

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของผลไม้ต่างชนิด
(Study on Freeze Dried of Fruits)

จัดทำโดย

นางสาวอรรวรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์ รหัส 46041124

นางสาวอาจารย์ สายบุญยัง รหัส 46041125

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.พอใจ ถามากร



T096887

2024
2024.8.7
9.10

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 96887
วันเดือนปี..... 5 JUN 2023

b. 112443x
i.....

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง
การศึกษาลักษณะการทำแห้งแบบเยือกแข็งของผลไม้ต่างชนิด
(Study on Freeze Dried Fruits)

จัดทำโดย

นางสาวอรวรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์

นางสาวอาจารย์ สายบุญยัง

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

๒๑/๕๑/๕๐

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-สกุลผู้เรียบเรียง นางสาวอรรวรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์ และนางสาวอาจารย์ สายบุญยัง: ชื่อเรื่อง ปัญหาพิเศษ การศึกษาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของผลไม้ต่างชนิด (Study on Freeze Dried of Fruits) สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พอใจ งามาการ

ประเทศไทยปัจจุบันประสบปัญหาผลิตผลทางการเกษตรล้นตลาด ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ยังไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในด้านการเกษตร สามารถพบเห็นได้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะเมื่อถึงฤดูร้อนผลไม้จะมีผลผลิตออกมาจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาตกต่ำ ดังนั้นทางเลือกที่ดีที่สุดทางหนึ่งคือการนำผลไม้ไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ สามารถทำให้บริโภคได้ตลอดทั้งปีโดยไม่ต้องรอให้ถึงฤดูกาลของผลไม้แต่ละชนิด อีกทั้งยังได้รสชาติแปลกใหม่ แตกต่างออกไปยังเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภคด้วย ซึ่งในที่นี้เลือกใช้การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (Sublimation Drying) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “Lyophilization” เป็น กระบวนการทำแห้งภายใต้สถานะอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สี กลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียง กับของสด ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยวิธีนี้นั้นมีคุณสมบัติของสารที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด สามารถคงตัวอยู่ได้นาน ณ อุณหภูมิห้องและข้อดีที่สำคัญคือสามารถนำกลับมาคืนสภาพ (reconstitute) ได้ง่ายมาก ปัญหาพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากผลไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ กล้วย ขนุน และ สตรอเบอร์รี่ โดยได้นำมาวิเคราะห์ค่าความชื้นก่อน และหลังกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง วัดความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังการทำแห้งแบบเยือกแข็ง การวัดค่า water activity (Aw) ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและหาอัตราการคืนตัว (rehydration ratio) ของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดเวลาต่างกัน คือ 30 60 90 120 และ 150 นาที โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

.....
นางสาวอรรวรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์

(นางสาวอรรวรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์)

.....
ศาสตราจารย์ สายบุญยัง

(นางสาวอาจารย์ สายบุญยัง)

.....
.....

(ผศ.ดร.พอใจ งามาการ)

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง การศึกษาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของผลไม้ต่างชนิดนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์พอใจ ถามากร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษของกลุ่มข้าพเจ้า ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมากรวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและกราบขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยแนะนำ และช่วยให้การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังใจทรัพย์ทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจ โดยตลอด

อรพรรณ จันทร์เรืองฤทธิ์
 อาจารย์ สายบุญยัง
 8 มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	ง
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	
1. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	2
2. หลักพื้นฐานของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	3
3. คุณลักษณะของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	4
3.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	
4. การบรรจุผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็ง	6
5. กกล้วย (Banana)	7
6. สตอเบอรี่ (Strawberry)	8
7. ขนุน (Jack fruit)	9
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง	10
-วัตถุประสงค์และอุปกรณ์	
-วิธีการทดลอง	
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	12
1. ความชื้น, ค่า water activity และ เปอร์เซ็นต์ผลผลิต	
2. การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์	
3. Rehydration Ratio	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	16
ภาคผนวก	18
บรรณานุกรม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. แผนภูมิสถานะของน้ำบริสุทธิ์	2
2. กราฟเปรียบเทียบเวลาและอุณหภูมิในการทำแห้ง 3 วิธี	3
3. ขั้นตอนในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	6
4. กลัวยน้ำว้า	7
5. สตรอเบอร์รี่	8
6. ขนุน	9
7. กราฟแสดงอัตราการคืนตัวของขนุนแห้ง, กลัวยน้ำว้าแห้ง และสตรอเบอร์รี่แห้ง ที่อุณหภูมิ 25°C	14
8. เตาอบลมร้อน	18
9. เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR 300	19
10. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	22
11. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	22
12. ผลึกน้ำแข็งหลังจากผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	23

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ค่าความชื้น water activity และเปอร์เซ็นต์ผลผลิต	12
2. ค่าสี L, a และ b	13
3. ค่าการคืนสภาพที่เวลาต่างๆ	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

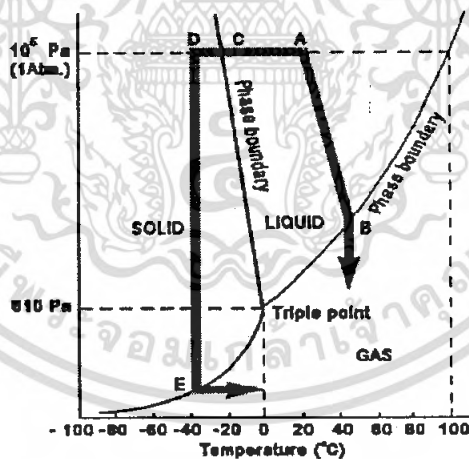
ประเทศไทยปัจจุบันประสบปัญหาผลิตผลทางการเกษตรล้นตลาด ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ยังไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในด้านการเกษตร สามารถพบเห็นได้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะเมื่อถึงฤดูร้อนผลไม้จะมีผลผลิตออกมาจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาตกต่ำ ดังนั้นทางเลือกที่ดีที่สุดทางหนึ่งคือการนำผลไม้ไปแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ สามารถทำให้บริโภคได้ตลอดทั้งปีโดยไม่ต้องรอให้ถึงฤดูกาลของผลไม้แต่ละชนิด อีกทั้งยังได้รสชาติแปลกใหม่ แตกต่างออกไปยังเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภคด้วย ซึ่งในที่นี้เลือกใช้การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (Sublimation Drying) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “Lyophilization” เป็น กระบวนการทำแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ และความดันต่ำจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สี กลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียงกับของสด ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยวิธีนี้นั้นมีคุณสมบัติของสารที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด สามารถคงตัวอยู่ได้นาน ณ อุณหภูมิห้อง และข้อดีที่สำคัญคือสามารถนำกลับมาคืนสภาพ (reconstitute) ได้ง่ายมาก ปัญหาพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากผลไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ กุ้ง ขนุน และ สตรอเบอร์รี่ โดยได้นำมาวิเคราะห์ค่าความชื้นก่อน และหลังกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง วัดความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังการทำแห้งแบบเยือกแข็ง การวัดค่า water activity (A_w) ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและหาอัตราการคืนตัว (rehydration ratio) ของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดเวลาต่างกัน คือ 30 60 90 120 และ 150 นาที โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

1. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (Sublimation Drying) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “Lyophilization” เป็น กระบวนการทำแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สีกลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียง กับของสด ผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาทำแห้งแบบเยือกแข็ง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง เช่น อาหาร เครื่องสำอาง ยาและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เนื่องจากการทำแห้งแบบเยือกแข็งนี้ มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงทั้งเงินทุนตั้งต้นและค่าใช้จ่ายดำเนินการ ดังนั้น การเลือกใช้เทคโนโลยีจึงต้องพิจารณาความต้องการของตลาดและปัจจัยสนับสนุนอื่น ๆ ควบคู่กันไปด้วย

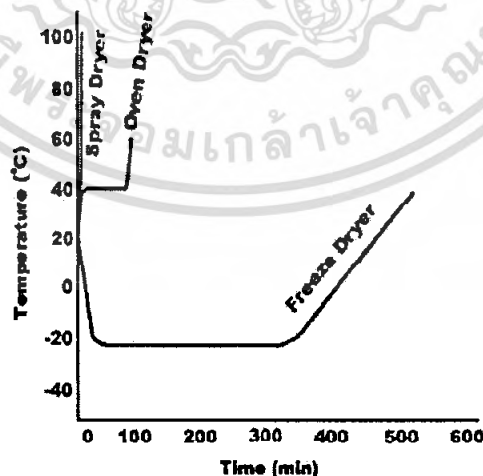


ภาพที่ 1 แผนภูมิสถานะของน้ำบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักพื้นฐานของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

หลักพื้นฐานของกระบวนการทำแห้งชนิดต่าง ๆ สามารถอธิบายได้จากแผนภูมิสถานะ (Phase diagram) ของน้ำบริสุทธิ์ ดังแสดงในภาพที่ 1 จุด A ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ (30 °C และ 105 Pa) น้ำอยู่ในสถานะของเหลว การทำแห้งโดยทั่วไป (Conventional Drying) จะให้พลังงานความร้อนกับผลิตภัณฑ์ จนถึงระดับความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (Latent Heat of Evaporation) น้ำภายในผลิตภัณฑ์ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่จุด B แต่การทำแห้งแบบเยือกแข็งจะลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จนถึงจุดเยือกแข็ง C หรือจุด D ซึ่งต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพื่อให้ น้ำภายในผลิตภัณฑ์สร้างผลึกเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นลดความดันสูญญากาศลงจนต่ำกว่าจุด E หรือเส้นขอบเขตของการเปลี่ยนสถานะ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหิดเปลี่ยนสถานะเป็นไอ และในขั้นตอนสุดท้ายจึงค่อย ๆ ให้พลังงานความร้อนแฝงของการระเหิด (Latent Heat of Sublimation) ยกอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อให้ น้ำแข็งระเหิดเป็นไอได้อย่างสมบูรณ์แต่ในความเป็นจริงปริมาณความชื้นหรือน้ำที่ อยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่ได้อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ มักจะอยู่ผสมกับสารอื่น ๆ ในรูปของตัวทำละลาย (Solvent) และตัวถูกละลาย (Solute) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร ดังนั้นในการทำแห้งแบบเยือกแข็งกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จึงมีข้อแตกต่าง ข้อจำกัดและมีลักษณะเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบเวลาและอุณหภูมิในการทำแห้ง 3 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คุณลักษณะของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากการทำแห้งโดยทั่วไป คือ เป็นการทำแห้งภายใต้อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ ใช้เวลาการทำแห้งนานเนื่องจากต้องการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดมากที่สุด จากกราฟการเปรียบเทียบเวลาและอุณหภูมิการทำแห้งในภาพที่ 2 การทำแห้งแบบเยือกแข็งใช้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน ในขณะที่การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ใช้อุณหภูมิสูงในเวลาสั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่นำมาแปรรูปว่ามีองค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์และคุณค่าอื่น ๆ ที่ได้รับความเสียหาย เนื่องจากความร้อนมากน้อยเพียงไร ผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นและมีการตลาดรองรับเพียงพอ โดยสรุปแล้วกระบวนการและผลิตภัณฑ์ จาก การทำ แห้งแบบเยือกแข็งมีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้ คือ

- 1) **ข้อดี** ผลิตภัณฑ์มีความเสียหายต่ำ โครงสร้างผลิตภัณฑ์มีรูพรุนมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ สามารถคืนตัว (Rehydration) ได้อย่างรวดเร็ว
- 2) **ข้อจำกัด** เครื่องมือมีราคาแพงกว่าการทำแห้งชนิดอื่นประมาณ 3 เท่าตัว มีความสิ้นเปลืองเวลาและพลังงานในการดำเนินการมาก

3.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก (Main Process) 3 ขั้นตอน คือ การแช่เยือกแข็ง (Freezing) การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary Drying) และการทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary Drying) ส่วนขั้นตอนย่อยประกอบกระบวนการ ได้แก่ การเตรียมผลิตภัณฑ์ (Preparation Process) และการบรรจุภัณฑ์ และการจัดเก็บ เป็นกระบวนการหลังการผลิต (Post Process) ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยมีรายละเอียดของกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

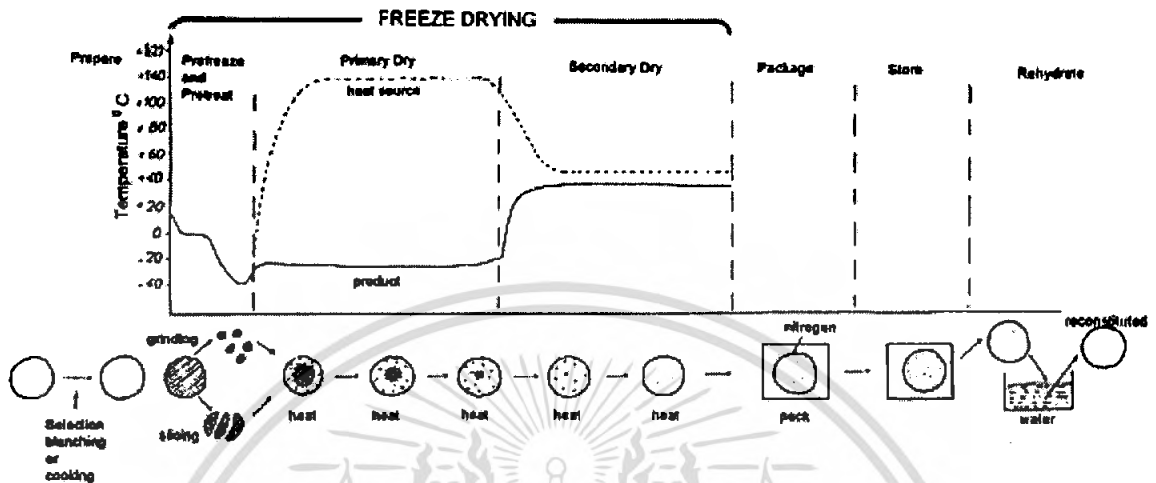
3.1.2 การแช่เยือกแข็ง (Freezing) ในขั้นตอนนี้เป็น การลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ให้น้ำหรือสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ สิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง ระดับความเร็วของการแช่เยือกแข็งควรเป็นการแช่เยือกแบบเร็ว (Quick freezing) ขึ้นไปเนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นจะมี ขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์แข็งตัวอย่างรวดเร็วลักษณะของผลึกเช่นนี้ ไม่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่หากเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Natural freezing) เวลาในการเกิดผลึกนาน ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เปิดช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เซลล์แตกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้รับความเสียหาย การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด เป็นต้น

3.1.3 การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary drying) ขั้นตอนนี้เป็น การลดความดันลง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอ ออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระดับของความดันสูญญากาศ ควรอยู่ในระดับสูญญากาศละเอียด (Fine Vacuum) ถึงระดับสูญญากาศสูง (High Vacuum) ซึ่งมีความดันต่ำกว่า 132 Pa และ 132 mPa ตามลำดับ การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์พฤติกรรม การระเหิดของผลึกน้ำแข็งระหว่างการทำแห้งระยะที่ 1 จากกราฟในภาพที่ 3 แหล่งความร้อนถ่ายเทความร้อนแฝงในการระเหิดกับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ชั้นผลึกน้ำแข็งซึ่งเป็นน้ำอิสระ (Free Water) ระเหิดออกไปจากผลิตภัณฑ์ โดยมีลำดับของการระเหิด ดังนี้

- การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (Ice Layer) บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์
- ชั้นน้ำแข็งที่ระเหิดไป กลายเป็นชั้นแห้ง (Dry Layer) อยู่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์
- ชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทั้งนี้

เวลาการระเหิด (Sublimation Time) ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่าโครงสร้างเซลล์ โปร่งหรือแน่นเพียงใด

3.1.4 การทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary Drying) ในขั้นตอนนี้เป็น การกำจัดน้ำที่อยู่ในรูปของพันธะกับสารอื่น (Bound Water) ในผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่ตกผลึกและแข็งตัวไปกับน้ำอิสระ ช่วง การทำแห้งนี้ เรียกว่า "Desorption" ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้น เมื่อการทำแห้งระยะที่ 1 การระเหิดของน้ำ อิสระหมดไป จากกราฟในภาพที่ 3 ช่วงของการ Desorption อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแฝงให้ชั้นน้ำ แข็งหมดไป พลังงานจากแหล่งความร้อนจึงถ่ายเทสู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง



ภาพที่ 3 ขั้นตอนในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

4. การบรรจุผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็ง

เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ ต้องการคุณภาพสูง ดังนั้น การจัดเก็บและบรรจุภัณฑ์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็งมีความไวต่อการเสียหาย ในสภาพบรรยากาศปกติคุณสมบัติการดูดความชื้นกลับ(Hygroscopic) ปฏิกริยากับออกซิเจน ความเปราะบางและการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ด้วยเหตุนี้การเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงควรมีลักษณะดังนี้ คือ อยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modify Atmosphere)เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ(Vacuum Pack) หรือการบรรจุแบบเติมไนโตรเจน(Nitrogen Pack) และอยู่ในภาชนะบรรจุที่มีการป้องกัน เช่น ถุงกันกระแทก ครอบพลาสติกหรือโลหะ เป็นต้น



ภาพที่ 4 กล้วยน้ำว้า

5. กล้วย (Banana)

ชื่อพฤกษศาสตร์ : *Musa hybrid L.*

วงศ์ : MUSACEAE

กล้วยเป็นไม้ผลเขตร้อน ที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผลสุกนอกจากจะใช้รับประทานเป็นผลไม้แล้ว ยังสามารถนำมาปรุงอาหารคาวหวาน และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปชนิดต่าง ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ กล้วยตาก ท็อปปี้ กล้วยทอด กล้วยบวชชี กล้วยในน้ำเชื่อม กล้วยปิ้ง เป็นต้น เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ อีกทั้งปลูกแล้วดูแลรักษาง่าย ให้ผลผลิตเร็ว และเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย รวมทั้งตลาดยังมีความคล่องตัวสูงทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออก กล้วยจึงเป็นไม้ผลที่เกษตรกรควรพิจารณาปลูกเป็นการค้าทั้งในลักษณะพืชหลักหรือแซมพืชอื่น ๆ เป็นการเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง สามารถรับประทานผลสุกและประกอบอาหารได้มากมาย รวมทั้งผลิตภัณฑ์สามารถส่งขายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ถ้าหากมีการปรับปรุงคุณภาพให้ดีกว่าเดิม และมีการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด จะสามารถทำรายได้ให้ประเทศได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 สตรอเบอร์รี่

6. สตรอเบอร์รี่(Strawberry)

สตรอเบอร์รี่ จัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกระจายกันมากที่สุดในโลก สามารถพบได้แทบทุกประเทศตั้งแต่ แถบขั้วโลกลงมาถึงพื้นที่ในเขตร้อน ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสภาพภูมิอากาศและชนิดดินที่ใช้ปลูก บางพันธุ์จะพบว่าสามารถปลูก ในทางเหนือของโลก เช่น รัฐ Alaska ได้ดีเท่ากับปลูกในทางใต้ลงมาเช่นแถบ Equator สตรอเบอร์รี่ เป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อยและเป็นที่ยุ้จักกันโดยทั่วไปมาหลายร้อยปีมาแล้ว ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาพบว่ามีผลผลิต ที่ใช้สำหรับบริโภคเป็นผลสด และใช้ในเชิงอุตสาหกรรมแปรรูปได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็วตามประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ทั้งนี้เป็นสาเหตุมาจากการผสมพันธุ์ใหม่ที่ทำให้ผลผลิตยาวนานขึ้น การนำระบบปลูกแบบคลุมอย่างใกล้ชิดมาใช้ ตลอดจนการเลือกพื้นที่ปลูก ที่มีความเหมาะสมมากกว่าแต่ก่อน ในปัจจุบันนี้ก็ยังมีการทดลองวิจัยที่จะหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อที่จะทำให้การปลูก สตรอเบอร์รี่นั้นง่ายขึ้น โดยเน้นการให้ผลผลิตสูงและสามารถทำรายได้ตอบแทนเป็นที่พอใจแก่เกษตรกรผู้ปลูก ในประเทศไทยแม้ว่าจะมีพื้นที่ปลูกสตรอเบอร์รี่ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ เช่น บางอำเภอในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย และในพื้นที่ บางจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลย และจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นต้น แต่ยังมีแนวโน้มที่สามารถปลูกได้ผลพอสมควร ในพื้นที่สูงของภาคกลาง เช่น แถบบนภูเขาของจังหวัดกาญจนบุรี เนื่องจากความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ ขณะนี้ สตรอเบอร์รี่จึงถูกพิจารณาจัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ ซึ่งสามารถช่วยยกฐานะความเป็นอยู่ของเกษตรกรผู้ปลูกนับเป็นพันครอบครัว ให้ดีขึ้นทั้งพื้นที่ราบและบนที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่ามีศักยภาพสูงมาก สำหรับการผลิตสตรอเบอร์รี่เพื่อจุดประสงค์ในการขยายช่วงของ การเก็บเกี่ยวหรือผลิตให้ผลออกนอกฤดูกาลบนพื้นที่สูงของประเทศ ไทยซึ่งมีสภาพอากาศหนาวเย็นพอเหมาะตลอดทั้งปีและมีอนาคต สำหรับการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 ขนุน

7. ขนุน

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Artocarpus heterophyllus* Lam.

วงศ์ MORACEAE

ชื่อสามัญ Jackfruit Tree

ชื่ออื่นๆ มะหุนน หมักหมี่ หมากกลาง

ไม้ต้น ขนาดใหญ่ สูง 15 - 30 เมตร ลำต้นและกิ่งเมื่อมีบาดแผลจะมีน้ำยางสีขาวข้นคล้ายน้ำมันไหล

ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ แผ่นใบรูปรี ขนาดกว้าง 5-8 เซนติเมตร ยาว 10 - 15 เซนติเมตร ปลายใบหู่ถึงแหลม โคนใบมน ผิวในด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมัน เนื้อใบหนาผิวใบด้านล่างจะสากมือ

ดอก เป็นช่อแบบช่อเชิงสดแยกเพศอยู่รวมกัน ดอกเพศผู้เรียกว่า "สำ" มักออกตามปลายกิ่ง ดอกเพศเมียจะออกตามกิ่งใหญ่และตามลำต้นยอดเกสรเพศเมีย เป็นหนามแหลม ส่วนของเนื้อที่รับประทานเจริญมาจากกลีบดอก ส่วนช่อก็คือกลีบเลี้ยง

ผล เป็นผลรวมมีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

วัตถุดิบและอุปกรณ์

1. ขนุน
2. กล้วยน้ำว้า
3. สตรอเบอร์รี่
4. เครื่อง Freeze dry Labconco
5. ฟรีสตราย ฟลาสก์ (Freeze dry flask) 1200 ml.
6. อแดปเตอร์(adaptor)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
9. อลูมิเนียม แคน
10. เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR 300
11. เครื่องวัดค่า water activity รุ่น Thermoconstanter
12. ตลับใส่ ตัวอย่าง
13. คีมคีบ
15. โถดูดความชื้น (desicator)
16. เขียง
17. มีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เตรียมวัตถุดิบ

- 1.1 หั่นขุ่นให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า ขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร
- 1.2 นำกล้วยน้ำว้าที่ไม่สุกและไม่ห่ามเกินไป ปอกเปลือก จากนั้นนำมาหั่นเป็นแผ่นตามขวางของผล หนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร
- 1.3 นำสตรอเบอร์รี่มาล้างให้สะอาด จากนั้นนำมาหั่นเป็นแผ่นตามความยาวของผล หนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร

3. การแช่เยือกแข็ง

- 2.1 นำผลไม้ทั้ง 3 ชนิด มาชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 150 กรัม แล้วนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะ
- 2.2 นำตัวอย่างที่ใส่ภาชนะเรียบร้อยแล้ว ไปแช่เยือกแข็งในตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิประมาณ -60°C ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

2. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dried)

- 3.1 นำตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการแช่แข็งแล้วมาใส่ในพลาสติก 1200 ml. ที่ต่อเข้ากับอแดปเตอร์ แล้วจึงต่อเข้ากับเครื่อง freeze dry โดยที่เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติที่สภาวะการทำแห้ง ความดันต่ำกว่า 0.13 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ -40°C

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ความชื้น, ค่า water activity และ เปอร์เซ็นต์ผลผลิต

ตารางที่ 1. ค่าความชื้น water activity และเปอร์เซ็นต์ผลผลิต

ตัวอย่าง	ความชื้นตัวอย่างสด (%)	ความชื้นตัวอย่างที่ผ่านการ freeze dried (%)	ค่า water activity	% yield	เวลาในการทำแห้ง (ชั่วโมง)
กล้วยน้ำว้า	64.77	6.47	0.25	33.42	26
ขนุน	76.51	6.12	0.24	29.29	30
สตรอเบอร์รี่	92.65	5.34	0.12	9.25	34

จากการทดลอง พบว่า สตรอเบอร์รี่สดมีความชื้นมากที่สุด รองลงมาเป็นขนุน และกล้วยน้ำว้า ตามลำดับ และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งมาวัดค่าความชื้น พบว่าความชื้นของสตรอเบอร์รี่แห้งมีความชื้นลดลงเหลือน้อยที่สุด รองลงมาเป็นขนุนและกล้วยน้ำว้า ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก โครงสร้างลักษณะเนื้อเยื่อของผลไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โครงสร้างเนื้อสัมผัสของสตรอเบอร์รี่มีลักษณะเป็นรูพรุนมาก การระเหยของน้ำจึงออกไปได้มาก และในสตรอเบอร์รี่ที่มีปริมาณน้ำอยู่มากก็แสดงว่ามีปริมาณของของที่เหลืออยู่น้อยกว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสตรอเบอร์รี่แห้งจึงน้อยที่สุด ส่วนขนุนสดมีปริมาณความชื้นอยู่น้อยกว่าสตรอเบอร์รี่แต่มากกว่ากล้วยน้ำว้า การระเหยน้ำออกไปจึงเหลือน้อยเป็นอันดับที่ 2 รองจากสตรอเบอร์รี่ เมื่อปริมาณน้อยที่มีในผลิตภัณฑ์สดน้อยกว่า ดังนั้น ของแข็งที่มีในผลิตภัณฑ์จึงมีมากกว่า และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของขนุนจึงมากกว่าสตรอเบอร์รี่ด้วย กล้วยน้ำว้าสดมีปริมาณความชื้นอยู่น้อยที่สุด ความชื้นที่เหลืออยู่หลังจากทำแห้งจึงเหลือมากที่สุด เนื่องมาจากเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่มีน้อย จึงมีของแข็งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์มาก ดังนั้นเมื่อผ่านการทำแห้ง กล้วยน้ำว้าจึงมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่มากที่สุด

ค่า water activity ของผลไม้แต่ละชนิดก็จะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ของผลิตภัณฑ์หลังจากทำแห้ง นั่นก็คือ สตรอเบอร์รี่มีค่า aw ค่าที่สุด รองลงมาเป็น ขนุนและกล้วยน้ำว้า ตามลำดับ

เวลาที่ใช้ในการทำแห้งของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีของผลิตภัณฑ์สด ซึ่งจะเห็นว่า กล้วยน้ำว้าใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุด รองลงมาเป็นขนุน และสตรอเบอร์รี่ ตามลำดับ เพราะว่า ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ของผลิตภัณฑ์สดแตกต่างกัน เมื่อปริมาณความชื้นน้อย เวลาที่ใช้ก็จะน้อยลงไปด้วย แต่ถ้าปริมาณความชื้นมีอยู่มาก เวลาที่ใช้ก็จะมากขึ้นด้วย

2. การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2. แสดงค่าสี L, a, b ของผลิตภัณฑ์

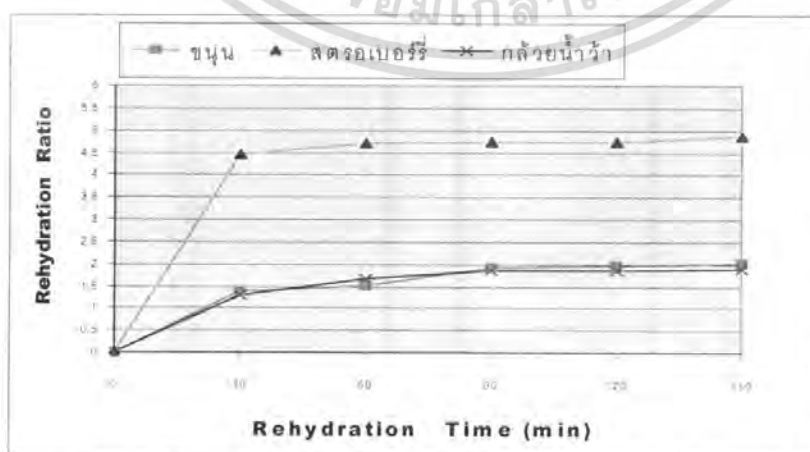
ตัวอย่าง		สด	Freeze dried
สตรอเบอร์รี่	L	42.34 ± 0.72 ^a	54.11 ± 1.34 ^b
	a	37.38 ± 1.16 ^a	35.52 ± 2.29 ^a
	b	28.86 ± 2.24 ^a	18.52 ± 1.92 ^b
ขนุน	L	65.22 ± 0.75 ^a	79.52 ± 1.59 ^b
	a	3.98 ± 0.83 ^a	0.21 ± 0.2 ^b
	b	54.72 ± 1.38 ^a	52.30 ± 3.6 ^a
กล้วยน้ำว้า	L	76.03 ± 0.74 ^a	79.47 ± 0.46 ^b
	a	4.15 ± 0.31 ^a	3.11 ± 0.17 ^b
	b	21.88 ± 1.22 ^a	16.84 ± 0.52 ^b

*ตัวอักษรระบุด้านบนของตัวเลขที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าค่าตัวเลขมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

**ข้อมูลเปรียบเทียบในชุดตัวอย่างชนิดเดียวกัน

ค่า L คือ ค่าความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ค่า a คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียวถ้า a มีค่าเป็นลบ แสดงว่ามีค่าความเป็นสีเขียวมากกว่าสีแดง ถ้าค่า a เป็นบวก แสดงว่ามีค่าความเป็นสีแดงมากกว่า สีเขียว ค่า b คือ ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า b เป็นลบแสดงว่ามีค่าความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีเหลือง ถ้าค่า b เป็นบวกแสดงว่า มีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าสีน้ำเงิน จากการทดลองลักษณะสีของขนุนแห้งจะมีค่าความสว่าง (L) และค่าความเป็นสีแดง (a) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ($P > 0.05$) จากการมองด้วยสายตา ผลิตภัณฑ์ที่มีสีซีดลงแต่คงความเป็นสีเหลืองของขนุน ได้เหมือนผลิตภัณฑ์สด สำหรับกล้วยน้ำว้าแห้ง จะมีค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง(b)มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้าสดโดยผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่เปลี่ยนแปลงไป คือ สีซีดลงชัดเจนกว่ากล้วยน้ำว้าสด และสตอเบอร์รี่แห้งจะมีค่าความเป็นสีแดง (a)ไม่เปลี่ยนแปลง ($P > 0.05$) แต่ค่าความสว่าง (L) และค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสตอเบอร์รี่สด จากการสังเกตด้วยสายตาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นสีแดงไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์สดดังแสดงในตารางที่ 2.

3. Rehydration Ratio



ภาพที่ 7 กราฟแสดงอัตราการคืนตัวของขนุนแห้ง, กล้วยน้ำว้าแห้ง และสตอเบอร์รี่แห้ง

เอกสารที่อุณหภูมิ 25°C ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงอัตราส่วนการคืนตัวของผลิตภัณฑ์แห้งทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งแสดงในภาพที่ 7. พบว่าสตอเบอร์รี่มีอัตราการคืนตัวสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขนุน และกล้วยน้ำว้า ซึ่งมีอัตราการคืนตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ขนุนจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องมาจากลักษณะโครงสร้างภายในเนื้อเยื่อของสตอเบอร์รี่มีความเป็นรูพรุนมากกว่าขนุนและกล้วยน้ำว้า เมื่อนำมาคืนตัวจึงมีอัตราการคืนตัวสูงที่สุดและการดูดน้ำกลับของสตอเบอร์รี่เป็นในลักษณะดูดพร้อมกันทั้งชิ้น จึงทำให้อัตราการคืนสภาพในแต่ละเวลาไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนกล้วยน้ำว้าก็เช่นกันมีการคืนสภาพพร้อมกันจึงทำให้อัตราการคืนสภาพในแต่ละเวลาไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อพิจารณาที่เส้นกราฟอัตราการคืนสภาพของขนุน จะพบว่ามีความชันเกิดขึ้นชัดเจนกว่าในผลไม้ 2 ชนิดที่กล่าวมา ในช่วงเวลาที่ 30 60 และ 90 นาที ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจาก ขนุนมีการคืนสภาพแบบค่อยๆดูดน้ำกลับไม่ได้ดูดทีเดียวเหมือนกับสตอเบอร์รี่และกล้วยน้ำว้าผลของการคืนสภาพที่แตกต่างกันของผลไม้ทั้ง 3 ชนิดนั้น เนื่องจาก ผลไม้แต่ละชนิดมีลักษณะ โครงสร้างภายในของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามทั้งขนุน กล้วยน้ำว้าและสตอเบอร์รี่ จะมีอัตราการคืนสภาพที่สูงในช่วงแรกเท่านั้น แต่เมื่อเวลาในการคืนสภาพนานขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของการคืนสภาพจะมีค่าน้อยมากจนเกือบคงที่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังทำแห้งมีค่าเท่ากับ 6.47 % ขนุนเท่ากับ 6.12 % และ สตรอเบอร์รี่เท่ากับ 5.34 % และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 33.42 ขนุนเท่ากับ 29.29 และสตรอเบอร์รี่เท่ากับ 9.25 ตามลำดับ
2. ค่า water activity ของกล้วยน้ำว้า ขนุน และสตรอเบอร์รี่เท่ากับ 0.25 0.24 และ 0.12 ตามลำดับ
3. เวลาที่ใช้ทำแห้งของกล้วยน้ำว้า ขนุน และสตรอเบอร์รี่เท่ากับ 26 30 และ 34 ชั่วโมง ตามลำดับ
4. ค่าสีของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สด
5. อัตราการควบแน่นกลับจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30 นาทีแรก จากนั้นจะค่อยๆลดลง จนกระทั่งเกือบคงที่

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเป็นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งใช้เวลาทำแห้งจนกระทั่งผลิตภัณฑ์แห้งสนิท ไม่มีไอน้ำเกาะที่พลาสติก จึงทำให้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทำแห้งผลไม้ทั้ง 3 ชนิด มาวัดค่า water activity แล้วทำให้ค่า water activity มีค่าต่ำมากซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งเช่นนี้ อาจไม่จำเป็นต้องลดค่า water activity จนกระทั่งต่ำเท่ากับที่ทำการทดลอง เนื่องจากการลดค่า water activity จนต่ำมากจะทำให้การเก็บรักษาขาดความคงทน ดังนั้นการเก็บรักษาจำเป็นต้องใช้ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันความชื้น



บรรณานุกรม

- โครงการสมุนไพรมุ่งตนเอง. คู่มือสมุนไพรมาน่าใช้ เล่ม 2. กรุงเทพฯ: บริษัทเอคิสันเพรส
โปรดักส์จำกัด, 2528:84.
- Ang, T.K., Ford, J.D. and Pei, D.C. 1978. Optimal modes of operation for microwave freeze drying
of food. *Journal of Food Science*, 43 : 648-652.
- Arsem, H.B and Ma, Y.H.1990. Simulation of a combined microwave and radiant freeze dryer.
Drying Technology, 8 (5) : 993-1016
- Flink, J. M. and Knudsen, H. 1983. **An Introduction to Freeze Drying.** Strandberg
Bogtryk/Offset., Denmark.95 p.
- Oetjen, G. W. 1999. **Freeze-Drying.** Wiley-VCH., NewYork. 276 p.
- Snowman, J. W. 1997. **Freeze Dryers in Industrial Drying of Foods.** Blackie Academic and
Professional,London. pp. 134-155.

ภาคผนวก

การหาค่า Water activity (Aw)

สารเคมีและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า Water activity
2. ตลับพลาสติก

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง warm เครื่องประมาณ 30 นาที
2. นำตัวอย่างบรรจุลงในตลับพลาสติกที่เตรียมไว้ประมาณ 2 ใน 3
3. นำตลับวางลงใน chamber โดยไม่ต้องปิดฝา
4. รอจนเครื่องแสดงค่าคงที่
5. อ่านค่า

การหาความชื้น



ภาพที่ 8 เตาอบลมร้อน (Hot air oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความชื้น

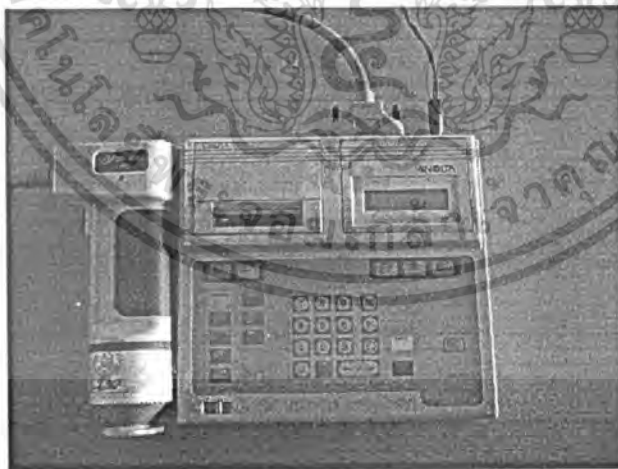
1. หั่นตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้มีน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
2. นำมาใส่ในแกน
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ (โดยนำออกมาไว้ในโถดูดความชื้น 30 นาทีก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก ทำแบบนี้เรื่อยๆ จนกว่าน้ำหนักจะคงที่)
4. นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที และชั่งน้ำหนักสุดท้าย (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และคำนวณค่าความชื้นด้วยสูตรดังนี้

$$\% = \frac{\text{นน.ก่อนอบ} - \text{นน.หลังอบ}}{\text{นน.ก่อนอบ}} \times 100$$

นน.ก่อนอบ

การวัดค่าความชื้น

สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR 300



ภาพที่ 9 เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

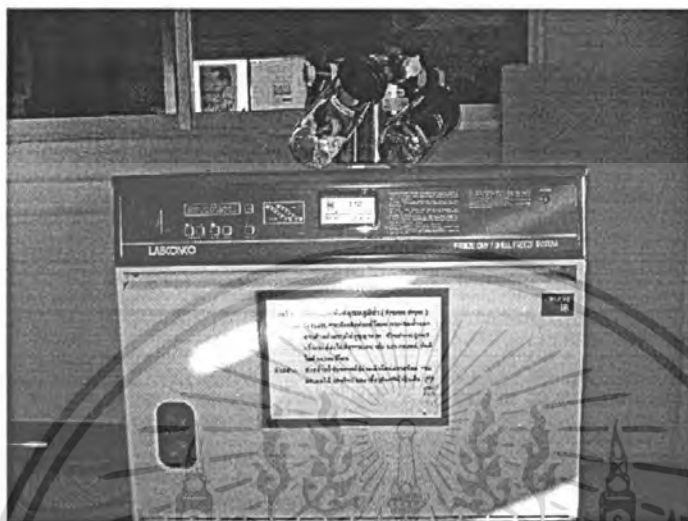
1. ทำการเทียบมาตรฐานในการวัดสีของเครื่องกับแผ่นมาตรฐานโดยการนำกระบอกวัดสีไปแตะกับแผ่นเซรามิก จากนั้นกดปุ่ม calibrate รอจนเครื่องทำงานเสร็จ แล้วกดปุ่ม measure บนเครื่อง เครื่องจะทำการวัดสีของแผ่นเซรามิก จากนั้นเทียบว่าค่าของสีนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่
2. เมื่อทำการเทียบมาตรฐานเครื่องเสร็จแล้ว ให้นำส่วนที่เป็นกระบอกวัดสีไปแตะบริเวณผิวของ ชันขนุน ชันกล้วย และชันสตรอเบอร์รี่ ที่ต้องการวัดสี
3. กดปุ่มบนกระบอกวัดสี เครื่องจะทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง จากนั้นอ่านค่าสีที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผล
4. บันทึกค่าในโหมดแสดงสีแบบ Lab ค่า L,a,b



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้เครื่อง Lyophilizer

1. ตั้งเกตที่ฝาปิดและข้อต่อต่างๆของเครื่องว่า แวกคิ้วอัม กรีส (Vacuum grease) แห้งหรือยัง ถ้าพบว่าแห้งต้องนำมาทาตรงบริเวณที่แห้ง
2. เสียบปลั๊กไฟให้สังเกตไฟสีส้มที่ด้านหลังเครื่อง รอจนกว่าไฟสีส้มหยุดกระพริบ
3. กดสวิทซ์(Switch) On
4. กดปุ่ม Manual รอจนอุณหภูมิตกลงถึงจุดที่ต้องการ (จุดสีเขียวขึ้นจนเต็มแถบ และเลิกกระพริบ) ใช้เวลาประมาณ 30 นาที
5. เช็ควาล์ว (Valve) ทุกตัว ให้ปิดสนิท
6. กดปุ่ม แวกคิ้วอัม (Vacuum) รอจนความดันลดลงถึงจุดที่ต้องการ (จุดสีเขียวขึ้นจนเต็มแถบ และเลิกกระพริบ) ใช้เวลาประมาณ 30 นาที
7. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการทำ ฟรีสไดร (Freeze dried)
9. เอาตัวอย่างออกได้ โดยการดูดอากาศเข้าไปทำให้ตัวอย่างไม่เป็นสุญญากาศ
8. หลังจากนำตัวอย่างออกหมดแล้วต้องทำการ เบรกแวกคิ้วอัม (Break vacuum)
9. กดปิด แวกคิ้วอัม (Vacuum)
10. กดปิด Manual
11. กดปุ่มละลายน้ำแข็ง (Defrost)
12. รอจนจุดสีเขียวที่ขึ้นเต็มแถบ ในตอนแรกตกลงจนอยู่ที่จุดเริ่มต้น
13. กดปิด Defrost
14. ใช้ผ้าแห้งเช็ดทำความสะอาดเครื่อง

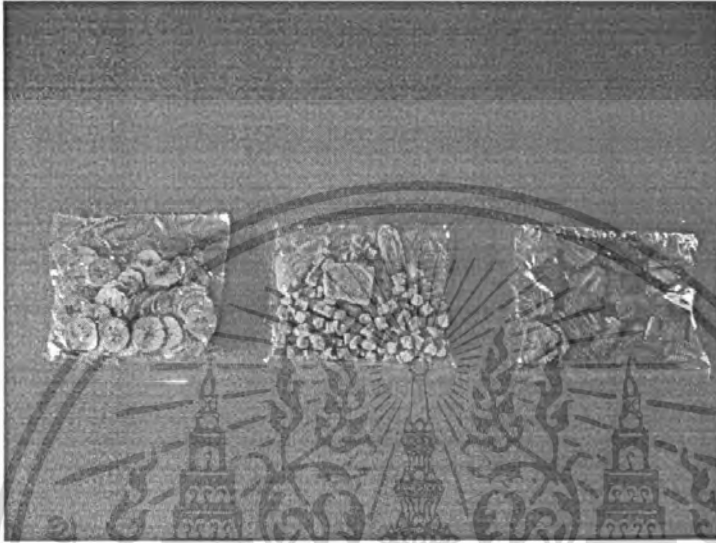


ภาพที่ 10 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 11 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 12 ผลึกภัณฑ์หลังจากผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนสภาพ (Rehydration)

- นำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จุ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 60 90 120 และ 150 นาที ตามลำดับ
- เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เช่นเมื่อครบ 30 นาที นำตัวอย่างขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำประมาณ 5 นาที
- นำตัวอย่างที่สะเด็ดน้ำแล้วไปชั่งน้ำหนักและนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหา Rehydration Ratio ดังนี้
น้ำหนักตัวอย่างหลังdrain - น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น(ตัวอย่างแห้ง)

น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (ตัวอย่างแห้ง)

ตารางที่ 2. การคืนสภาพ (Rehydration)

ตัวอย่าง	เวลา (นาที)	Rehydration Ratio
สตรอเบอร์รี่	0	0
	30	4.46
	60	4.71
	90	4.73
	120	4.74
	150	4.81
ขนุน	0	0
	30	1.38
	60	1.52
	90	1.93
	120	1.95
	150	2.02
กล้วยน้ำว้า	0	0
	30	1.29
	60	1.68
	90	1.86
	120	1.87
	150	1.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยใช้ โปรแกรม SPSS v.11

T-Test

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 สดรอเบอริสด (L)	42.3367	3	.71598	.41337
สดรอเบอริชดราย (L)	54.1100	3	1.34347	.77565
Pair 2 สดรอเบอริสด (a)	37.3833	3	1.15902	.66916
สดรอเบอริชดราย (a)	35.5200	3	2.29373	1.32429
Pair 3 สดรอเบอริสด (b)	28.8567	3	2.23532	1.29056
สดรอเบอริชดราย (b)	18.5200	3	1.92125	1.10923

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 สดรอเบอริสด (L) & สดรอเบอริชดราย (L)	3	.909	.274
Pair 2 สดรอเบอริสด (a) & สดรอเบอริชดราย (a)	3	-.483	.679
Pair 3 สดรอเบอริสด (b) & สดรอเบอริชดราย (b)	3	.483	.679

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 สดรอเบอริสด (L) & สดรอเบอริชดราย (L)	1.7733	.75434	.43552	13.6472	-9.8994	-27.033	2	.001
Pair 2 สดรอเบอริสด (a) & สดรอเบอริชดราย (a)	1.8633	3.02895	1.74876	-5.6610	9.3877	1.066	2	.398
Pair 3 สดรอเบอริสด (b) & สดรอเบอริชดราย (b)	10.3367	2.13013	1.22983	5.0451	15.6282	8.405	2	.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-Test**Paired Samples Statistics**

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนุนสด (L)	66.2233	3	.75162	.43395
	ขนุนพีชทราย (L)	79.5233	3	1.58774	.91668
Pair 2	ขนุนสด (a)	3.9833	3	.82815	.47813
	ขนุนพีชทราย (b)	.2100	3	.19975	.11533
Pair 3	ขนุนสด (b)	54.7233	3	1.37932	.79635
	ขนุนพีชทราย (b)	52.3033	3	3.59606	2.07619

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนุนสด (L) & ขนุนพีชทราย (L)	3	-.966	.167
Pair 2	ขนุนสด (a) & ขนุนพีชทราย (b)	3	-.860	.341
Pair 3	ขนุนสด (b) & ขนุนพีชทราย (b)	3	-.913	.267

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 ขนุนสด (L) - ขนุนพีชทราย	13.3000	2.32181	1.34050	19.0677	-7.5323	-9.922	2	.010
Pair 2 ขนุนสด (a) - ขนุนพีชทราย	3.7733	1.00510	.58030	1.2765	6.2701	6.502	2	.023
Pair 3 ขนุนสด (b) - ขนุนพีชทราย	2.4200	4.88826	2.82224	-9.7231	14.5631	.857	2	.482

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-Test

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 สดรอเบอร์สด (L)	42.3367	3	.71598	.41337
สดรอเบอร์ฟรืชตราย (L)	54.1100	3	1.34347	.77565
Pair 2 สดรอเบอร์สด (a)	37.3833	3	1.15902	.66916
สดรอเบอร์ฟรืชตราย (a)	35.5200	3	2.29373	1.32429
Pair 3 สดรอเบอร์สด (b)	28.8567	3	2.23532	1.29056
สดรอเบอร์ฟรืชตราย (b)	18.5200	3	1.92125	1.10923

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 สดรอเบอร์สด (L) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (L)	3	.909	.274
Pair 2 สดรอเบอร์สด (a) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (a)	3	-.483	.679
Pair 3 สดรอเบอร์สด (b) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (b)	3	.483	.679

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 สดรอเบอร์สด (L) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (L)	11.7733	.75434	.43552	13.6472	-9.8994	-27.033	2	.001
Pair 2 สดรอเบอร์สด (a) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (a)	1.8633	3.02895	1.74876	-5.6610	9.3877	1.066	2	.398
Pair 3 สดรอเบอร์สด (b) & สดรอเบอร์ฟรืชตราย (b)	10.3367	2.13013	1.22983	5.0451	15.6282	8.405	2	.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้