

รายงานการวิจัย

การปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสม

สำหรับกระบวนการผลิตมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง

(Modification of Solar Dryer Suitable for Dehydrated Green Mango Slice
Production)

ชื่อผู้วิจัย

- | | |
|------------------------|----------------|
| 1. ดร. ประมวล ศรีกาหลง | หัวหน้าโครงการ |
| 2. นายพงศ์ศิริ บาลใจ | ผู้ช่วยวิจัย |
| 3. นายพีระ มั่นยิ่ง | ผู้ช่วยวิจัย |

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รชช
TP
363
ป351ก
ค. 1
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
เลขทะเบียน.....115514.....
วันที่,เดือน,ปี...15 ส.ค. 2554

b. 12311832
i.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรม
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุน เงินรายได้
ประจำปี 2553 เพื่อเป็นการสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการบริการสถานที่ ที่ทำงานวิจัย
ทำงาน ได้สะดวกยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การปรับปรุงเตอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสม สำหรับ
กระบวนการผลิตมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง

(ภาษาอังกฤษ) Modification of Solar Dryer Suitable for Dehydrated Green
Mango Slice Production

ได้รับทุนอุดหนุนจาก งบประมาณเงินรายได้

ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 25,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2552 ถึง เดือน กันยายน 2553

ผู้ดำเนินการวิจัย ดร. ประมวล ศรีกาหลง หัวหน้าโครงการ นายพงศ์ศิริ บาลใจ

และ นายพีระ มั่นยิ่ง ผู้ช่วยวิจัย

หน่วยงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หน่วยงานที่สังกัดและเลข โทรศัพท์

สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

โทรศัพท์ 02-3298526

โทรสาร 02-3298526

บทคัดย่อ

การศึกษาและปรับปรุงเตอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสม สำหรับกระบวนการผลิต
มะม่วงดิบแผ่นอบแห้งนั้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือ การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์โดยนำแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้งพบว่าการใช้
แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95% และการออกแบบชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการนำแผง โซลาร์เซลล์มาใช้เพื่อ
นำกระแสไฟฟ้ามาใช้กับพัดลมระบายความชื้นในตัวเครื่องอบ ส่วนถัดมาคือ ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นได้
ทำการ pretreatment ก่อนการอบแห้งโดยการนำมะม่วงดิบมาทำการสไลด์เป็นแผ่นบางๆ แล้วนำไป

แช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 1,2,3,4 และ 5 เป็นระยะเวลา 5 นาที และนำไปอบแห้งด้วยเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นนำไปวัดสีของเนื้อมะม่วงดิบแผ่นและมะม่วงแผ่นบดผง พบว่าสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถช่วยลดการเปลี่ยนสีของมะม่วงแผ่นอบแห้งได้ดีที่สุด และสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถช่วยลดการเปลี่ยนสีของมะม่วงผงได้ดีที่สุด

ABSTRACT

The objective of this work was to modify the solar dryer suitable for dehydrating green mango slice production. The solar dryer temperature was investigated to determine the efficiency of solar dryer after adding reflective acrylic sheet on side of sunshine gathering part comparing with non acrylic sheet. The results showed that for adding reflective acrylic sheet dryer temperature means are not significantly different at $p < 0.05$ with non reflective acrylic sheet dryer.

The mangoes were cut into 1 mm. thick slices and soaked in potassium metabisulfite, ascorbic acid and sodium chloride solution from 1 2 3 4 and 5 g/l for 5 minutes before drying with non refractive acrylic sheet dryer. Dried mango slice and mango powder color measurement was done by colorimeter. This study clearly demonstrated that sodium chloride solution (1g/l) and sodium metabisulfite solution (5g/l) were better for decreasing dried mango slice and mango powder color change respectively.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ(ไทย)	ข
บทคัดย่อ(อังกฤษ)	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการทำปัญหาพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	
2.1 การอบแห้ง	3
2.2 ประเภทของการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.3 ชนิดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	8
2.4 มะม่วง	11
2.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลไม้	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
2.6 การขยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล	16
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2 วิธีการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การออกแบบและติดตั้งหุ้กรับพลังงานแสงอาทิตย์	28
4.2 ปรับปรุงเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง	29
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	30
4.4 ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารละลายชนิดต่างๆที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบแผ่นและมะม่วงผง	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก	40
ภาคผนวก ข	43
ภาคผนวก ค	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในตัวอย่างผลไม้ต่างๆ	19
ตารางที่ ก.1 ผลของอุณหภูมิในเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	40
สะท้อนแสง	
ตารางที่ ก.2 ผลของอุณหภูมิในเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้แผ่นอะคริลิก	41
สะท้อนแสง	
ตารางที่ ก.3 ค่าความเข้มของแสง (Lux) ในระยะเวลา 6 วันที่ทำการทดลอง	42
ตารางที่ ข.1 ค่าความสว่างของมะม่วงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โดยการแช่ในสารละลาย	43
โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์	
ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5	
ตารางที่ ข.2 ค่าความสว่างของมะม่วงผง ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โดยการแช่ในสารละลาย	44
โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์	
ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5	
ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	45
แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง และไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง	
ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของมะม่วงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วโดย การแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5	48
ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของมะม่วงผงที่ผ่านการอบแห้งแล้วโดยการ แช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 55	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง	3
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของการทำแห้งโดยวิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ	4
ภาพที่ 2.3 ลักษณะเตาอบแห้งแบบพาสซีฟ	5
ภาพที่ 2.4 ลักษณะเตาอบแห้งแบบแอคทีฟ	6
ภาพที่ 2.5 ลักษณะของเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Direct	7
ภาพที่ 2.6 ลักษณะของเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Indirect	7
ภาพที่ 2.7 เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Cabinet dryer)	8
ภาพที่ 2.8 เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Cabinet Dryers Fitted with Chimney)	9
ภาพที่ 2.9 เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Cabinet Dryers Fitted with Chimney and Heat Storage)	9
ภาพที่ 2.10 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Green house dryer)	10
ภาพที่ 2.11 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Tunnel Dryer)	11
ภาพที่ 2.12 โครงสร้าง Egg-box model เมื่อปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (A) และสูง (B)	18
ภาพที่ 3.1 มะม่วงดิบที่ใช้ในการทดลอง	23
ภาพที่ 3.2 แผงโซลาร์เซลล์	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.3	24
เบตเตอร์และอินเวเตอร์	
ภาพที่ 3.4	24
เครื่องวัดอุณหภูมิ	
ภาพที่ 3.5	24
เครื่องวัดสีแบบพื้นผิว	
ภาพที่ 3.6	25
อุปกรณ์สไลด์มะม่วง	
ภาพที่ 3.7	25
สารโปรตีนเชื่อมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และโซเดียมคลอไรด์	
ภาพที่ 4.1	28
แบบร่างชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์	
ภาพที่ 4.2	28
ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์	
ภาพที่ 4.3	29
เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง	
ภาพที่ 4.4	29
เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง	
ภาพที่ 4.5	30
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องอบกับช่วงเวลาที่ใช้อบแห้ง	
ภาพที่ 4.6	31
กราฟแสดงความเข้มของแสงในระยะเวลาต่างๆ	
ภาพที่ 4.7	31
แผ่นมะม่วงที่ผ่านการสไลด์แล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
ภาพที่ 4.8	32
สีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นที่ผ่านการ pretreatment และนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
ภาพที่ 4.9	32
กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เก็บค่าความสว่างของมะม่วงแผ่นศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.10 สีของมะม่วงดิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย NaCl หลังทำการบดแล้ว	33
ภาพที่ 4.11 สีของมะม่วงดิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย KMS หลังทำการบดแล้ว	33
ภาพที่ 4.12 สีของมะม่วงดิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย ASC หลังทำการบดแล้ว	34
ภาพที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย กับค่าความสว่างของมะม่วงบดผง	34



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนออกจำหน่ายเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา กระบวนการแปรรูปที่สำคัญคือ การตากแห้งหรือการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะการตากแห้งหรือการอบแห้งช่วยลดความชื้นในผลผลิต ทำให้ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ และนอกจากนี้ การตากแห้งหรือการอบแห้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติทางอาหารตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

วิธีการทำแห้งที่เป็นที่นิยมโดยทั่วไปได้แก่ การตากแห้งตามธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะสามารถทำได้ง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มักพบปัญหาในระหว่างการตาก เนื่องจากการถูกรบกวนของ นก หนู และแมลง การปนเปื้อนของฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ และผลผลิตอาจเสียหายจากการเปียกฝน โดยการอบแห้งที่มีความชื้นมากเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยอาจเกิดเชื้อราขึ้นระหว่างการอบแห้ง

ในปัญหาที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้การอบแห้งด้วยเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากการใช้เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยลดปัญหาการเสียหายของผลผลิตจากการรบกวนของ นก หนู และแมลง ทำให้ผลผลิตสะอาดถูกสุขอนามัย ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น คุณค่าทางโภชนาการ และใช้เวลาในการทำแห้งได้เร็วมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนซึ่งจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ตลอดทั้งปีการใช้เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาแก้ปัญหาจึงค่อนข้างมีประสิทธิภาพ และการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะสมในที่มีผลผลิตที่สูงแต่มีเทคโนโลยีค่อนข้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งแบบที่ใช้วัสดุรับแสงเพียงอย่างเดียวเพื่อแปลงเป็นพลังงานความร้อน และแบบที่ใช้วัสดุรับแสงร่วมกับกระจกสะท้อนแสงที่สร้างขึ้น

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุฉนวน ซึ่งจะใช้มะม่วงสายพันธุ์ที่นิยมรับประทานดิบ

1.2.3 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบแผ่น ในระหว่างกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการทำปัญหาพิเศษ

1.3.1 พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างแบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงและแบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

1.3.3 ทดสอบการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้สำหรับป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายความชื้น

1.4.2 ได้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ 2 รูปแบบ คือ แบบแรก เป็นแบบรับแสงเพียงอย่างเดียว และแบบที่สอง เป็นแบบ รับแสงร่วมกับแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

1.4.3 ได้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้ง 2 แบบ

1.4.4 ได้ทราบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน ซึ่งจะใช้มะม่วงสายพันธุ์ที่รับประทานดิบ

1.4.5 ได้ทราบชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบแผ่น ในระหว่างกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม

1.4.6 ได้ทราบว่า กระบวนการร่วมใดที่มีศักยภาพที่จะใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ในกระบวนการอบแห้ง ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

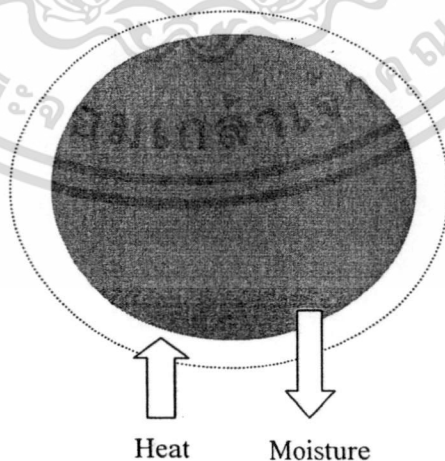
2.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง เป็นการแยกน้ำออกจากวัตถุดิบ โดยการทำให้ น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ โดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมักเป็นการอบแห้งแบบการพาความร้อน โดยจะเป่าอากาศร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัตถุดิบ ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุทำให้ วัตถุ มีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุดิบเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของ น้ำ จากวัตถุดิบ ไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดัน ไอน้ำที่ผิววัตถุเท่ากับ ความดัน ไอน้ำในอากาศ

$$PV_{,sur} = pV$$

$$PV_{,sur} = \text{ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ}$$

$$pV = \text{ความดันไอน้ำในอากาศ}$$



ภาพที่ 2.1 การถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง

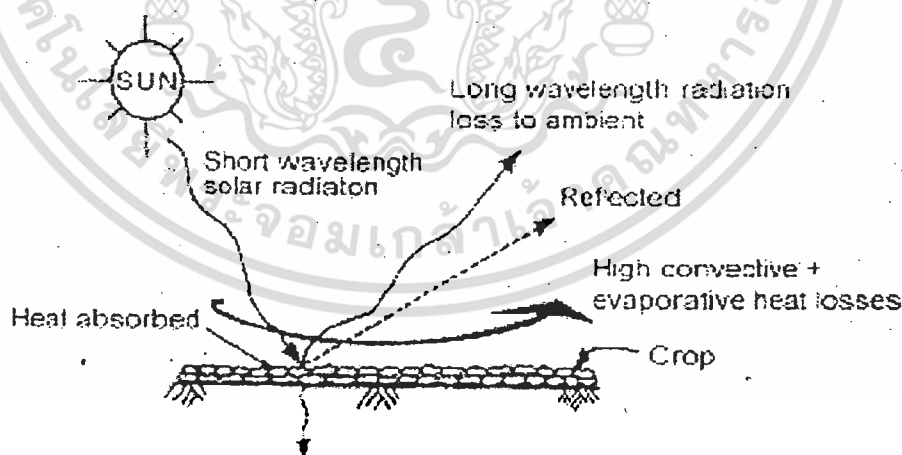
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประเภทของการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้ด้วยกัน 2 แบบ คือการตากแห้งตามธรรมชาติ และการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.2.1 การตากแห้งตามธรรมชาติ

การทำแห้งโดยการตากแห้งตามธรรมชาติเป็นวิธีการที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทางการเกษตรขนาดเล็ก เนื่องจากความสะดวกและค่าใช้จ่ายต่ำ โดยวิธีการที่สะดวกที่สุดคือการกระจายวัสดุที่ต้องการอบแห้ง เช่น พืช ผลไม้ ใบยา ฯลฯ ลงบนพื้นผิวที่แสงอาทิตย์ส่อง และทำการพลิกกลับวัสดุเป็นครั้งคราว จนกระทั่งวัสดุแห้งตามที่ต้องการ โดยทั่วไปการอบแห้งจะเหมาะสมสำหรับเขตพื้นที่อากาศร้อนและแห้ง ซึ่งในทางกลับกันจะไม่เหมาะสมกับเขตชื้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์จะมีข้อดีที่สำคัญคือ ต้องการการลงทุนหรือความชำนาญในการใช้งานและดูแลรักษาที่ต่ำ แต่ข้อจำกัดบางประการ เช่น การควบคุมคุณภาพในการอบแห้งวัสดุบางชนิดภายใต้บรรยากาศ การปนเปื้อนหรือแมลงรบกวน สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยในฤดูฝน รวมไปถึงความต้องการบริเวณที่กว้างในการอบแห้ง ยังคงเป็นอุปสรรคในการใช้งานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งสำหรับบางพื้นที่หรือบางฤดูกาลทำการใช้งาน ความร้อนจากแสงอาทิตย์ยังไม่สามารถทำได้เต็มที่ประสิทธิภาพเท่าที่ควร



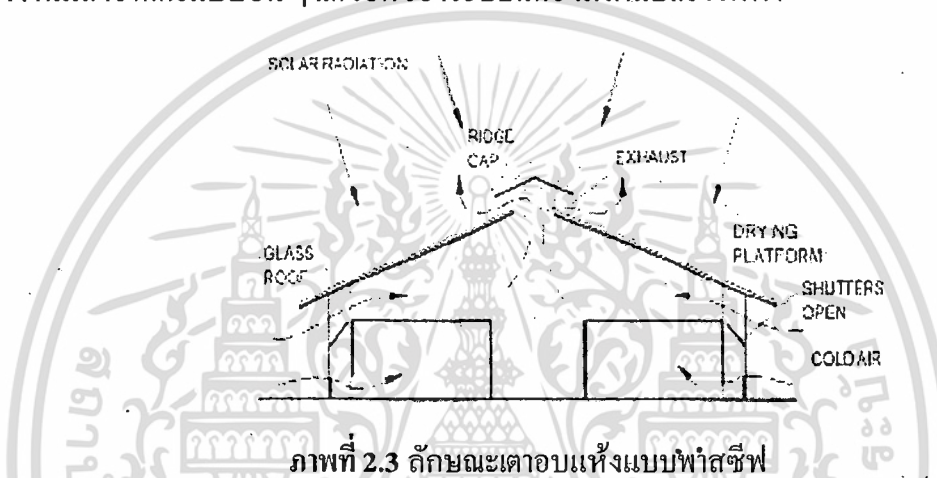
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของการทำแห้งโดยวิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

2.2.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

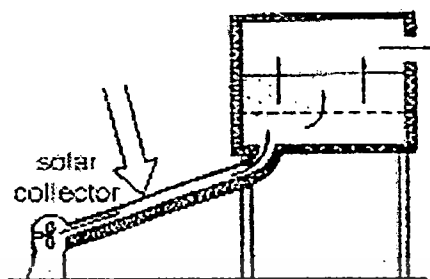
2.2.2.1 ระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ (Passive solar energy drying systems) เป็นระบบที่เครื่องอบแห้งทำงาน โดยใช้แสงอาทิตย์และกระแสลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะมีการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความชื้น ได้น้อยกว่าระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอื่น ๆ แต่ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่สิ้นเปลืองไฟฟ้า



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเตาอบแห้งแบบพาสซีฟ

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews,13 (2009)

2.2.2.2 ระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแอคทีฟ (Active solar-energy drying systems) เป็นระบบการอบแห้งโดยจะใช้ลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับ โดยจะมีพัดลมดูดหรือเป่าอากาศเข้าสู่เครื่องอบ อากาศที่ผ่านเครื่องอบจะได้รับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบไปด้วยกระจกหรือพลาสติกใส วางอยู่ด้านบน และแผงรับความร้อนวางอยู่ด้านล่าง และมีอากาศไหลผ่านแผ่นทั้ง 2 นี้ อากาศจะได้รับความร้อนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ ซึ่งการอบแห้ง โดยระบบนี้จะมีการถ่ายเทความร้อน และความชื้นได้สูง แต่จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับพลังงานไฟฟ้าในการติดตั้ง



ภาพที่ 2.4 ลักษณะเตาอบแห้งแบบแอคทีฟ

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

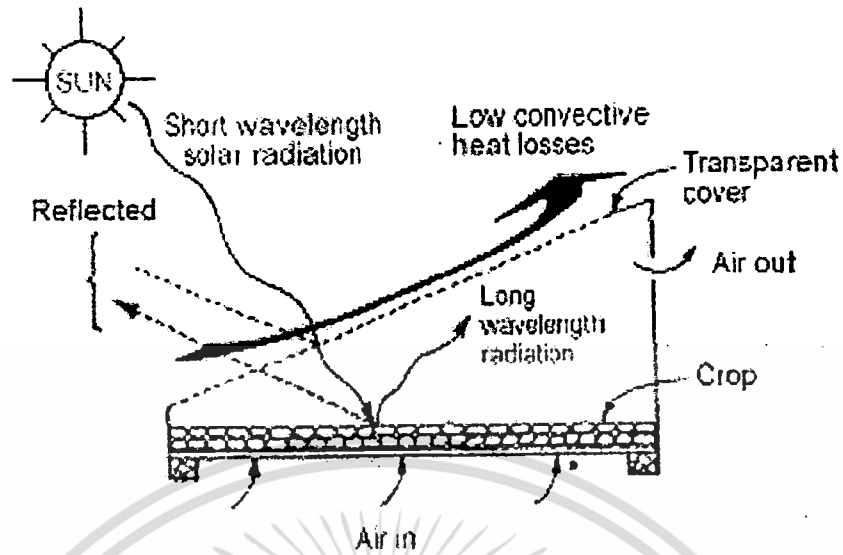
2.2.2.3 ระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid solar-energy drying systems) เป็นระบบการอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังใช้พลังงานรูปแบบอื่น ๆ เพื่อช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือใช้เพื่อต้องการให้ผลผลิตแห้งเร็วขึ้น

สำหรับระบบการอบแห้งแต่ละชนิดยังสามารถแยกย่อยได้ 3 แบบ ดังนี้

1. แบบรับความร้อนโดยตรง (Direct type) โดยจะมีการรับแสงอาทิตย์ โดยผ่านวัสดุคลุม โปร่งใสความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ได้จะตกกระทบโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในเครื่องอบ

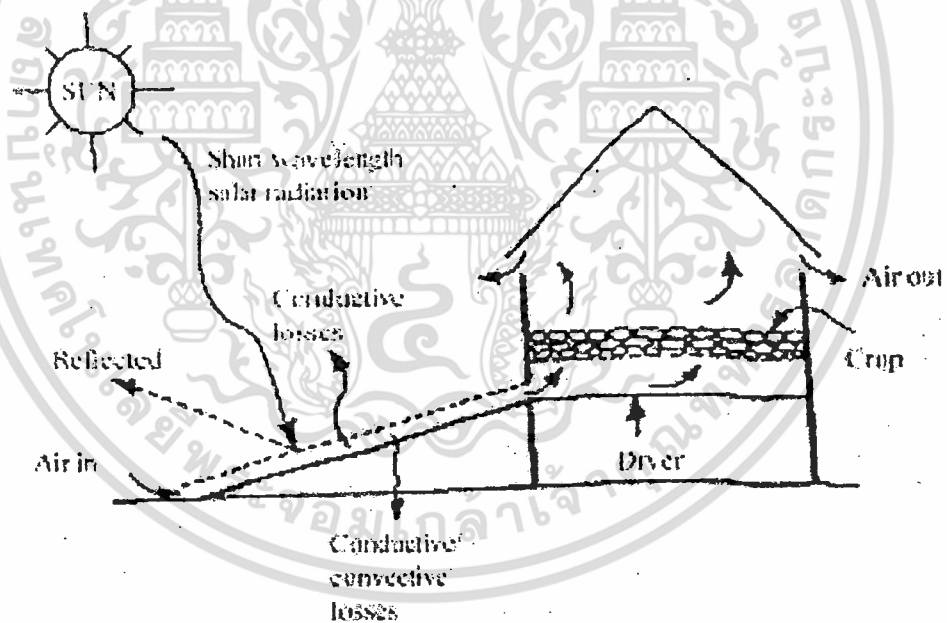
2. แบบรับความร้อนโดยอ้อม (Indirect type) โดยความร้อนจะไม่ตกกระทบบนผลิตภัณฑ์ แต่จะตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์ โดยจะมีพัดลมเป่าหรือดูดอากาศร้อนผ่านผลิตภัณฑ์

3. แบบผสม (Mixed type) จะเป็นการผสมกันของแบบรับความร้อน โดยตรงกับแบบรับความร้อนโดยอ้อม



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Direct

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะของเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Indirect

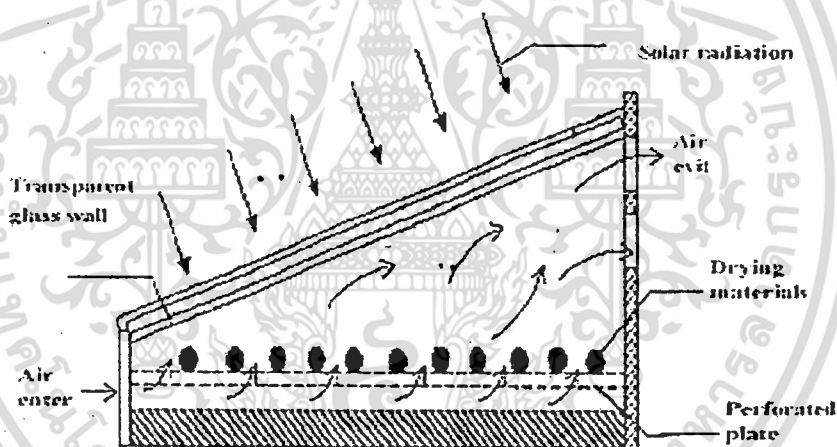
ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชนิดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.3.1 Cabinet dryer

มีลักษณะเป็นตู้อบแห้งทรงกล่องสี่เหลี่ยมที่มีวัสดุที่ต้องการตากแห้งเรียงอยู่ภายใน ประกอบด้วยวัสดุฐานของกล่องที่ทำด้วยสแตนเลสเพื่อเป็นตัวดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และมีวัสดุโปร่งใสคลุมเพื่อปล่อยให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านไปให้ความร้อนแก่อากาศภายในเตาอบได้ ซึ่งในขณะเดียวกันก็ป้องกันความร้อนที่สูญเสียออกจากตู้อบ โดยมีการเจาะรูที่ฐานและที่ด้านบนของเตาอบเพื่อก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเพื่อนำพาความชื้นออกจากวัสดุที่ต้องการตากแห้ง เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในเขตที่อากาศร้อนและค่อนข้างแห้ง โดยที่สามารถก่อสร้างและใช้งานได้ง่าย

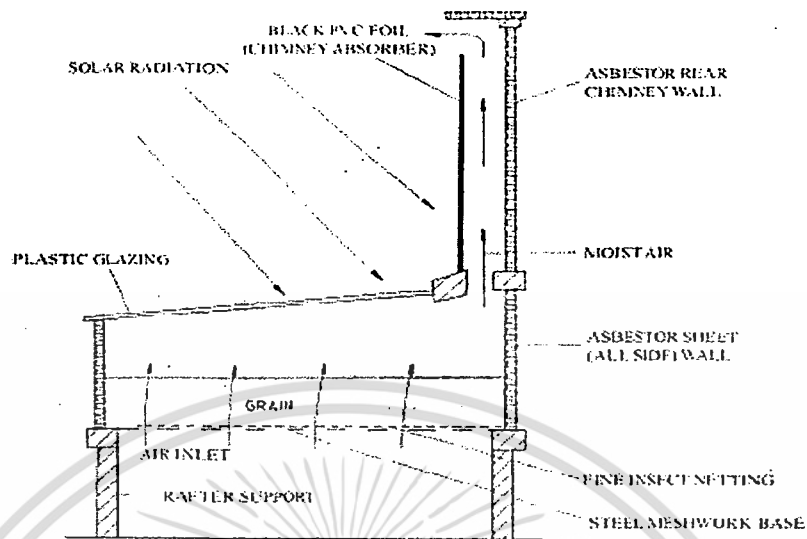


ภาพที่ 2.7 เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Cabinet dryer)

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

2.3.2 Cabinet Dryers Fitted with Chimney

เป็นตู้อบแห้งที่มีการหมุนเวียนคล้ายแบบ Cabinet Type Dryer ที่มีการใช้ปล่องเพื่อระบายอากาศที่นำพาความชื้นออกจากวัสดุที่ต้องการอบแห้ง โดยอาศัยปรากฏการณ์ Chimney Effect หรือการเคลื่อนตัวของอากาศเนื่องจากความดันที่แตกต่าง

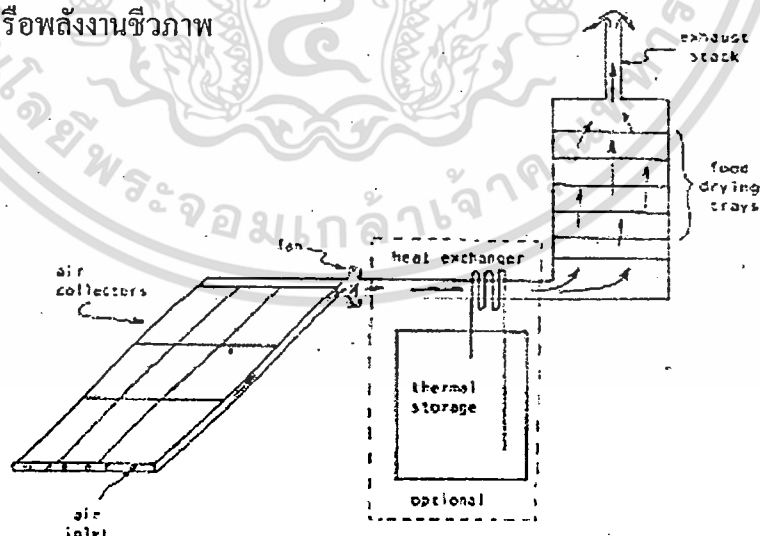


ภาพที่ 2.8 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Cabinet Dryers Fitted with Chimney)

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

2.3.3 Cabinet Dryers Fitted with Chimney and Heat Storage

เป็นระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะคล้ายแบบ Cabinet Dryers Fitted with Chimney แต่อาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ช่วยในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือต้องการให้ผลิตภัณฑ์ทางเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานชีวภาพ



ภาพที่ 2.9 เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ

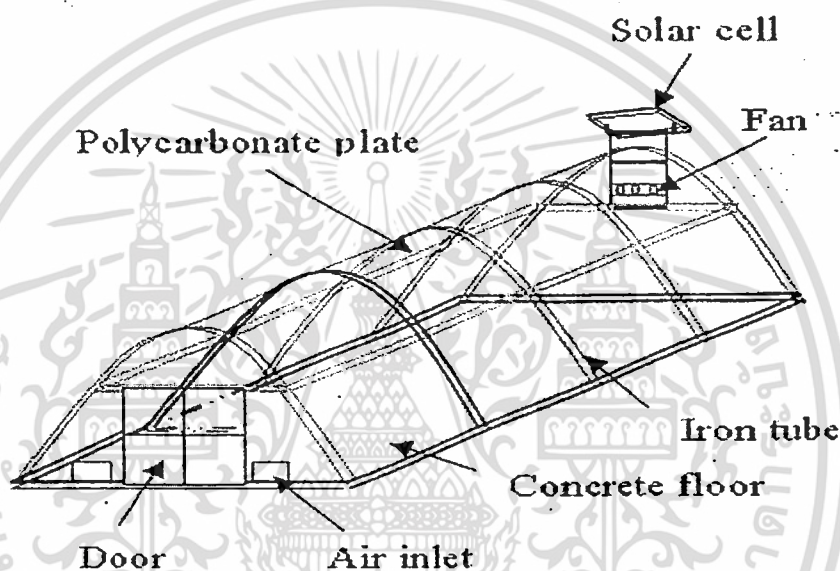
Cabinet Dryers Fitted with Chimney and Heat Storage

ที่มา : Atul Sharma et al./ Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Green house dryer

เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงพาราโบลา โดยวัสดุที่ใช้ทำคลุมเครื่องอบแห้งจะใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตซึ่งเป็นฉนวนโปร่งแสง เพื่อให้เกิดผลของเรือนกระจก คือเมื่อดวงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต จะถูกดูดกลืนแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา โดยรังสีอินฟราเรดจะผ่านออกมาได้น้อย ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในเครื่องอบแห้ง โดยจะมีพัดลมเพื่อเป่านำความร้อนออกจากเครื่อง

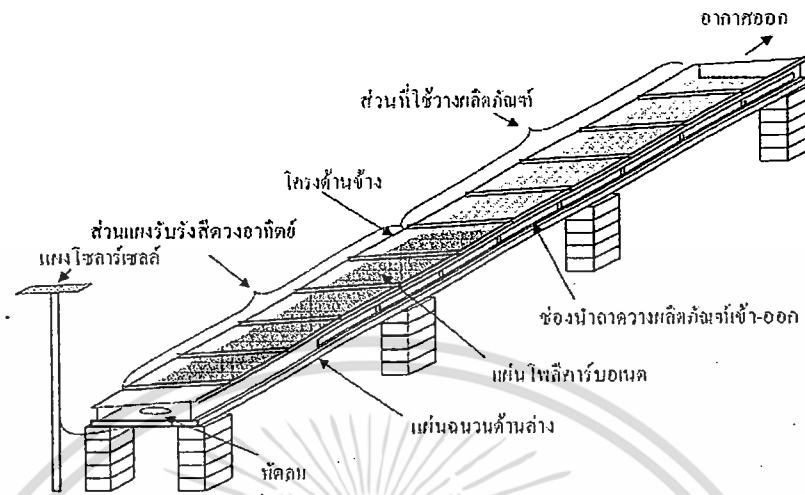


ภาพที่ 2.10 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Green house dryer

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน 2547

2.3.5 Tunnel Dryer

เป็นเครื่องอบแห้งที่ลักษณะเป็นอุโมงค์ คุณสมบัติของเครื่องคือเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะมีความจุและเป็นรูปแบบที่สามารถสร้างได้ง่าย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่อบจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง และความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเหมาะสมกับการอบแห้งในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงสามารถใช้ได้ดีกับภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง



ภาพที่ 2.11 ลักษณะเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ (Tunnel Dryer)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน 2547

2.4 มะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลที่นิยมปลูกกันมาก เพราะนอกจากจะใช้บริโภคกันภายในประเทศ ทั้งในรูปผลสดและแปรรูป ยังสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด ราคาผลผลิตที่เกษตรกรขายได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จึงต้องหาทางส่งออกให้มากขึ้น เพื่อเป็นทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 1.8 ล้านไร่ ผลผลิตส่งออกมะม่วงสด 8,249 ตัน มูลค่า 120 ล้านบาท และมะม่วงแปรรูป 6,937 ตัน มูลค่า 175.4 ล้านบาท

2.4.1 ลักษณะทั่วไป

ชื่อไทย มะม่วง

ชื่อสามัญ Mango

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Mangifera indica* Linn.

ชื่อวงศ์ ANACARDIACEAE

มะม่วงเป็นไม้ผลขนาดใหญ่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ปลูกได้ในดินทั่วไป ยกเว้นดินเค็มและดินที่มีน้ำขัง ถ้าปลูกในดินร่วนซุยมีอินทรีย์วัตถุมาก และมีการระบายน้ำดีก็จะยิ่งให้ผลผลิตดี นอกจากนี้มะม่วงยังมีความต้านทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี จะเริ่มให้ผลหลังจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกด้วยกิ่งทาบประมาณ 3 ปี สามารถให้ผลผลิตมากกว่า 15 ปี และผลผลิตจะสูงขึ้นเฉลี่ยปีที่ 8 ประมาณ 50-100 กิโลกรัม/ต้น โดยเฉลี่ยอายุจากคอกบาน เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90-115 วัน น้ำหนักผลมะม่วงเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 260 กรัม ฤดูกาล ผลผลิตอยู่ระหว่างปลายเดือน มีนาคม – มิถุนายน

2.4.2 คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการ / 100 กรัม

น้ำ.....	79.6 กรัม
พลังงาน.....	80 กิโลแคลอรี
โปรตีน.....	0.9 กรัม
ไขมัน.....	0.2 กรัม
คาร์โบไฮเดรต.....	18.8 กรัม
ใยอาหาร.....	1.2 กรัม
เถ้า.....	0.6 กรัม
แคลเซียม.....	6 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส.....	16 มิลลิกรัม
เหล็ก.....	0.3 มิลลิกรัม
โซเดียม.....	3 มิลลิกรัม
โปแตสเซียม.....	144 มิลลิกรัม
ทองแดง.....	0.1 มิลลิกรัม
สังกะสี.....	0.1 มิลลิกรัม
เบต้า-แคโรทีน.....	897 มิลลิกรัม
วิตามินเอรวม.....	149 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1 (Thiamine).....	0.11 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (Riboflavin).....	0.06 มิลลิกรัม
ไนอะซิน.....	1.8 มิลลิกรัม
วิตามินซี.....	5 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลไม้

การที่อาหารมีสีน้ำตาลหรือสีคล้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต หรือขณะการ เก็บรักษานั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบได้บ่อยๆ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลอย่าง มากต่อลักษณะปรากฏ โดยเฉพาะด้านสีของอาหาร

ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ไป การเกิดสีน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์อาหาร จะเป็น สิ่งที่ไม่พึง ประสงค์ เพราะว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะดูไม่สวยแล้ว ยังเป็นเครื่อง บ่งชี้ว่าอาหารนั้น เสื่อมคุณภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารพวกน้ำผลไม้, แป้ง, นมผง, ไข่ผง, แยม และเยลลี่ รวมทั้งสี น้ำตาลของผักผลไม้ที่เกิดขึ้นภายหลังการปอกเปลือกทิ้งเอาไว้ แต่ การเกิดสีน้ำตาลก็ไม่ได้เกี่ยวข้องกับอาหารเสียทุกอย่าง เพราะอุตสาหกรรมอาหารบางอย่าง ก็ต้องการให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นกับ ผลิตภัณฑ์ของตน เช่น การผลิตขนมปัง, ชา, กาแฟ, โกลี และอาหารอบอย่างต่างๆสีน้ำตาลที่เกิด ในอาหาร อาจจะเป็นผลมาจากปฏิกิริยาอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

2.5.1 ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มาจากการทำงานของเอนไซม์ (enzymatic browning)

ปฏิกิริยา ชนิด นี้พบได้ในผักผลไม้หลายชนิด เช่น ก๋วยเตี๋ยว เห็ด มันฝรั่ง แอปเปิ้ล เมื่อเราปอกเปลือก ผัก ผลไม้ทิ้งไว้จะเกิดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิว นอก อันเป็นผลมาจากเอนไซม์ ภายในเซลล์ของ ผลไม้ มีโอกาสสัมผัสและย่อยสารประกอบพวกฟีนอลิก (phenolic compound) เกิดเป็น สารประกอบพวกเมลานิน (melanin) ซึ่งมีสีน้ำตาล เอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล มี อยู่หลายตัว เช่น ฟีนอลเอส (phenolase), โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ฯลฯ

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่พืชถูกทำลายจาก การปอกเปลือกหรือตัดแต่ง ทั้งนี้เนื่องจากการทำลายเนื้อเยื่อของพืชจะทำให้เอนไซม์และ สับสเตรทรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญของผักและผลไม้ส่วนใหญ่ซึ่งเป็น ตัวกำหนดอายุการเก็บของผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการขึ้นตำ

ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยปฏิกิริยา ออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสับสเตรทกับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาล ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาสีน้ำตาลของสารประกอบ phenolic และเอนไซม์ polyphenol oxidase มีการศึกษาในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล องุ่น พืช สารประกอบ phenolic ที่สำคัญใน หน่อไม้ คือ p-hydroxyphenyl propionic acid, ferulic acid, caffeic acid และ chlorogenic acid

2.5.1.1 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาล

2.5.1.1.1 Polyphenol oxidase (PPO)

เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO: EC 1. 14. 18. 1) จัดเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ที่มี copper เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเอนไซม์ polyphenol oxidase มักมีชื่อตามสับสเตรท เช่น Tyrosinase, Diphenoloxidase, Catecholase, Phenolase (Martinez and Whitaker, 1995) โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์มี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา hydroxylation ซึ่งเปลี่ยนสารประกอบ monophenols ไปเป็น o-diphenols (Monophenolase และ Cresolase activity) และปฏิกิริยา oxidation ซึ่งเปลี่ยนสารประกอบ o-diphenols ไปเป็น o-quinones (Diphenolase และ Catecholase activity) ซึ่ง o-quinones เป็นสารประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ต่อไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเข้มขึ้น ซึ่งเรียกลักษณะนี้ว่า melanins ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ส่วนใหญ่ และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลในลิ้นจี่มีการใช้สารประกอบ anthocyanin เป็นสับสเตรทที่สำคัญโดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidase เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเป็นสีที่เข้มขึ้นด้วยซึ่งเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของลิ้นจี่ นอกจากนี้เอนไซม์ polyphenol oxidase ยังเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของผักและผลไม้ชนิดอื่น เช่น เห็ดอก แอปเปิ้ล และหน่อไม้

2.5.1.1.2 Peroxidase (POD)

เอนไซม์ peroxidase (POD: EC 1. 11. 1. 7) เป็นเอนไซม์ที่มี heme เป็นองค์ประกอบ โดยทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการที่ทำลายเนื้อเยื่อ เอนไซม์ peroxidase จะทำงานเมื่อสารประกอบ phenolics อยู่ในรูป single-electron oxidation และมี hydrogen peroxide โดยเอนไซม์ peroxidase มีบทบาทในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพทางด้าน กลิ่นรส สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา จากการศึกษพบว่าเอนไซม์ peroxidase จะมีกิจกรรมสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้นในมันแกว

2.5.2 ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ได้มาจากการกระทำของเอนไซม์ (non-enzymatic browning) ปฏิกิริยาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบของอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นๆ ปฏิกิริยาสำคัญก็มี ได้แก่

2.5.2.1 Maillard reaction

เกิดจากสารพวกเอมีน (amine) , กรดอะมิโน หรือ โปรตีนทำปฏิกิริยากับสารพวกน้ำตาล , อัลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ในขณะที่อาหารผ่านความร้อนหรือเก็บเอาไว้มานานๆ ทำให้ได้สารเมลานอยดิน (melanoidin) ที่ให้สีน้ำตาล

2.5.2.2 Ascorbic-acid oxidation

ทำให้เกิดสารที่มีชื่อว่า เฟอร์ฟูรัล (furfural) ที่ให้สีน้ำตาล พบมากในน้ำผลไม้และน้ำผลไม้เข้มข้น

2.5.2.3 Caramelization

เกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลเมื่อ ได้รับความร้อน ในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิด เป็นสารเฟอร์ฟูรัลที่มีสีน้ำตาลเช่นกันกลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำตาลเกิดขึ้นได้หลายกระบวนการ โดยปกติเกิดจากการที่น้ำตาลเฮกโซส และน้ำตาลเพนโทสสูญเสียน้ำอย่างน้อย 2-3 ขั้นตอน ซึ่งเกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตคาราเมลที่ให้กลิ่นรสจากน้ำตาล การสูญเสียน้ำในสภาวะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูง การลดอุณหภูมิ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาทำได้โดยการเติมค่าที่มีสารประกอบในโตรเจนคือ กรดอะมิโน ทำให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด์ จำนวนสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน และปฏิกิริยามอลดาร์ด์ ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอัลดีไฮด์ และคาร์บอนิล แต่จะแตกต่างกันในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบในโตรเจน ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

2.5.2.3.1 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (starting reaction)

ปฏิกิริยาคาราเมลเริ่มต้นจากปฏิกิริยา enolization หรือ Lobry de Bruyn van Ekenstein rearrangement คือ การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสกลายเป็นแมนโนส และฟรุคโตสขั้นตอนนี้มีความสำคัญเนื่องจากเกิดสารตั้งต้นของปฏิกิริยา โดยทำให้โมเลกุลของน้ำตาลที่เรียงตัวไม่เป็นวงแหวน เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างสลับไปมาของอัลโดส

2.5.2.3.2 ปฏิกิริยาการแตกสลาย (degradative reaction)

ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน และเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการจัดเรียงตัวใหม่ได้ 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) แต่ปฏิกิริยามอลดาร์ด์เกิดการสลายตัว 2 แบบ

แบบที่ 1 ให้ deoxyosones (deoxyglucosan) 2 ชนิด และ

แบบที่สองคือ Strecker degradation การสลายตัวแบบแรกจะเริ่มจาก enolization ของ Amadori rearrangement ได้ 1,4-dideoxyhexosulose (1,4 -dideoxy-Dglucosone) ถ้าเกิดในสภาวะที่ค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง หรือเกิด 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) ถ้าเกิดปฏิกิริยาในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ ซึ่งสารทั้งสองนี้จะเกิดปฏิกิริยาอัลดอลย้อนกลับ (retro-aldol) ได้สารประกอบไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง

แบบที่ 2 คือ Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาระหว่าง ไดคาร์บอนิลกับกรดอะมิโนเป็นทั้ง 1-deoxyosone และ 3-deoxyosone เกิด retroaldolization ได้ไดคาร์บอนิล ซึ่งเป็นสารมัธยันต์อีกชนิดหนึ่งคือ อัลดีไฮด์และแอลฟา-อะมิโนคีโตน (α -amino ketone) ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อไปเกิดเป็นสารให้กลิ่นรส เช่น ไพริดีน (pyridine) ไพราซีน (pyrazine) และ อิมิดาโซล (imidazole) และในระหว่างปฏิกิริยา Strecker degradation จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.6 การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลเริ่มจากเอนไซม์ polyphenol oxidase เปลี่ยน phenol ไปเป็น o-quinone สามารถเกิดปฏิกิริยา polymerization จนได้สารประกอบสีน้ำตาล (melanin) ซึ่ง melanin อาจเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโนและโปรตีนเป็นสารประกอบสีน้ำตาล หากไม่ต้องการสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลซึ่งการใช้สารยับยั้งจัดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ โดยสารยับยั้งมีหลายประเภท คือ reducing agents, chelating agents, acidulants, enzyme inhibitors, enzyme treatments, complexing agents

2.6.1 Ascorbic acid

หรือที่เรารู้จักกันในนามของ วิตามินซี ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมาเป็นเวลานานแล้ว ด้วยประโยชน์อย่างมากทำให้วิตามินซีเป็นวิตามิน ที่ได้รับความสนใจอย่างมากตัวหนึ่ง โดยมีหน้าที่เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) หรือตัวจับอนุมูลอิสระ และถือเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ปลอดภัยจากธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบันได้ประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ได้แก่

2.6.1.1 อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

เติมวิตามินซีเพิ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการผสม เพื่อทดแทนคุณค่าทางโภชนาการที่หายไป ในระหว่างกระบวนการผลิต

เติมวิตามินซีเพิ่มลงไปในส่วนผลไม้ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตน้ำผลไม้ เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (Browning effect)

เติมวิตามินซีลงไปในส่วนเครื่องดื่มอัดลมหรือน้ำผลไม้ เพื่อป้องกันไม่ให้รสชาติของเครื่องดื่มเสียไป จากกระบวนการเสื่อมเสียเนื่องจากออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมวิตามินซีเพิ่มลงไปในเรื่องคิมที่บรรจุขวดหรือกระป๋อง จะช่วยสามารถลดปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยปริมาณวิตามินซี 3.3 มิลลิกรัมจะสามารถกำจัดออกซิเจนปริมาณ 1 มิลลิลิตร

ปริมาณวิตามินซีที่แนะนำอยู่ที่ 300-500 มิลลิกรัมต่อเครื่องดื่ม 1 ลิตร

2.6.1.2 ผลกระทบที่เนื้อ

วิตามินซีจะทำให้เนื้อสัตว์มีสีสดน่ารับประทาน

วิตามินซีจะยับยั้งการเกิดไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยวิตามินซีจะยับยั้งการเปลี่ยนไนเตรท (nitrate) ไปเป็นไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxide) ทำให้ไนโตรเจนออกไซด์ไม่สามารถไปจับกับอะมีน (amine) เพื่อเกิดไนโตรซามีนได้

วิตามินซีจะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เนื้อมีรสชาติที่เสียไป และเกิดการเหม็นหืนได้

วิตามินซีจะชะลอการเปลี่ยนสีของเนื้อสัตว์ระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีที่แนะนำในการใช้อยู่ที่ 300-500 มิลลิกรัมต่อเนื้อสัตว์ 1 กิโลกรัม

2.6.1.3 ผลกระทบที่ขนมปัง

วิตามินซีจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการเกิดโด (dough) ของแป้งสาลีให้เร็วขึ้น โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีเองจะ ช่วยเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบซัลไฟไฮไดรล (sulfhydryl) ในกลูเตน (gluten) ให้จับเป็นพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) เกิดเป็นเครือข่ายภายในซึ่งทำให้เกิดเป็นโดขึ้นได้

วิตามินซีจะช่วยเพิ่มความฟูของเนื้อขนมปัง และทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้นเนื่องจากโดไปจับ กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากยีสต์ ปริมาณวิตามินซีที่แนะนำในการใช้อยู่ที่ 300-500 มิลลิกรัมต่อแป้งสาลี 1 กิโลกรัม

2.6.1.4 ข้อควรระวังในการใช้วิตามินซีในกระบวนการผลิตอาหาร

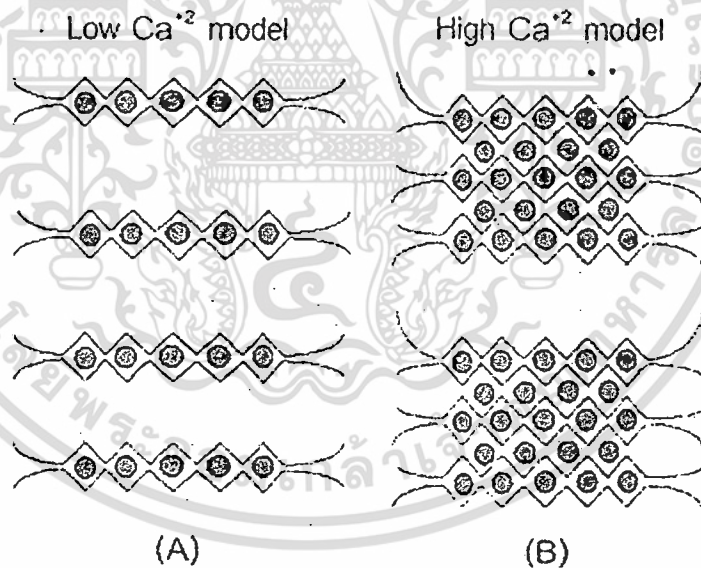
ควรใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตที่เป็นสแตนเลสสตีล (stainless steel) หรือพลาสติก พยายามกำจัดออกซิเจนจาก เครื่องมือและภาชนะบรรจุออกให้มากที่สุด

2.6.2 การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัดแต่งได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อของผลไม้มีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการตัดแต่ง การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัดแต่ง โดย Ca^{2+} สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุคู่ของ Ca^{2+} โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model (รูปที่ 7A) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยถ้าใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นมาก ความกรอบก็เพิ่มมากและเวลาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-2 นาที อาจมีการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยให้แคลเซียมสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกิน $60^{\circ}C$ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนทำให้สูญเสียความกรอบและลักษณะปรากฏที่สวยงามไป ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1-1% หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สูงเกินไปอาจทำให้เกิดรสขมในเนื้อผลไม้ได้ นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้แช่ยังมีผลช่วยลดปริมาณสแตว์รบกวนและจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเปลือกของผลไม้สดด้วย



รูปที่ 2.12 โครงสร้าง Egg-box model เมื่อปริมาณแคลเซียมไอออนต่ำ (A) และสูง (B)

ที่มา : http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/fresh_cut_th.htm

การนำผลไม้ตัดแต่งไปแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากช่วยปรับปรุงความกรอบของผลไม้ตัดแต่งแล้ว สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งมีสาเหตุสำคัญ มาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และความเข้มข้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 5 สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าซึ่งแดงเมลอน (fresh – cut melon) ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (denature) จนไม่สามารถเข้าจับกับซับสเตรท (substrate) ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเวลาในการแช่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1-5 นาที นอกจากนี้การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นการช่วยชะลอเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ผลไม้ได้ เนื่องจากการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ชั้นผลไม้ตัดแต่ง มีอัตราการหายใจต่ำลง

2.6.3 การรมแก๊สกำมะถัน

เป็นการนำผลไม้เก็บไว้ในห้องปิดสนิท ที่ได้ทำการเผาพริกกำมะถันไว้ ห้องที่ใช้สามารถทำด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ PVC หรือซีเมนต์ มักใช้กับผลไม้ที่ทำแห้ง โดยการตากแดด เช่น แอปริคอต พีช แพร ปริมาณการดูดซึมและปริมาณซัลเฟอร์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการรม ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ขนาด สภาพของผลไม้ ระดับความสุก พันธุ์ของผลไม้ ฯลฯ ผลไม้ที่มีความแก่จะดูดซึมได้มากกว่าแต่มีซัลเฟอร์ที่อยู่ในเนื้อผลไม้น้อยกว่าผลไม้ที่อ่อนกว่า อุณหภูมิที่สูงมีแนวโน้มที่จะ ลดการดูดซึมแต่จะทำให้มีระยะเวลาที่ซัลเฟอร์อยู่ในผลไม้ได้นานกว่า ปริมาณซัลเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับผลไม้แห้งบางชนิดได้แก่

ชนิดผลไม้	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)
แอปริคอต	3000
พีช	2500
แพร	2000
แอปเปิ้ล	1500
ลูกเกด (เหลียง)	1000

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในตัวอย่างผลไม้ต่างๆ

ที่มา : http://www.tistr-foodprocess.net/fruit_dry.html.

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ควรใช้ความระมัดระวัง ปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยรักษา สี ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารตามธรรมชาติไว้ ในขณะที่การใช้ปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นที่ไม่ดีและมีปริมาณตกค้างเกินที่กฎหมายกำหนด

การแช่ในสารละลายซัลเฟอร์ เป็นวิธีการที่ง่าย และรวดเร็วกว่าการรม ทำได้โดยการแช่ผลไม้ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (เกรดที่ใช้กับอาหาร หรือเกรดที่ใช้ในห้องทดลอง) ความเข้มข้นร้อยละ 5-7 เป็นเวลา 30 วินาที หรือสำหรับ แอปเปิ้ลอาจแช่ในสารละลายไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมระหว่างโซเดียมซัลไฟต์และโซเดียมไบซัลไฟต์ อัตราส่วน 1 : 1 เข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 แช่ผลไม้ลงไป หากเป็นแผ่นแช่นาน 5 นาที เป็นลูกผ่าครึ่งแช่ 15 นาที จากนั้นนำผลไม้ออกมา สะดุ้งน้ำเปล่า แล้วนำไปอบ ข้อเสียในการแช่ในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดการกัดกร่อน ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดีให้กับผลิตภัณฑ์ ทำลายสารอาหารที่สำคัญบางชนิด เช่น วิตามินบี1 ไม่อนุญาตให้ใช้ในบางประเทศ

ปัจจุบันผู้บริโภคนิยมผลไม้อบแห้งที่ไม่ผ่าน การใช้ซัลเฟอร์มากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้มีการวิจัยและเสนอวิธีการอื่นๆ ที่ใช้แทนซัลเฟอร์ เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการอบแห้ง เช่น

- การลด pH โดยใช้กรดซิตริกหรือกรดอินทรีย์ชนิดอื่น
- เทคนิคการลดความชื้นให้ตัวอย่างรวดเร็ว
- การใช้ antioxidant เช่น ascorbic acid, tocopherol, cystein, glutathione
- การใช้ความร้อน เช่น Individual Quick Blanching
- การลด Aw โดยใช้ osmotic treatment
- การลด pH กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีมีคุณสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน จึงสามารถช่วยป้องกัน การเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่เตรียมไว้เพื่อการอบแห้งได้ดี วิธีการใช้ทำได้โดยการละลายกรดแอสคอร์บิก 1 ช้อนชา ในน้ำ 1 ถ้วย แล้วพ่นให้เป็นฝอยลงบนผลไม้ให้ทั่ว หรือแช่ลูกพีชในสารละลายกรดแอสคอร์บิก เข้มข้นร้อยละ 1 และกรดมาลิก เข้มข้นร้อยละ 0.25 นาน 3 นาที ก่อนนำผลไม้มาอบแห้ง ผลไม้แห้งที่ได้มีจะลักษณะที่ดีกว่าผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการแช่มาก หรืออาจแช่ในสารละลายกรดซิตริก (กรดมะนาว) โดยการละลายกรดซิตริก 1 ช้อนชา (5 กรัม) ในน้ำ 1 ลิตร แช่ผลไม้ในสารละลายกรดนาน 10 นาที ทำให้แห้ง และนำไปอบแห้ง นอกจากนี้อาจมีการแช่ในน้ำผลไม้ที่มีวิตามินซี แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพดีน้อยกว่าการใช้วิตามินซีบริสุทธิ์ก็ตาม น้ำผลไม้ที่ใช้ เช่น น้ำส้ม น้ำมะนาว น้ำสับปะรด น้ำองุ่น ฯลฯ น้ำผลไม้แต่ละชนิด จะสร้างสีและกลิ่นรสเฉพาะตัวให้กับผลิตภัณฑ์ วิธีการทำเริ่มจากแช่ผลไม้ในน้ำผลไม้ให้ท่วมนาน 3-5 นาที แล้วนำไปอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การลวกด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ

เป็นวิธีการทำให้ผลไม้สุกบางส่วน โดยใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนก่อนการอบแห้ง การให้ความร้อนจะช่วย ทำลายเอนไซม์ที่อยู่ในผลไม้ โดยเฉพาะ polyphenol oxidase ระดับในการทำลายเอนไซม์จะบ่งชี้ถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการ วิธีการทั่วไปมักใช้ระบบต่อเนื่องมากกว่าแบบ batch ซึ่งจะใช้เวลาในการสัมผัส กับไอน้ำประมาณ 2-10 นาที บางประเทศอาจใช้การลวกในน้ำร้อนต่อกัน โดยมี การควบคุมปริมาณของแข็ง ที่ละลายอยู่ในน้ำให้คงที่เพื่อลดปริมาณการสูญเสียในกระบวนการลวก แต่หากเป็นครัวเรือนการลวกด้วยไอน้ำ สามารถทำได้ง่ายโดยการใช้ลังถึง โดยการเกลี่ยผลไม้ในถาดด้านบนให้มีความหนาไม่เกิน 2 นิ้ว นำเข้านึ่งเริ่มจับ เวลาเพื่อหาระยะเวลาที่ทำให้เกิดการลวกอย่างทั่วถึง ผลไม้บางชนิดอาจต้องมีการกลับจากนั้นนำผลไม้ลวกมาแช่น้ำด้วยกระดาษซับก่อนนำเข้าอบ การลวกจะทำให้

- ลดระยะเวลาในการอบแห้ง
- กำจัดอากาศที่อยู่ระหว่างเซลล์
- ทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มลง
- ป้องกันการเกิดกลิ่นที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา
- รักษาปริมาณแคโรทีนและวิตามินซีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา
- ทำให้เกิดลักษณะใสกับผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล peach pear แต่ผลไม้ที่ผ่านการลวกมักมีสีคล้ำกว่าการใช้วิธีการอื่นๆ อาจทำให้เกิดกลิ่นสุก และเนื้อสัมผัสอาจนุ่มและดำเนินกระบวนการต่อไปได้ยาก

Individual Quick Blanching (IQB) เป็นวิธีการดัดแปลงจากการลวกด้วยไอน้ำปกติ ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้และ ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย (solid loss) ลดน้อยลง ระบบ IQB ประกอบด้วยขั้นตอนการให้ความร้อนและคงความร้อน ที่ทำใน condensing steam unit โดยเริ่มต้นนำชิ้นของผลิตภัณฑ์เรียงบนสายพานตะแกรง 1 ชั้น โดยไม่ซ้อนกัน ให้มีความหนาแน่นประมาณ 1 ปอนด์/ตารางฟุต เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเข้าไปในอุโมงค์ที่มีการพ่นไอน้ำ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะสัมผัสกับไอน้ำและมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อนที่แกนกลางของชิ้นผลิตภัณฑ์จะร้อนมาก ผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงและกองบนสายพานอีกชุดที่เคลื่อนที่อย่างช้าๆ ผ่านห้องบดรวน ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ใน chamber จะต้องเพียงพอจะทำลายเอนไซม์และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

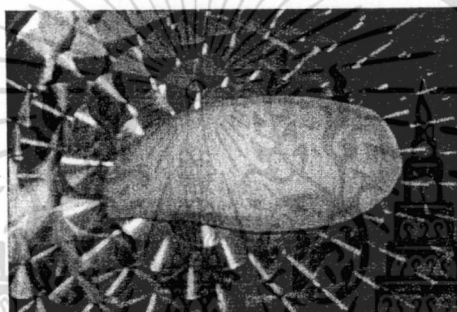
การลวกด้วยน้ำเชื่อม จะใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้เชื่อมแห้ง เป็นวิธีที่สามารถรักษาได้ดี แต่ต้องใช้เวลาในการทำแห้ง วิธีการเริ่มจากเตรียมน้ำเชื่อม โดยการผสมน้ำตาล 1 ถ้วย น้ำเชื่อมจากข้าวโพด (corn syrup) 1 ถ้วย และน้ำ 2 ถ้วยในหม้อ ต้มให้เดือด เติมผลไม้ปริมาณ 1 ปอนด์ ลงไปแช่นาน 10 นาที ยกหม้อลงทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงเอาผลไม้ ออก ล้างด้วยน้ำธรรมดา ชบน้ำ และนำไปอบแห้ง Osmovac drying เป็นขั้นตอนหนึ่งในการอบแห้งผลไม้ที่มีลักษณะเป็นชิ้นขนาดต่างๆและหั่นสไลด์ วิธีการเริ่มจากการนำผลไม้สดมาแช่น้ำน้ำเชื่อมเข้มข้น (65 - 75 °Brix) หรือคอลลอยด์น้ำตาลหรือเกลือเพื่อกำจัด น้ำให้ออกจากเนื้อเยื่อโดยกระบวนการออสโมซิส (osmosis) จากขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้สามารถลด ปริมาณน้ำลงได้มากกว่า 50 % ของน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบให้แห้งด้วยวิธีการปกติต่อไป ความเข้มข้นของน้ำตาลหรือเกลือในระดับสูงจะช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้ง ที่ได้มีสีที่ดีโดยไม่ต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้วิธีการนี้ยังช่วยลดการเปลี่ยนสีและกลิ่นรส เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ลดเวลาที่ผลิตภัณฑ์ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูง การแช่ในน้ำเชื่อม จะช่วยลดการสูญเสียกลิ่นรสผลไม้สดได้ดี และช่วยลดปริมาณกรดในผลไม้บางชนิดทำให้ผลิตภัณฑ์ ที่ได้มีรสชาติที่ดีกลมกล่อมมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการลดปริมาณกรดและเพิ่มปริมาณน้ำตาลอาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นในบางผลิตภัณฑ์ เช่น ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเกิดกลิ่นหืนขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อน และการเพิ่มต้นทุนการผลิต จากการศึกษา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 70 °Brix ที่อุณหภูมิ 50 °C ประมาณ 8 ชั่วโมง ผลไม้ที่ใช้วิธีการนี้ได้ผล ได้แก่ แอปเปิ้ล peach ถั่วฝักยาว มะม่วง

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

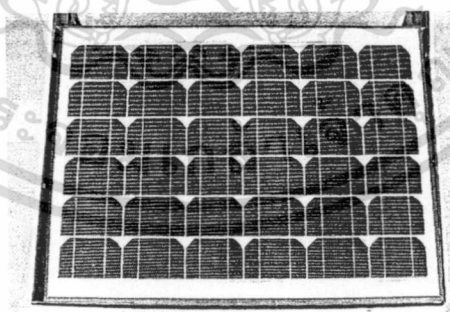
3.1.1 มะม่วงดิบ (น้ำดอกไม้)



ภาพที่ 3.1 มะม่วงดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 แผงโซลาร์เซลล์ (ขนาด 50 วัตต์)

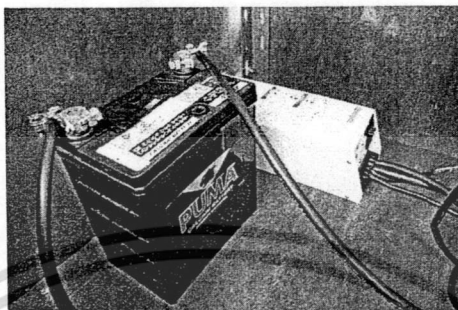


ภาพที่ 3.2 แผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 แบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์ (ขนาด 38 แอมป์ ความต่างศักย์ 12

โวลต์)



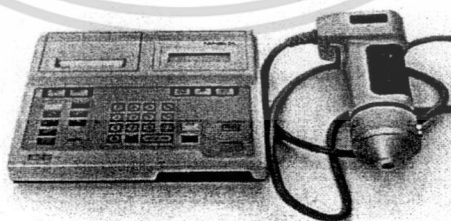
ภาพที่ 3.3 แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์

3.1.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (ยี่ห้อ Extech รุ่น 445703)



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ

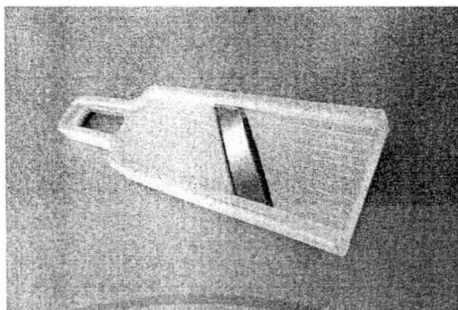
3.1.2.4 เครื่องวัดสีแบบพื้นผิว (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-300)



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดสีแบบพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 อุปกรณ์สไลด์มะม่วง



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์สไลด์มะม่วง

3.1.2.6 สารโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และ โซเดียม

คลอไรด์



ภาพที่ 3.7 สาร โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (KMS) กรดแอสคอร์บิก (ASC)
และ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมะม่วง กระบวนการผลิตมะม่วงดิบผึ่งแห้ง และสิ่งที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

3.2.2 ออกแบบการติดตั้งชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้สำหรับป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายความชื้น เพื่อใช้เป็นแบบในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยแบบที่ได้จะเป็นแบบโครงร่าง สามารถติดตั้งตามแบบได้ทันที ซึ่งในแบบร่างจะแสดงรายละเอียดทั้งหมดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้าง เช่น ขนาด มิติ และจำนวน และแสดงในลักษณะด้านหน้า และหรือด้านบน และด้านข้าง โดยแบบที่ร่างขึ้น จะประกอบด้วย แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์เซลล์ ใช้สำหรับรับพลังงานแสงอาทิตย์ และแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (ขนาด 50 วัตต์) , แบตเตอรี่ ใช้สำหรับเก็บประจุไฟฟ้า ที่ได้จากแผง โซลาร์เซลล์ ซึ่งเป็นแบตเตอรี่รีเคลเซียมชนิดแห้งไม่เติมน้ำกลั่น (ขนาด 38 แอมป์ ความต่างศักย์ 12 โวลต์) และ อินเวอร์เตอร์ ใช้สำหรับ เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง จากแบตเตอรี่ ไปเป็น กระแสไฟฟ้าสลับ เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายความชื้น ซึ่งจะทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง

3.2.3 คิดตั้งชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ตามแบบร่าง โดยพิจารณาองค์ประกอบรวมที่จะติดตั้ง ร่วมกับชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น โครงสร้างเหล็กที่ใช้ยึด และประกอบชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ล้อเลื่อน ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการพิจารณาวัสดุชนิดต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการทำชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด เพื่อให้มีราคาขนาด และน้ำหนักที่เหมาะสม

3.2.4 ปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ จากแบบรับแสงเพียงอย่างเดียว เป็นแบบ รับแสงร่วมกับแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง โดยการเพิ่ม การติดตั้งแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง ที่มีความยาวเท่ากับแผงรับแสงเดิม โดยแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงนี้ จะทำการติดตั้งบริเวณด้านข้างของแผงรับแสงเดิมทั้งด้านซ้ายและขวา ตามแนวความยาวเดิม ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนแสง จะใช้เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดสะท้อนแสง สามารถพับเก็บได้ ในกรณีที่ต้องการทดสอบประสิทธิภาพในการอบแห้งแบบใช้วัสดุดูดซับเพียงอย่างเดียว

3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งแบบที่ใช้วัสดุรับแสงเพียงอย่างเดียวเพื่อแปลงเป็นพลังงานความร้อน และแบบที่ใช้วัสดุรับแสงร่วมกับกระจกสะท้อนแสง เพื่อแปลงเป็นพลังงานความร้อน โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน ด้วยการวัดจากการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในห้องอบ ซึ่งจะบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ในช่วงเวลาเดียวกัน ของแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 6 วัน ข้อมูลที่ได้ของแต่ละรูปแบบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ จะนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน นำไปพลอตกราฟ เพื่อทำการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุคิบ ซึ่งจะใช้มะม่วงสายพันธุ์ที่นิยมรับประทานคิบ เป็นตัวอย่างในการทดลอง

- สีของเนื้อมะม่วงคิบเริ่มต้น โดยใช้เครื่องวัดสีแบบพื้นผิว เพื่อใช้เปรียบเทียบกับ มะม่วงคิบแผ่น ที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว และมะม่วงคิบแผ่นที่ผ่านการทำเป็นผงแล้ว

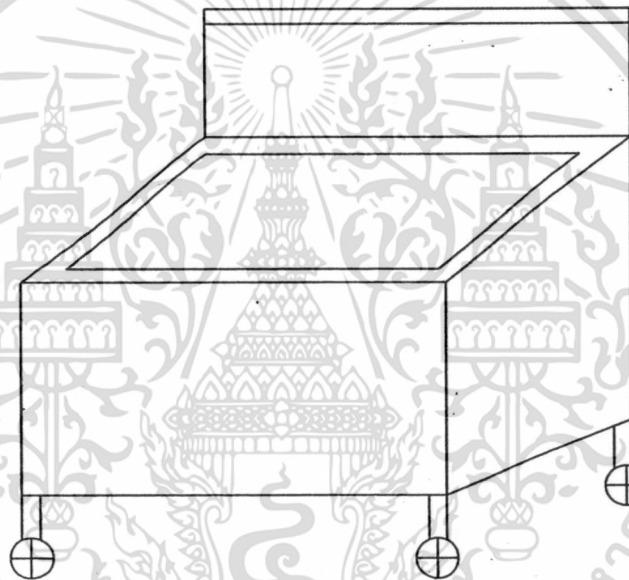
- ความชื้นของเนื้อมะม่วงคิบเริ่มต้นเพื่อนำมาใช้เป็นฐานในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้น ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

3.2.7 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงคิบแผ่น ในระหว่างกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม ทำได้โดยนำมะม่วงคิบไปล้าง ปอกเปลือก หั่นเป็นแผ่นบาง ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร นำมะม่วงที่หั่นเป็นแผ่นบางแล้วไปแช่ในสารละลายโปตัสเซียม เมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก เกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5 เป็นระยะเวลา 5 นาที และนำมะม่วงคิบแผ่นบาง ที่ผ่านการแช่สารละลายทั้ง 3 ชนิดตามระยะเวลาที่กำหนด ไปอบแห้ง เทียบกับมะม่วงคิบแผ่น ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย และนำไปอบแห้ง ด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปวัดสีของเนื้อมะม่วงคิบแผ่น โดยใช้เครื่องวัดสีแบบพื้นผิว นำผลการวัดสีที่ได้ ไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (วางแผนการทดลองแบบ Factorial)

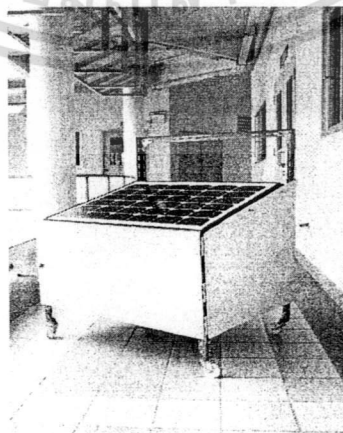
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบและติดตั้งชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ (แสดงดังภาพที่ 4.1-4.2)



ภาพที่ 4.1 แบบร่างชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์

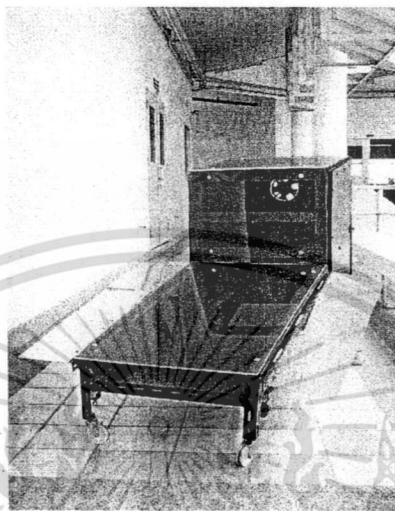


ภาพที่ 4.2 ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์

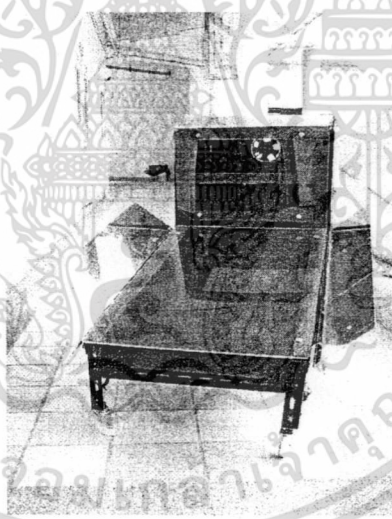
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปรับปรุงเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง (แสดงดังภาพที่

4.3-4.4)



ภาพที่ 4.3 เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

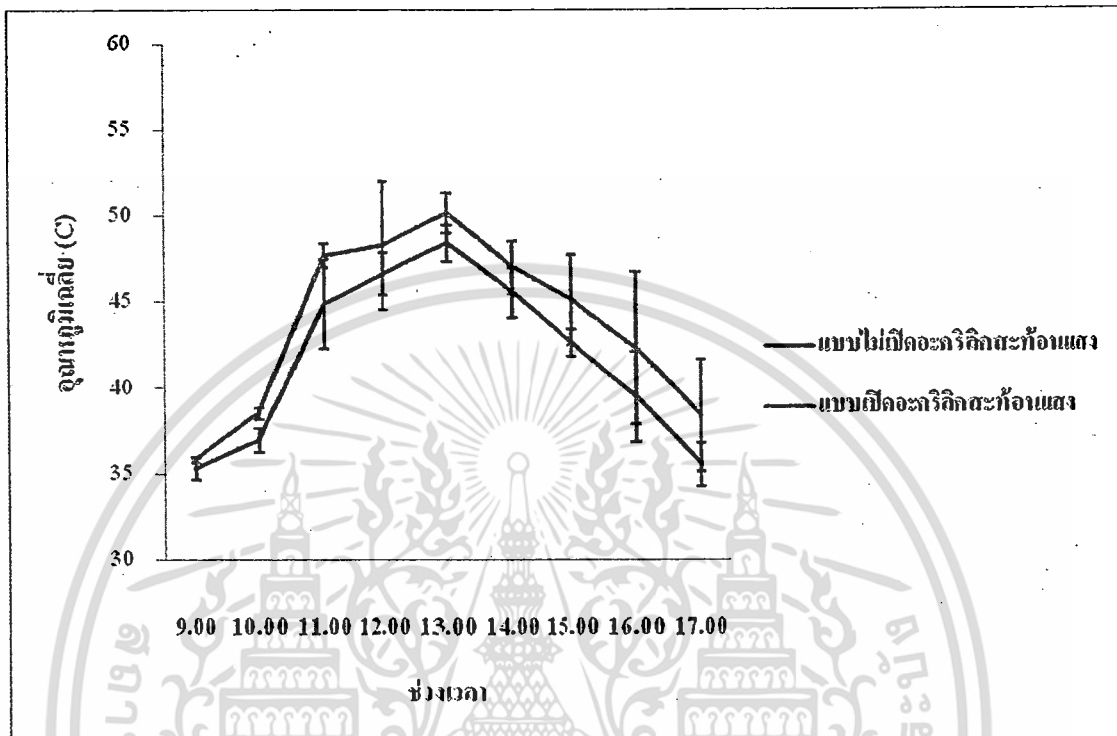


ภาพที่ 4.4 เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

ติดตั้งแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง ที่มีความยาวเท่ากับแผงรับแสงเดิม โดยแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงนี้ จะทำการติดตั้งบริเวณด้านข้างของแผงรับแสงเดิมทั้งด้านซ้ายและขวา ตามแนวความยาวเดิม ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนแสง จะใช้เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดสะท้อนแสง สามารถพับเก็บได้ ในกรณีที่ต้องการทดสอบประสิทธิภาพในการอบแห้งแบบใช้วัสดุคูล์ซับเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (แสดงดังภาพที่ 4.5-4.6)

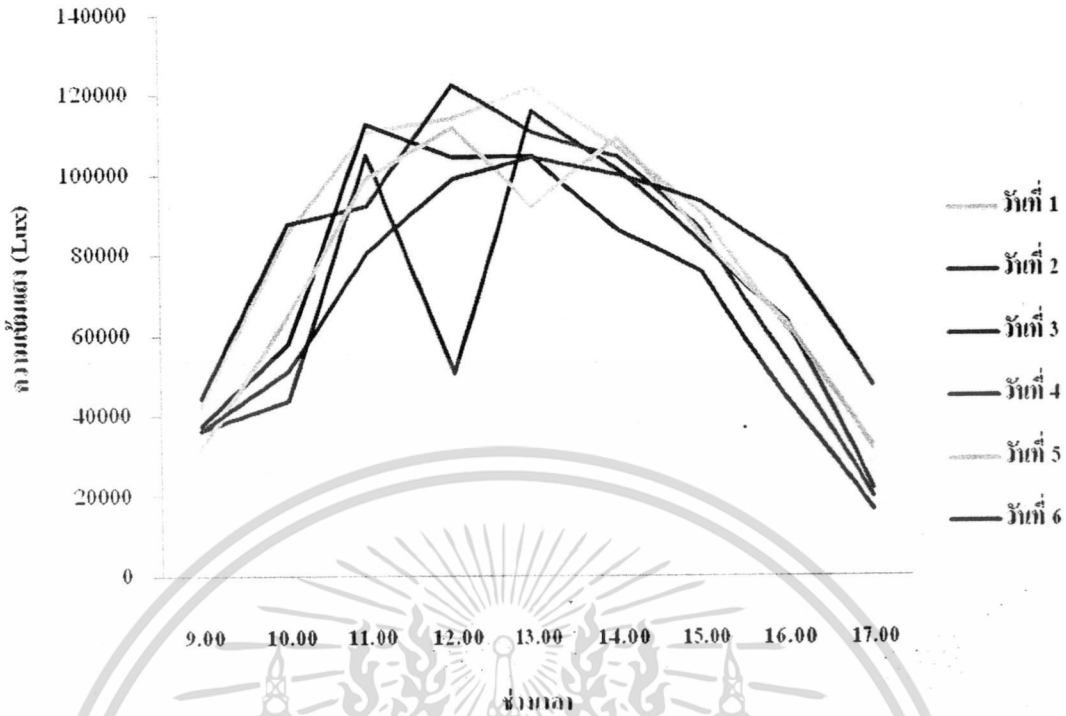


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องอบกับช่วงเวลาที่ใช้อบแห้ง

พิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องอบกับช่วงเวลาที่ใช้อบแห้งจะพบว่าแบบเปิดแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงช่วยทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบสูงกว่าแบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนจากสภาพอากาศในแต่ละวันไม่เหมือนกันส่งผลให้การวิเคราะห์ทางสถิติมีความไม่แตกต่าง ซึ่งได้แสดงช่วงของความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไว้ดังกราฟ

จากการทดสอบ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไปตากแดดเป็นเวลา 6 วัน โดยทำการใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงเป็นเวลา 3 วัน และ ไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงเป็นเวลา 3 วัน เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิภายในห้องอบพบว่าแบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง มีอุณหภูมิภายในห้องอบสูงกว่าแบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

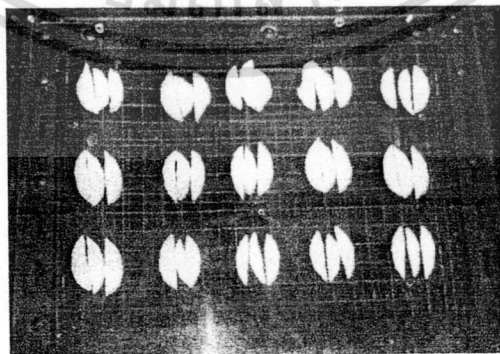
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความเข้มของแสงในระยะเวลาต่างๆ

พิจารณากราฟแสดงความเข้มของแสงในระยะเวลาต่างๆเป็นเวลา 6 วัน พบว่ากราฟแสดงแนวโน้มความเข้มของแสงไปในทิศทางเดียวกัน มีเพียงชุดข้อมูลเดียวที่แตกต่างจากกลุ่ม เนื่องจากมีชั้นเมฆมาบังแสงแดดจากดวงอาทิตย์ ทำให้แสงมีความเข้มลดลง

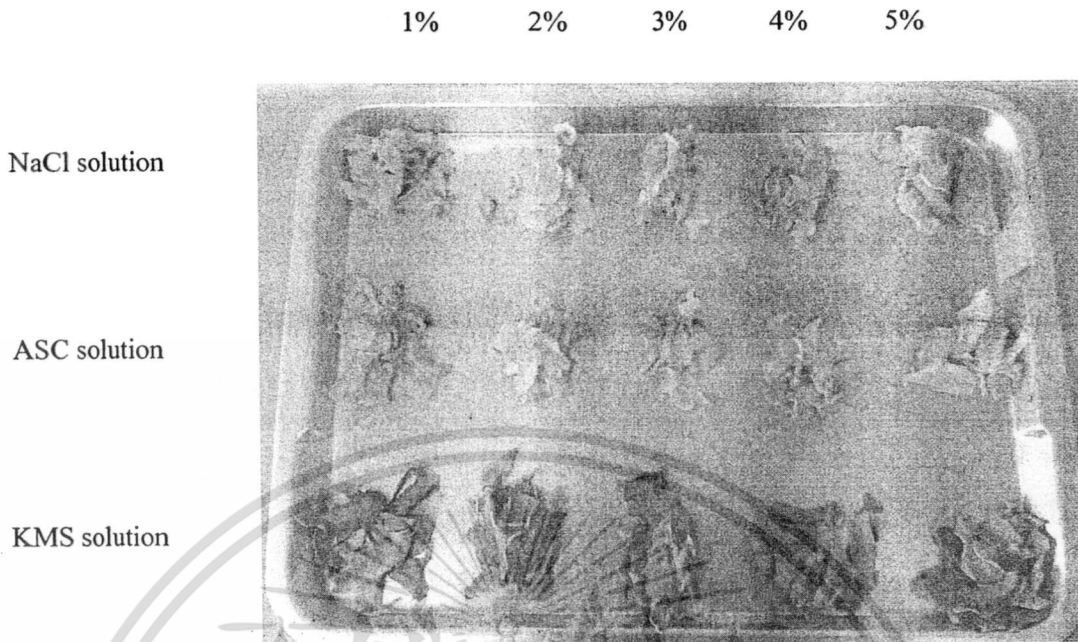
4.4 ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารละลายชนิดต่างๆที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบแผ่นและมะม่วงผง (แสดงดังภาพ 4.7-4.13)



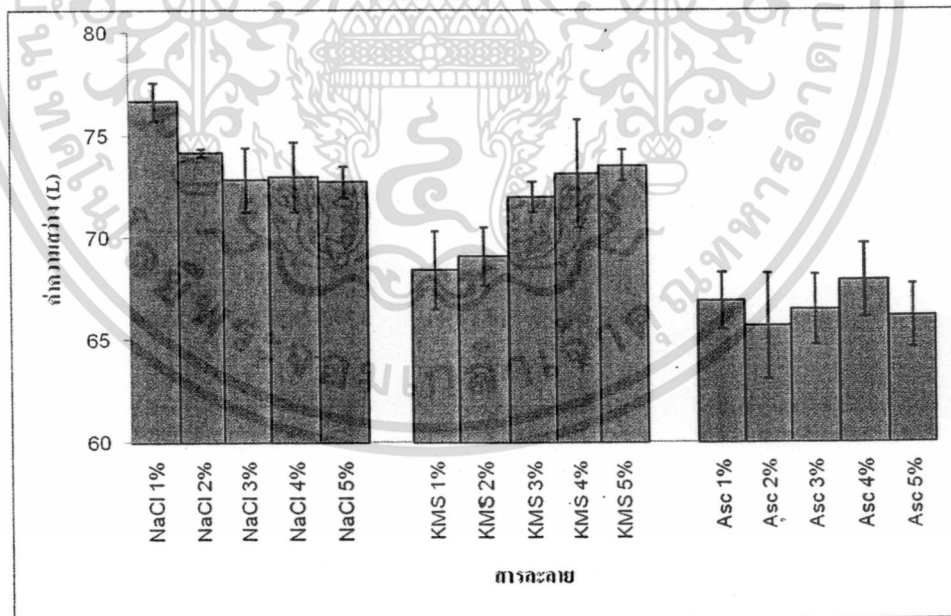
ภาพที่ 4.7 แผ่นมะม่วงที่ผ่านการสไลด์แล้วนำไปอบแห้ง

ในเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



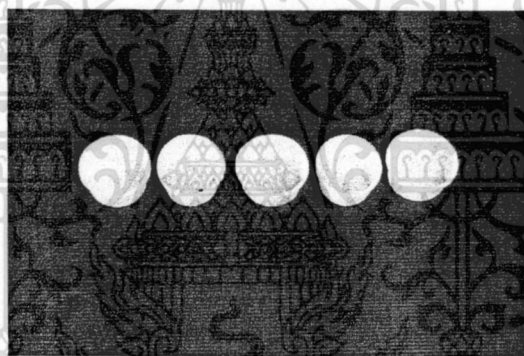
ภาพที่ 4.8 สีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นที่ผ่านการ pretreatment และนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



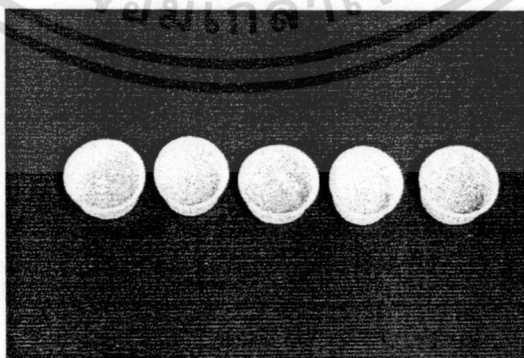
ภาพที่ 4.9 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกับค่าความสว่างของมะม่วงแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกับค่าความสว่างของมะม่วงแผ่น พบว่าแนวโน้มในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงคิบแผ่นนั้น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 นั้นสามารถช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงแผ่นอบแห้งได้ดีที่สุด สาเหตุที่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีในส่วนของมะม่วงแผ่นได้ดีกว่าสารละลายอื่นๆ เนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีในส่วนของเนื้อมะม่วง แต่สีขอบของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นนั้นมีความสำคัญกว่าการแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ซึ่งในการวัดสีในแบบแผ่นนั้น จะทำการวัดที่ส่วนของเนื้อมะม่วง ทำให้ได้ค่าความสว่างที่มากกว่าการแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์

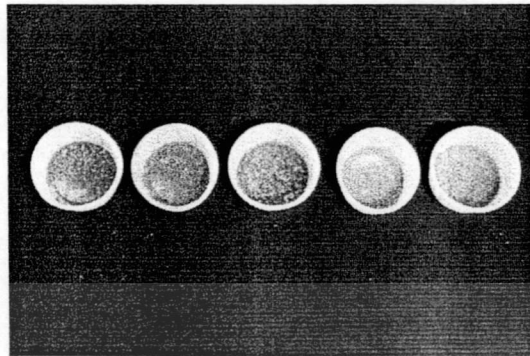


ภาพที่ 4.10 สีของมะม่วงคิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย NaCl หลังทำการบดแล้ว โดยเรียงความเข้มข้นจากร้อยละ 1 ไปจนถึงร้อยละ 5 จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

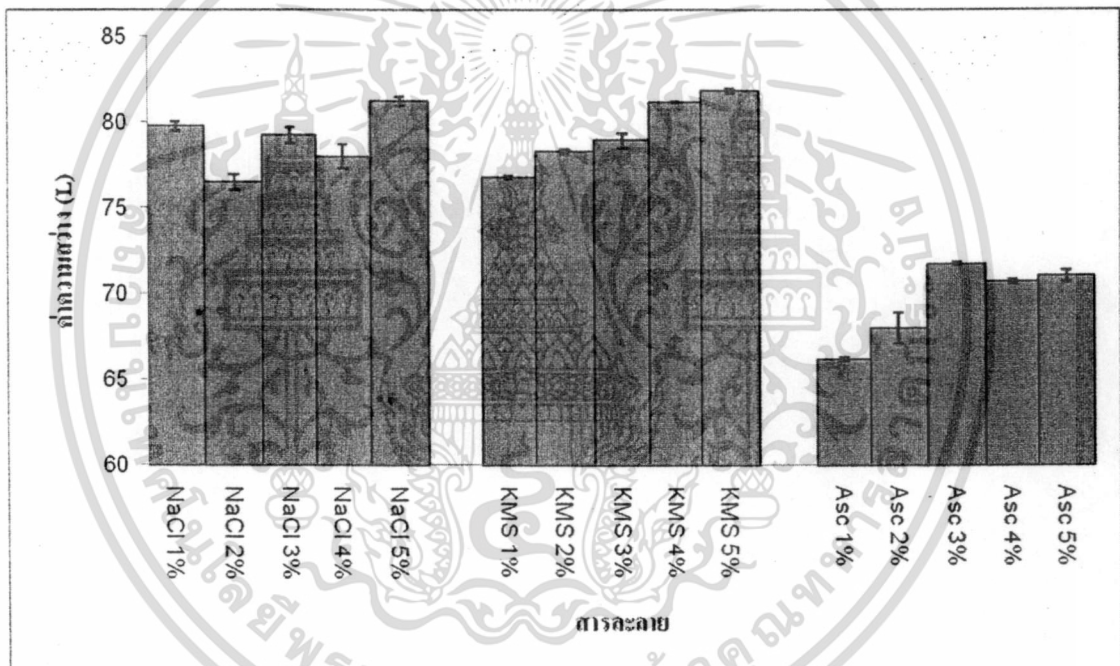


ภาพที่ 4.11 สีของมะม่วงคิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย KMS หลังทำการบดแล้ว โดยเรียงความเข้มข้นจากร้อยละ 1 ไปจนถึงร้อยละ 5 จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 สีของมะม่วงดิบแผ่นอบแห้งผ่านการแช่สารละลาย ASC หลังทำการบดแล้ว โดยเรียงความเข้มข้นจากร้อยละ 1 ไปจนถึงร้อยละ 5 จากซ้ายไปขวาตามลำดับ



ภาพที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิด

และความเข้มข้นของสารละลายกับค่าความสว่างของมะม่วงบดผง

พิจารณากราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกับค่าความสว่างของมะม่วงบดผง พบว่าแนวโน้มในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงดิบแผ่นบดผงนั้น สารละลายโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 นั้นสามารถช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงแผ่นบดผงได้ดีที่สุด เนื่องจาก สารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์โดยรวมได้ดีกว่า เมื่อนำมาบดเป็นผงแล้วนำไปวัดสี จึงได้ค่าเอกสารนี้ ความสว่างที่มากกว่าสารละลายตัวอื่นๆ ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยนำแผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้งและการออกแบบชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการนำแผงโซลาร์เซลล์มาใช้ในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟฟ้ามาใช้กับพัดลมระบายความชื้นในตัวเครื่องอบ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ มีผลทำให้อุณหภูมิในห้องอบสูงขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นได้ทำการ pretreatment ก่อนการอบแห้งโดยการนำมะม่วงดิบมาทำการสไลด์เป็นแผ่นบางๆ แล้วนำไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ ซึ่งประกอบด้วยสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 1,2,3,4 และ 5 เป็นระยะเวลา 5 นาที และนำมะม่วงดิบแผ่นบาง ที่ผ่านการแช่สารละลายทั้ง 3 ชนิดตามระยะเวลาที่กำหนด ไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง จากนั้นนำไปวัดสีของเนื้อมะม่วงดิบแผ่นและมะม่วงแผ่นบดผง จากการทดลองพบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงแผ่นที่นำไปอบแห้ง โดยที่ สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถช่วยลดการเปลี่ยนสีของมะม่วงแผ่นได้ดีที่สุด ส่วนสารละลาย โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถช่วยลดการเปลี่ยนสีของมะม่วงผงได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของข้าวโพดอ่อนโดย อาภากรณ์ มีนาพันธ์ (2538) ซึ่งพบว่าการใช้สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีได้

ส่วนการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายแอสคอร์บิก ได้ผลต่ำสุดเนื่องจาก เกิดการสลายตัวของสารละลายแอสคอร์บิกจากการโดนความร้อนและการโดนแสงอาทิตย์ในขณะที่นำผลิตภัณฑ์ไปอบในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงดิบแผ่นอบแห้งลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ผลของอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
9.00	34.6	35.5	35.8
10.00	36.2	37.1	37.6
11.00	45.5	42.1	47.2
12.00	48.1	46.1	45.8
13.00	49.2	47.2	48.9
14.00	47.2	45.1	44.4
15.00	43.6	42.2	42.2
16.00	42.5	37.8	38.2
17.00	36.9	34.4	35.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลของอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
9.00	35.7	36.0	35.8
10.00	38.5	38.9	38.2
11.00	48.5	47.6	47.1
12.00	46.9	52.5	45.5
13.00	50.7	51.0	48.9
14.00	48.3	45.3	47.5
15.00	43.8	43.8	48.2
16.00	38.6	41.2	47.2
17.00	34.7	39.6	40.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าความเข้มของแสง (Lux) ในระยะเวลา 6 วันที่ทำการทดลอง

ช่วงเวลา	ความเข้มของแสง (Lux)					
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
9:00	42,100	44,200	44,200	37,500	31,400	36,300
10:00	85,300	87,500	87,500	57,900	64,600	51,000
11:00	110,500	92,000	92,000	112,500	98,900	80,500
12:00	113,900	122,300	122,300	104,200	111,500	98,700
13:00	121,600	110,500	110,500	104,400	91,600	104,200
14:00	106,400	104,200	104,200	85,700	108,900	99,700
15:00	90,100	85,700	85,700	75,300	84,200	92,800
16:00	61,800	53,500	53,500	43,900	62,900	79,000
17:00	32,500	19,800	19,800	16,400	31,600	47,300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ค่าความสว่างของมะม่วงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วโดยการแช่ในสารละลาย โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือ โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5

ชนิดของสารละลาย	ค่าความสว่าง (L)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
NaCl 1%	77.60	75.72	76.62
NaCl 2%	74.31	73.95	74.15
NaCl 3%	74.35	71.24	72.88
NaCl 4%	71.27	74.68	72.94
NaCl 5%	71.96	73.47	72.71
KMS 1%	66.47	70.28	68.38
KMS 2%	67.67	70.50	69.02
KMS 3%	72.72	71.26	71.98
KMS 4%	70.47	75.75	73.11
KMS 5%	74.27	72.75	73.52
Asc 1%	65.51	68.26	66.88
Asc 2%	68.23	63.07	65.63
Asc 3%	68.16	64.72	66.44
Asc 4%	69.68	66.08	67.85
Asc 5%	67.69	64.58	66.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าความสว่างของมะม่วงพวง ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โดยการแช่ในสารละลาย โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5

ชนิดของสารละลาย	ค่าความสว่าง (L)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
NaCl 1%	79.53	80.06	79.84
NaCl 2%	76.98	76.04	76.53
NaCl 3%	79.71	78.77	79.28
NaCl 4%	77.30	78.70	78.03
NaCl 5%	81.53	81.02	81.24
KMS 1%	76.72	76.95	76.83
KMS 2%	78.46	78.18	78.34
KMS 3%	78.55	79.40	78.97
KMS 4%	81.16	81.21	81.23
KMS 5%	81.72	82.01	81.84
Asc 1%	66.34	66.09	66.25
Asc 2%	68.91	67.12	68.04
Asc 3%	71.63	71.85	71.77
Asc 4%	70.85	70.62	70.71
Asc 5%	71.43	70.75	71.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสง และไม่ใช้แผ่นอะคริลิกสะท้อนแสงที่ระยะเวลาต่าง ๆ

9.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่น อะคริลิก - ไม่ใช้แผ่น อะคริลิก	.5333	.55076	.31798	-.8348	1.9015	1.677	2	.235

10.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่น อะคริลิก - ไม่ใช้แผ่น อะคริลิก	1.5667	.87369	.50442	-.6037	3.7370	3.106	2	.090

11.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่น อะคริลิก - ไม่ใช้แผ่น อะคริลิก	2.8667	2.81484	1.62515	4.1258	9.8591	1.764	2	.220

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	1.6333	4.15251	2.39745	8.6821	11.9487	.681	2	.566

13.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	1.7667	1.91398	1.10504	2.9879	6.5213	1.599	2	.251

14.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	1.5333	1.46401	.84525	2.1035	5.1701	1.814	2	.211

15.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	2.5000	3.08058	1.77858	5.1526	10.1526	1.406	2	.295

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16.00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	2.8000	6.52074	3.76475	13.3984	18.9984	.744	2	.535

17:00

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ใช้แผ่นอะคริลิก - ไม่ใช้แผ่นอะคริลิก	2.8333	4.36157	2.51816	8.0014	13.6681	1.125	2	.377

ตารางที่ ๒.๒ การวิเคราะห์ค่าความสว่างของมะม่วงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วโดยการแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 5

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	514.142(a)	16	32.134	12.023	.000
Intercept	223998.367	1	223998.367	83809.698	.000
TYPE	405.452	2	202.726	75.850	.000
CONC	13.857	4	3.464	1.296	.295
REP	.547	2	.274	.102	.903
TYPE * CONC	94.287	8	11.786	4.410	.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Error	74.836	28	2.673		
Total	224587.345	45			
Corrected Total	588.978	44			

a R Squared = .873 (Adjusted R Squared = .800)

Post Hoc Tests

TYPE Homogeneous Subsets

L

Duncan

TYPE	N	Subset		
		1	2	3
3	15	66.5927		
2	15		71.2100	
1	15			73.8567
Sig.		1.000	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) = 2.673.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b Alpha = .05.

CONC Homogeneous Subsets

L

Duncan

CONC	N	Subset
		1
2	9	69.6144
3	9	70.4167
1	9	70.6356
5	9	70.7844
4	9	71.3144
Sig.		.056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 2.673.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b Alpha = .05.

REP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Homogeneous Subsets

L

Duncan

REP	N	Subset
		1
2	15	70.4207
3	15	70.5480
1	15	70.6907
Sig.		.674

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 2.673.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	513.595(a)	14	36.685	14.600	.000
Intercept	223998.367	1	223998.367	89144.117	.000
TREAT	513.595	14	36.685	14.600	.000
Error	75.383	30	2.513		
Total	224587.345	45			
Corrected Total	588.978	44			

a R Squared = .872 (Adjusted R Squared = .812)

Post Hoc Tests

TREAT Homogeneous Subsets

L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan

TREAT	N	Subset			
		1	2	3	4
12	3	65.6433			
15	3	66.1267	66.1267		
13	3	66.4400	66.4400		
11	3	66.8833	66.8833		
14	3	67.8700	67.8700		
6	3	68.3767	68.3767		
7	3		69.0633		
8	3			71.9867	
5	3			72.7133	
3	3			72.8233	
4	3			72.9633	
9	3			73.1100	
10	3			73.5133	
2	3			74.1367	74.1367
1	3				76.6467
Sig.		.071	.053	.159	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 2.513.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b Alpha = .05.

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ค่าความสว่างของมะม่วงผงที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โดยการแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ กรดแอสคอร์บิก และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1,2,3,4 และ 55

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1087.903(a)	16	67.994	434.002	.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Intercept	259853.124	1	259853.124	1658628.561	.000
TYPE	931.384	2	465.692	2972.487	.000
CONC	98.803	4	24.701	157.663	.000
REP	.141	2	.071	.451	.641
TYPE * CONC	57.574	8	7.197	45.937	.000
Error	4.387	28	.157		
Total	260945.414	45			
Corrected Total	1092.289	44			

a R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

Post Hoc Tests

TYPE Homogeneous Subsets

Duncan

TYPE	N	Subset		
		1	2	3
3	15	69.5620		
1	15		78.9707	
2	15			79.4380
Sig.		1.000	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) = .157.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REP Homogeneous Subsets

L

Duncan

REP	N	Subset
		1
2	15	75.9180
3	15	75.9980
1	15	76.0547
Sig.		.381

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = .157.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b Alpha = .05.

CONC Homogeneous Subsets

L

Duncan

CONC	N	Subset		
		1	2	3
2	9	74.2889		
1	9	74.2900		
4	9		76.6456	
3	9		76.6589	
5	9			78.0678
Sig.		.995	.944	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = .157.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b Alpha = .05.

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Corrected Model	1087.761(a)	14	77.697	514.763	.000
Intercept	259853.124	1	259853.124	1721591.0 30	.000
TREAT	1087.761	14	77.697	514.763	.000
Error	4.528	30	.151		
Total	260945.414	45			
Corrected Total	1092.289	44			

a R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

Post Hoc Tests

TREAT Homogeneous Subsets

TREAT	N	Subset												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
11	3	66.2267												
12	3		68.0233											
14	3			70.7267										
15	3			71.0833										
13	3				71.7500									
2	3					76.5167								
6	3					76.8333								
4	3						78.0100							
7	3						78.3267	78.3267						
8	3							78.9733	78.9733					
3	3								79.2533	79.2533				
1	3									79.8100				
9	3												81.2000	
5	3													81.2633
10	3													81.8567
Sig.		1.000	1.000	.270	1.000	.326	.326	.050	.384	.089				.058

Duncan

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = .151.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรราชวิทยาลัยสงขลา เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b Alpha = .05.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2547. เครื่องอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์: บริษัท จีรังริชต์
- นิภา คุณทรงเกียรติ.2542. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน.ภาควิชาพืชศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะเกษตรศาสตร์บางพระ อ.ศรีราชา ชลบุรี.294หน้า สำนักบริการส่งออก กรมส่งเสริม
การส่งออก.2546.การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้สดเพื่อการแปรรูป.[ออนไลน์] เข้าถึง
ได้จาก : <http://www.depthai.go.th/interdata/service-product01/>
- เผชิญ จันทร์สา, บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัยและจำนง สรพิพัฒน์ . 2550 .การศึกษาเครื่องอบแห้งพลัง
แสงอาทิตย์ในประเทศไทย: สมรรถนะเชิงพลังงานและแนวทางการส่งเสริม.กรุงเทพ.
- พรพงษ์ สุทธิรักษ์ วิทยานิพนธ์ (วท.ม. (เทคโนโลยีอาหาร)) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ขึ้นมั่งกุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ 120 หน้า. 2540
- ภัทรพงษ์ สุระสังวาลย์ . 2550 . รายงานโครงการเรื่องเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มิตรารภรณ์ วัชรพิชัย และ ปาจริย์ อินทะชูป นิสิตปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการศึกษา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักงานหอพรรณไม้ พฤษศาสตร์สำหรับเยาวชน [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก : <http://www.dnp.go.th/botany/BFC/fruit.html#structure>
- รัชฎา ตั้งวงศไชย และนัญชรี ศรีบูรณสร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น ผลไม้ตัดแต่งและการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/fresh_cut_th.htm
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร การทำผลไม้แห้ง
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.tistr-foodprocess.net/fruit_dry.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สันติชัย , อานนท์ . 2551 . เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ลมร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อาภาภรณ์ มีนาพันธ์ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์), พืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย. การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและการเน่าเสียของข้าวโพดฝักอ่อนหลังการเก็บเกี่ยว 88 หน้า. 2538
- Atul Sharma *, C.R. Chen and Nguyen Vu Lan. 2008 . Review of solar-energy drying systems
- Gauhar A. Mastekbayeva et al . 1999 . Experimental Studies on a Hybrid Dryer
- P. Schirmer et al . 1996 . Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas. Renewable Energy
- Steam blanching effect on PPO , POD and colour of mango slices (Sciencedirect-C.Ndiaye et al./Food Chemistry 113 (2009) 92-95)