนอบแห้ง โดย

- นำกล้วยหอมทองระดับความสุก 13-14 °บริกซ์ และ 19-20 °บริกซ์ ขนาดความหนา 2 มม. และ 5 มม. ไปผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างกล้วยแบบต่าง ๆ แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบระดับความสุกและความหนาของกล้วยก่อนอบแห้ง

ระดับความสุก (°บริกซ์)	ความหนา (มม.)	วิธีการเตรียมตัวอย่าง	การเปลี่ยนแปลงหลังอบ 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70 °ซ
	2	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	กล้วยอบมีลักษณะขาดบริเวณกลางแผ่น
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยอบมีลักษณะบางมาก ใส และขาดบริเวณกลางแผ่นเล็กน้อย
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยอบมีลักษณะบางมาก ใส และขาดบริเวณกลางแผ่นมากกว่า
		การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่	กล้วยอบที่ได้มีลักษณะคล้ายกับการเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	เดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที
13-14°บริกซ์	5	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	กล้วยอบมีลักษณะชื้นมีสีที่เข้มขึ้นจากก่อนอบเล็กน้อย
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยอบมีลักษณะค่อนข้างแห้ง สีเหลือง มีความกรอบ บริเวณตรงกลางแผ่นของกล้วยมีลักษณะแห้งและยุบตัวลงไปเล็กน้อย
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยอบมีลักษณะแห้งและแข็ง สีเหลือง มีความกรอบ บริเวณตรงกลางแผ่นของกล้วยมีลักษณะยุบตัวลงไปเล็กน้อย
		การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 3 ครั้ง	กล้วยอบมีลักษณะแห้งและแข็ง สีเหลือง มีความกรอบ บริเวณตรงกลางแผ่นของกล้วยมีลักษณะยุบตัวลงไปเล็กน้อย
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	กล้วยอบมีสีเข้มและเหนียวติดกับถาดอบ
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 1 ครั้ง	กล้วยอบมีสีดำเข้ม แผ่นกล้วยมีลักษณะบางติดกับถาดและขาดบริเวณกลางแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-20°Brix	2	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 3 ครั้ง	กล้วยมีสีเข้มแผ่นบาง มีลักษณะขาดบริเวณกลางแผ่น และติดถาดน้อยลง
		การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยมีสีเข้มแผ่นบาง มีลักษณะขาดบริเวณกลางแผ่น และติดถาดน้อยลง
	5	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	กล้วยอบมีสีเข้มมาก ชื้นและเหนียวติดถาดอบ
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 1 ครั้ง	กล้วยอบมีสีเข้มมาก ชื้นและเหนียวติดถาดอบ
		การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 3 ครั้ง	กล้วยอบมีสีเข้มมาก ชื้นและเหนียวติดถาดอบ
		การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	กล้วยอบมีสีเข้มมาก ชื้นและเหนียวติดถาดอบ

จากการศึกษาเบื้องต้น เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่า กล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 19-20°บริกซ์ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °ซ ไม่สามารถลดความชื้นให้ได้ระดับที่ 3เปอร์เซ็นต์ ตามต้องการผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหนียวและสีคล้ำ ส่วนกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 13-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°บริกซ์ ความหนา 2 มม. เมื่อผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างแล้วนำไปอบเนื้อกล้วยมีลักษณะขาดบริเวณกลางแผ่น และไม่สามารถวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้

จึงได้ตัดสินใจเลือกกล้วยหอมทองที่ใช้ทดลองที่ระดับความสุก 13-14°บริกซ์ และความหนา 5 มม. เนื่องจากให้ลักษณะทางเนื้อสัมผัสและสีตามต้องการ

4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยหอมทอง

โดยทั่วไปกล้วยจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8-10 ชั่วโมง (Alaban, 2003) และจะกรอบก็ต่อเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ ฐานแห้ง (Suvarnakuta et al., 2008) การทดลองจะใช้กล้วยที่ระดับความสุก 13-14°บริกซ์ อบที่อุณหภูมิ 70 และ 90°ซ ตามเวลาที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นฐานแห้ง โดยสังเกตเวลาที่ใช้ในการอบเพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ ฐานแห้งได้จากตาราง 4.2

ตาราง 4.2 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	วิธีการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกเป็นเวลา 20 นาที	เวลาที่ใช้ (นาที)
70	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	378
	แช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	327
	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	318
	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	264
	แช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	258
90	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	360
	แช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	318
	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	300
	แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	147
	แช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่สภาวะต่าง ๆ พบว่ากล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที จะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างแบบอื่น ๆ โดยกล้วยที่อบด้วยอุณหภูมิ 90 °ซ จะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด คือ 147 นาที เนื่องจากเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการละลายจะทำให้สูญเสียน้ำในระหว่างการละลายมากขึ้น เป็นผลให้การอบกล้วยด้วยวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีนี้จึงใช้เวลาน้อยที่สุด

4.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง

จากการทดลองพบว่า กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °บริกซ์ และ19-20 °บริกซ์ ขนาดความหนา 5 มม. เมื่อนำไปผ่านกระบวนการการลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าความชื้นสุดท้ายที่ได้มีค่าสูงกว่า 3เปอร์เซ็นต์ ฐานแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่เหนียวและมีความชื้นหลงเหลืออยู่มาก และกล้วยขนาด 2 มม. เมื่ออบแล้วกล้วยอบที่ได้ มีลักษณะตรงกลางขาดออกจากกัน โดยกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °บริกซ์ มีลักษณะตรงกลางขาดออกจากกัน และมีสีคล้ำมาก

ในการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นจะอบกล้วยจนได้ความชื้นประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลทางสถิติ โดยใช้การทดสอบของ Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลายของค่าเฉลี่ย โดยพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

4.3.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์

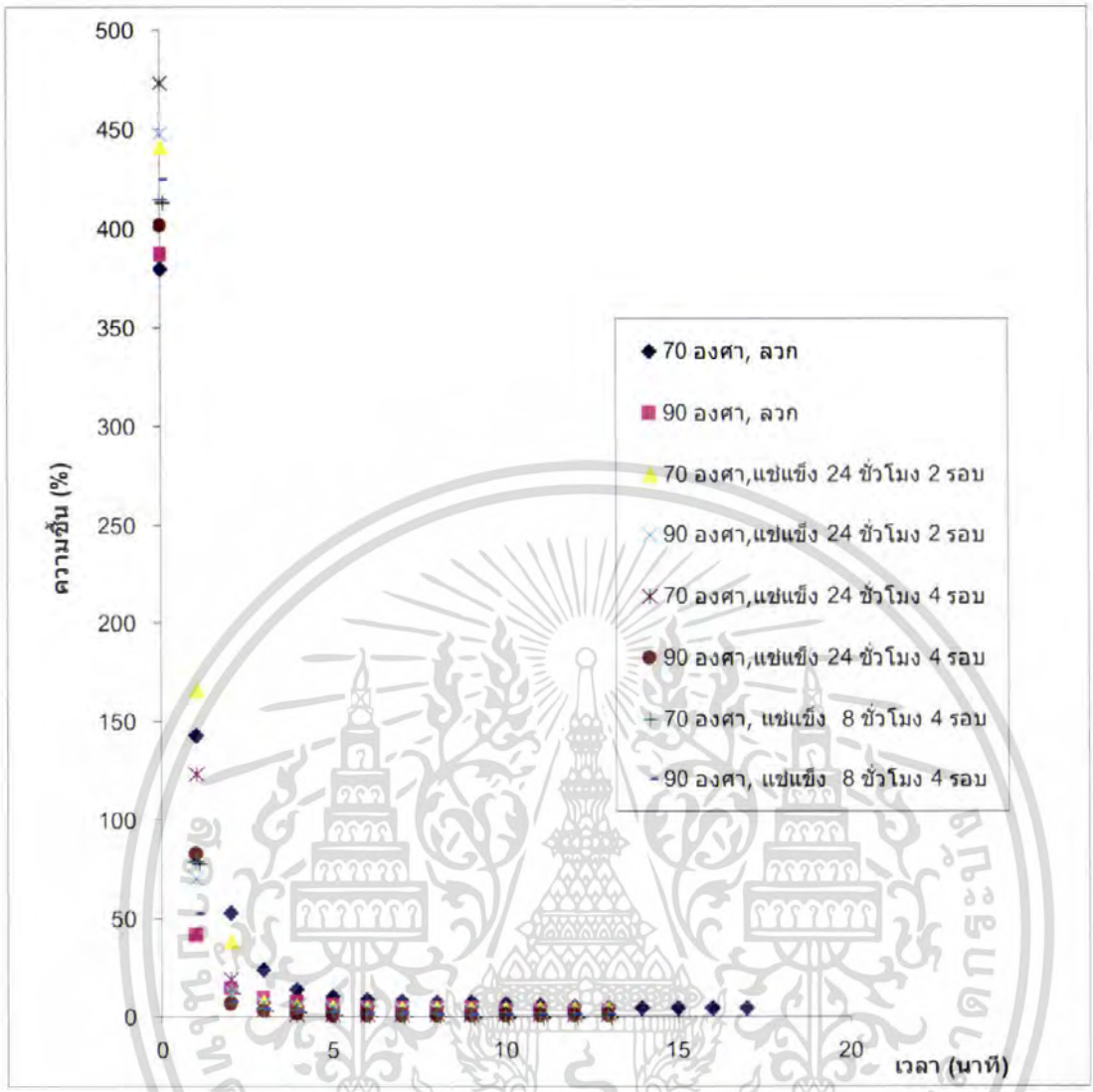
ทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์กล้วยหลังการอบแห้งจนถึงเวลา 10 ชั่วโมง โดยการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง โดยการอบหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) ด้วยตู้อบลมร้อน แล้วจึงคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งจากสมการ 3.1 ได้ผลตามตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งที่ชั่วโมงที่ 10

อุณหภูมิอบแห้ง (°ซ)	วิธีการเตรียมตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง
70	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	5.23
	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	2.97
	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	1.39
	การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	0.85
90	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที	3.77
	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	2.65
	การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	0.52
	การลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้น

โดยกล้วยที่มีระดับความสุก 13-14 บริกซ์ ที่ผ่านการลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที โดยอบที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 10 กล้วยอบที่ได้มีความชื้นฐานแห้งประมาณเท่ากัน คือ 0.52 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นกล้วยอบที่ได้จะมีความชื้นสุดท้ายลดลง และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการแช่ความชื้นสุดท้ายลดลงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเวลาในการแช่และจำนวนรอบในการแช่ที่มากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดชั่นมากขึ้น ทำให้บางส่วนของน้ำที่ถูกจับอยู่ในเจลออกมามากขึ้น เป็นผลให้เมื่อนำไปอบแล้วกล้วยอบที่ได้จึงมีความชื้นลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

หลังจากอบแห้งจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ ได้นำตัวอย่างกล้วยหอมทองอบแห้งมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความกรอบ (Crispness) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

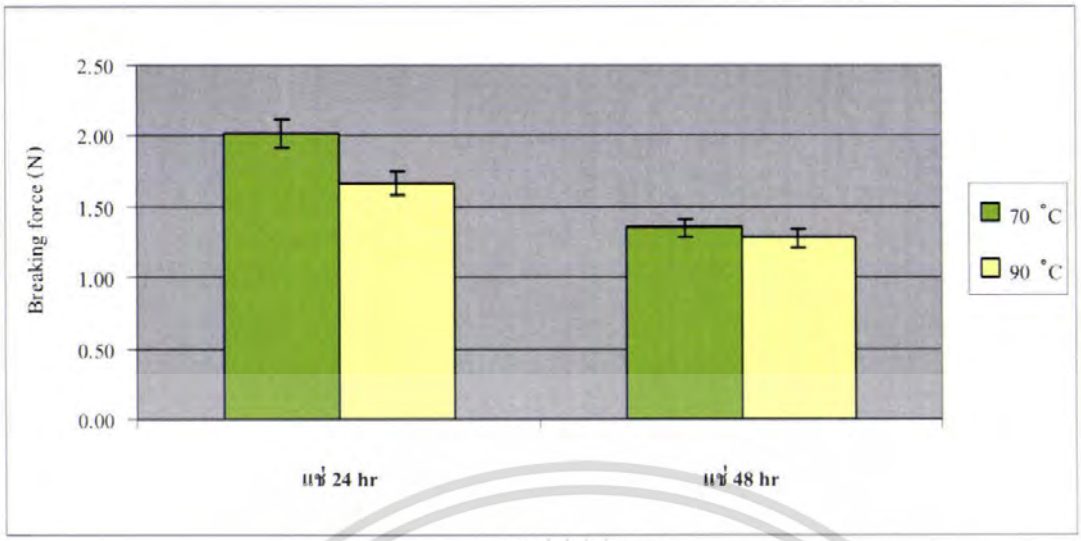
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งและความกรอบของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ระดับความสุก 13-14 °Brix ความหนา 5 มม. ความชื้น 3เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง

การเตรียมตัวอย่างหลังการลวก	ค่าความแข็ง (นิวตัน)		ค่าความกรอบ	
	70 °ซ	90 °ซ	70 °ซ	90 °ซ
แช่แข็งเป็นเวลา 24ชั่วโมง	2.02	1.67	44.40	39.20
แช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	1.35	1.28	44.80	41.38
แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	2.13	2.18	38.20	31.72
แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	2.00	2.76	37.71	34.73
แช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	2.19	2.05	36.42	35.46

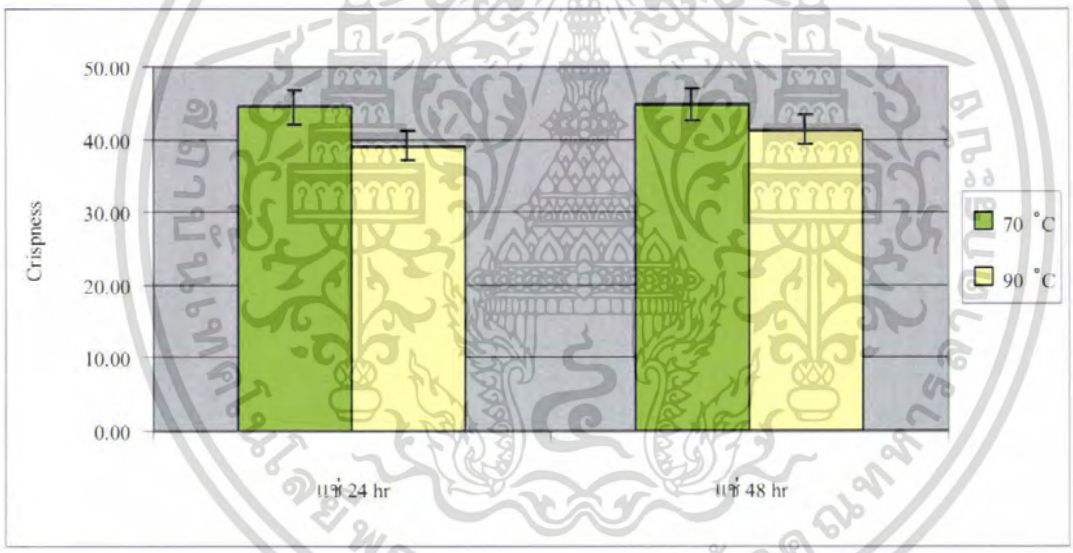
อิทธิพลของเวลาในการแช่ต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้เวลาในการแช่แข็งที่นานขึ้น จะทำให้กล้วยอบกรอบที่ได้มีค่าความกรอบมากขึ้นแต่ความแข็งลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 อาจเป็นเพราะเวลาในการแช่แข็งที่นานขึ้นมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดชั่นในแป้งของกล้วยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความแข็งลดลงและความกรอบเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



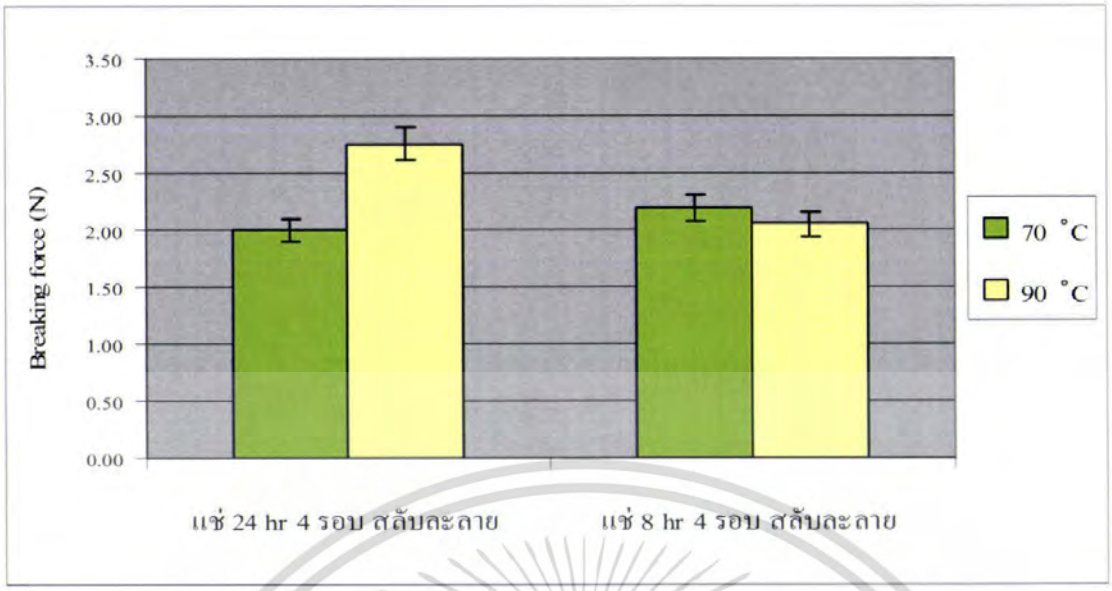
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการต่อค่าความแข็งที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ



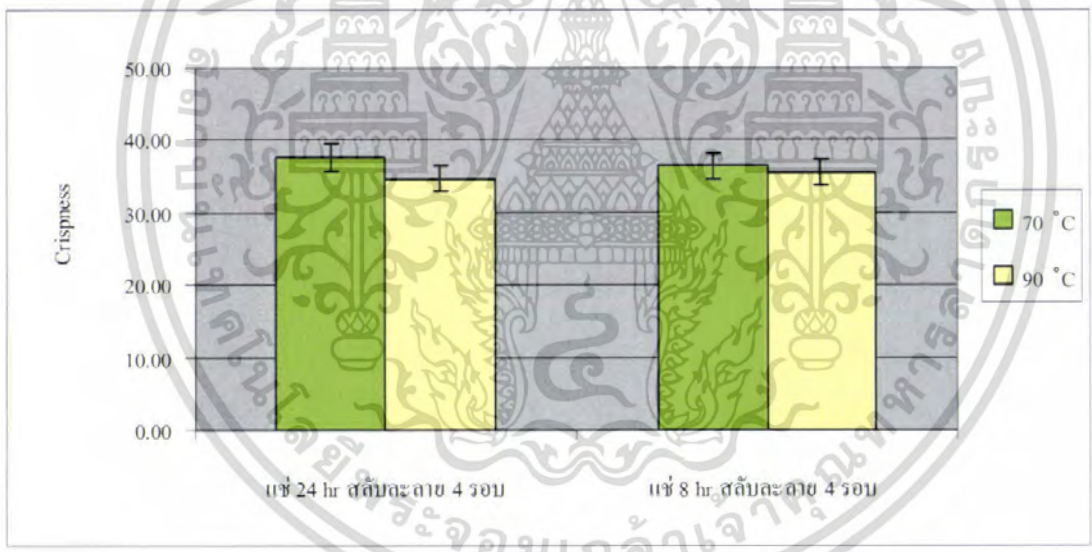
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการต่อความกรอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ

เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่แข็งให้นานขึ้นโดยมีการละลายน้ำแข็งร่วมด้วย และอบที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าพบว่าค่าความกรอบจะลดลง และความแข็งจะเพิ่มมากขึ้นความกรอบจะลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของจำนวนรอบต่อค่าความแข็งที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ



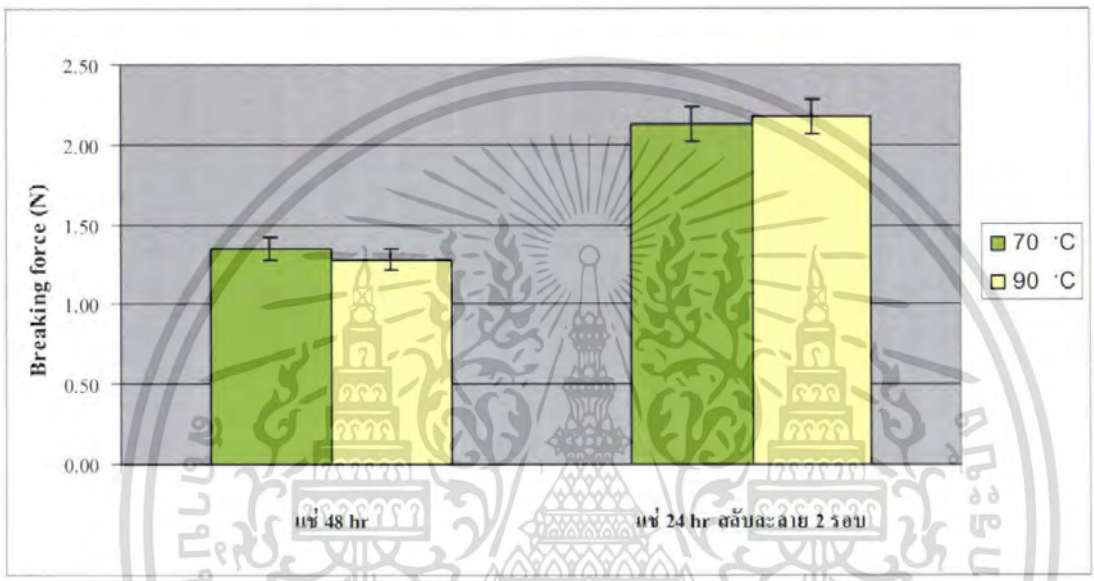
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลของจำนวนรอบต่อค่าความกรอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ และ 90 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของการละลายน้ำแข็งระหว่างการแช่แข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการแช่ที่เท่ากัน พบว่าการแช่แข็งอย่างเดียวโดยไม่มีการละลายจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งน้อยกว่าแต่ค่าความกรอบมากกว่าเมื่อเทียบกับมีการละลายน้ำแข็ง ดังในรูปที่ 4.6

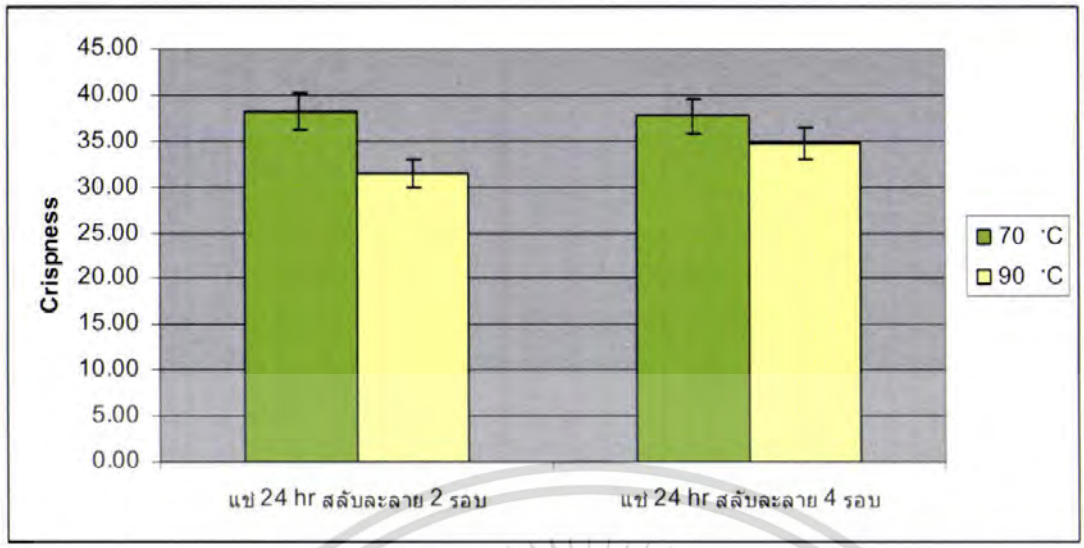
นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อจำนวนรอบในการละลายน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น ที่อุณหภูมิอบ 90°ซ จะทำให้ค่าความแข็งมากกว่าที่อุณหภูมิ 70°ซ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้เกิดการพาความชื้นจากผิวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้บริเวณผิวหน้ามีลักษณะแห้งและแข็ง (Case Hardening)



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลของการแช่และไม่แช่ที่มีต่อค่าความกรอบที่อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ

รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบในการละลายน้ำแข็งมีผลต่อค่าความกรอบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการละลายน้ำแข็งมากขึ้นค่าความกรอบจะลดลง เนื่องจากจำนวนรอบการละลายที่เพิ่มขึ้น ทำให้แป้งสูญเสียน้ำทุกครั้งที่ทำการละลายน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบจำนวนรอบการละลายที่มีต่อความกรอบที่อุณหภูมิ 70°ซ และ 90°ซ

4.3.3 การวิเคราะห์สี

ในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างกล้วยหอมทองอบกรอบมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Tri-stimulus colorimeter โดยวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ซึ่งหากค่า ΔL^* มีค่าน้อยแสดงว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปไม่มากเมื่อเทียบกับตัวอย่างกล้วยหอมทองตอนแรก และคำนวณค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ซึ่งได้ผลดังแสดงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ที่ระดับความสุก 13-14 บริกซ์ ความหนา 5 มม. ความชื้น 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง

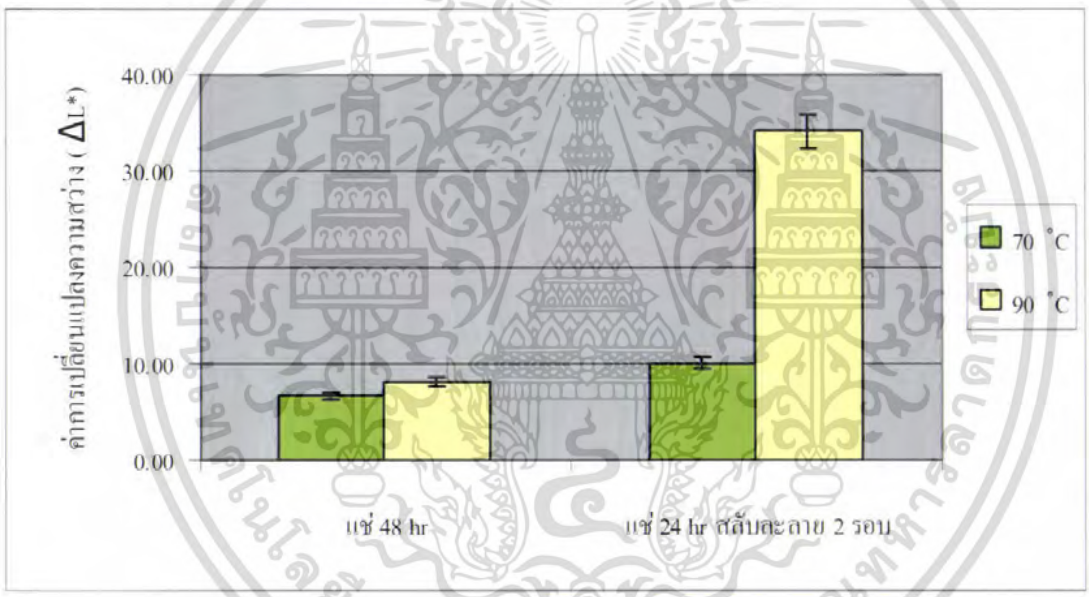
การเตรียมตัวอย่างหลังการลวก	ค่าการเปลี่ยนความสว่าง (ΔL^*)		ค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*)	
	70°ซ	90°ซ	70°ซ	90°ซ
แช่แข็งเป็นเวลา 24ชั่วโมง	3.76	6.25	19.42	20.03
แช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	6.70	8.12	19.43	12.05
แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	10.11	34.08	12.31	35.55
แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	26.42	30.52	27.20	31.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที	22.35	34.00	23.26	35.33

จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL^*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของตัวอย่างกล้วยหอมทองอบกรอบที่ความชื้น 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง โดยการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธี แช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ และ 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที พบว่าทั้งจำนวนการละลายน้ำแข็ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL^*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*)

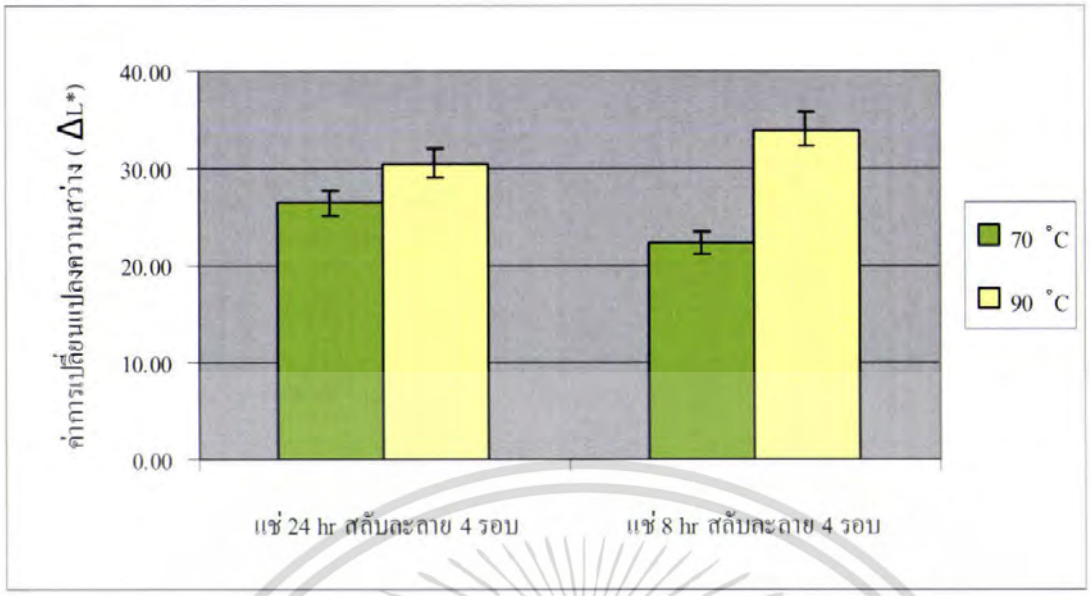
เมื่อพิจารณาการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที พบว่าในสภาวะที่มีการละลายร่วมด้วย เมื่ออบที่อุณหภูมิสูงสีจะคล้ำขึ้นกว่าเดิมมาก ดังจะแสดงในรูปที่ 4.8



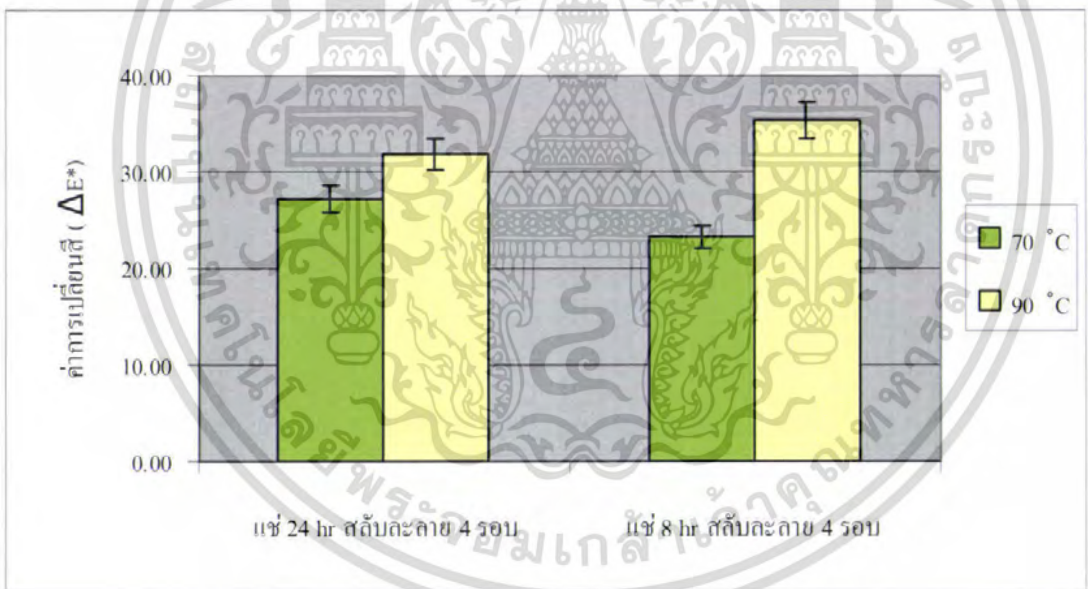
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลของรอบของการแช่ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL^*) ที่อุณหภูมิ 70˚ซ และ 90˚ซ

เมื่อพิจารณาการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเวลา 8 ชั่วโมง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที พบว่าจำนวนรอบการละลายเท่ากัน เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ให้นานขึ้น หากใช้เวลาในการอบที่อุณหภูมิสูงสีจะคล้ำขึ้นมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (ΔL*) ที่อุณหภูมิ 70˚ซ และ 90˚ซ



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE*) ที่ อุณหภูมิ 70˚ซ และ 90˚ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากประโยชน์ของกล้วยหอมที่อุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการ จึงนำมาสู่กรรมวิธีการแปรรูปกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยวิธีอบแห้งแบบลมร้อน เพื่อลดปัญหาการได้รับสารก่อมะเร็งจากกระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองด้วยวิธีทอดแบบสุญญากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบได้แก่ ระดับความสุก ความหนา อุณหภูมิที่อบ และวิธีการเตรียมตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองหลังการอบแห้ง ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง พบว่าเวลาในการแช่ที่นานขึ้นจะส่งผลให้ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มากขึ้น และมีค่าความแข็งลดลง เนื่องจากเวลาในการแช่ที่นานขึ้นมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดชั่นเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของแป้งในกล้วยเปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการอบแล้วความชื้นจึงถูกดึงออกได้ง่าย เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบมากขึ้น แต่ถ้าหากมีการละลายน้ำแข็งด้วยจะทำให้ค่าความกรอบลดลง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเวลาในการแช่แข็งที่นานขึ้น จะส่งผลให้โครงสร้างภายในของแป้งเกิดความเสียหายได้ กล้วยจึงสูญเสียน้ำในระหว่างการละลายน้ำแข็ง ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างภายในเกิดการยุบตัวลงมาทับซ้อนกัน ค่าความแข็งจึงเพิ่มมากขึ้นแต่ความกรอบลดลง

เมื่อคำนึงถึงความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ การเตรียมตัวอย่างตัวอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะให้ค่าความกรอบที่ไม่ต่างกับการแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดรชั่นในแป้งกล้วยจะสูงที่สุดที่ 24 ชั่วโมง หากเพิ่มเวลาในการแช่นานกว่านี้ถึงแม้ค่าความกรอบที่ได้จะมากขึ้นแต่ค่าที่ได้ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยการแช่แข็ง จะไม่ได้ผลดีถ้าหากใช้กล้วยที่มีระดับความสุกมากเกินไป เช่น 19-20 °บริกซ์ เมื่ออบแล้วทำให้กล้วยอบที่ได้มีสีเข้มและคล้ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยมีปริมาณน้ำตาลอยู่มาก จึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non Enzymatic Browning) ได้ง่าย นอกจากนี้การอบโดยใช้อุณหภูมิที่สูงยังทำให้กล้วยมีสีเข้มและคล้ำเช่นกันเมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิการอบที่ต่ำกว่า อีกทั้งขนาดที่บางเกินไป เช่น ที่ความหนา 2 มม. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะขาดบริเวณกลางแผ่น ทั้งที่ระดับความสุก 13-14 °บริกซ์ และ 19-20 °บริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ปัจจัยที่ควบคุมได้ลำบากที่สุดคือระดับความสุกของกล้วยหอมทอง ซึ่งวัดได้จากปริมาณน้ำตาลในกล้วย ซึ่งในการทดลองต้องซื้อกล้วยคราวละมากๆ ซึ่งการควบคุมทำได้ยาก การทดลองแต่ละครั้งจึงต้องใช้กล้วยที่อาจมีปริมาณน้ำ น้ำตาล หรือแป้งที่ไม่เท่ากันทำให้ต้องใช้เวลามากในการคัดเลือกวัดฤดิบ

การวัดปริมาณน้ำตาลในกล้วยหอมทองอาจใช้วิธีอื่นได้ เช่น การใช้โพลาริมิเตอร์ (Polarimeter) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็วและไม่ทำลายโครงสร้างของน้ำตาล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการวัดมุมของการหมุนบนสเกลที่เป็นวงกลมโดยตรง หรืออาจวัดความเข้มของแสงเอกรงค์(monochromatic light)โฟโตอิเล็กตริกเซลล์แทนการใช้สายตา วิธีนี้จะถูกต้องแม่นยำ ซึ่งอาจใช้เวลานานกว่าการใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Refractrometer) แต่ค่าที่ได้แม่นยำกว่า

หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุกล้วยหอมทองอบกรอบที่สามารถเก็บรักษากล้วยหอมทองอบกรอบให้สามารถเก็บไว้ได้นาน รักษาสี กลิ่น และรสชาติ รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการที่มีในกล้วยหอมทอง จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดารุณี ผดุงสงฆ์, นีรชา ตรีเนตร และไพบูลย์ ฐิติวรพงษ์. 2549. "การศึกษาผลของกรดซิตริกและน้ำปูนใสต่อคุณภาพของกล้วยหอมทองอบกรอบ." ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปานศรัณย์ ขจรเดชะ, ศุภวิชญ์ ไม้ประดิษฐ์ และอัจจิมา หวังวิวรรธน์. 2549. "อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและความสุกของกล้วยต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นอบกรอบ." ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิไล รังสาดทอง. 2546 **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เทกซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

ศศิเกษม ทองพยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. 2530. **เคมีอาหารเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. September 2007. "**ผลไม้แห้ง.**" [Online]. Available : http://www.tistr-foodprocess.net/fruit_dry.html.

สุปัญญา ใจดี และสมพิศ นิชลานนท์. 2539. "หลักการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต." หน้า 91-92. ใน **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาเคมีและจุลวิทยาของอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Tim Roberts and Ruby Cox. February 1999. **Drying Fruits and Vegetables.** [Online]. Available : http://www.ext.vt.edu/pubs/foods/348-597/348-597.html

Banana-Rite Limited. September 2007. **Ripening chart.** [Online]. Available : www.banana-rite.co.uk/banana_tips.htm.

Doae, September 2007. **กล้วยหอมทอง.** [Online]. Available : http://www.doae.go.th/LIBRARY/html/detail/banana/page62.html.

Galliard, T. and Bowler, P., 1987. pp 55-78. **Morphology and Composition of Starch.** In Gailliard T., (ed.), Starch : Properties and Potential, New York, John Wiley and Sons.

Lovedeep Kaur, Narpinder Singh, Navdeep and Singh Sodhi, 2002. "Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches." **Food Chemistry**. Volume 79. 183–192.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PEAMSUK SUVARNAKUTA, SAKAMON DEVHASTIN, ARUN S. MUJUMDAR, August 2005. "Drying Kinetics and –Carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes." **Jounrnal of Food Science**. Volume 70, (8).s520-s526.

Ratiya T., Somkiat P. and Somchart S., June 2008. "Drying characteristics and quality of banana foam mat." **Journal of Food Engineering**. Volume 86, (4). 573-583.

Technical Guides. March 2008. **CIELAB**. [online]. Available : http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/cielab.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลของสภาวะหลังการลวกต่อความแข็ง ความกรอบ และค่าสีของมันฝรั่งทอดกรอบ [รวมถึงมันฝรั่งแช่น้ำเข็ง 3% ที่ผ่านการลวกที่ 70 °ซ]

อุณหภูมิ (°ซ)	สภาวะหลังการลวก	ซ้ำที่	เวลา (นาที)	ความแข็ง (นิวตัน)	ความกรอบ	ΔL^*	ΔE^*
70	แช่ 24 ชั่วโมง	1	390	2.02	44.4	3.76	3.76
		2	-	-	-	-	-
	แช่ 48 ชั่วโมง	1	345	1.28	41.38	6.51	19.43
		2	-	-	-	-	-
	แช่ 24 ชั่วโมง 2 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	330	2.2	36.4	8.26	10.51
		2	330	2.06	40.0	11.95	14.11
	แช่ 24 ชั่วโมง 4 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	280	1.83	36.83	26.15	26.8
		2	285	2.18	38.58	26.7	27.59
	แช่ 8 ชั่วโมง 4 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	270	2.07	34.17	19.96	21.08
		2	280	2.31	38.67	24.74	25.44

ตารางที่ ง.2 ผลของสภาวะหลังการลวกต่อเวลาที่ใช้ในการทอดกรอบ ความแข็ง ความกรอบ และค่าสีของมันหวัดิบทอดที่อุณหภูมิ 90°ซ

อุณหภูมิ (°ซ)	สภาวะหลังการลวก	ซ้ำที่	เวลา (นาที)	ความแข็ง (นิวตัน)	ความกรอบ	ΔL^*	ΔE^*
90	แช่ 24 ชั่วโมง	1	360	1.67	39.2	6.27	20.03
		2	-	-	-	-	-
	แช่ 48 ชั่วโมง	1	330	1.41	45.45	8.29	12.05
		2	-	-	-	-	-
	แช่ 24 ชั่วโมง 2 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	300	2.08	30.55	33.89	34.99
		2	325	2.28	32.3	34.28	35.99
	แช่ 24 ชั่วโมง 4 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	165	2.87	35.27	30.38	31.72
		2	165	2.64	34.18	30.66	31.89
	แช่ 8 ชั่วโมง 4 รอบสลับละลายน้ำแข็ง	1	165	2.2	37.75	33.39	34.76
		2	180	1.9	33.17	34.6	35.9

ภาคผนวก ข

ตาราง ANOVA

ตารางที่ ข.1 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	.662[a]	3	.221	2.471	.201
Intercept	20 131	1	20.131	225.483	.000
TimeFreeze	526	1	.526	5.897	072
Temp	.110	1	.110	1.235	.329
TimeFreeze * Temp	.025	1	.025	281	.624
Error	.357	4	.089		
Total	21.150	8			
Corrected Total	1.019	7			

a. R Squared = .650 (Adjusted R Squared = .387)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่ แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Crispness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	51.862[a]	3	17.287	2.674	.183
Intercept	14552.992	1	14552.992	2.251E3	.000
TimeFreeze	5.796	1	5.796	.897	.397
Temp	45.715	1	45.715	7.072	.056
TimeFreeze * Temp	.351	1	.351	.054	.827
Error	25.857	4	6.464		
Total	14630.712	8			
Corrected Total	77.719	7			

a. R Squared = .667 (Adjusted R Squared = .418)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.672[a]	3	224	7.579	.040
Intercept	41.166	1	41.166	1.393E3	.000
Temp	.320	1	.320	10.840	.030
Cycle	.100	1	100	3.371	.140
Temp * Cycle	.252	1	.252	8.525	.043
Error	.118	4	.030		
Total	41.956	8			
Corrected Total	.790	7			

a. R Squared = .850 (Adjusted R Squared = .738)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Crispness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	64.405[a]	3	21.468	9.775	.026
Intercept	10173.299	1	10173.299	4.632E3	.000
Cycle	5.768	1	5.768	2.626	.180
Temp	53.473	1	53.473	24.347	.008
Cycle * Temp	5.163	1	5.163	2.351	.200
Error	8.785	4	2.196		
Total	10246.489	8			
Corrected Total	73.190	7			

a. R Squared = .880 (Adjusted R Squared = .790)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.726[a]	3	.242	5.869	.060
Intercept	40.482	1	40.482	981.995	000
Time	.136	1	.136	3.305	.143
Temp	189	1	.189	4.587	.099
Time * Temp	.401	1	.401	9.715	.036
Error	.165	4	.041		
Total	41.373	8			
Corrected Total	.891	7			

a. R Squared = .815 (Adjusted R Squared = .676)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Crispness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.959[a]	3	3.320	.584	.657
Intercept	10412.832	1	10412.832	1.831E3	000
Time	.157	1	.157	.028	.876
Temp	7.758	1	7.758	1.364	.308
Time * Temp	2.044	1	2.044	.359	.581
Error	22.753	4	5.688		
Total	10445.545	8			
Corrected Total	32.712	7			

a. R Squared = .304 (Adjusted R Squared = -.217)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ANOVA ของค่า Breaking Force ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	1.385[a]	3	.462	10.542	.023
Intercept	24.312	1	24 312	555.190	.000
Cycle	1.368	1	1.368	31.234	.005
Temp	.003	1	.003	.068	.807
Cycle * Temp	.014	1	.014	.324	600
Error	.175	4	.044		
Total	25.872	8			
Corrected Total	1 560	7			

a. R Squared = .888 (Adjusted R Squared = .804)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ANOVA ของค่า Crispness ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Crispness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	216.032[a]	3	72.011	13.071	.016
Intercept	12266.050	1	12266.050	2.226E3	.000
Cycle	151 072	1	151.072	27.422	006
Temp	62.043	1	62.043	11.262	.028
Cycle * Temp	2.918	1	2.918	.530	.507
Error	22.037	4	5 509		
Total	12504 119	8			
Corrected Total	238.069	7			

a. R Squared = 907 (Adjusted R Squared = .838)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่ แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19.796[a]	3	6.599	7.941	.037
Intercept	308.062	1	308.062	370.730	.000
Time	11.655	1	11.655	14.026	.020
Temp	7.582	1	7.582	9.125	.039
Time * Temp	.559	1	.559	.673	.458
Error	3.324	4	.831		
Total	331.182	8			
Corrected Total	23.120	7			

a. R Squared = .856 (Adjusted R Squared = .748)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่ แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:E

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	83.132[a]	3	27.711	38.406	.002
Intercept	2488.182	1	2488.182	3.448E3	.000
Time	30 005	1	30.005	41.586	.003
Temp	21.817	1	21.817	30.237	.005
Time * Temp	31 311	1	31.311	43.395	.003
Error	2.886	4	.722		
Total	2574 201	8			
Corrected Total	86 019	7			

a. R Squared = .966 (Adjusted R Squared = .941)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected Model	672.996[a]	3	224.332	126.699	.000
Intercept	5114.013	1	5114.013	2 888E3	.000
Cycle	81.337	1	81.337	45 938	.002
Temp	394.139	1	394.139	222.603	.000
Cycle * Temp	197.520	1	197.520	111.556	.000
Error	7.082	4	1.771		
Total	5794.091	8			
Corrected Total	680.079	7			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:E

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	621.402[a]	3	207.134	113.677	000
Intercept	5703.755	1	5703.755	3.130E3	.000
Cycle	62.751	1	62.751	34.438	.004
Temp	386.168	1	386.168	211.934	.000
Cycle * Temp	172.483	1	172.483	94.660	.001
Error	7.288	4	1.822		
Total	6332.446	8			
Corrected Total	628.691	7			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	152.690[a]	3	50.897	16.529	.010
Intercept	6417.544	1	6417.544	2.084E3	.000
Time	.178	1	.178	.058	.822
Temp	124.021	1	124.021	40.278	.003
Time * Temp	28.491	1	28.491	9.253	.038
Error	12.317	4	3.079		
Total	6582.551	8			
Corrected Total	165.006	7			

a. R Squared = .925 (Adjusted R Squared = .869)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที และแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:E

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1384.933[a]	3	461.644	2.052	.249
Intercept	9696.702	1	9696.702	43.112	003
Time	225.813	1	225.813	1.004	.373
Temp	735.028	1	735.028	3.268	.145
Time * Temp	424.092	1	424.092	1 886	.242
Error	899 682	4	224.921		
Total	11981.317	8			
Corrected Total	2284.615	7			

a. R Squared = .606 (Adjusted R Squared = .311)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนไปของความสว่าง (ΔL^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1008.001[a]	3	336.000	132.504	.000
Intercept	1741.362	1	1741.362	686.720	.000
Cycle	431.143	1	431.143	170.025	.000
temp	322.435	1	322.435	127.155	000
Cycle * temp	254.423	1	254.423	100.334	.001
Error	10.143	4	2.536		
Total	2759.505	8			
Corrected Total	1018.144	7			

a R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมอย่างหลังการลวกแบบแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:E

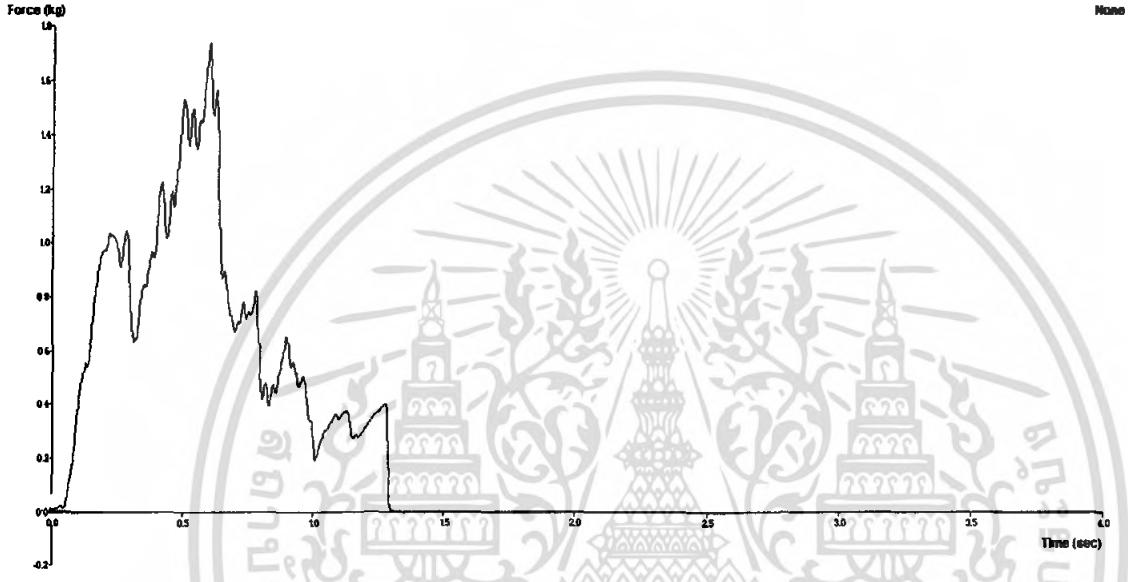
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	724.643[a]	3	241.548	129 219	.000
Intercept	3136.316	1	3136.316	1.678E3	.000
Cycle	134.533	1	134.533	71.970	.001
Temp	126.765	1	126.765	67 815	.001
Cycle * Temp	463.344	1	463.344	247.872	.000
Error	7.477	4	1.869		
Total	3868.436	8			
Corrected Total	732.120	7			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

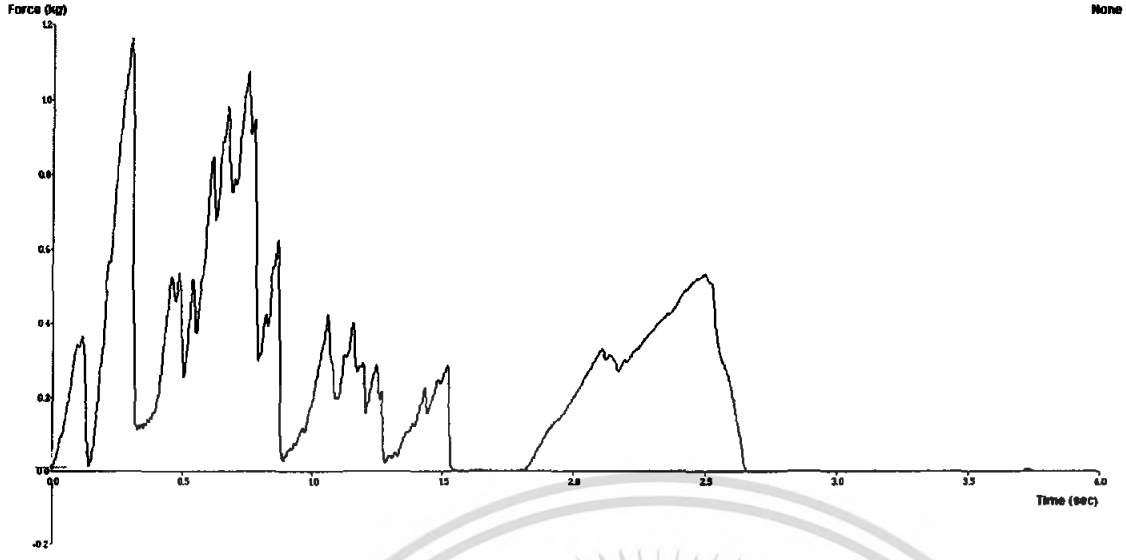
ภาคผนวก ค

รูปการทดลอง

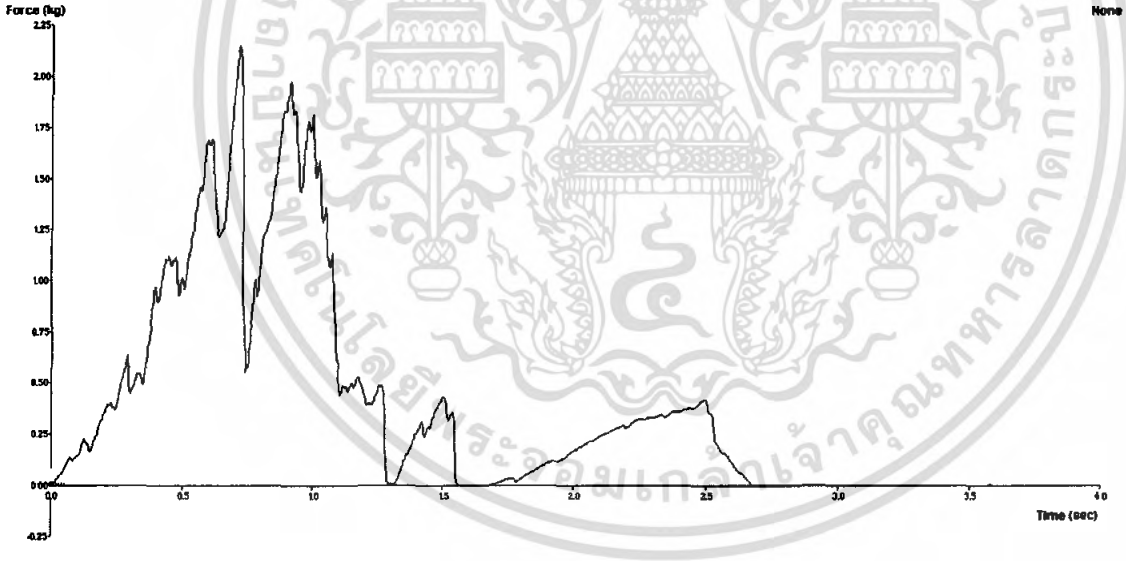


รูปที่ ค.1 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 70°ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

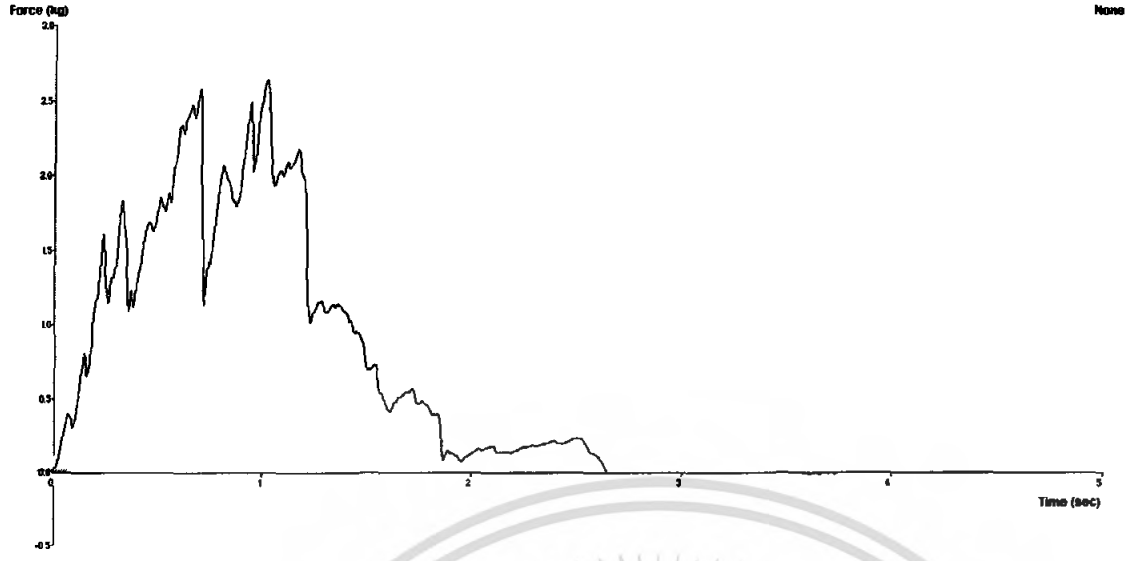


รูปที่ ค.2 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ



รูปที่ ค.3 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ

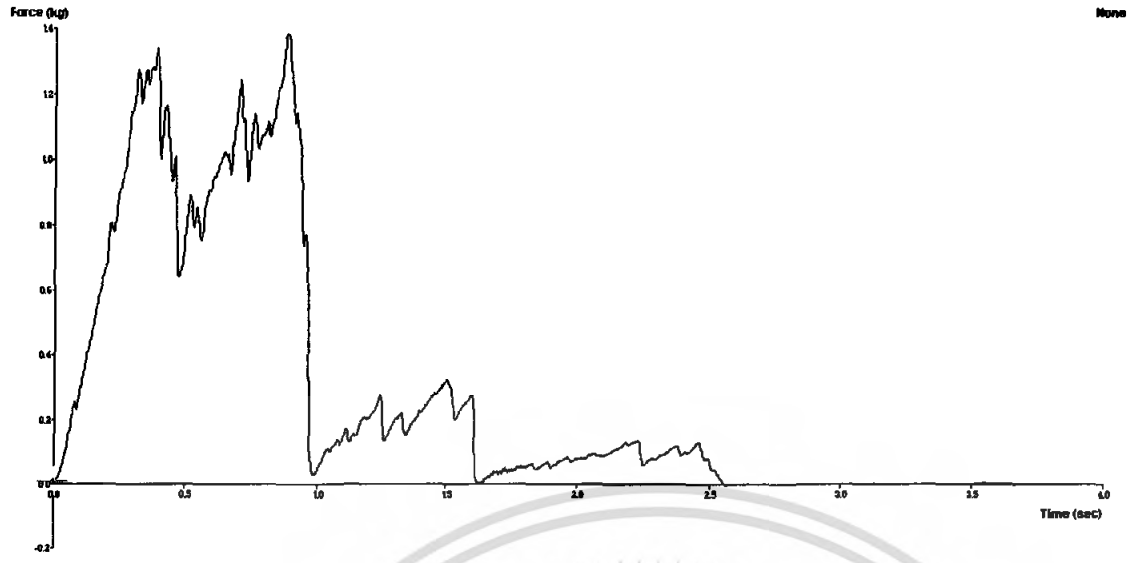
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



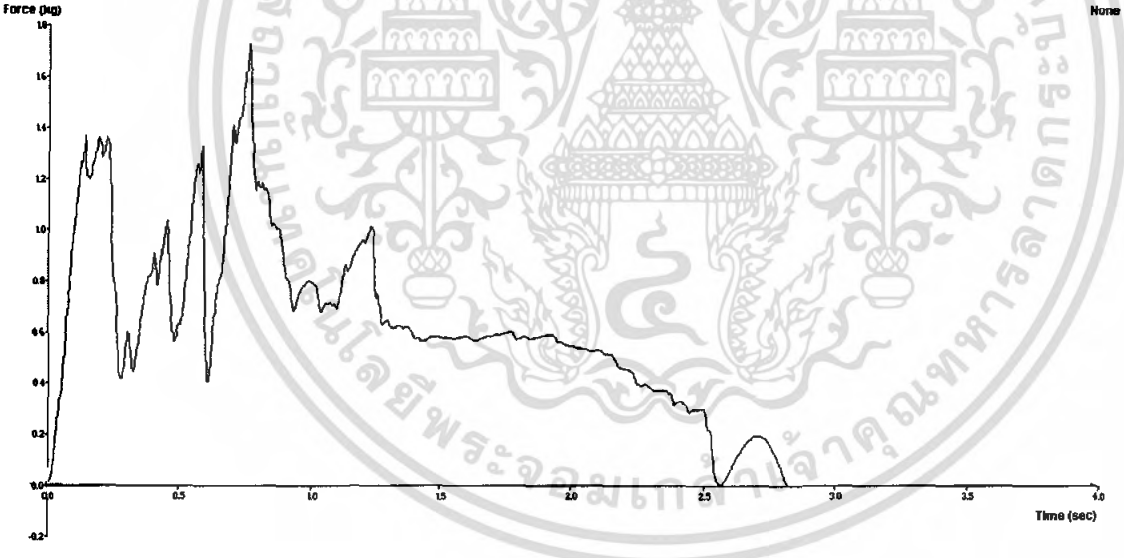
รูปที่ ค.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ

รูปที่ ค.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาทีกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 70 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

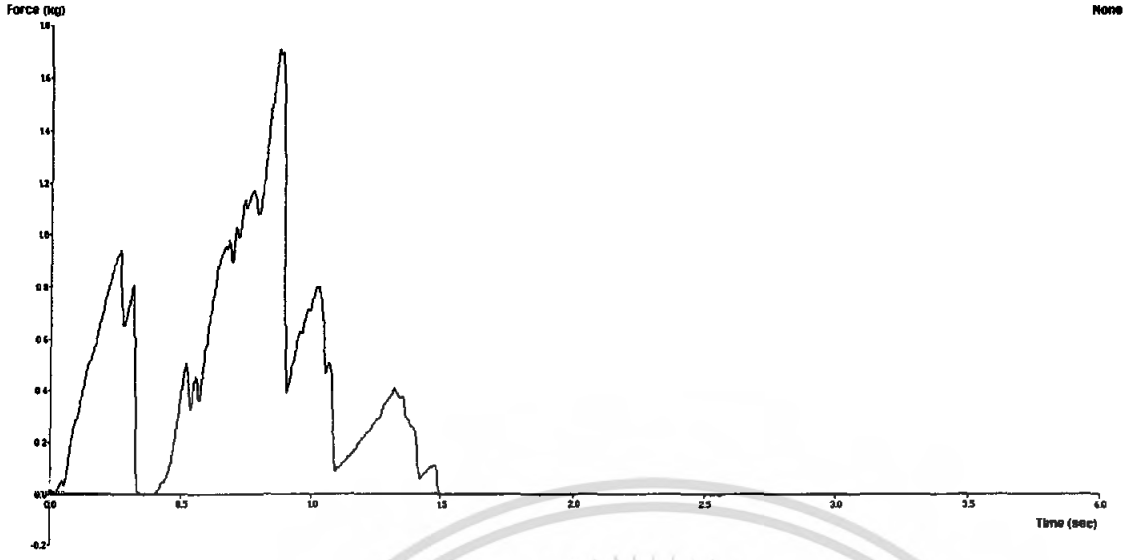


รูปที่ ค.6 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ

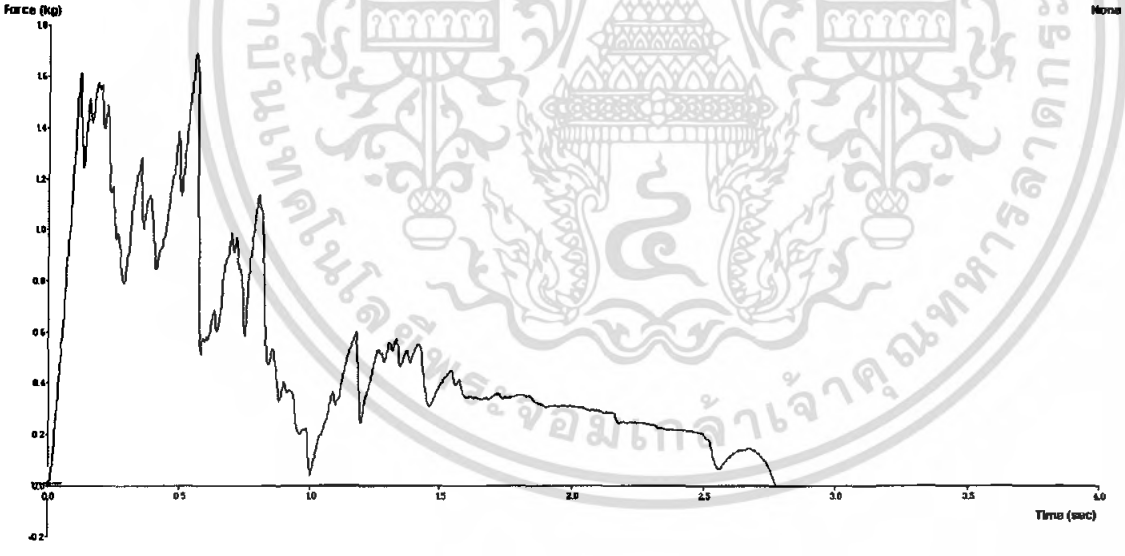


รูปที่ ค.7 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

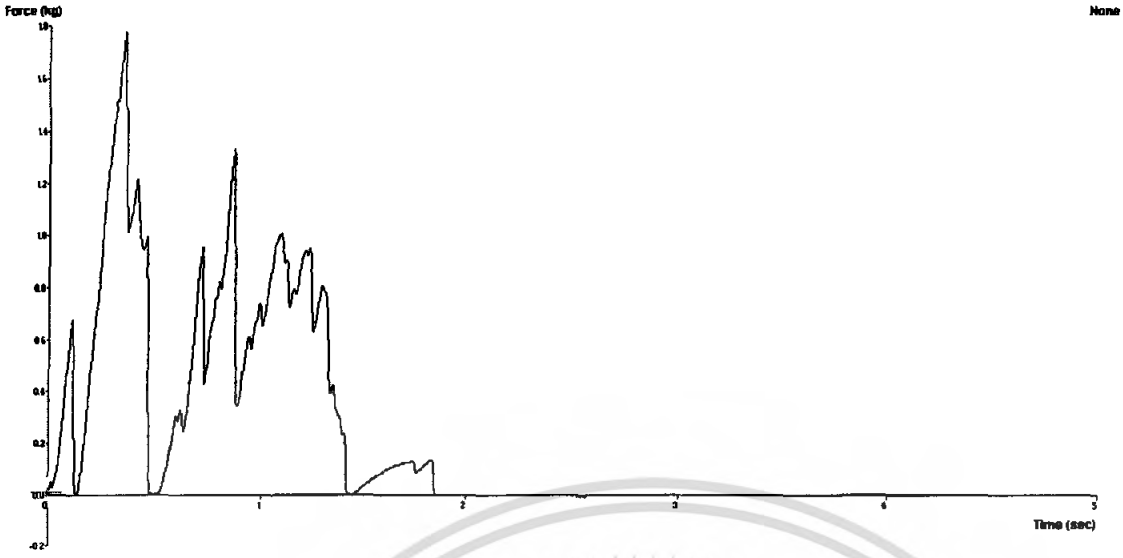


รูปที่ ค.8 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ



รูปที่ ค.9 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90°ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.10 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบโดยผ่านการเตรียมตัวอย่างหลังการลวกด้วยวิธีการแช่แข็งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง 4 ครั้ง สลับกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาทีกับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที ที่อุณหภูมิการอบ 90 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.11 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ

รูปที่ ค.12 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 48 ชั่วโมง อบด้วยอุณหภูมิ 70°ซ

รูปที่ ค.13 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ

รูปที่ ค.14 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 2 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 90°ซ

รูปที่ ค.14 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 70°ซ

รูปที่ ค.15 แสดงผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง 24 ชั่วโมง 4 รอบ สลับการละลายน้ำแข็ง 30 นาที อบด้วยอุณหภูมิ 90 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้