สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและความสุกของกล้วยต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นอบกรอบ

ปานศรัณย์ ขจรเดชะ
ศุภวิชญ์ ไม้ประดิษฐ์
อัจจิมา หวังวิวรรธน์

ส/ว
ว/154ก/ค
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72179.....
วัน,เดือน,ปี.....12 มิ.ย. 2550

.b.....11764212.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

EFFECT OF AIR-TEMPERATURE AND RIPENESS ON BANANA CHIPS TEXTURE

PANSARUN KHACHORNDECHA

SUPAWIT MAIPRADIT

ATJIMA WHANGWIWAT

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและความสุกของกล้วยต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นอบกรอบ

Effect of Air-Temperature and Ripeness on Banana Chips Texture

ผู้จัดทำ

1. นางสาวปานศรัณย์ ขจรเดชะ รหัสนักศึกษา 46010448
2. นายศุภวิชญ์ ไม้ประดิษฐ์ รหัสนักศึกษา 46010798
3. นางสาวอัจจิมา หวังวิวรรธน์ รหัสนักศึกษา 46010949

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์มธุรดา จิโนรส)

หัวข้อปริญญานิพนธ์ อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและความสุกของกล้วยต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นอบกรอบ

นักศึกษา นางสาวปานศรัณย์ ขจรเดชะ
นายศุภวิชญ์ ไม้ประดิษฐ์
นางสาวอัจจิมา หวังวิวรรธน์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มธุรดา จิโนรส

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองอบกล้วยหอมทอง (*Musa (AAA group)*) ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด โดยมีการเปรียบเทียบผลของความสุกของกล้วย (13-14 และ 19-20 °Bx) การเตรียมตัวอย่าง (Pre-treatment) ด้วยการแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 g/l และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (60 และ 80 °C ด้วยความเร็วลม 0.9275 m/s) พบว่ากล้วยที่มีความสุกมากกว่า (ระดับความสุก 19-20 °Bx) จะเกิดการเปลี่ยนสีน้อยกว่ากล้วยที่ดิบกว่า (ระดับความสุก 13-14 °Bx) ในขณะที่กล้วยดิบสามารถคืนตัวได้ดีกว่ากล้วยสุก ส่วนอุณหภูมิในการอบที่สูงกว่า (80 °C) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นน้อยกว่าเมื่อใช้เวลาใช้เวลาอบเท่ากัน มีการแตกหักง่ายกว่า (Breaking force น้อยกว่า) และใช้เวลาในการอบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการอบที่อุณหภูมิต่ำ (60 °C) นอกจากนี้ยังพบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยการแช่สารละลายกรดซิตริก จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คืนตัวดีกว่าและมีสีอ่อนกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้แช่ด้วยสารละลายกรดซิตริก แสดงว่าความสุกของกล้วย อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ และการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งมีผลอย่างชัดเจนต่อลักษณะของกล้วยอบแห้งที่ได้ ทว่าการเลือกสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

Report Title Effect of Air-Temperature and Ripeness on Banana Chips Texture

Student Miss Pansarun Khachorndecha

Mr. Supawit Maipradit

Miss Atjima Whangwiwat

Advisor Miss Maturada Jinoros

Report for Bachelor Degree in Food Engineering

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The objective of this research was to study the effect of ripeness, pre-treatment and drying temperature of dried banana chips by analyze moisture content, texture, rehydration ratio and color. It is shown that the ripe bananas (19–20°Bx) have less total color difference but the green ones (13–14°Bx) have higher rehydration ratio and less moisture content. The drying temperature has a very marked influence on products; the higher the drying temperature (80 °C), the lower the moisture content. Low drying temperature (60 °C) need longer drying time; products are hardening and pale in color but less total color difference (ΔE*). Pre-treat bananas with citric acid not only help prevent the color but help maintain a structure as well by showing the higher rehydration ratio. Therefore choosing parameter of drying depends on qualities of required product.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอบพระคุณ

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์หัวหน้าภาควิชา ผู้ให้ความกรุณาและไว้วางใจในการใช้ห้องปฏิบัติการล่วงเวลาเพื่อทำงานวิจัย

รศ.สาธิป รัตนภาสกร ผู้ให้คำแนะนำในเรื่องการทำแห้งและทฤษฎีการอบแห้งเป็นอย่างดี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์และให้ยืมอุปกรณ์ต่าง ๆ

เพื่อน ๆ นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคนให้ข้อมูล คำแนะนำต่าง ๆ และอยู่เป็นเพื่อนกันตลอดการทดลอง

อาจารย์มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและความรู้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้มาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์อย่างสุดซึ้ง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนที่ดีตลอดมา

ปานศรัณย์ ขจรเดชะ
ศุภวิชญ์ ไม้ประดิษฐ์
อัจจิมา หวังวิวรรธน์
14 มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กตตกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบญรูป	VIII
สัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วยหอมทอง	4
2.2 ระดับความสุก	5
2.3 การแปรรูปกล้วยหอมทอง	6
2.3.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญของไทย	6
2.3.2 การศึกษาวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่	7
2.3.3 ส่วนประกอบอื่น ๆ ของกล้วย	8
2.4 ไขมันกับอาหารทอดกรอบ	9
2.5 กระบวนการการอบแห้ง	9
2.5.1 หลักการอบแห้ง	9
2.5.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นสมดุล	10
2.6 เครื่องอบแห้ง	13
2.6.1 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด	13

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากกระบวนการทำแห้ง	14
2.7.1 การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายในอาหาร	14
2.7.2 การหดตัวของอาหาร	14
2.7.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส	15
2.7.4 การสูญเสียสารระเหย	15
2.7.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล	16
2.7.6 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ	16
2.8 การอบแห้งผลไม้	17
2.9 การเตรียมวัตถุดิบ	18
2.9.1 การคัดแยก	18
2.9.2 การทำความสะอาด	18
2.9.3 การปอกเปลือกและตัดแต่ง	18
2.9.4 การลวก	18
2.9.5 การใช้สารเคมี	19
2.10 เทคโนโลยีการอบแห้งกล้วย	19
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	21
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	21
3.1.1 การทดลองขั้นต้น	21
3.1.2 การทดลองขั้นตอนที่ 1	21
3.1.3 การทดลองขั้นตอนที่ 2	21
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 การเตรียมวัตถุดิบ	22
3.3.1 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid)	22
3.4 วิธีการทดลอง	22
3.4.1 การทดลองขั้นต้น	22
3.4.2 การทดลองขั้นตอนที่ 1	23
3.4.3 การทดลองขั้นตอนที่ 2	25

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.4 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง 25
3.4.5 การวัดค่าสี 26
3.4.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส 27
3.4.7 การหาอัตราการคืนตัว 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล 28
4.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง 28
4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง 29
4.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง 30
4.3.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ 30
4.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส 32
4.3.3 การวิเคราะห์อัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ 34
4.3.4 การวิเคราะห์สี 37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 40
5.1 สรุปผลการทดลอง 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 42
เอกสารอ้างอิง 43
ภาคผนวก 45
ภาคผนวก ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง 46
ภาคผนวก ข. ตาราง ANOVA 48
ภาคผนวก ค. รูปการทดลอง 60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลองค์ประกอบต่อ 100 g ของกล้วยส่วนที่รับประทานได้	5
2.2 ค่าร้อยละของปริมาณแป้งและน้ำตาลของผลกล้วยที่มีการสุกในระยะต่าง	6
4.1 ผลการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนอบแห้ง	28
4.2 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 5%	29
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งที่ชั่วโมงที่ 10	30
4.4 การเปรียบเทียบ Breaking force ที่ความชื้น 5% และ ที่ชั่วโมงที่ 10	33
4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการคืนตัวที่ความชื้น 5% และ ที่ชั่วโมงที่ 10	35
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า ความสว่าง (L*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*) ที่ความชื้นผลิตภัณฑ์ ประมาณ 5% และที่ชั่วโมงที่ 10	37
5.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับวิธีการที่เหมาะสม	41
ก.1 ข้อมูลผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5%	46
ก.2 ข้อมูลผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10	47
ข.1 ANOVA ของค่า Breaking force ของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%	48
ข.2 ANOVA ของค่า Breaking force ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10	49
ข.3 ANOVA ของอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%	51
ข.4 ANOVA ของอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10	52
ข.5 ANOVA ของค่าL* ของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%	54
ข.6 ANOVA ของค่าL* ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10	55
ข.7 ANOVA ของค่า ΔE* ของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%	57
ข.8 ANOVA ของค่า ΔE* ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10	58

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของกล้วยหอมทอง	4
2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	12
3.1 ใบมีดหั่นกล้วย	23
3.2 การแบ่งกล้วยใส่ถาด	24
3.3 การอบแห้งกล้วยหอมทอง	24
3.4 การอบผลิตภัณฑ์เพื่อหาความชื้น	25
3.5 การวัดสีของผลิตภัณฑ์	26
3.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์	27
4.1 การอบแห้งของกล้วยหอมทองเปรียบเทียบระหว่างกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx และ 19-20 °Bx โดยกราฟเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 1	31
4.2 การอบแห้งของกล้วยหอมทองเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 60 °C และ 80 °C โดยกราฟเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 1	32
4.3 การเปรียบเทียบค่า Breaking force ระหว่างกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx และ 19-20 °Bxของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งที่ความชื้นประมาณ 5%	33
4.4 ค่า Breaking force หลังการอบแห้ง 10 ชั่วโมง ของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx	34
4.5 ค่า Breaking force หลังการอบแห้ง 10 ชั่วโมง ของกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx	34
4.6 อัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ในสภาวะต่าง ๆ	35
4.7 การเปรียบเทียบอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ที่ระดับความสุกต่างกันที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C	36
4.8 การเปรียบเทียบอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ที่ระดับความสุกต่างกันที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 °C	36
4.9 การเปรียบเทียบความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที 10 ที่อุณหภูมิต่างกัน	38
4.10 การเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที 10 ที่อุณหภูมิต่างกัน	38
4.16 การเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที 10 ที่ระดับความสุกต่างกัน	39
ค.1 สีของกล้วยในแต่ละระดับความสุก	60

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค.2 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C 61

ค.3 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C 61

ค.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C..... 62

ค.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C..... 62

ค.6 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C..... 63

ค.7 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C..... 63

ค.8 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C..... 64

ค.9 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C..... 64

ค.10 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C..... 65

ค.11 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริกและอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C..... 65

ค.12 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริกและอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C..... 65

ค.13 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริกและอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C..... 65

ค.14 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริกและอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C..... 65

ค.15 ผลิตภัณฑ์กล้วยทีระดับความสุก 19-20 °Bx wjแช่สารละลายกรดซิตริกและอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 °C..... 65

สัญลักษณ์

a*	ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว
b	ปริมาณน้ำใน Soluble solid (%)
b*	ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีฟ้า
F	อตราสวนความชนอสระ
L*	ค่าความสว่าง
M	น้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง (kg)
M_S	นำหนักของของแข็ง (kg)
M_W	น้ำหนักของน้ำ (kg)
MC_{db}	ความชืนฐานแห้ง (%)
MC_{wb}	ความชื้นฐานเปียก (%)
R	อัตราการคืนตัว
t_w	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
w	อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
w_c	อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ
w_e	อัตราส่วนความชื้นสมดุล
0	ค่าอ้างอิงสีที่อ่านจากกล้วยสดหรือสภาวะก่อนทำ
ΔE*	ความเปลี่ยนแปลงของสี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยหอมเป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นอย่างมาก เพราะกล้วยหอมประกอบไปด้วยน้ำตาลธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ซูโครส ฟรุคโทส และกลูโคส รวมทั้งเส้นใยและกากอาหารที่ช่วยให้การขับถ่ายเป็นปกติ แก้ปัญหาโรคท้องผูก และเสริมสร้างพลังงานให้กับร่างกาย นอกจากนี้กล้วยหอมยังเป็นแหล่งรวมของแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ เช่น ธาตุเหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินซี วิตามินเอ และวิตามินบี 6 เป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนมีประโยชน์ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง ป้องกันโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โพแทสเซียมช่วยให้การเต้นของหัวใจเป็นปกติ การส่งออกซิเจนไปยังสมองและปรับระดับน้ำในร่างกาย เวลาเกิดอารมณ์เครียด อัตราการเผาผลาญอาหารในร่างกายจะขึ้นสูง และทำให้ระดับโพแทสเซียมในร่างกายลดลง แต่โพแทสเซียมที่มีอยู่สูงมากในกล้วยจะช่วยให้เกิดความสมดุล วิตามินซีสามารถป้องกันการเกิดโรคหัวใจและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บำรุงสายตาให้มองเห็นได้ชัดเจนขึ้น ยับยั้งการเกิดโรคในช่องปาก มีส่วนช่วยในการย่อยอาหาร กระตุ้นการผลิตฮีโมโกลบินในเลือดหรือในภาวะโลหิตจาง ช่วยลดการเกิดตะคริวที่ข้อเท้าและน่อง และยังสามารถลดอันตรายที่เกิดกับเส้นโลหิตแตกได้ถึง 40% นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ต่อสมองในเรื่องของการควบคุมอารมณ์และความสับสนได้

สำหรับประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยหอมเป็นสินค้าทางการเกษตรมากเป็นอันดับที่ 9 ของโลก โดยส่งออกน้อยกว่าประเทศอินเดีย ประเทศแถบละตินอเมริกา จีน ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย ไทยมีมูลค่าส่งออก 285.02 ล้านเหรียญสหรัฐ และปริมาณการส่งออก 2 ล้านล้านตัน ในปี 2005 ทั้งที่เมื่อ 10 ปีที่แล้วคือปี 1996 ไทยก็มีมูลค่าส่งออกใกล้เคียงกัน คือ 249.39 ล้านเหรียญสหรัฐ และปริมาณการส่งออก 1.75 ล้านล้านตัน ซึ่งแสดงถึงสถานการณ์การส่งออกกล้วยหอมของประเทศไทยที่ไม่ได้มีศักยภาพการพัฒนาทั้งปริมาณและมูลค่าการส่งออกมากขึ้นเท่าใดนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น พันธุ์กล้วยหอมของไทยมีลักษณะเปลือกไม่เหนียว ขั้วหลุดง่าย ทำให้ไม่เป็นที่นิยม และมีราคาแพงกว่าประเทศอื่น ๆ หรือนโยบายการกีดกันสินค้าเกษตรของต่างประเทศ

จากแนวโน้มของตลาดที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ ผู้บริโภคมีความใส่ใจในเรื่องของอาหารก่อมะเร็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหารทอดด้วยน้ำมัน ดังตัวอย่างที่ผู้บริโภคได้เรียกร้องให้ร้านอาหารฟาสต์ฟู้ด (Fast food) แห่งหนึ่งเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ทอดเพราะเป็นน้ำมันชนิด Trans การแปรรูปกล้วยหอมให้กรอบโดยไม่ใช้การทอดโดยน้ำมัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรจะพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรเป็นอาหารแปรรูปเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอก

ประเทศ เนื่องจากผู้บริโภคต้องการอาหารเพื่อสุขภาพมีกำลังซื้อมากกว่าและขายได้ในราคาที่สูงกว่ากล้วยหอมสดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความสุกของกล้วย และการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งกล้วยหอมทอง (Pre-Treatment) โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer)

1.2.2 พัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่มีความกรอบ มีสีน่ารับประทานและเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อย

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล้วยหอมทอง 3 ปัจจัย คือ

1. ระดับความสุกของกล้วย
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง
3. การเตรียมตัวอย่างและไม่เตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนการอบแห้ง

1.3.2 วิเคราะห์สมบัติของกล้วยหอมทองแผ่นอบแห้ง ดังนี้

1. ความกรอบของกล้วยหลังอบแห้ง
2. การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหลังอบแห้ง
3. อัตราการคืนตัวหลังผ่านการอบแห้ง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วางแผนและออกแบบการทดลอง

1.4.3 จัดหาวัตถุดิบ อุปกรณ์ และทดสอบอุปกรณ์

1.4.4 ทำการทดลองขั้นต้น

1.4.5 ทำการทดลองตอนที่ 1

1.4.6 ทำการทดลองตอนที่ 2

1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4.8 จัดทำรูปเล่มและบทความทางวิชาการ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

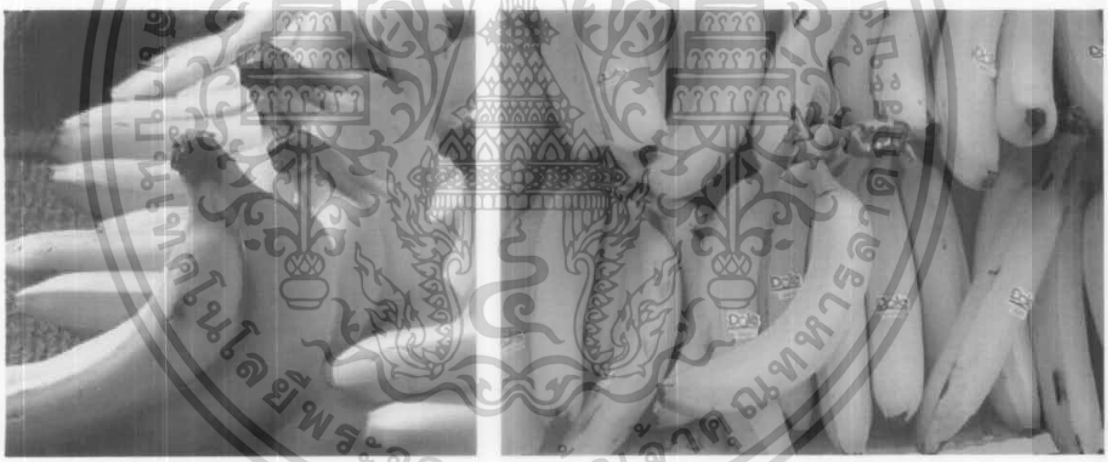
การศึกษาอิทธิพลของระดับความสุกของกล้วย การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่อการนำไปดัดแปลงหรือปรับปรุงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์อื่น ๆ ต่อไป สามารถผลิตกล้วยอบแห้งที่มีความกรอบ มีสีเปลี่ยนแปลงน้อย เหมาะกับการนำไปบริโภค และไม่ใช้น้ำมันในการแปรรูป เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วยหอมทอง [1, 2, 3]

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa (AAA group)* กลุ่มย่อย *Gros-Michel* ชื่อสามัญ Hom Thong Banana กล้วยหอมทองมีลำต้นสูง 2.5-3.5 m เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดมากกว่า 20 cm กาบลำต้นด้านนอกมีประดำ ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านเครือมีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างยาวปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วงมีไข ด้านในสีแดงชัด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล กว้าง 3-4 cm ยาว 21–25 cm ปลายผลมีจุกเห็นชัดเจน เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุกจะมีสีเขียวแล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน กล้วยหอมทองมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการส่งออกในลักษณะสด เพราะมีเปลือกบางและขั้วหลุดง่าย



รูปที่ 2.1 ลักษณะของกล้วยหอมทอง

ตามรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติในปี 2005 แหล่งผลิตกล้วยเพื่อส่งออกที่สำคัญของโลกได้แก่ประเทศอินเดีย บราซิล จีนเอกวาดอร์ และฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตเพื่อการส่งออกมากเป็นอันดับ 9 ของโลก กล่าวคือ มีผลผลิตเฉลี่ยโดยรวม 2,000,000 ตันต่อปี คิดเป็นส่วนแบ่งทางการตลาด 3.7% พันธุ์ที่ส่งเสริมคือกล้วยหอมทอง แม้ว่าประเทศไทยจะส่งออกกล้วยผลสดเป็นปริมาณมากในแต่ละปี แต่ก็ยังเป็นเพียงผลผลิตส่วนน้อย เพราะผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลองค์ประกอบต่อ 100 g ของกล้วยส่วนที่รับประทานได้ [3]

Components	Proximate analysis (g)	Minerals	Mineral content (mg)	Vitamins	Vitamin content
Water	70.7	Sodium	1	Retinal (μg)	0
Sugars	16.2	Potassium	350	Carotene (μg)	200
Starch	3.0	Calcium	7	Vitamin D (μg)	0
Dietary fiber	3.4	Magnesium	42	Thiamin (mg)	0.04
Total nitrogen	0.18	Phosphorus	28	Riboflavin (mg)	0.07
Protein	1.1	Iron	0.4	Nicotinic (mg)	0.6
Fat	0.3	Copper	0.16	Ascorbic acid (mg)	10.0
		Zinc	0.2	Vitamin E (mg)	0.2
		Sulphur	13	Vitamin B6 (mg)	0.51
		Chlorine	79	Vitamin B12 (mg)	0
				Folate (μg)	22
				Pantothenate (mg)	0.26

2.2 ระดับความสุก [1]

ระดับความสุกของกล้วยแบ่งออกได้ดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิด ๆ

ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

ซึ่งในช่วงการสุกนี้จะทำให้คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะแป้งที่มีมากตอนผลกล้วยดิบ จะลดลงและเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ทำให้สามารถคัดเลือกกล้วยจากปริมาณน้ำตาลได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ในกล้วยหอมทอง กล้วยหอมคาเวนดิช และกล้วยของมาเลเซีย ได้ผลใกล้เคียงกันดังตาราง

ตารางที่ 2.2 ค่าร้อยละของปริมาณแป้งและน้ำตาลของผลกล้วยที่มีการสุกในระยะต่าง ๆ [1]

ระยะการสุก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		CSIRO		มาเลเซีย									
	หอมทอง		คาเวนดิช		Berangan		Embun		Emas Besar		Emas Keril		Rastali	
	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง	น้ำตาล	แป้ง
1	0.8	21.1	0.5	20.0	0.9	23	<1	22	<1	24	<1	26	<1	22
2	2.7	18.4	2.5	18.0	4.0	20	3	22	<1	16	2	22	2	20
3	4.8	16.1	4.5	16.0	5.0	19	13	14	11	7	16	13	10	14
4	8.2	12.5	7.5	13.3	8.0	16	18	5	15	9	14	14	14	9
5	13.2	6.8	15.5	7.0	12.0	13	15	7	18	3	17	11	16	9
6	17.6	3.3	18.0	2.5	13.0	12	NA	NA	15	7	14	9	14	5
7	18.5	2.4	19.0	1.5	15.0	0	14	7	17	NA	16	8	15	5
8	19.9	1.3	19.0	1.0	16.0	8	NA	NA	20	5	17	6	15	5

NA: Not available.

2.3 การแปรรูปกล้วยหอมทอง [5]

กล้วยมีบทบาทเกี่ยวข้องกับคนไทยมาตั้งแต่สมัยโบราณ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายในทุกภาคของประเทศ เติบโตเร็ว ให้ผลตลอดปี ผลกล้วยเหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย ตั้งแต่ทารกจนถึงวัยชรา เพราะเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร ในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นอาหารทั้งคาวหวานและส่วนอื่น ๆ ของกล้วยยังสามารถนำไปใช้ทำประโยชน์ได้หลากหลาย

แต่ปัญหาของกล้วย ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีปริมาณมากและราคาต่ำ ในบางช่วงของปี หรือเป็นกล้วยที่มีคุณภาพต่ำ เหลือจากการคัดคุณภาพขนาดมาตรฐาน เพื่อเป็นสินค้าส่งออก จึงได้มีการศึกษา การใช้ประโยชน์จากกล้วย โดยแปรรูปกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางเกษตร ช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และเป็นการสร้างข้อมูล เพื่อนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ ให้แก่ผู้สนใจและนักธุรกิจ หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม

2.3.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญของไทย

กล้วยสดแช่เย็นมีสัดส่วนการส่งออกมากที่สุดในบรรดากล้วยและผลิตภัณฑ์กล้วยส่งออก ทั้งหมดชนิดของกล้วยที่นิยมส่งออกในลักษณะกล้วยสดแช่เย็นได้แก่

1. กล้วยหอมโดยเฉพาะกล้วยหอมทอง ที่นิยมรับประทานผลสดเนื่องจากผลมีสีเหลืองสวย รสชาติหวานอร่อย เนื้อนุ่มละเอียด และมีกลิ่นหอม ปลูกมากที่จังหวัดชุมพร ระนอง และสุโขทัย ตลาดส่งออกกล้วยหอมที่สำคัญของไทยได้แก่ ญี่ปุ่น จีน ฮ่องกง และไต้หวัน

2. กล้วยอื่น ๆ เช่น กล้วยไข่และกล้วยน้ำว้า ตลาดส่งออกสำคัญได้แก่ ฮ่องกง จีน และญี่ปุ่น

ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญได้แก่

- กล้วยแปรรูปอย่างง่าย เช่น กล้วยกวน กล้วยตาก กล้วยฉาบ กล้วยทอดกรอบ กล้วยอบน้ำผึ้ง และกล้วยอบกรอบ (Banana chip) ปัจจุบันมีการควบคุมความสะอาดในการผลิตและคุณภาพของสินค้าอย่างเคร่งครัด เพื่อให้สินค้าได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ ตลาดส่งออกกล้วยแปรรูปอย่างง่ายที่สำคัญของไทยได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย

- กล้วยกระป๋อง วัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยไข่ที่สุกแล้วนำมาปอกเปลือกฝานเป็นชิ้นบาง ๆ หรือใช้ทั้งผล แช่ลงในน้ำเชื่อมแล้วนำไปบรรจุกระป๋องพร้อมรับประทาน ตลาดส่งออกกล้วยกระป๋องที่สำคัญของไทยได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และฝรั่งเศส

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

2.3.2 การศึกษาวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

นอกจากนี้ยังได้มีการวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ซึ่งได้มีการรวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาการผลิตเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์

2. เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์

3. เครื่องปรุงรสนอกจากการใช้กล้วยสุกทำเครื่องดื่มแล้ว ยังสามารถนำมาผลิตเครื่องปรุงรส เพื่อเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบ ลดข้อจำกัดของการใช้วัตถุดิบ ทำให้เกิดการพัฒนา ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ เช่น ซอสกล้วยปรุงรส

4. ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ผลิตภัณฑ์กล้วยอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นขนมหวานที่คุ้นเคยกับคนไทย ได้แก่ กล้วยบวชชี เพื่อเพิ่มความสะดวกต่อการหาซื้อมาบริโภค เพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร และเป็นแนวทางการส่งเสริมการส่งออก ผลิตภัณฑ์กล้วยอีกชนิดหนึ่ง จึงได้มีการศึกษาวิจัย เรื่องกล้วยบวชชีบรรจุกระป๋อง

5. แป้งกล้วย กล้วยดิบเป็นผลิตผลที่นำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปสตาร์ชปริมาณสูง จึงเหมาะต่อการทำแป้งกล้วย มีผู้ทดลองทำแป้งกล้วยน้ำว้าดิบและนำไปใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดแทนที่แป้งชนิดอื่นบางส่วน ในการทำขนม เช่น ทดแทนแป้งสาลีในขนมเค้ก ช่วยลดดุลทางการค้าในการนำเข้าแป้งสาลี

2.3.3 ส่วนประกอบอื่นๆของกล้วย

นอกจากผลกล้วยจะมีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมายนั้น ส่วนประกอบอื่น ๆ ของกล้วยยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกล้วย ตัวอย่างเช่น

1. เปลือกกล้วย ทั้งกล้วยสุกและกล้วยดิบ มีส่วนเปลือกเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก สารประกอบที่น่าสนใจในเปลือกกล้วยคือ แทนนิน (Tanin) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจำพวก ฟีโนลิก (Phenolic) แบ่งเป็นไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (Hydrolysable Tanin) และคอนเดนซ์แทนนิน (Condense Tanin) โดยแทนนินทั้ง 2 ประเภทนี้กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของผักผลไม้ ทั้งเปลือก เนื้อเมล็ดและใบสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารเสริมรสชาติของอาหาร เช่น ทำให้ไวน์แดงมีสารให้ความคงตัวใช้เป็นตัวตกตะกอนโปรตีน และจับกับไอออนของโลหะในอุตสาหกรรม เบียร์ไวน์และสาเก ซึ่งมีกลิ่นรสค่อนข้างดีและไม่มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ โดยผสมกับเจลาตินหรือโปรตีนจากนมทำให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น แทนนินที่สกัดจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะสกัดจากส่วนของเปลือกไม้ เช่น เปลือก ไม้สกุลก่อ ไม้โอ๊ก ไม้ยูคาลิปตัส และไม้โกงกาง ไม้เหล่านี้ปัจจุบันมีปริมาณลดลงมาก ในขณะที่ความต้องแทนนินในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบอื่นที่มีศักยภาพและมีปริมาณแทนนินมากพอที่จะนำมาใช้สกัดให้คุ้มทุนในเชิงพาณิชย์ เปลือกกล้วยเป็นวัสดุเหลือใช้แหล่งหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาเพื่อนำแทนนินมาใช้ประโยชน์ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเรื่อง การสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย

2. หัวปลี หยวกกล้วย อีกส่วนหนึ่งของต้นกล้วยที่น่าสนใจศึกษา ได้แก่ ต้นเทียมหรือหยวกกล้วย (Pseudostem) เป็นส่วนที่เห็นบนพื้นดิน ทำหน้าที่ยึดตัวหน่อหรือเหง้า ซึ่งเป็นลำต้นแท้อยู่ใต้ดิน ลำต้นเทียมมีความสูงไม่เกิน 3.5 m เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 15 cm ส่วนภายในหยวกเป็นไส้อ่อน (Heart of pseudostem) สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง เช่น แกงส้ม แกงเลียง และห่อหมก เป็นต้น การเจริญของลำต้นเทียมจะหยุดลงเมื่อแทงช่อดอก (แทงปลี) กล้วยจะออกปลี (Banana flower) และเครือกล้วยเมื่ออายุ 8-18 เดือน หัวปลีคือส่วนที่เป็นดอกของกล้วยและจะเปลี่ยนเป็นผลกล้วย เมื่อบางส่วนของหัวปลีเจริญเติบโตเป็นผลกล้วยแล้วยังเหลือส่วนปลายที่ไม่ให้ผลกล้วยอีกต่อไป แต่ยังสามารถนำมาใช้บริโภคได้ ฉะนั้นเมื่อกล้วยหวีสุดท้ายติดผลแล้วจึงควรตัดปลีทันที หัวปลีสามารถนำมาทำเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ ได้เช่นกัน เช่นแกงเลียงแกงเผ็ดหรือทำเป็นผักจิ้ม ทั้งหัวปลีและหยวกกล้วยอาจนำมาแปรรูปด้วยเทคโนโลยีการบรรจุในภาชนะปิดสนิท เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องกรรมวิธีการผลิตหัวปลีและไส้หยวกกล้วยบรรจุกระป๋อง

2.4 ไขมันกับอาหารทอดกรอบ [6]

อาหารที่เรารับประทานประกอบส่วนผสมของไขมันดังนี้คือ

- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated)
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated)
- ไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids)
- Trans-fatty acids

ไขมันที่เป็นผลเสียต่อร่างกายได้แก่

ไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และ Trans-fatty acids ซึ่งจะต้องให้ความสนใจเป็นอันดับแรก พบมากในอาหารไขมันที่มาจากสัตว์ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว อาหารทอดทั้งหลายส่วนใหญ่จะทอดด้วยน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันมะพร้าว การรับประทานอาหารไขมันชนิดอิ่มตัวจะทำให้ไขมันในเลือดสูงและเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคหลอดเลือดตีบ

Trans-fatty acid มีผลเสียต่อหัวใจ และยังเป็นสารก่อมะเร็ง ไขมันชนิดนี้ได้จากการนำเอาไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated) มาใส่ไฮโดรเจนเพื่อป้องกันเหม็นหืนและทำให้อยู่ในรูปของแข็ง หากรับประทานไขมันชนิดนี้มากจะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจเพิ่มขึ้น 53% อาหารที่ใช้ส่วนประกอบของไขมันชนิดนี้คือ อาหารที่อบหรือปิ้ง เช่นพวกขนมปัง คุกกี้ เค้ก มาการีน

2.5 กระบวนการอบแห้ง [7]

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังผิววัสดุที่ต้องการอบแห้งโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่นการพา การนำ การแผ่รังสี หรือทั้งสามแบบผสมกัน เพื่อทำให้น้ำหรือของเหลวที่อยู่ในเนื้อวัสดุระเหยออกมาอยู่ในรูปความดันไอ โดยความร้อนที่ได้รับคือความร้อนแฝงในการระเหย วัสดุสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

ในกระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งอัตราการอบแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง ที่ช่วงการอบแห้งคงที่ความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านกระแสอากาศไปบนตัววัสดุ

2.5.1 หลักการอบแห้ง [7, 8]

การอบแห้งอาหารโดยทั่วไป อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูง ๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น การอบแห้งเป็นวิธีที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารเป็นระยะเวลานาน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้ามาก ถ้าปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ทำให้

สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้เป็นเวลานานโดยไม่เสีย ทั้งนี้หลักการอบแห้งอาหารจะเกี่ยวเนื่องกับจุดประสงค์ของการอบแห้งซึ่งการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป จะมีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อต้องการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกจนมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของอาหาร สะดวกต่อการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสดจะกินเนื้อที่และดูแลรักษาลำบากโดยเฉพาะพวกนมสด ถ้าทำเป็นนมผงจะทำให้น้ำหนักเบาขึ้น การบรรจุ การขนส่งก็สะดวกและประหยัด ในการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป พบว่าอาหาร แห้งที่ได้มีน้ำหนักลดไปมาก

การกล่าวว่าอาหารที่มีปริมาณน้ำน้อยจะเก็บรักษาได้นานกว่านั้น จะสัมพันธ์อยู่กับลักษณะการเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์เป็นสำคัญ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีอยู่ทั่ว ๆ ไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ดังนั้นโอกาสที่เชื้อจุลินทรีย์จะสัมผัสกับอาหารก็มีมาก แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ทุกชนิดจะมีความสามารถในการดำรงชีพหรือเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

2.5.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นสมดุล [7]

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน เช่น เมล็ดพืชไปวางไว้ในอากาศที่มีสภาวะคงที่คือมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ผลิตภัณฑ์นั้นอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ (Desorption) หรือดูดซับความชื้นจากอากาศ (Adsorption) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอากาศ และเมื่อวางไว้เป็นเวลานาน ๆ ผลิตภัณฑ์นี้จะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content : EMC) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้น อัตราการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศรอบ ๆ มีค่าเท่ากับ อัตราการได้รับความชื้นจากอากาศรอบ ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้นความดันไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศรอบ ๆ

1. ทฤษฎีความชื้น [9]

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ ฐานเปียกและฐานแห้ง เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลความชื้นของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการ

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

ในทางตรงข้ามเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลแห้งของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการ

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \tag{2.2}$$

แนวโน้มในการใช้ความชื้นเพื่ออ้างอิงในงานวิจัยมักจะใช้ความชื้นฐานแห้งมากกว่าฐานเปียก เนื่องจากการอ้างอิงโดยใช้ฐานเปียกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเพราะมีความชื้นของวัสดุความชื้นของอาหาร อาจหาได้จากการใช้ตู้อบไล่ความชื้นธรรมดาหรือตู้อบสุญญากาศก็ได้ เช่น ผลไม้แห้งอบที่ 70 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ เมล็ดพันธุ์อบที่ 130 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงในตู้อบไล่ความชื้นธรรมดา เป็นต้น ซึ่งค่าความชื้นฐานแห้ง (kg/kg) ของกล้วยหอมอบกรอบ มีค่าเท่ากับ 0.03 ที่อุณหภูมิ 25 °C

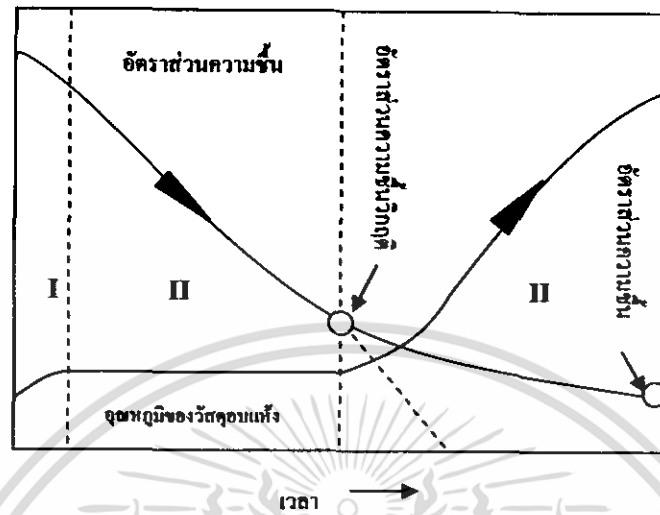
2. ทฤษฎีคุณสมบัติของอากาศ-น้ำ [7]

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์โดยตรง ค่าที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของอากาศแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) หมายถึงอุณหภูมิของอากาศโดยการวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดาแต่ตรงปลายหลอดแก้วที่เป็นกระเปาะบรรจุปรอทห่อหุ้มด้วยผ้าชุบน้ำ ดังนั้น อุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของน้ำที่ห่อหุ้มกระเปาะ โดยปรอทภายในหลอดแก้วจะลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิของน้ำที่ห่อหุ้มปรอทและจะต้องอ่านอุณหภูมิทันที โดยปกติแล้วค่าอุณหภูมิของกระเปาะเปียกจะอ่านค่าได้ต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นมีผ้าชุบน้ำหุ้มอยู่ ไอน้ำจากถุงผ้าที่อยู่รอบ ๆ กระเปาะเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะระเหยออกมา ซึ่งไอน้ำที่ระเหยออกมารอบ ๆ กระเปาะนี้จะทำให้ปรอทเย็นลงทำให้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้โดยอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งซึ่งความแตกต่างระหว่าง 2 ค่านี้ จะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศด้วย ถ้าไอน้ำในอากาศมีมาก อัตราการระเหยของน้ำในอากาศได้มาก อัตราการระเหยของน้ำจากถุงผ้าจะสูงทำให้ค่าที่อ่านได้แตกต่างกันมากขึ้น แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็น 100% อุณหภูมิแบบกระเปาะเปียกจะมีค่าเท่ากับกระเปาะแห้ง เนื่องจากสภาพดังกล่าวอากาศไม่สามารถดูดซึมความชื้นหรือไอน้ำได้อีกแล้ว ทำให้การระเหยของไอน้ำจากถุงผ้าไม่มีจึงอ่านอุณหภูมิได้เท่ากัน

3. เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve) [10]

การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

II : ช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่

III : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) t_w ของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้ คือ ช่วงที่ *I* ใน รูป 2.2 ในช่วงเวลา II ที่ถัดไป อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ t_w ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย w ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง II นี้ ดังนั้นความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (Constant drying rate) ในช่วง III ความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลง เพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้ว ความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล w_e (Equilibrium moisture content) ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ w_c (Critical moisture content) ผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย w ใด ๆ และ w_e มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ F (Free moisture content) F คือ ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุ

ที่มีช่วง II และ III ยาวนานมาก จะไม่คำนึงถึงช่วง I ก็ได้ อนึ่งในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้นหรือในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะชนิด อาจไม่มีช่วง II เลยก็ได้

2.6 เครื่องอบแห้ง [10,11]

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการบุฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อประหยัดพลังงาน มีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบเพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการควบคุมความชื้นของอากาศโดยอัตโนมัติ การควบคุมเครื่องอบแห้งโดยคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนขึ้น ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น การอบแห้งที่เหมาะสมกับอาหารชิ้นเล็กและเป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะต้นทุนต่ำ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน

2.6.1 เครื่องอบแห้งชนิดตู้อบลมร้อนแบบถาด [11]

เป็นเครื่องอบแห้งที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบตู้นี้ ได้แก่ ตู้หรือห้องอบ (Drying chamber) แหล่งพลังงานความร้อน (Heater) พัดลม (Fan) ตัวกรองอากาศ (Screen หรือ Filter) และช่องระบายอากาศ (Damper) โดยชิ้นอาหารที่ต้องการทำแห้งที่ผ่านการเตรียมมาเรียบร้อยแล้ว จะจัดวางไว้ในถาดที่เรียงอยู่ในห้องอบ โดยถาดที่ใช้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่ในตู้ ถาดควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิมและมีรูเปิดที่ถาดไว้ด้วย เพื่อทำให้ลมร้อนสามารถไหลเวียนผ่านได้

ในระดับอุตสาหกรรม ถาดอาจวางซ้อนกันบนโครงเหล็กที่มีล้อเลื่อน โดยเมื่อจัดวางอาหารที่ต้องการทำแห้งเรียบร้อยแล้ว จะเคลื่อนถาดทั้งหมดเข้าไปในตู้อบพร้อม ๆ กัน ทำให้สะดวกในการปฏิบัติ

ขณะเครื่องทำแห้งทำงาน พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่อง ซึ่งส่วนมากมักจะผ่านแผ่นกรองอากาศที่จะกรองพวกฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ปะปนมาในอากาศ อากาศที่กรองแล้วจะผ่านขดลวดให้ความร้อน ทำให้เกิดกระแสลมร้อน ซึ่งจะพัดผ่านอาหารในถาดที่วางอยู่ในตู้ ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในอาหาร เพื่อให้น้ำกลายเป็นไอและระเหยออกจากผิวอาหาร ลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกไปทางช่องระบายอากาศในขณะเดียวกัน จะปล่อยให้ลมร้อนบางส่วนหมุนเวียนอยู่ในตู้ เพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ยังอยู่ในอาหารร่วมกับความร้อนจากลมร้อนที่เข้ามาใหม่

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้จะใช้กับการทำแห้งระดับครัวเรือนและกึ่งอุตสาหกรรม การทำแห้งแบบนี้จัดว่าเสียค่าใช้จ่ายไม่แพงนัก บำรุงรักษาและควบคุมได้ง่ายและมักเป็นแบบกะ (Batch process) ส่วนมากมักใช้ในการทำแห้งผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ เป็นต้น

2.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากกระบวนการทำแห้ง [7]

2.7.1 การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายในอาหาร

ตัวถูกละลายซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำในอาหารจะมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการทำแห้ง เนื่องจากน้ำภายในอาหารซึ่งเป็นตัวทำละลาย ภายในขององค์ประกอบเหล่านี้เกิดการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่ง จึงพาองค์ประกอบเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปด้วย เมื่อนำอาหารมาทำแห้งด้วยลมอุ่น การหดตัวของชิ้นอาหารที่ผิวจะทำให้ส่วนของอาหารที่อยู่ภายในเกิดแรงอัด ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของของเหลวจากภายในออกมาสู่ภายนอก ลักษณะการยอมให้ผ่านของผนังเซลล์ (Cell permeability) ในเนื้อเยื่ออาหารจะเป็นตัวกำหนดการไหลของน้ำจากภายในสู่ภายนอก ขณะที่น้ำเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวเพื่อการระเหยนั้น ก็จะพาเอาตัวถูกละลายออกมาด้วย เมื่อน้ำระเหยออกไปจากผิว ตัวถูกละลายจะตกค้างอยู่ที่ผิว ทำให้ที่ผิวนอกมีปริมาณตัวถูกละลายมากกว่าภายใน ในขณะเดียวกันจะเกิดกลไกอีกอย่างหนึ่งซึ่งตรงกันข้าม คือ ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวมากกว่าความเข้มข้นภายใน จะเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายนี้จากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านในด้วยทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีแรก ในการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบนี้ การที่จะเกิดการเคลื่อนที่แบบใดมากกว่านั้นจะขึ้นกับสมบัติเฉพาะตัวของอาหารและสภาวะในการทำแห้ง แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเกิดการเคลื่อนที่แบบแรกมากกว่า การที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกมาอยู่ที่ผิวของชิ้นอาหารมากเกินไปอาจเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการทำแห้ง ในกรณีนี้จะทำให้เกิดลักษณะแห้งแข็งที่ผิว เรียกว่า “Case hardening” กลไกการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ยังไม่รู้แน่ชัด แต่คาดว่าหนึ่งในปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุคือ การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย และการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่สูงเกินไป ลักษณะผิดปกติที่พบคือ ที่ผิวของอาหารด้านนอกจะมีลักษณะเหมือนกับอาหารนั้นแห้งแล้ว แต่ถ้าดูภายในพบว่าอาหารนั้นยังชื้นสูงอยู่ บางครั้งผิวด้านนอกที่แห้งจะมีลักษณะเหนียวเป็นยาง (Gummy) ใส (Glassy) หรือมีลักษณะคล้ายหนัง (Leathery) โดยมากการเกิดลักษณะแห้งแข็งที่ผิวนี้ จะเกิดขึ้นในการทำแห้งผลไม้ เนื้อสัตว์ และปลา แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนว่าลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใช้สภาวะอบแห้งเช่นใด หรือจะเกิดกับอาหารชนิดใดบ้าง ถ้าต้องการหลีกเลี่ยงสภาวะนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิของอาหารอยู่ประมาณ 49–55 °C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกลดลงไม่เกิน 68–86 °C ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของความชื้นภายในกับภายนอกมากนัก การใช้ลมร้อนเพื่อป้องกันการแห้งแข็งที่ผิวนั้น เป็นวิธีที่ไม่ประสบผลสำเร็จนักเพราะความชื้นในอากาศจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง

2.7.2 การหดตัวของอาหาร

การทำแห้งทุกแบบยกเว้นการทำแห้งในสภาวะแช่แข็งจะทำให้เกิดการหดตัวของอาหารมากน้อยต่างกันไปในแต่ละวิธี แม้อาหารที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ก็จะมีการหดตัวด้วย ในช่วงต้น การหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ลดลง แต่ในช่วงปลายของการทำแห้ง การหดตัวจะลดลง อาหารจะมีขนาดและรูปร่างคงที่ก่อนที่การทำแห้งจะสิ้นสุด ความโปร่งพรุนของโครงสร้างและความ

หนาแน่นเนื้อ (Bulk density) ของผักแห้งจะขึ้นกับสภาวะในการทำแห้ง เมื่ออัตราการทำแห้งในตอนต้นสูง ผิวภายนอกของชิ้นอาหารแข็ง ปริมาตรจะคงที่อยู่ตัว ขณะที่การทำแห้งดำเนินต่อไป เนื้อเยื่อภายในจะแยกตัวเป็นโครงสร้างที่โปร่ง อาหารที่เกิดการทำแห้งในลักษณะนี้จะมี Bulk density ต่ำและคืนรูปได้ง่าย กลับกัน ถ้าอัตราการทำแห้งในตอนต้นต่ำ ชิ้นอาหารจะหดตัวทำให้มี Bulk density สูง การหดตัวนี้อาจมีผลต่ออัตราการทำแห้งเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิว การป้องกันการหดตัวนี้อาจทำโดยการควบคุมความดันของบรรยากาศให้มีความดัน 500 – 1500 psig ด้วยก๊าซต่าง ๆ เช่น มีเทน ไนโตรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ อากาศ ฟรีออน หรือ อีเทน แล้วนำไปแช่แข็ง จากนั้นจึงทำให้แห้งโดยใช้อากาศ ผลิตภัณฑ์จะโปร่งพรุน และไม่หดตัว ก๊าซที่ใช้ถ้าเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดอื่น

2.7.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ข้อบกพร่องที่พบมากในด้านการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส คือ เนื้อสัมผัสหลังคืนรูปแข็ง หรือเหนียวเกินไป และมีการสูญเสียความชุ่มน้ำ เป็นต้น

เหตุผลทางกายภาพเคมีของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ยังไม่ทราบแน่ชัด ในกรณีเนื้อเยื่อพืช การสูญเสียความเต่งของเซลล์และการตกผลึกของโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง การตกผลึกของโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง หรือ เซลลูโลส อาจเกิดจากการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้งเป็นหลัก มักเกิดปฏิกิริยารีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ควบคู่ไปกับการทำแห้ง ในกรณีเนื้อเยื่อสัตว์ ความนุ่มจะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะแอกโตไมโอซิน (Actomyosin) การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากการรวมตัว หรือการเชื่อมข้ามของโปรตีนที่ยังไม่แปรสภาพธรรมชาติ หรือเกิดการแปรสภาพธรรมชาติของโปรตีนก่อนการรวมตัว หรือเกิดจากปฏิกิริยาของโปรตีนทั้งที่แปรสภาพแล้วและยังไม่แปรสภาพธรรมชาติกับไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต ส่วนสำคัญที่เกิดการเชื่อมข้ามในแอกโตไมโอซิน คือ ไมโอซิน (Myosin) คาดว่าการเชื่อมข้ามเกิดจากพันธะไดซัลไฟด์ (S-S bond) พันธะนี้อาจเกิดขึ้นได้แม้ในสภาวะแช่แข็ง การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสนี้จะพบได้ทั้งในการทำแห้งด้วยอากาศร้อนและการทำแห้งในสภาวะแช่แข็งซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิของการทำแห้งจะเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงนี้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้

2.7.4 การสูญเสียสารระเหย

เมื่อน้ำระเหยออกจากอาหารจะพาเอาสารระเหยบางส่วนออกไปด้วย ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่ต้องการ ปริมาณการสูญเสียนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ และความดันไอของสารแต่ละชนิดที่อุณหภูมินั้น ในอาหารประเภทสารละลายคาร์โบไฮเดรต โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตจะเกาะเกี่ยวกันและเก็บกักสารระเหยเอาไว้ภายใน ช่วยให้การสูญเสียสารระเหยลดลง องค์ประกอบของอาหารบางอย่างช่วยดูดซับสารให้กลิ่นรสเอาไว้ได้ด้วยเหมือนกัน

มีการทดลองหาวิธีการลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสเหล่านี้ เช่น มีการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือสารอื่นเพื่อดูดซับสารระเหยเหล่านี้ไว้จากอากาศร้อนที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องอบแห้งแล้วคืนกลับลงไปในผลิตภัณฑ์เพื่อให้คุณภาพดีขึ้น แต่ยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป

2.7.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบย้อนกลับไม่ได้ ปฏิกิริยานี้บางครั้งเป็นที่ต้องการในอาหารบางชนิด เช่น การเกิดเปลือกสีน้ำตาลของก้อนขนมปัง แต่ในการทำแห้งโดยมากจะถือว่าเป็นข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่สำคัญที่สุด ถ้าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นไม่รุนแรงนักจะสังเกตเห็นเพียงการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นรุนแรงจะมีผลต่อกลิ่นรสและการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ด้วย ปฏิกิริยาที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลนี้มักเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) และกลุ่มอะมิโน (Amino group) ปฏิกิริยาจะเป็นแบบลูกโซ่ เกิดสารที่มีสีชมพูหรือแดงก่อน และจะเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์สีน้ำตาล ในทางอาหารปฏิกิริยามักเกิดระหว่างน้ำตาลกับโปรตีน ดังนั้นนอกจากจะทำให้ลักษณะปรากฏไม่น่าดูแล้ว ปฏิกิริยานี้ยังก่อให้เกิดการสูญเสียสารอาหารไปในตัวด้วย อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทันที การเปลี่ยนแปลงมักจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิร่วมกับเวลาอาหารที่ไม่ทนอุณหภูมิสูงจะทนอุณหภูมิ 200 °F หรือ 93 °C หรือสูงกว่าได้เพียง 2-3 วินาทีเท่านั้นโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่โดยทั่วไปสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 120 °F หรือ 49 °C เป็นเวลา 8–10 ชั่วโมง อัตราเร็วของการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหาร ในสารละลายที่เจือจางมากจะเกิดปฏิกิริยาช้า แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะมีความเร็วสูงสุด เมื่อมีความชื้น 15–20% เมื่อความชื้นลดลงกว่านี้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงที่ความชื้น 1–2% จะไม่เกิดปฏิกิริยาแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้น สำหรับอาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก ๆ นี้ ลักษณะของคุณภาพอื่น ๆ เช่น การเกิดกลิ่นหืนจะเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มากกว่าการเกิดสีน้ำตาล การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลอาจทำได้โดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรืออาจใช้ในรูปของซัลไฟต์ (Sulfite) และเมตาไบซัลไฟต์ (Metabisulfite) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ การทำแห้งด้วยอากาศร้อนจากการเผาแก๊สหรือน้ำมัน ถ้าในเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่อาจทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินปริมาณที่กำหนดได้ จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

2.7.6 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ

สำหรับการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแห้งแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ทำแห้ง และสภาวะที่เก็บที่แตกต่างกัน ในการทำแห้งผักและผลไม้ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจากการเตรียม

วัตถุดิบมักจะมากกว่ากระบวนการทำแห้ง จากการติดตามการสูญเสียวิตามินซีในแอปเปิ้ลเกล็ด พบว่า การสูญเสียจากการหั่นจะมีค่า 8% จากการลวก 62% จากการบด 10% และจากการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพียง 5% ระหว่างการทำแห้ง สารละลายของวิตามินที่ละลายน้ำในอาหารจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายของวิตามินบางชนิดอาจจะมีความเข้มข้นสูงจนถึงระดับอิ่มตัว และมีวิตามินตกตะกอนออกมา แต่การสูญเสียในลักษณะนี้จะมีน้อย วิตามินบางชนิด เช่น วิตามินซี จะมีการละลายสูงมาก และไม่เกิดการตกตะกอน การสูญเสียวิตามินซีจะเกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน สภาวะการทำแห้งจึงควรใช้เวลาสั้น อุณหภูมิต่ำ และควบคุมออกซิเจนและความชื้นให้น้อยที่สุด ไทอะมีน (Tiamine) ก็จะมีการสูญเสียเนื่องจากความร้อนเช่นเดียวกัน ส่วนวิตามินที่ละลายน้ำอื่นๆจะทนต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า และมีการสูญเสียเพียง 5–10% ซึ่งรวมทั้งการสูญเสียจากการลวก วิตามินที่ละลายในน้ำมันจะไม่ถูกเพิ่มความเข้มข้นเช่นเดียวกับวิตามินที่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณน้ำลงอาจทำให้ความเข้มข้นของโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ วิตามินที่ละลายในไขมันจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การลดการสูญเสียวิตามินเหล่านี้ระหว่างการเก็บจะทำโดยการลดปริมาณออกซิเจน ลดอุณหภูมิเก็บ และป้องกันแสง การทำแห้งที่มีอุณหภูมิต่ำนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโปรตีน สตาร์ช และคาร์โบไฮเดรตอื่นน้อยมาก แต่เนื่องจากอาหารแห้งซึ่งได้จากกระบวนการนี้จะมีโครงสร้างโปร่งพรุน จึงช่วยให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันภายในอาหารได้ดีขึ้น อาหารเหล่านี้จึงมักบรรจุภายในก๊าซเฉื่อยหรือในสุญญากาศ การเปลี่ยนแปลงและการสูญเสียของไทอะมีน วิตามินซี และวิตามินอื่นๆจะมีน้อย ส่วนมากการสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงการเตรียมวัตถุดิบ

2.8 การอบแห้งผลไม้ [12]

นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การผลิตผลไม้แห้งโดยการตากแดดก็ยังเป็นที่นิยมกันอยู่ แม้แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยเฉพาะกับผลไม้บางอย่าง เช่น องุ่น ทั้งนี้เนื่องจากการตากแดดเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และอาจให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคอย่างไรก็ตามวิธีการตากแดดก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่นอาจไม่สามารถทำได้หากว่าสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจไม่สะอาดพอ การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งสามารถช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวมานี้ได้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการอบแห้งผลไม้คือ กลิ่น สี และเนื้อของผลไม้ ซึ่งต้องเป็นไปตามความต้องการของตลาด ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

72179

2.9 การเตรียมวัตถุดิบ [11, 13]

2.9.1 การคัดแยก

ในขั้นของการเตรียมวัตถุดิบมักจะมีการคัดแยกวัตถุดิบ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีความสม่ำเสมอและเหมาะสมที่จะนำไปแปรรูปด้วยการทำแห้ง เช่น ความเหมาะสมและสม่ำเสมอในแง่คุณภาพ ความแก่อ่อน ขนาด รูปร่าง ลักษณะปรากฏ เป็นต้น โดยการคัดแยกนั้น อาจอาศัยคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งของวัตถุดิบ หรือร่วมกันในการคัดแยก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและสภาพของวัตถุดิบ ซึ่งผลจากการคัดแยกที่ดีจะทำให้ได้วัตถุดิบที่มีความสม่ำเสมอ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้วัตถุดิบมีอัตราการทำแห้งใกล้เคียงกัน และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีคุณภาพสม่ำเสมอในที่สุด

2.9.2 การทำความสะอาด

วัตถุดิบที่มักจะนำมาทำแห้งมักจะมีการปนเปื้อนด้วยสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น โลหะ แร่ธาตุ สารเคมี เชื้อจุลินทรีย์ และอื่น ๆ การทำความสะอาดจึงเป็นการช่วยกำจัด หรือ ลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนดังกล่าว ซึ่งการทำความสะอาดนั้น อาจเป็นการทำความสะอาดแบบเปียกด้วยการแช่ การพ่นละอองน้ำ การใช้แปรงขัด ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด และสภาพของวัตถุดิบ นอกจากนี้อาจทำความสะอาดแบบแห้ง เช่นการใช้ลมเป่า การใช้แม่เหล็กในการแยกเศษโลหะที่ปะปนออกมาจากวัตถุดิบ เป็นต้น

2.9.3 การปอกเปลือกและตัดแต่ง

วัตถุดิบที่มีส่วนของเปลือกที่บริโภคไม่ได้ หรือบริโภคได้แต่ต้องการแยกออกไป เช่น เปลือกของผัก ผลไม้ และอื่น ๆ ก่อนนำมาทำแห้ง ซึ่งการปอกเปลือกนั้นอาจกระทำได้โดยลักษณะเชิงกล เช่น การปอกเปลือกด้วยมีด หรือ วัสดุมีคมอื่น ๆ และการปอกเปลือกโดยลักษณะเชิงเคมีฟิสิกส์ เช่น การปอกเปลือกด้วยด่าง ด้วยไอน้ำร้อน ด้วยเปลวไฟ เป็นต้น ทั้งนี้ชนิดและสภาพของวัตถุดิบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเลือกวิธีการปอกเปลือก ตัวอย่างกรณีวัตถุดิบที่เป็นพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ แครอท นิยมปอกเปลือกด้วยด่าง หรือด้วยไอน้ำร้อน เป็นต้น

2.9.4 การลวก

การลวกเป็นปฏิบัติการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบเป็นเวลาสั้น ๆ ที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่กำหนด ประมาณ 70–105 °C ซึ่งมักใช้เตรียมวัตถุดิบจากพืช เช่น ผักและผลไม้บางชนิด ก่อนที่จะนำไปทำแห้ง ซึ่งการลวกนี้เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมเสียคุณภาพของวัตถุดิบ ช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยทำความสะอาด ช่วยลดปริมาณสารที่ไม่ต้องการ และลดออกซิเจนในวัตถุดิบด้วย วิธีการลวกที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การลวกด้วยไอน้ำร้อน และน้ำร้อน

นอกจากการลวกแล้ว บางครั้งจะมีการให้ความร้อนในระดับที่สูงขึ้น นานขึ้น เพื่อให้วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสุกก่อนที่จะนำมาทำแห้ง

2.9.5 การใช้สารเคมี

ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งโดยเฉพาะวัตถุดิบจากพืช เช่น ผัก ผลไม้บางชนิด อาจมีการใช้สารเคมีในการเตรียมวัตถุดิบดังกล่าว เช่น การใช้สารพวกซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในการรักษาสีและป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้แห้งจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ ซึ่งการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถกระทำได้โดยการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือแช่ในสารละลายเกลือเมทาไบซัลไฟต์ เช่น โพแทสเซียมเมทาไบซัลไฟต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่ามีข้อเสียในแง่ต่าง ๆ คือ ทำให้ภาชนะโลหะเกิดการกัดกร่อน ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำลายสารที่มีคุณค่าทางอาหารบางชนิด เช่น วิตามินบีหนึ่ง นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญ คือ เรื่องความปลอดภัยต่อผู้บริโภคในการบริโภคซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งพบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้เกิดอาการแพ้อย่างรุนแรงในคนบางกลุ่ม จึงได้มีการค้นคว้าและหาวิธีการที่จะมาทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ การใช้กรดอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กรดซิตริก การใช้วัตถุกันหืน เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล เป็นต้น

2.10 เทคโนโลยีการอบแห้งกล้วย

การทำแห้งแบบใช้ลมร้อน คือการทำแห้งที่นิยมใช้กับผักผลไม้ที่มีลักษณะเป็นชิ้น ๆ ทำได้ง่ายและราคาถูก

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง คือการเอาน้ำออกจากอาหารในสภาวะที่น้ำเป็นของแข็ง(น้ำแข็ง) โดยให้กลายสภาพเป็นไอ โดยใช้ความดันต่ำ ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอบแห้งทั่วไป

การอบด้วยไมโครเวฟ คือการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ 300 MHz – 300 GHz ปริมาณความร้อนจะแพร่อย่างรวดเร็วตลอดทั้งชิ้นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่ระเหยไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้อัตราการทำแห้งของอาหารสูงขึ้น

การทำแห้งด้วย Low pressure superheated steam (LPSSD) เป็นทางเลือกสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน การใช้ความดันต่ำคล้ายกับหลักการการทำแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งทำให้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำลง น้ำสามารถระเหยได้เร็วขึ้น รักษาคุณภาพของสีและรักษากลิ่นรสได้ดี ส่วน Superheated steam มีความสามารถในการนำความร้อนได้เร็วกว่า ทำให้ลดการหดตัว มีความพรุนมากขึ้น การทำ LPSSD จึงเป็นการรวมข้อดีของทั้งสองวิธี ซึ่งเคยได้มีการศึกษาการทำแห้งแบบ LPSSD ในแผ่นไม้ กุ้ง กล้วย แอปเปิ้ล และมันฝรั่ง ซึ่งให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤตลักษณ์ และมันตา [1] ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกล้วยหอมแผ่นแห้งด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง โดยศึกษาปัจจัยเรื่องความสุก (วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น °Bx) และความหนาของกล้วยที่ต่างกัน จากนั้นจึงศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ พบว่ากล้วยหอมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 24 °Bx ตัดเป็นชิ้นหนา 0.6 cm มีความเหมาะสมในการทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็งมากกว่ากล้วยหอมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 19 °Bx

Maskan [15] ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งกล้วยหอมโดยวิธีการใช้ลมร้อน 60 °C ที่ ความเร็วลม 1.45 m/s ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟ 350, 490 และ 700 W ในกล้วยที่หนา 4.3, 7.4 และ 14 mm และการใช้เตาอบไมโครเวฟ 350 W อย่างเดียว กับชิ้นกล้วยที่มีความหนา 4.3 mm เมื่อนำผลที่ได้มาวัดค่าสีโดยเทียบกับสีของกล้วยหอมสดใช้ระบบ L*a*b* พบว่าการใช้ลมร้อนทำให้สีคล้ำกว่า โดยสังเกตจากค่าความสว่าง L* ที่น้อยกว่า ขณะที่การใช้เตาอบไมโครเวฟเพียงตัวอย่างเดียวจะให้ค่า L* ที่สูงกว่าการใช้ลมร้อนร่วมด้วย

Nguyen และ Price [16] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล้วยหอมด้วยลมร้อน 3 อย่าง คือ ความหนาของแผ่นกล้วยหอม ความสุกของกล้วย และ ฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งจะสังเกตได้ว่าฤดูกาลเก็บเกี่ยวและความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิผลต่อจลนศาสตร์การทำแห้ง โดยแตกต่างกับความสุกของกล้วยที่มีอิทธิผลเพียงเล็กน้อยแม้จะมีความหมายถึงความแตกต่างกันระหว่างรูปร่างลักษณะ และองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยเขียวกับกล้วยสุก

Namtip และคณะ [17] ได้ศึกษาจลนศาสตร์การทำแห้ง และคุณภาพของมันฝรั่งแผ่นกรอบภายใต้เทคนิคการทำแห้งที่แตกต่างกัน โดยใช้การอบแห้งแบบ Low pressure superheated steam (LPSSD) และการอบด้วยลมร้อน การลวกก่อนการอบแห้งก็มีอิทธิพลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งมากพอๆกับอุณหภูมิที่ใช้อบ โดยพิจารณาจากคุณภาพของแผ่นมันฝรั่ง กล่าวคือ สี เนื้อสัมผัส และการเพิ่มขึ้นของเม็ดสีน้ำตาล พบว่าการใช้ LPSSD ในการอบแห้งใช้เวลาที่น้อยกว่าในการทำแห้งให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C ส่วนการลวกที่ใช้เวลานานกว่า และการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะทำให้คงสีเดิมได้มากกว่า นอกจากนี้การลวกยังทำให้ความกรอบและการหดตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.1 การทดลองขั้นต้น การทดลองเบื้องต้นโดยการเตรียมตัวอย่าง 4 แบบ

1. การลวกโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 2 นาที
2. การแช่สารละลายน้ำปูนใสความเข้มข้น 1% โดยมวล เป็นเวลา 10 นาที
3. การแช่สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 10 g/l เป็นเวลา 10 นาที
4. การแช่สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 5 g/l เป็นเวลา 10 นาที

3.1.2 การทดลองขั้นตอนที่ 1 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความชื้น ปัจจัยที่ศึกษาคือ

1. การเตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนการอบแห้ง
2. ระดับความสุกของกล้วย (13-14 และ 19-20 °Bx) วัดจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้
3. อุณหภูมิที่ใช้ในอบแห้ง (60 และ 80 °C)

3.1.3 การทดลองขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

1. ความกรอบของกล้วยหลังอบแห้ง
2. การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหลังอบแห้ง
3. อัตราการคืนตัวของกล้วยหลังอบแห้ง

โดยทำการทดลองทั้งหมด 8 ครั้ง ครั้งละ 2 ซ้ำ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Tray dryer (กล้วยน้ำไทการช่าง)

3.2.2 Hot air oven (MEMMERT, UM500)

3.2.3 Texture analyzer (Stable micro system, TA-XT plus)

3.2.4 Tri-stimulus colorimeter (Juki, JC801)

3.2.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 หน่วย (Yamato Blectronic Balance, HB-120)

3.2.6 Hand refractometer ที่ 0-32 °Bx (Tamco)

3.3 การเตรียมวัตถุดิบ

การทดลองนี้เลือกเปรียบเทียบกล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน 2 ระดับ โดยวัดจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) ในกล้วยหอมทอง คือ 13-14 °Bx และ 19-20 °Bx

นำกล้วยหอมทองดิบมาทิ้งไว้ 1 คืน แล้ววัดปริมาณ Total soluble solid ให้ได้ตามระดับความสุกที่ต้องการ นำไปล้างให้สะอาด แล้วปอกเปลือก หั่นกล้วยตามขวางได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนาประมาณ 2 mm

3.3.1 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) [18]

1. นำกล้วยที่เตรียมไว้มาล้างให้สะอาด แล้วปอกเปลือก
2. หั่นกล้วยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปบดให้น้ำและเนื้อเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน
3. ใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Refractometer) ช่วงการวัด 0–32 °Bx อ่านค่าที่ได้แล้วนำไปแทนในสมการ

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

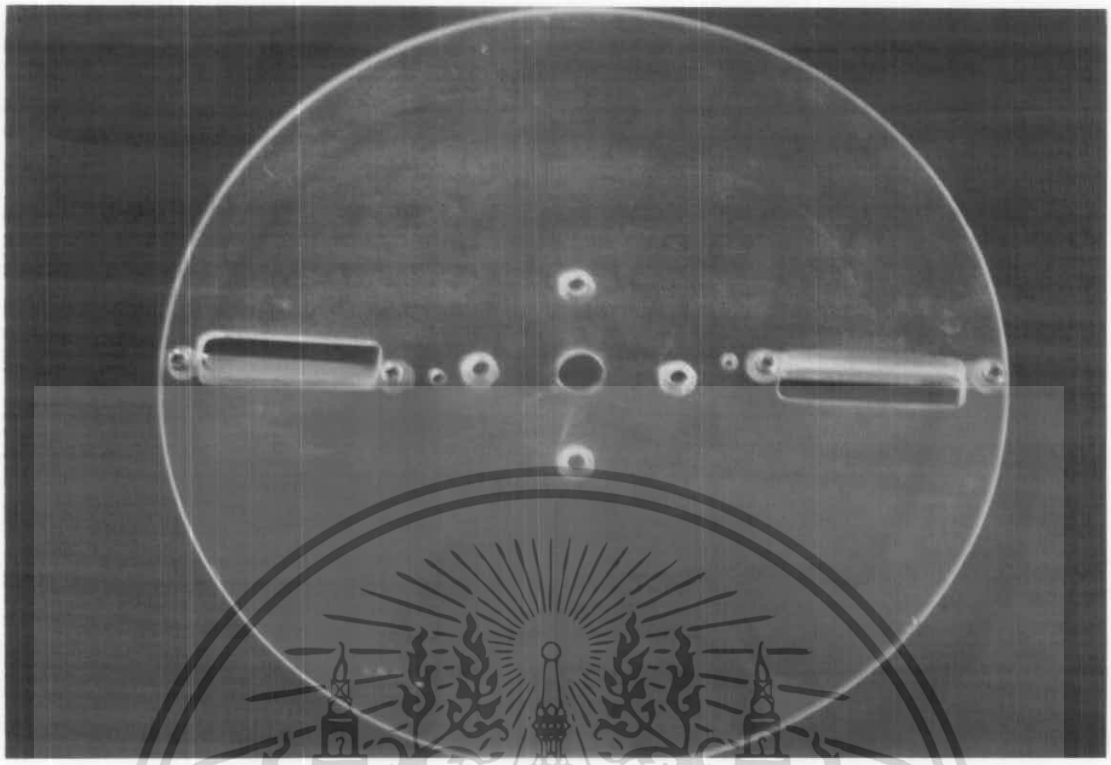
โดยที่ b คือ ปริมาณน้ำ (%) ใน Soluble solid (AOAC, 1995)

4. ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยใช้กล้วยที่เตรียมไว้อบในครั้งเดียวกัน

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดลองขั้นต้น เลือกวิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 19-20 °Bx หั่นตามขวางได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา 2 mm โดยใช้ใบมีดหั่นกล้วยดังรูป
2. ทำการเตรียมตัวอย่างโดยลวกกล้วยในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเรียงในถาด
3. นำถาดกล้วยเข้าอบในตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
4. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนวิธีการเตรียมตัวอย่างเป็นการแช่สารละลายน้ำปูนใสความเข้มข้น 1% โดยมวล เป็นเวลา 10 นาที การแช่สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 10 g/l เป็นเวลา 10 นาที และการแช่สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 5 g/l เป็นเวลา 10 นาที ตามลำดับ
5. สังเกตความเปลี่ยนแปลงของกล้วยที่ได้แล้วเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 ใบมีดหั่นกล้วย

3.4.2 การทดลองตอนที่ 1 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 5% ฐานแห้ง

1. เตรียมกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 13-14 °Bx หั่นตามขวางได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา 2 mm โดยใบมีดหั่นกล้วย

2. แบ่งไปทำการเตรียมตัวอย่าง ด้วยการแช่ลงในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 g/l เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปวางเรียงในถาด โดยแบ่งครึ่งถาดด้านซ้ายเป็นกล้วยที่แช่สารละลายกรดซิตริก ส่วนอีกครึ่งถาดด้านขวาเป็นกล้วยที่ไม่จุ่มสารละลายกรดซิตริก

3. นำถาดกล้วยเข้าอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิคือ 60 °C อัตราเร็วลมในตู้ประมาณ 0.9275 m/s

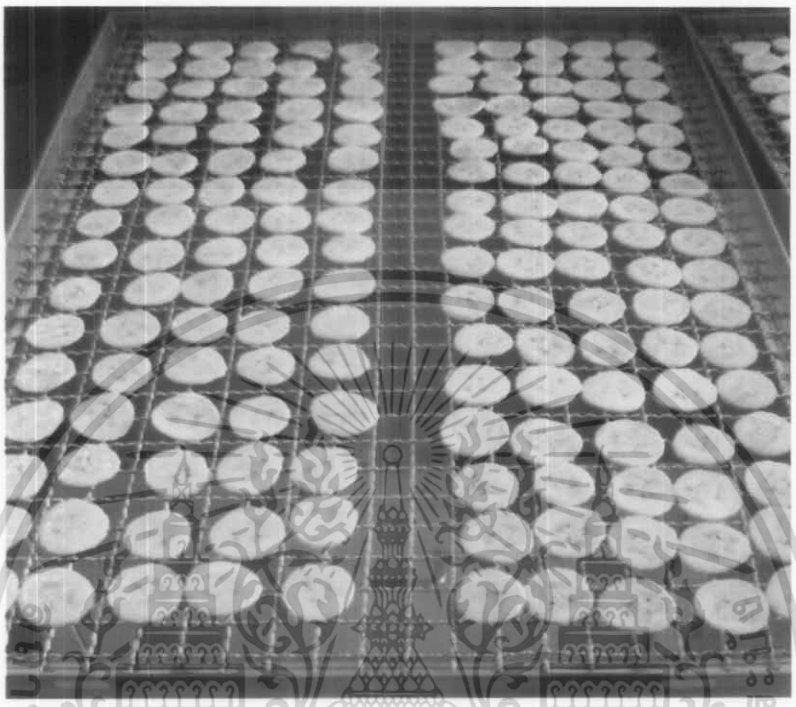
4. เก็บตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุกครึ่งชั่วโมงในช่วง 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นเก็บตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง

5. นำตัวอย่างที่เก็บออกมาไปอบหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วนำตัวอย่างออกมาเก็บในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด

7. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง (2.6.1)

8. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง
9. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-8 โดยเปลี่ยนระดับความสุกของกล้วยที่ใช้เป็น 19-20 °Bx
10. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-9 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งเป็น 80 °C



รูปที่ 3.2 การแบ่งกล้วยใส่ถาด

รูปที่ 3.3 การอบแห้งกล้วยหอมทอง

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4.3 การทดลองตอนที่ 2 วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเปรียบเทียบผลของการอบแห้งกล้วยหอมทองที่ 2 ระดับความสุก (13-14 และ 19-20 °Bx) และ 2 อุณหภูมิอบแห้ง (60 และ 80 °C)

1. เตรียมกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 13-14 °Bx และ 19-20 °Bx หั่นตามขวาง ได้ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนาประมาณ 2 mm
2. แบ่งไปทำการเตรียมตัวอย่างครึ่งหนึ่ง ด้วยการแช่ลงในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 g/l เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปวางเรียงในถาดโดยแบ่งถาดครึ่งซ้ายเป็นกล้วยที่แช่สารละลายกรดซิตริก ส่วนถาดครึ่งขวาเป็นกล้วยที่ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก
3. นำถาดกล้วยเข้าอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิคือ 60 °C ตามเวลาที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 5% ฐานแห้ง (ได้จากการทดลองตอนที่ 1)
4. นำกล้วยที่อบได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (3.1.3)
5. การทดลองซ้ำข้อที่ 1-8 โดยเปลี่ยนระดับความสุกของกล้วยที่ใช้เป็น 19-20 °Bx
6. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-9 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งเป็น 80 °C

3.4.4 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

1. ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (ทุกครึ่งชั่วโมง)
2. นำชิ้นตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยน (ประมาณ 24 ชั่วโมง)
3. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งจากสมการ (2.2)

รูปที่ 3.4 การอบผลิตภัณฑ์เพื่อหาความชื้น

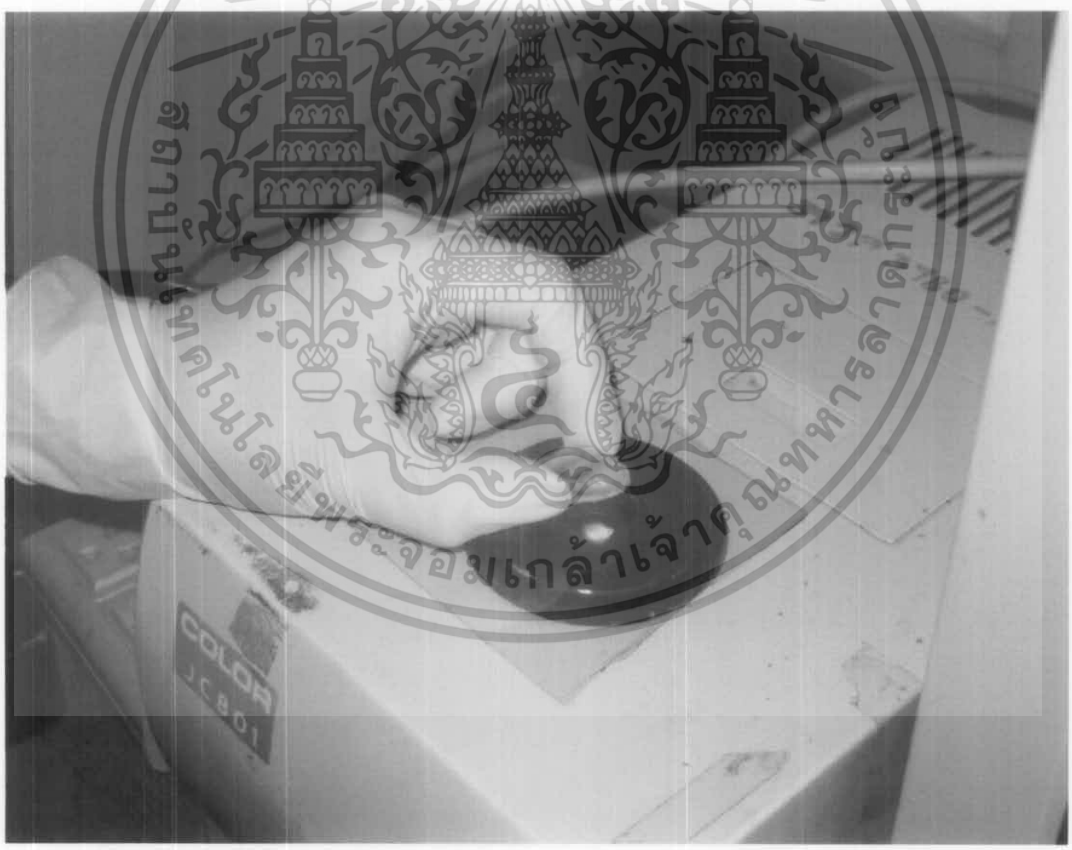
3.4.5 การวัดค่าสี [19]

โดยเครื่อง Tri-stimulus colorimeter แหล่งกำเนิดแสงชนิด D65 Standard observer angle 10° ทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง วัดค่า L* (ค่าความสว่าง) a* (แดง/เขียว) b* (เหลือง/ฟ้า) เพื่อมาคำนวณค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE*) จากสมการ

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2} \qquad (3.2)$$

โดยที่ ตัวห้อย "0" หมายถึงค่าอ้างอิงสีที่อ่านจากกล้วยสด ค่า L* a* และ b* จะเป็นตัวชี้วัดความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ส่วนกล้วยสดที่ใช้จะเป็นตัวอ้างอิง ยิ่งค่า ΔE* มาก แสดงว่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก็ยิ่งมาก

การวัดสีของตัวอย่างแต่ละการทดลองใช้ชิ้นตัวอย่าง โดยวัดสีที่ 3 จุด บนชิ้นกล้วยอบแห้งตัวอย่าง ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ตรงกับเส้นสีขาวที่แบ่งกั้นกลางชิ้นกล้วย แล้วจึงใช้ค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์ด้วยสมการหาค่า ΔE*

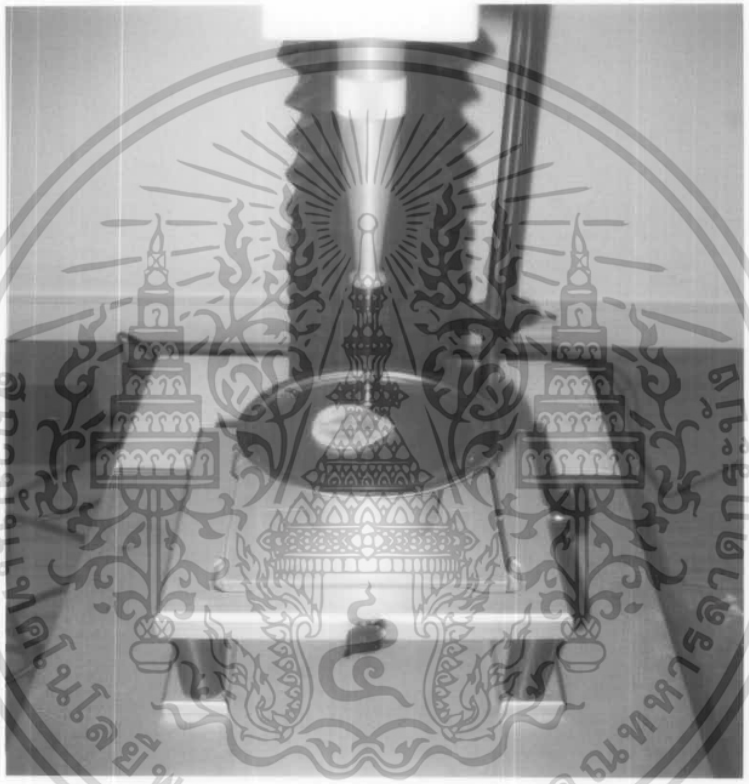


รูปที่ 3.5 การวัดสีของผลิตภัณฑ์

3.4.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส

ด้วยเครื่อง Texture analyzer ตั้งค่า Test speed เท่ากับ 2.00 mm/s ระยะทาง 5.00 mm และ Trigger force เท่ากับ 0.04903 N ใช้หัวแบบกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm (P/5) โดยวิเคราะห์จากกราฟระหว่างแรง (N) กับเวลา เลือกค่าแรงที่จุดสูงสุดของกราฟในการวิเคราะห์ แรงที่ได้นั้นคือ Breaking force ซึ่งก็คือค่าความแข็ง (hardness)

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างในแต่ละการทดลองจะใช้ชิ้นตัวอย่าง 5 ชิ้น และนำค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดมาวิเคราะห์



รูปที่ 3.6 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

3.4.7 การหาอัตราการคืนตัว [20]

โดยคำนวณจากการแช่กล้วยอบแห้งลงในน้ำเดือดที่ 100 °C นาน 10 นาที จากนั้นเทน้ำออก แล้วซับน้ำที่ผิวกล้วยให้เหลือแต่น้ำที่อยู่ภายในชิ้นกล้วย ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการจุ่มลงในน้ำเดือดด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด อัตราการคืนตัวคำนวณจากสมการ

$$R = \frac{M}{M_0} \tag{3.3}$$

โดยที่ M_0 และ M คือน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก่อนและหลังจุ่มลงในน้ำเดือด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ โดย

- การลวกด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เป็นเวลา 2 นาที [19]
- การแช่ในสารละลายน้ำปูนใส ($CaCO_3$) ความเข้มข้น 1% โดยมวล เป็นเวลา 10 นาที
- การแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 10 g/l เป็นเวลา 10 นาที [19]
- การแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 g/l เป็นเวลา 10 นาที

โดยใช้กล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx ในการทดลอง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนอบแห้ง

วิธีเตรียมตัวอย่าง	การเปลี่ยนแปลงหลังการอบ 4 ชั่วโมง
การลวกด้วยน้ำ 90 °C 2 นาที	หลังการลวกก่อนนำไปเข้าตู้อบกล้วยเริ่มช้ำ หลังจากอบแล้วกล้วยมีสีคล้ำบางคล้ำ โดยเฉพาะบริเวณกลางแผ่นจะคล้ำจนเกือบดำและผลิตภัณฑ์แห้งน้อยที่สุด
แช่ในสารละลายน้ำปูนใสความเข้มข้น 1% โดยมวล 10 นาที	หลังการแช่ กล้วยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น แต่เริ่มมีรอยคล้ำเป็นเส้นที่รอบ ๆ ผิว หลังการอบแห้งสีคล้ำขึ้นอย่างเห็นได้ชัดแต่ผลิตภัณฑ์แห้งและแข็งกว่าการเตรียมกล้วยแบบอื่น ๆ
แช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 10 g/l 10 นาที	หลังการแช่ก่อนนำเข้าตู้อบ กล้วยมีสีสว่างขึ้นเมื่อเทียบกับกล้วยที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมตัวอย่าง หลังการอบแห้งกล้วยมีสีเปลี่ยนไปจากเดิมไม่มาก (จากการสังเกตด้วยตาเปล่า) และมีความแห้งและกรอบมากกว่าแบบลวกแต่ไม่แห้งเท่าแบบแช่ในสารละลายน้ำปูนใส มีรสเปรี้ยว
แช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 g/l 10 นาที	ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับการแช่ในสารละลายกรดซิตริกแบบความเข้มข้น 10 g/l แต่มีรสเปรี้ยวน้อยกว่า

จากการศึกษาเบื้องต้น เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะพบว่า
เปรียบเทียบความแห้ง : สารละลายน้ำปูนใส > สารละลายกรดซิตริก > การลวก
เปรียบเทียบสี (ความคล้ำ) : สารละลายกรดซิตริก < สารละลายน้ำปูนใส < การลวก
เปรียบเทียบความเปรี้ยว : สารละลายซิตริกเข้มข้น 10 g/l > สารละลายซิตริกเข้มข้น 5 g/l

จึงได้ตัดสินใจเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งด้วยการแช่ในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 5 g/l เนื่องจากให้ผลดีที่สุดในการเปลี่ยนสีหลังการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น และมีความแห้งน้อยกว่าแบบแช่ในสารละลายน้ำปูนใสเพียงเล็กน้อย ส่วนสารละลายน้ำปูนใสนั้นมีรสฝาดและมีความคล้ำกว่าแบบแช่ในสารละลายกรดซิตริก จึงไม่เลือกวิธีนี้

4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง

โดยทั่วไปการอบแห้งกล้วยจะใช้เวลาประมาณ 8–10 ชั่วโมง [19] และ จะมีความกรอบก็ต่อเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 3% [18] แต่จากการทดลองนี้เราไม่สามารถอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 3% ได้ในทุกสภาวะ จึงเลือกเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่สามารถทำได้ภายใน 10 ชั่วโมงเกือบทุกสภาวะ คือ 5% แต่ในการทดลองที่ใช้กล้วยระดับความสุก 13–14 °Bx อบที่อุณหภูมิ 60 °C ไม่สามารถอบให้แห้งได้ความชื้นประมาณ 5% แม้ว่าจะใช้เวลาอบแห้งนานถึง 15 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ทำให้ลดความชื้นได้น้อยมาก

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 5%

ระดับความสุก (° Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (g/l)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง (%)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)
13-14	60	0	5.42	7
		5	5.32	4.5
	80	0	6.00	2.25
		5	4.22	2
19-20	60	0	6.41	14.5
		5	6.36	14.5
	80	0	5.10	6
		5	5.20	5

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่สภาวะอื่น ๆ พบว่ากล้วยระดับความสุก 13-14 °Bx ผ่านการเตรียมตัวอย่างกล้วยก่อนอบที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์สุดท้าย มีความชื้นฐานแห้ง 5.21%

4.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง

จากการทดลอง กล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx อบที่อุณหภูมิ 60 °C ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นสูงกว่า 5% จึงไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ได้ จึงได้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมงเท่ากัน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS (Version 15) และใช้การทดสอบของ DMRT เพื่อเปรียบเทียบที่หลากหลายของค่าเฉลี่ย ซึ่งพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

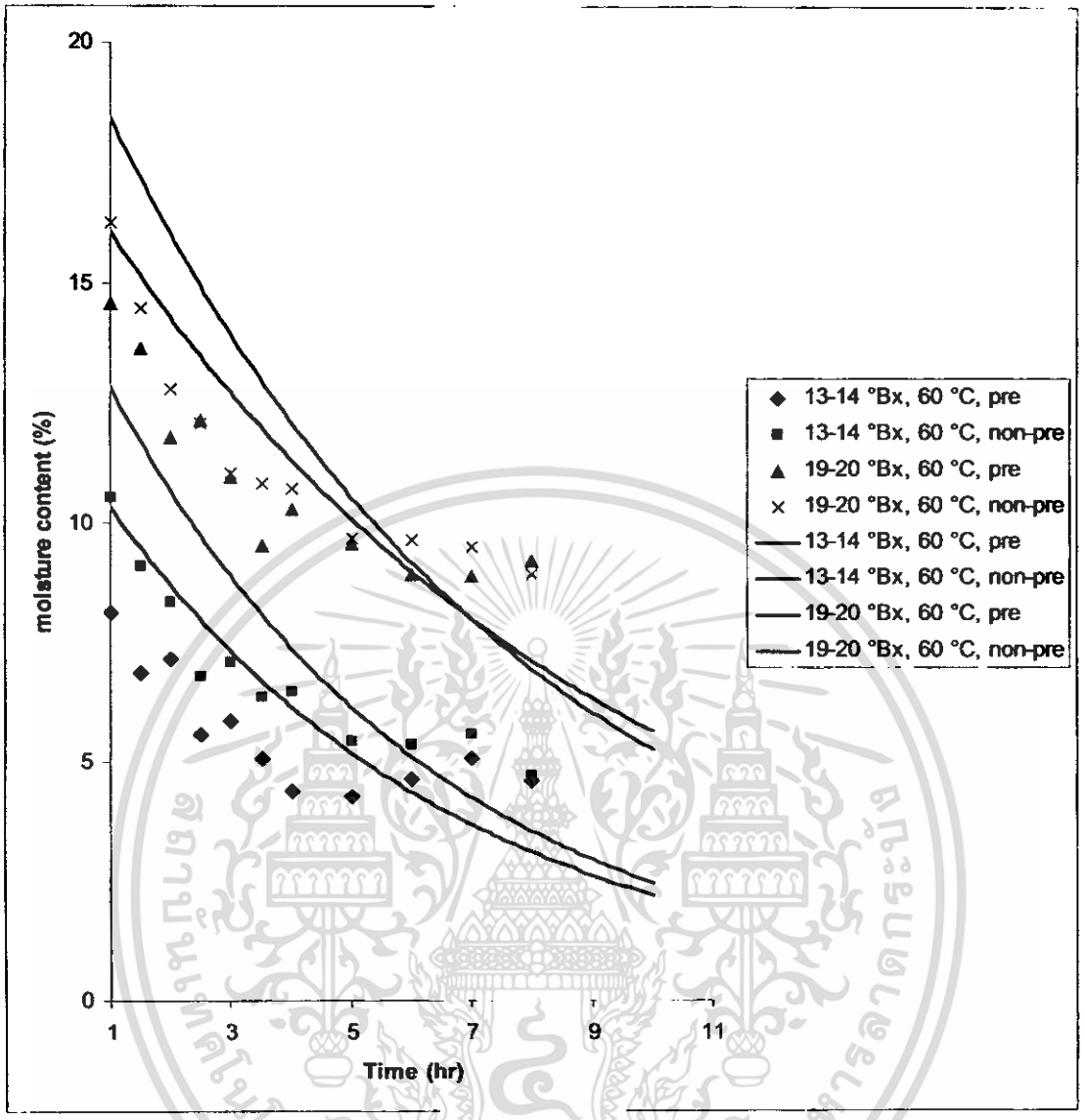
4.3.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์

เปรียบเทียบหลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ได้นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งโดยการอบหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) ด้วยตู้อบลมร้อน แล้วจึงคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งจากสมการ 2.2 ได้ผลดังตาราง

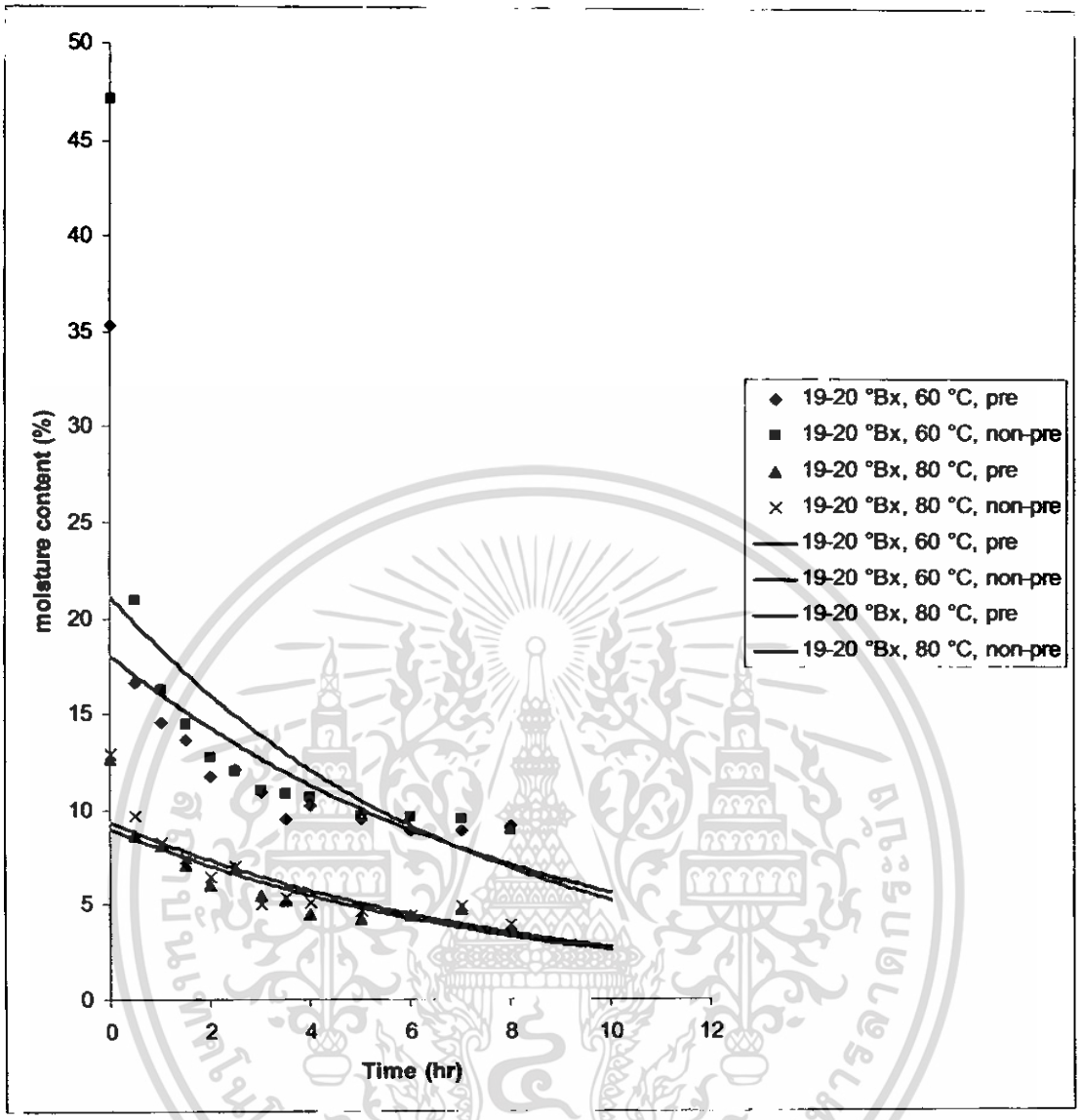
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งที่ชั่วโมงที่ 10

ระดับความสุก (°Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (g/l)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง (%)
13-14	60	0	4.71
		5	4.35
	80	0	1.73
		5	1.37
19-20	60	0	8.93
		5	7.93
	80	0	4.31
		5	4.19

เมื่ออบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสภาวะก็แตกต่างกัน โดยกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกก่อนอบที่อุณหภูมิ 80 °C มีความชื้นต่ำสุดคือ 1.37% ส่วนกล้วยที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่สภาวะเดียวกันมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกล้วยอบแห้งที่มีความชื้นสูงสุดคือกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนอบที่อุณหภูมิ 60 °C มีความชื้น 8.93% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความชื้นในกล้วยดิบมีปริมาณน้อยกว่าความชื้นในกล้วยสด ทำให้ความชื้นสุดท้ายของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx น้อยกว่ากล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx



รูปที่ 4.1 การอบแห้งของกล้วยหอมทองเปรียบเทียบระหว่างกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx และ 19-20 °Bx โดยกราฟเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 1



รูปที่ 4.2 การอบแห้งของกล้วยหอมทองเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอบแห้ง 60 °C และ80 °C โดยกราฟเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 1

4.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

หลังการอบแห้งจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 5% และอบจนถึงชั่วโมงที่ 10 ได้นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture analyzer เพื่อวิเคราะห์แรงมากที่สุด (Maximum force, Hardness) ซึ่งหากค่าความแข็งน้อยจะหมายถึงสามารถแตกหักได้ง่าย ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.4

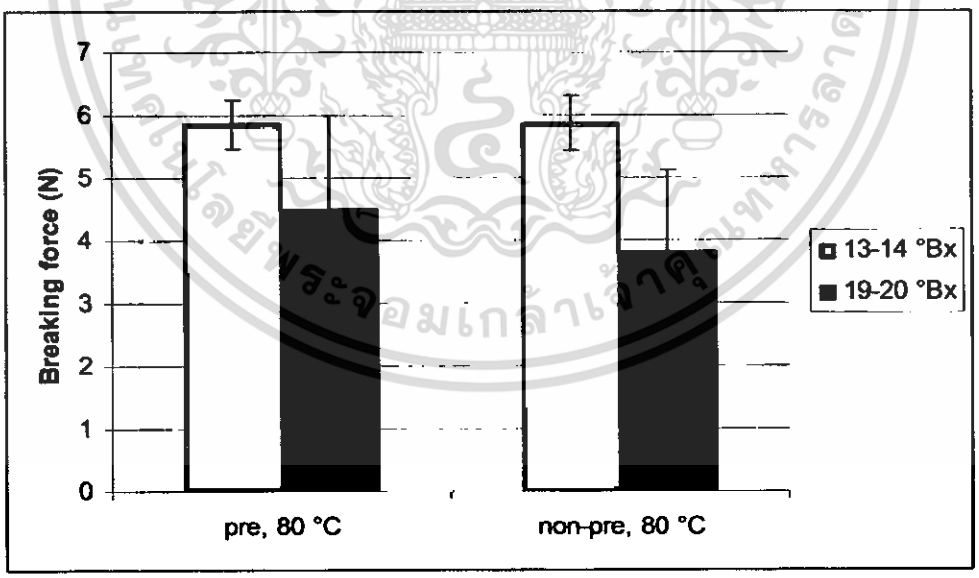
จากการคำนวณทางสถิติในกล้วยที่ชั่วโมงที่ 10 พบว่าระดับความสุกของกล้วยและอุณหภูมิมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า Breaking force ของผลิตภัณฑ์ โดยกล้วยที่มีระดับความสุก 19-20 °Bx ที่อุณหภูมิ 80 °C มีสามารถแตกหักได้ง่ายที่สุด โดยค่า Breaking force น้อยที่สุด คือ 3.84 N ซึ่งให้แนวโน้มในทางเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5%

เพราะอุณหภูมิ 80 °C เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปสำหรับการอบแห้งกล้วยหอมทองซึ่งเป็นอาหารที่ไวต่อความร้อน และภายในกล้วยสุกมีโครงสร้างที่แข็งแรงน้อยกว่ากล้วยดิบ [20]

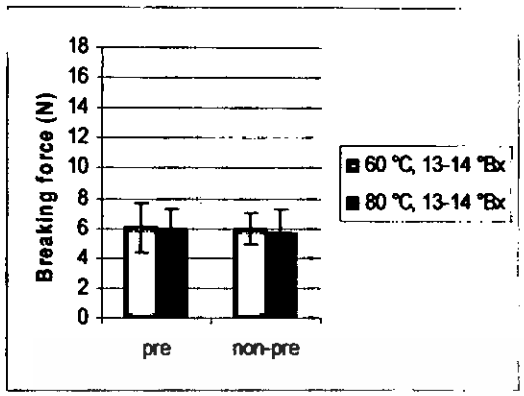
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบ Breaking force ที่ความชื้น 5% และ ที่ชั่วโมงที่ 10

ระดับความสุก (° Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (g/l)	Breaking force ที่ความชื้น 5% (N)	Breaking force ที่ชั่วโมงที่ 10 (N)
13-14	60	0	6.07^{b}	5.94^{b}
		5	6.25^{b}	6.08^{b}
	80	0	5.87^{b}	5.63^{b}
		5	5.87^{b}	5.98^{b}
19-20	60	0	-	13.25^{d}
		5	-	12.19^{c}
	80	0	3.83^{a}	4.18^{a}
		5	4.49^{a}	3.84

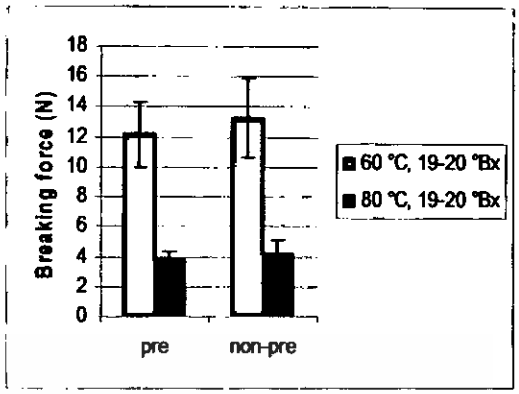
หมายเหตุ : วิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่า Breaking force ระหว่างกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx และ 19-20 °Bx ของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งที่ความชื้นประมาณ 5%



รูปที่ 4.4 ค่า Breaking force หลังการอบแห้ง 10 ชั่วโมง ของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx



รูปที่ 4.5 ค่า Breaking force หลังการอบแห้ง 10 ชั่วโมง ของกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx

4.3.3 การวิเคราะห์อัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์

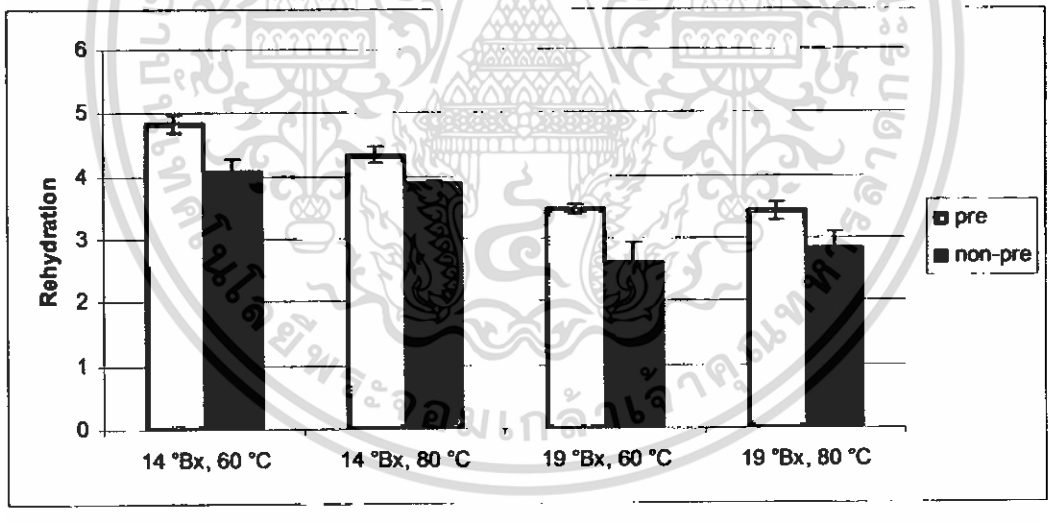
จากการทดลองจะเห็นว่า ระดับความสุกของกล้วยมีผลต่อความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง โดยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx มีความสามารถในการคืนตัวมากกว่า และการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก็ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีความสามารถในการคืนตัวดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดเช่นกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการคืนตัวมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์จากกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C มีอัตราการคืนตัว 4.09 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการคืนตัวน้อยที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์จากกล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C มีอัตราการคืนตัว 2.90

อัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์อาจมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของกล้วย ซึ่งกล้วยดิบจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่ากล้วยสุก

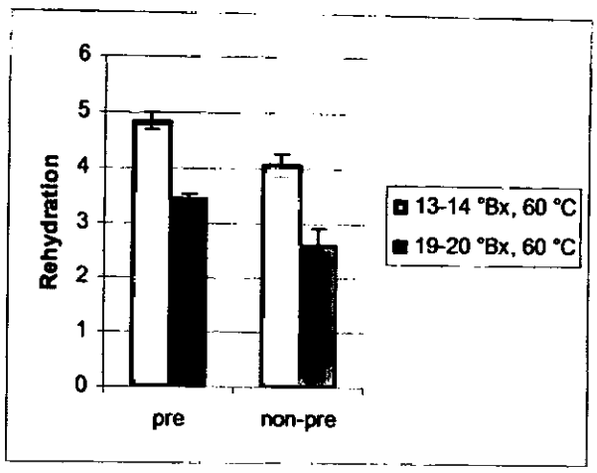
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการคืนตัวที่ความชื้น 5% และ ที่ชั่วโมงที่ 10

ระดับความสุก (° Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (g/l)	อัตราการคืนตัวที่ความชื้น 5%	อัตราการคืนตัวที่ชั่วโมงที่ 10
13-14	60	0	4.07^{efg}	3.90^{defg}
		5	4.84^{h}	4.09^{fg}
	80	0	3.89^{defg}	3.48^{bcdef}
		5	4.35^{gh}	3.55^{cdef}
19-20	60	0	-	2.90^{ab}
		5	-	3.44^{abcd}
	80	0	2.84^{a}	2.96^{abc}
		5	3.44^{abcd}	3.46^{bcde}

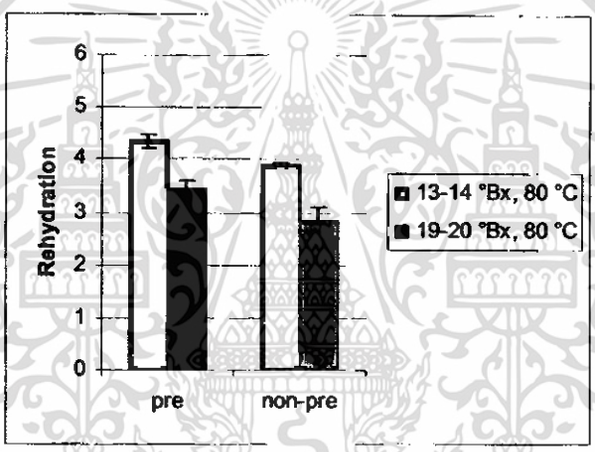
หมายเหตุ : วิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



รูปที่ 4.6 อัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ในสภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ที่ระดับความสุกต่างกันที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5% ที่ระดับความสุกต่างกันที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C

4.3.4 การวิเคราะห์สี

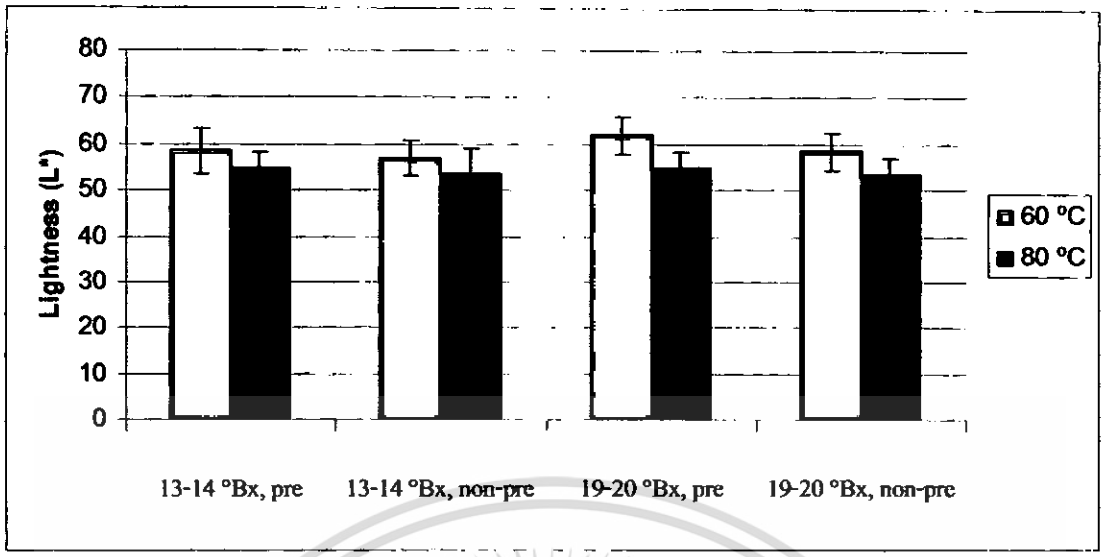
ในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Tri-stimulus colorimeter โดยวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ซึ่งค่า L* น้อยจะหมายถึงมีสีเข้ม และคำนวณค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า ความสว่าง (L*) และค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*) ที่ความชื้นผลิตภัณฑ์ประมาณ 5% และที่ชั่วโมงที่ 10

ระดับความสุก (°Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นสารละลายกรดซิตริก (g/l)	ที่ความชื้น 5%		ที่ชั่วโมงที่ 10	
			L*	dE*	L*	dE*
13-14	60	0	57.60^{abcd}	24.00^{e}	56.89^{ab}	25.01^{hi}
		5	60.25^{cd}	22.33^{c}	58.47^{ab}	24.57^{hi}
	80	0	55.95^{ab}	26.67^{c}	53.37^{a}	29.43^{j}
		5	59.14^{bcd}	23.65^{e}	54.67^{a}	27.65^{ij}
19-20	60	0	57.43^{abcd}	17.97^{e}	58.59^{ab}	16.86^{g}
		5	60.46^{d}	15.32^{e}	61.97^{b}	13.62^{f}
	80	0	54.62^{a}	22.32^{e}	53.55^{a}	23.50^{h}
		5	56.93^{abc}	19.71^{e}	54.56^{a}	22.11^{h}

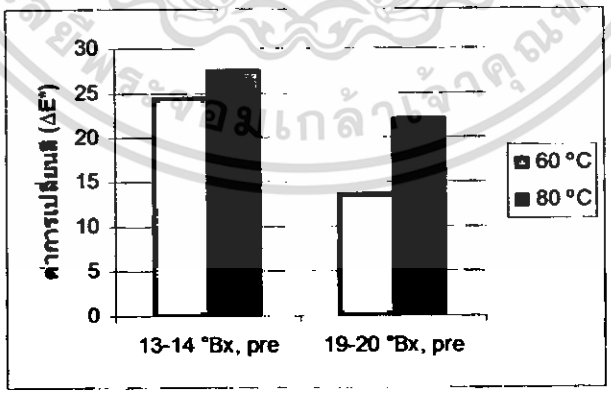
หมายเหตุ : วิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงความไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยหลังผ่านการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสว่างตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีเพียงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิ 80 °C มีผลให้มีสีเข้มกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C เมื่อกล้วยมีระดับความสุกเท่ากัน กล้วยที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความสุกของกล้วยและอุณหภูมิอบแห้งที่เท่ากันมีสีอ่อนมากกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกอย่างไม่ชัดเจนนัก โดยผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อนที่สุดคือผลิตภัณฑ์จากกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งมีค่า 61.97 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มที่สุดคือผลิตภัณฑ์จากกล้วยระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ซึ่งมีค่า 53.37 เมื่อผ่านการอบจนถึงชั่วโมงที่ 10 เท่ากัน

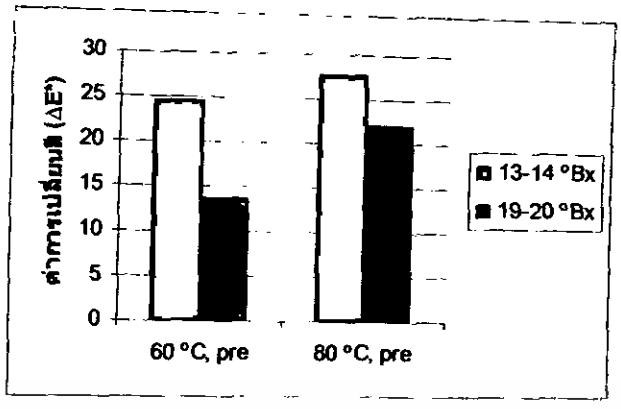


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ที่อุณหภูมิต่างกัน

สำหรับค่าการเปลี่ยนสี (ΔE*)จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีสองปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนสี คือ ระดับความสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx มีการเปลี่ยนสีมากกว่ากล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx ทั้งนี้เนื่องจากในกล้วยสุกมีน้ำตาลกลูโคสซึ่งเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้ามาก แต่ในกล้วยดิบมีน้ำตาลซูโครสมากกว่าน้ำตาลกลูโคส [20] นอกจากนี้การอบที่อุณหภูมิ 80 °C ทำให้สีเปลี่ยนไปมากกว่าการอบที่อุณหภูมิ 60 °C แต่ทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วม ทั้งนี้จะเห็นว่าในการแช่ตัวอย่างในกรดซิตริกก่อนการอบแห้งจะมีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าไม่แช่ในสารละลายกรดเล็กน้อย



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ที่ระดับความสุกต่างกัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองหลังการอบแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายเท่ากันและที่เวลาในการอบแห้งเท่ากัน

กล้วยที่มีความสุกมาก (19-20 °Bx) ให้ผลที่ดีในเรื่องสีของผลิตภัณฑ์ที่อ่อนกว่า และมีการเปลี่ยนสีน้อยกว่ากล้วยที่มีความสุกน้อย (13-14 °Bx) เพราะในกล้วยดิบมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมาก ส่วนในกล้วยสุกมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่มาก ซึ่งน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ช้า นอกจากนี้กล้วยที่มีความสุกมาก มีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่า และให้ค่าการคืนตัวน้อยกว่ากล้วยที่มีความสุกน้อย ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างภายในกล้วยสุกที่แข็งแรงน้อยกว่ากล้วยดิบ [20]

อุณหภูมิในการอบแห้ง การใช้อุณหภูมิสูง (80 °C) ในการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำและใช้เวลาน้อยกว่า นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงยังมีผลให้ค่า Breaking force หรือค่าความแข็งน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำที่อาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างภายในของกล้วยหอมสุกมีความแข็งแรงน้อยกว่ากล้วยดิบ แต่การใช้อุณหภูมิสูงทำให้สีเข้มขึ้น มีสีเปลี่ยนไปมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิต่ำอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การใช้อุณหภูมิสูงจึงมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่เราสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

นอกจากนี้ พบว่าการแช่ในสารละลายกรดซิตริกทำให้การคืนตัวของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งดีกว่าแบบไม่แช่ในสารละลายกรดก่อนอบ เมื่อวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความชื้นประมาณ 5% เท่ากัน การแช่สารละลายกรดซิตริกก่อนอบมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนกว่าแบบไม่แช่สารละลายกรดก่อนอบ ซึ่งสารละลายกรดซิตริกจะไปยับยั้งเอนไซม์กลุ่มที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แต่เมื่อวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบมาแล้ว 10 ชั่วโมงเท่ากัน การแช่ในสารละลายกรดก่อนอบแห้งแทบจะไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะสารละลายกรดซิตริกที่ใช้มีความเข้มข้นน้อย ทำให้มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์น้อย เมื่อใช้เวลาในการอบมากจึงมีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์ได้น้อย

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับวิธีการที่เหมาะสม

	ระดับความสุก (°Bx)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก (g/l)
ความสว่างสูง (L*)	-	60	5
สีเปลี่ยนแปลงน้อย (ΔE*)	19-20	60	5
Breaking force น้อย (แตกหักง่าย)	19-20	80	-
โครงสร้างเสียหายน้อย (ค่าการคืนตัวสูง)	13-14	-	5
ความชื้นของผลิตภัณฑ์	13-14	80	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย " - " หมายถึงปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากตารางเห็นได้ว่าการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนการอบแห้งไม่มีผลต่อคุณภาพความกรอบและความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผลที่มีต่อคุณภาพด้านโครงสร้างและคุณภาพสีที่ดี ดังนั้นการเลือกความสุกของกล้วย และอุณหภูมิในการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การศึกษาอิทธิพลจากทั้ง 3 ปัจจัย จึงทำให้เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งได้หลายประเภท เช่น การผลิตกล้วยหอมแผ่นแห้งที่ผสมในอาหารเช้า ซึ่งปกติใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดก็อาจช่วยลดต้นทุนการผลิต หรือในการแปรรูปเป็นกล้วยอบกรอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการและไม่ต้องอาศัยน้ำมันในการแปรรูปเหมาะกับการบริโภคเพื่อสุขภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ ปัจจัยที่ควบคุมลำบากที่สุดคือความระดับสุกของกล้วยหอมทอง ซึ่งวัดได้จากปริมาณน้ำตาลในกล้วย การซื้อกล้วยมาเก็บคราวละมาก ๆ ไม่สามารถทำได้เพราะกล้วยเป็นผลไม้ที่สุกเร็ว การทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องใช้กล้วยที่อาจจะมีปริมาณน้ำ น้ำตาล หรือแป้งที่ไม่เท่ากัน ทำให้ต้องใช้เวลามากในการคัดเลือกวัตถุดิบ

การวัดปริมาณน้ำตาลในกล้วยหอมทองสดอาจใช้วิธีอื่นได้ เช่น การใช้ ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ดึงน้ำออกจากกล้วย แล้วชั่งน้ำหนักดึงน้ำออกเพื่อหาน้ำหนักน้ำ (ของแข็งที่ละลายได้) ในชิ้นกล้วย ซึ่งอาจใช้เวลานานกว่าการใช้ Refractometer วัดโดยตรงแต่ค่าที่ได้แม่นยำกว่า

หากมีการศึกษาเพิ่มเติมอาจศึกษา Sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เพื่อจะเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยอบกรอบที่สามารถเก็บไว้ได้นานและอาจมีการศึกษาเรื่องบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุกล้วยหอมทองอบกรอบที่สามารถเก็บได้นาน รักษากลิ่นหอมของกล้วย และคงคุณค่าทางโภชนาการที่มีในกล้วยหอม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤตลักษณ์ จักรพันธุ์, มันตา โอมะคุปต์. "**การศึกษาปัจจัยบางอย่างที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมแผ่นที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง.**"ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2537.

[2] Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2006. **MAJOR FOOD AND AGRICULTURAL COMMODITIES AND PRODUCERS.**[Online]. Available : http://www.fao.org.

[3] R. Macrae, R. K Robinson, M .J. Sadler. **Encyclopedia of food science, food technology and nutrition.** Volume1, United States Edition. San Diego, CA: ACADEMIC PRESS LIMITED. 1993.

[4] Banana-Rite Limited (World - Wide Distributors of Fruit Ripening Equipment). 2006. **Ripening chart.** [Online]. Available : www.banana-rite.co.uk/banana_tips.htm.

[5] ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2543. **การส่งออกกล้วยและผลิตภัณฑ์กล้วยของไทย.** [Online]. Available : www.thaifarmzone.com

[6] ธนาพันธ์ จำปีรัตน์, ทนงเดช เสมมา."**การศึกษาการอบแห้งมะขามหวานพันธุ์ศรีชมพูด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนไหลผ่าน**".ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543

[7] นิธิยา รัตนาปนนท์. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์: 370-373. 2545.

[8] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2549. **การหาความชื้นของวัสดุเกษตรและอาหาร.** [Online]. Available : http://www.coursewares.mju.ac.th/ea341/lesson3/ch03_1.p.

[9] เรียวโซ โทเอ, **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 2, พิมพ์ที่ ภาพพิมพ์ กรุงเทพ, 2525

[10] โชคชัย ธีรกุลเกียรติและคณะ.**เอกสารการสอนชุดวิชา การถนอมและการแปรรูปอาหาร**, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2545

[11] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2540, หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[12] วิไล รังสาดทอง. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2547.

[13] Medeni Maskan. "Microwave/air and microwave finish drying of banana." **Journal of Food Engineering**, Vol. 44, 2000. pp. 71-78.

[14] Minh-Hue Nguyen, William E. Price. "Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season." Department of Chemistry, University of Wollongong, NSW 2522, Australia

[15] Namtip Leeratanarak, Sakamon Devahastin, Naphaporn Chiewchan. "Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques." **Journal of Food Engineering**, Vol. 77, 2006.pp. 635-643.

[16] Frederick E. Bolana (Chapter editor), **AOAC Official Method of Analysis (1995)**, Fruit and fruit products: Chapter 37, p.6.

[17] Siporn Methakhup,Naphaporn Chiewchan,Sakamon Devahastin,"Effects of drying methods and conditions on drying kinetics and quality of Indian gooseberry flake.", **Journal of Food Engineering**, LWT 38 (2005). 579-587.

[18] PEAMSUK SUVARNAKUTA, SAKAMON DEVAHASTIN, ARUN S. MUJUMDAR, "Drying Kinetics and β-Carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes." **Journal of Food Science**, Volume 70, (8). (October 2005). s520–s526.

[19] Alabama A&M and Auburn University. 2003. **Drying Fruits at Home.** [Online]. Available : http://www.ext.vt.edu/pubs/foods/348-597/348-597.html

[20] N.Boudhriora et al., "Influence of ripeness and air temperature on banana texture during drying" Journal of Food Engineering, 55. (2002). 115-121.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นประมาณ 5%

ระดับความสุก (°Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นกรดซิตริก (g/l)	ซ้ำที่	แรงสูงสุดในการกด (N)	L*	dL*/Lo	ΔE*	อัตราการคืนตัว	เวลา (hr)	% ความชื้น
13-14	60	0	1	6.1648	57.63	0.29	23.78	4.2836	7	5.0507
			2	5.9751	57.56	0.29	24.23	3.8610	7	5.7987
		5	1	6.4390	59.34	0.26	22.75	4.6973	5	5.0573
			2	6.0572	61.15	0.24	21.90	4.9845	4	5.5752
	80	0	1	5.8572	55.55	0.31	27.14	3.8585	3	4.2339
			2	5.8803	56.36	0.30	26.19	3.9242	2	5.7626
		5	1	5.6480	59.90	0.26	22.48	4.4734	2	5.2397
			2	6.0846	58.38	0.28	24.82	4.2227	2	5.1947
19-20	60	0	1	7.7020	55.13	0.26	20.33	2.9209	15	6.7481
			2	6.9979	59.72	0.20	15.61	2.3359	14	6.0748
		5	1	7.3544	61.29	0.18	13.94	3.3937	14	6.6758
			2	5.9740	66.81	0.11	8.37	3.5335	15	6.0476
	80	0	1	3.5422	54.61	0.27	22.57	2.5991	6	5.5334
			2	4.1106	54.64	0.27	22.07	3.0902	6	4.6572
		5	1	4.5175	57.30	0.23	19.23	3.2954	5	5.7810
			2	4.4630	56.56	0.24	20.19	3.5893	5	4.6254

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10

ระดับความสุก (°Bx)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเข้มข้นกรดซิตริก (g/l)	ซ้ำที่	แรงสูงสุดในการกด (N)	L*	dL*/Lo	ΔE*	อัตราการคืนตัว	% ความชื้น
13-14	60	0	1	5.8998	54.37	0.33	27.57	4.0756	5.0890
			2	5.9816	59.40	0.26	22.44	3.7207	4.3243
		5	1	6.1583	55.47	0.31	25.82	4.4821	4.2868
			2	6.0013	61.47	0.24	23.32	3.6977	4.4033
	80	0	1	5.5877	53.26	0.34	29.52	3.5130	1.6660
			2	5.6775	53.47	0.34	29.34	3.4547	1.7900
		5	1	6.2047	54.84	0.32	27.18	3.6493	1.2122
			2	5.7519	54.51	0.32	28.13	3.4435	1.5196
19-20	60	0	1	13.7781	60.29	0.19	15.27	2.8647	8.1567
			2	12.7287	56.90	0.24	18.45	2.9294	9.6953
		5	1	11.3953	62.50	0.16	13.00	3.6796	7.7842
			2	12.9844	61.43	0.18	14.24	3.2075	8.0652
	80	0	1	4.2301	54.53	0.27	22.38	3.1356	3.9523
			2	4.1321	52.56	0.30	24.62	2.7779	4.6700
		5	1	3.7370	53.12	0.29	24.00	3.5869	4.7267
			2	3.9433	56.00	0.25	20.23	3.3412	3.6465

ภาคผนวก ข

ตาราง ANOVA

ตารางที่ ข.1 ANOVA ของค่า Breaking force ของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: force_5pc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18.085(a)	7	2.584	13.334	.001
Intercept	537.867	1	537.867	2775.888	.000
Bx	.742	1	.742	3.827	.086
Temp	9.861	1	9.861	50.893	.000
Pre	.006	1	.006	.031	.866
Bx * Temp	6.540	1	6.540	33.750	.000
Bx * Pre	.010	1	.010	.050	.828
Temp * Pre	.342	1	.342	1.763	.221
Bx * Temp * Pre	.585	1	.585	3.021	.120
Error	1.550	8	.194		
Total	557.502	16			
Corrected Total	19.635	15			

a R Squared = .921 (Adjusted R Squared = .852)

ตารางที่ ข.2 ANOVA ของค่า Breaking force ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Force (N)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	177.406(a)	7	25.344	103.362	.000
Intercept	814.985	1	814.985	3323.864	.000
Bx	24.172	1	24.172	98.586	.000
Temp	79.491	1	79.491	324.201	.000
Pre	.211	1	.211	.862	.380
Bx * Temp	72.355	1	72.355	295.097	.000
Bx * Pre	.892	1	.892	3.639	.093
Temp * Pre	.216	1	.216	.880	.376
Bx * Temp * Pre	.067	1	.067	.271	.616
Error	1.962	8	.245		
Total	994.353	16			
Corrected Total	179.367	15			

a R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .979)

Force_total

Duncan

VAR_5_10	N	Subset			
	1	2	3	4	1
19%80NP5	2	3.8264			
19%80p10	2	3.8402			
1980np10	2	4.1811			
19%80P5	2	4.4902			
1480np10	2		5.6326		
14%80P5	2		5.8663		
14%80NP5	2		5.8688		
1460np10	2		5.9407		
14%80p10	2		5.9783		
14%60NP5	2		6.0700		
14%60p10	2		6.0798		
14%60P5	2		6.2481		
19%60p10	2			12.1899	
1960np10	2				13.2534
Sig.		.153	.199	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .165.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b Alpha = .05.

ตารางที่ ข.3 ANOVA ของอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: R_5pc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.797(a)	7	1.114	17.514	.000
Intercept	218.029	1	218.029	3428.238	.000
Bx	5.697	1	5.697	89.575	.000
Temp	.057	1	.057	.901	.370
Pre	1.767	1	1.767	27.776	.001
Bx * Temp	.189	1	.189	2.967	.123
Bx * Pre	.011	1	.011	.169	.691
Temp * Pre	.075	1	.075	1.187	.308
Bx * Temp * Pre	.001	1	.001	.022	.886
Error	.509	8	.064		
Total	226.335	16			
Corrected Total	8.306	15			

a R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .885)

ตารางที่ ข.4 ANOVA ของอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์เมื่ออบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: R _10hr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.332(a)	7	.333	4.433	.027
Intercept	192.928	1	192.928	2567.297	.000
Bx	1.273	1	1.273	16.945	.003
Temp	.193	1	.193	2.562	.148
Pre	.428	1	.428	5.692	.044
Bx * Temp	.269	1	.269	3.584	.095
Bx * Pre	.160	1	.160	2.126	.183
Temp * Pre	.007	1	.007	.094	.767
Bx * Temp * Pre	.002	1	.002	.027	.874
Error	.601	8	.075		
Total	195.861	16			
Corrected Total	2.933	15			

a R Squared = .795 (Adjusted R Squared = .616)

R_total

Duncan

	N	Subset							
VAR_5_10	1	2	3	4	5	6	7	8	1
19%80NP5	2	2.844650							
1960np10	2	2.897050	2.897050						
1980np10	2	2.956750	2.956750	2.956750					
19%80P5	2	3.442350	3.442350	3.442350	3.442350				
19%60p10	2	3.443550	3.443550	3.443550	3.443550				
19%80p10	2		3.464050	3.464050	3.464050	3.464050			
1480np10	2		3.483850	3.483850	3.483850	3.483850	3.483850		
14%80p10	2			3.546400	3.546400	3.546400	3.546400		
14%80NP5	2				3.891350	3.891350	3.891350	3.891350	
1460np10	2				3.898150	3.898150	3.898150	3.898150	
14%60NP5	2					4.072300	4.072300	4.072300	
14%60p10	2						4.089900	4.089900	
14%80P5	2							4.348050	4.348050
14%60P5	2								4.840900
Sig.		.053	.060	.059	.137	.052	.053	.129	.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .066.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b Alpha = .05.

ตารางที่ ข.5 ANOVA ของค่า L* ของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L_star_5pc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	119.343(a)	7	17.049	4.676	.023
Intercept	54280.845	1	54280.845	14888.163	.000
Bx	.002	1	.002	.001	.981
Temp	40.101	1	40.101	10.999	.011
Pre	54.501	1	54.501	14.949	.005
Bx * Temp	12.870	1	12.870	3.530	.097
Bx * Pre	2.395	1	2.395	.657	.441
Temp * Pre	3.582	1	3.582	.982	.351
Bx * Temp * Pre	5.893	1	5.893	1.616	.239
Error	29.167	8	3.646		
Total	54429.356	16			
Corrected Total	148.511	15			

a R Squared = .804 (Adjusted R Squared = .632)

ตารางที่ ข.6 ANOVA ของค่า L*ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L_star_10hr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	127.877(a)	7	18.268	3.388	.054
Intercept	51089.561	1	51089.561	9475.704	.000
Bx	6.943	1	6.943	1.288	.289
Temp	97.713	1	97.713	18.123	.003
Pre	13.250	1	13.250	2.457	.156
Bx * Temp	6.605	1	6.605	1.225	.301
Bx * Pre	.555	1	.555	.103	.757
Temp * Pre	1.729	1	1.729	.321	.587
Bx * Temp * Pre	1.082	1	1.082	.201	.666
Error	43.133	8	5.392		
Total	51260.571	16			
Corrected Total	171.010	15			

a R Squared = .748 (Adjusted R Squared = .527)

L_star_ total

Duncan

VAR_5_10	N	Subset			
	1	2	3	4	1
1480np10	2	53.36500			
1980np10	2	53.54500			
19%80p10	2	54.56000	54.56000		
19%80NP5	2	54.62500	54.62500		
14%80p10	2	54.67500	54.67500		
14%80NP5	2	55.95500	55.95500	55.95500	
1460np10	2	56.88500	56.88500	56.88500	
19%80P5	2	56.93000	56.93000	56.93000	
14%60NP5	2	57.59500	57.59500	57.59500	
14%60p10	2		58.47000	58.47000	58.47000
1960np10	2		58.59500	58.59500	58.59500
14%80P5	2			59.14000	59.14000
14%60P5	2			60.24500	60.24500
19%60p10	2				61.96500
Sig.		.060	.071	.056	.103

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3.324.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b Alpha = .05.

ตารางที่ ข.7 ANOVA ของค่า ΔE* ของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dE_5pc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	318.814(a)	7	45.545	11.796	.001
Intercept	7039.210	1	7039.210	1823.098	.000
Bx	162.435	1	162.435	42.069	.000
Temp	71.318	1	71.318	18.471	.003
Pre	49.844	1	49.844	12.909	.007
Bx * Temp	19.892	1	19.892	5.152	.053
Bx * Pre	5.593	1	5.593	1.449	.263
Temp * Pre	2.059	1	2.059	.533	.486
Bx * Temp * Pre	7.673	1	7.673	1.987	.196
Error	30.889	8	3.861		
Total	7388.913	16			
Corrected Total	349.703	15			

a R Squared = .912 (Adjusted R Squared = .834)

ตารางที่ ข.8 ANOVA ของค่า ΔE* ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dE_10hr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	392.045(a)	7	56.006	13.918	.001
Intercept	8349.848	1	8349.848	2075.067	.000
Bx	233.555	1	233.555	58.042	.000
Temp	128.199	1	128.199	31.859	.000
Pre	11.679	1	11.679	2.902	.127
Bx * Temp	14.535	1	14.535	3.612	.094
Bx * Pre	1.458	1	1.458	.362	.564
Temp * Pre	.066	1	.066	.016	.901
Bx * Temp * Pre	2.552	1	2.552	.634	.449
Error	32.191	8	4.024		
Total	8774.083	16			
Corrected Total	424.236	15			

a R Squared = .924 (Adjusted R Squared = .858)

dE, total

Duncan

VAR_5_10	N	Subset						
	1	2	3	4	5	6	7	1
19%60p10	2	13.6200						
1960np10	2	16.8600	16.8600					
19%80P5	2		19.7100	19.7100				
19%80p10	2			22.1150	22.1150			
19%80NP5	2			22.3200	22.3200			
14%60P5	2			22.3250	22.3250			
1980np10	2			23.5000	23.5000	23.5000		
14%80P5	2				23.6500	23.6500		
14%60NP5	2				24.0050	24.0050	24.0050	
14%60p10	2				24.5700	24.5700	24.5700	
1460np10	2				25.0050	25.0050	25.0050	
14%80NP5	2					26.6650	26.6650	26.6650
14%80p10	2						27.6550	27.6550
1480np10	2							29.4300
Sig.		.064	.099	.050	.134	.100	.058	.125

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

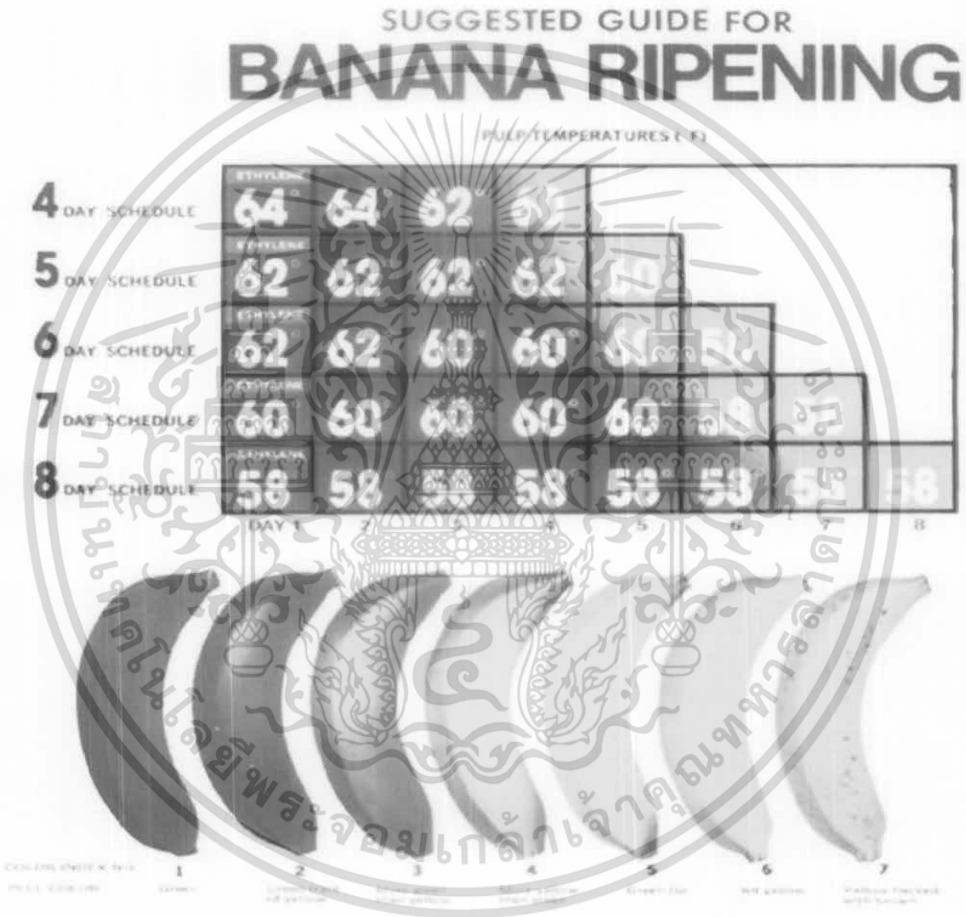
The error term is Mean Square(Error) = 2.602.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

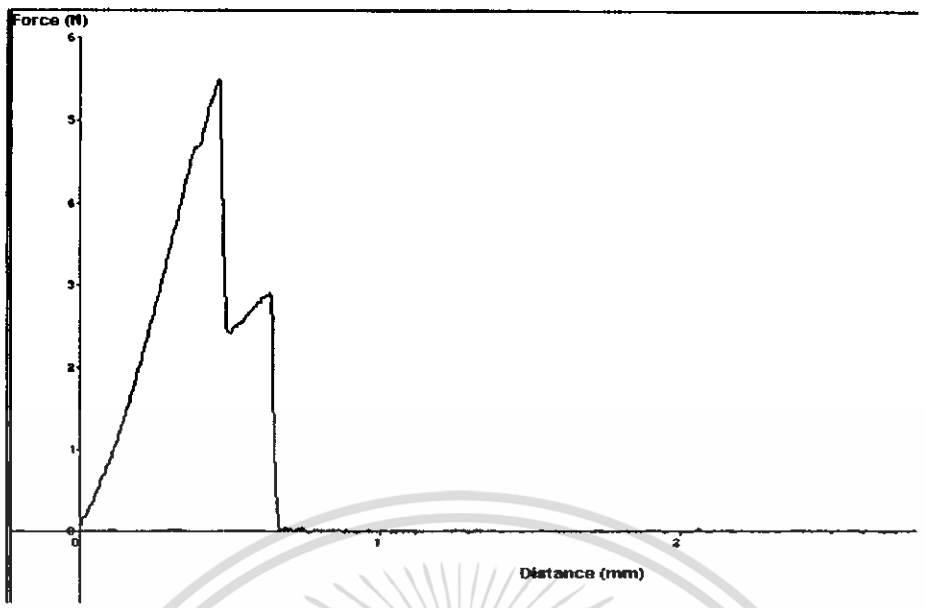
b Alpha = .05.

ภาคผนวก ค

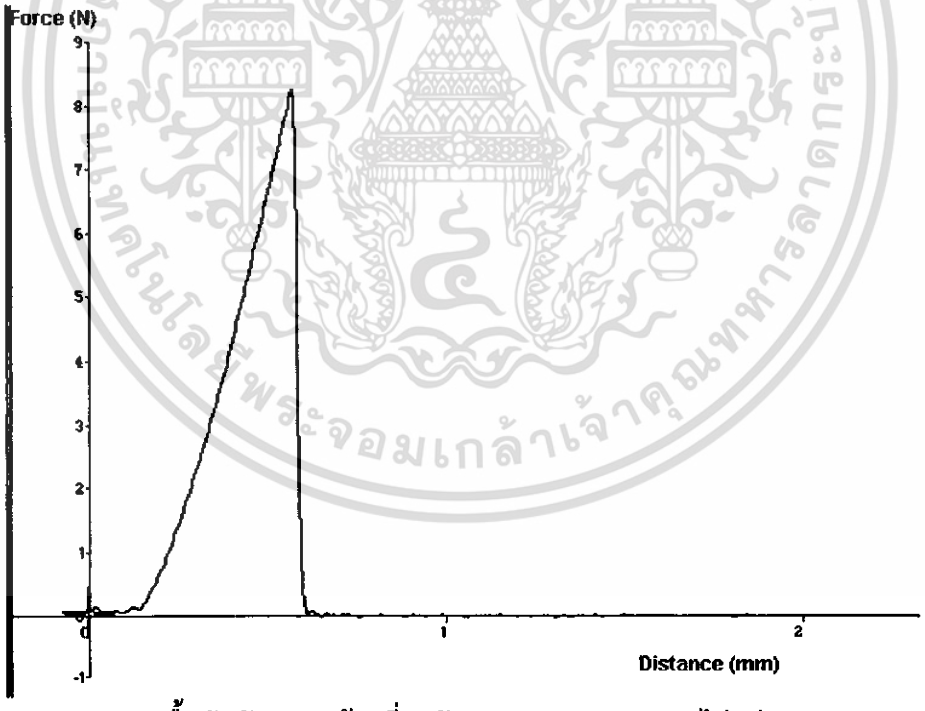
รูปการทดลอง



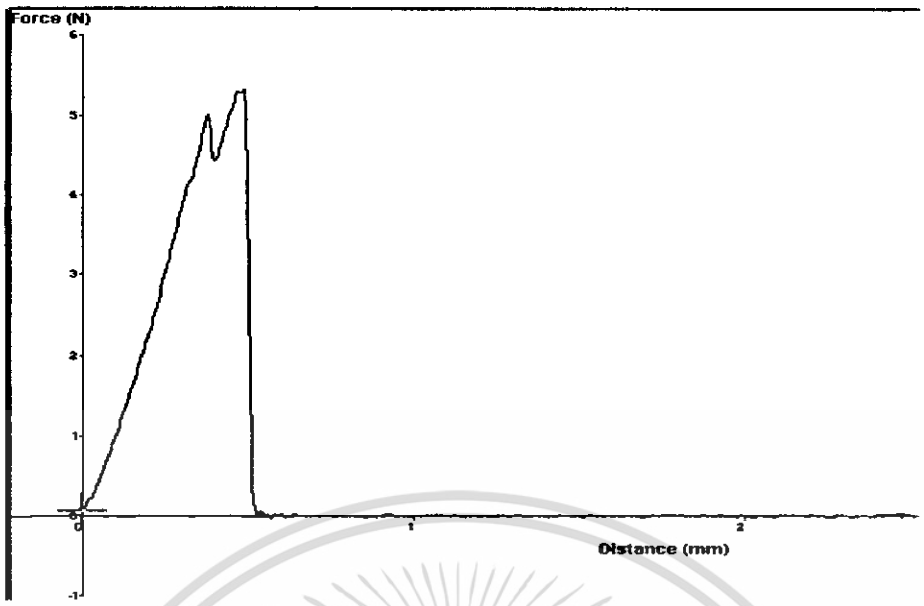
รูปที่ ค.1 สีของกล้วยในแต่ละระดับความสุก



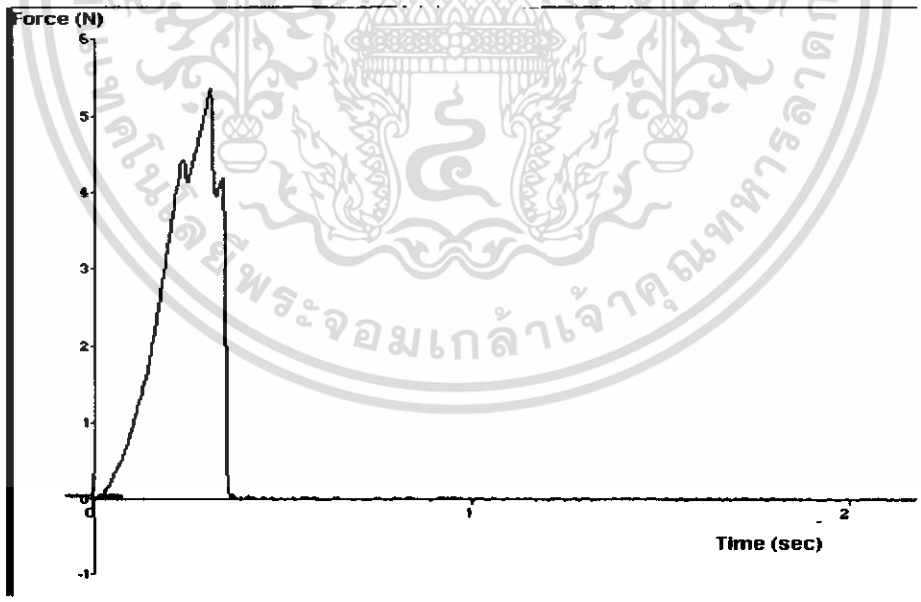
รูปที่ ค.2 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° C



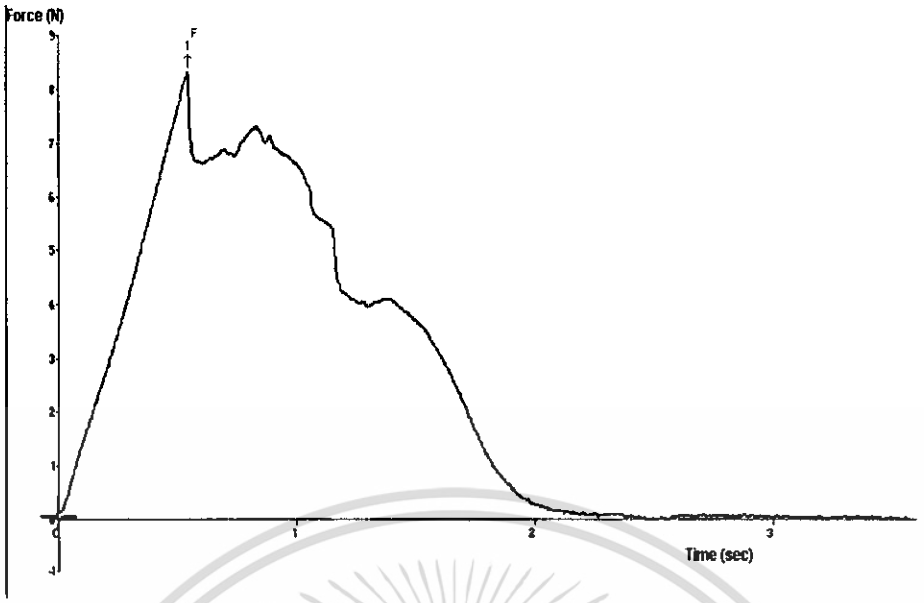
รูปที่ ค.3 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° C



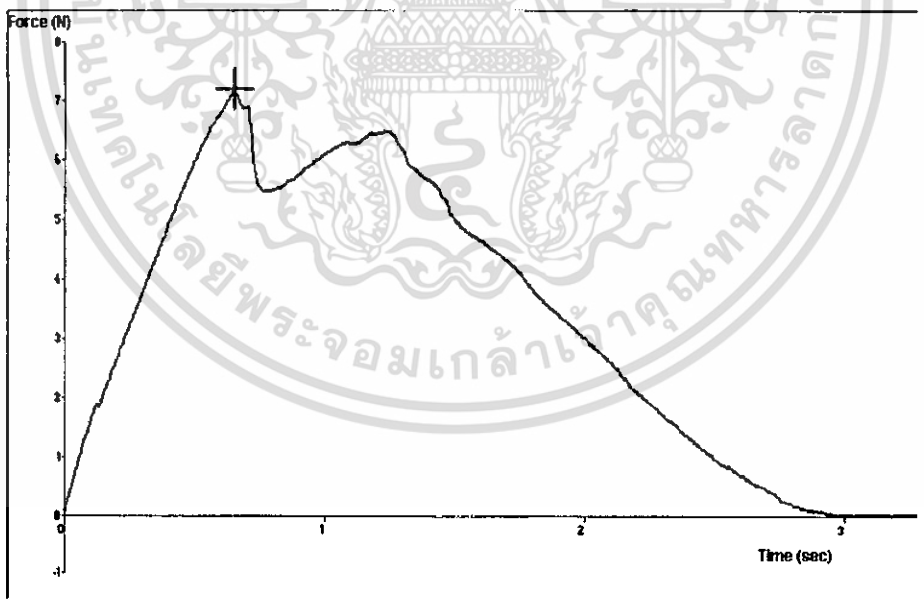
รูปที่ ค.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 ° C



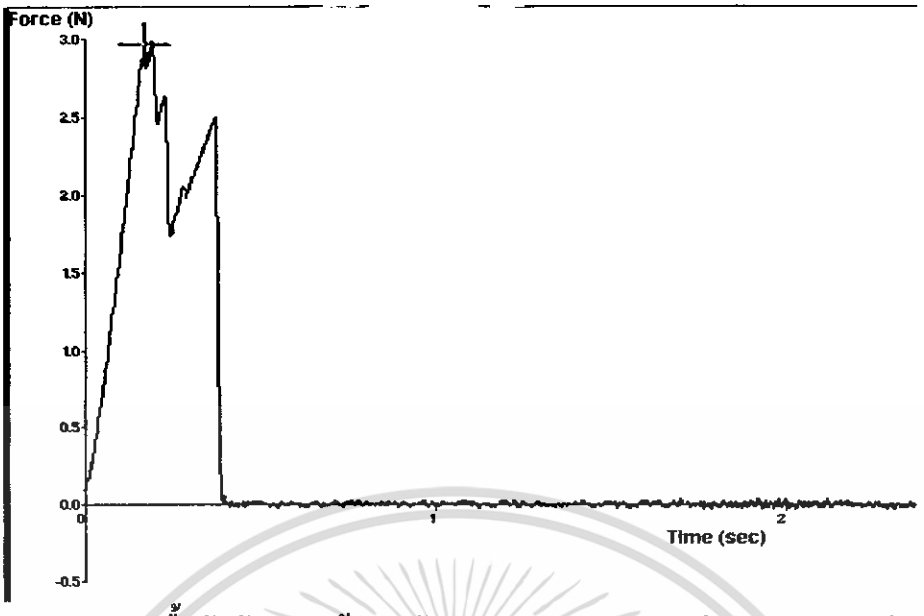
รูปที่ ค.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 ° C



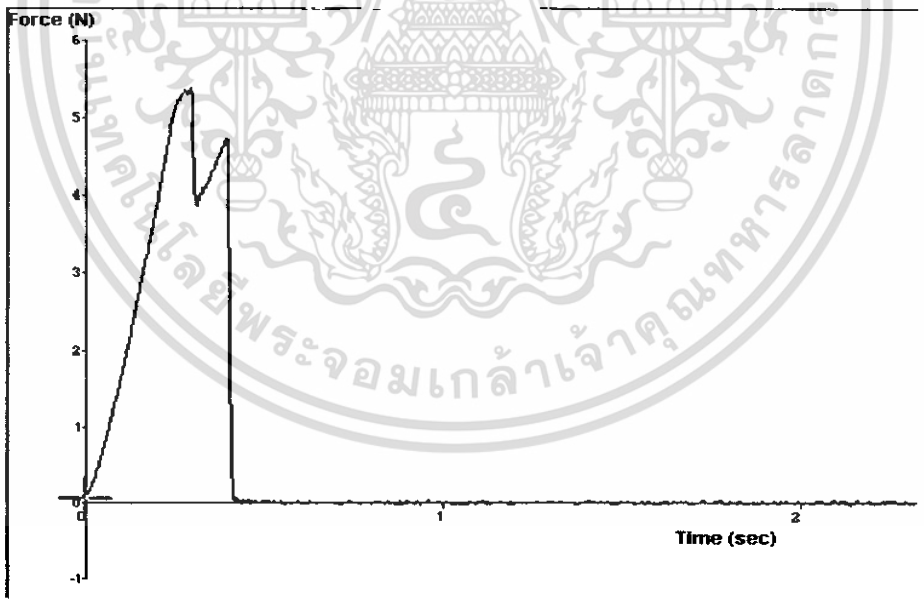
รูปที่ ค.6 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° C



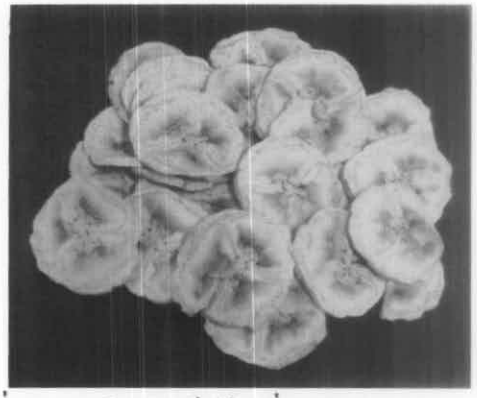
รูปที่ ค.7 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° C



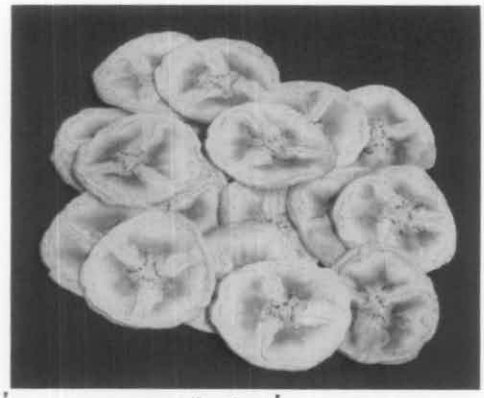
รูปที่ ค.8 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 ° C



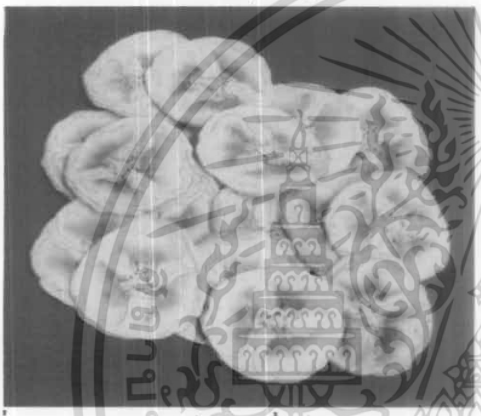
รูปที่ ค.9 การทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 ° C



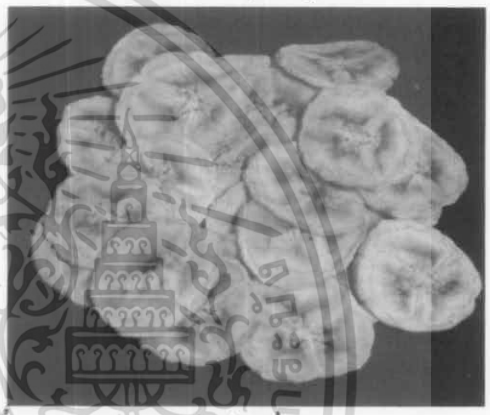
รูปที่ ค.10 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C



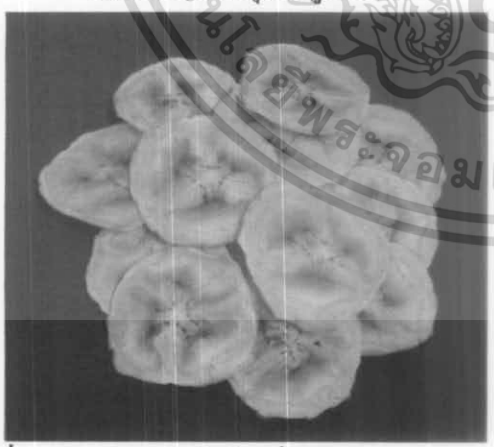
รูปที่ ค.11 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C



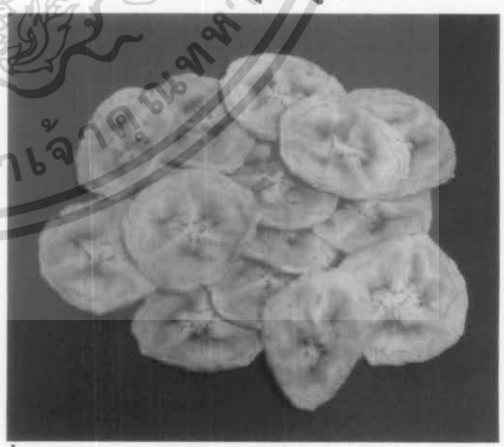
รูปที่ ค.12 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ ค.13 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 13-14 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ ค.14 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ ค.15 ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ระดับความสุก 19-20 °Bx ไม่แช่สารละลายกรดซิตริก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C