

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาลักษณะของหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
(Study on characteristics of Chinese water chestnut chip prepared
from freeze-drying process.)



T124572

จัดทำโดย

นางสาวปานเนตร อภิวงศ์ รหัสนักศึกษา 51080029

นางสาวเมทีณี เรืองแสง รหัสนักศึกษา 51080039

นางสาวอัจฉรา แก้วมนตรี รหัสนักศึกษา 51080064

รฟ.

15747

2554

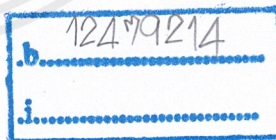
อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...124572

วัน, เดือน, ปี...4 10 2556



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาลักษณะของหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
(Study on characteristics of Chinese water chestnut chip prepared
From freeze-drying process.)

จัดทำโดย

นางสาวปานเนตร อภิวงศ์ รหัสนักศึกษา 51080029

นางสาวเมทีณี เรืองแสง รหัสนักศึกษา 51080039

นางสาวอัจฉรา แก้วมนตรี รหัสนักศึกษา 51080064

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

พรศรวิทย์

.....

(ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล)

14 พ.ค. 2555
...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวปานเนตร อภิวังค์ นางสาวเมทิตี เรืองแสงและนางสาวอัจฉรา แก้วมนตรี

: การศึกษาลักษณะของหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

(Study on characteristics of Chinese water chestnut chip prepared from freeze-drying process.)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

จากการศึกษา เรื่อง ลักษณะของหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยทำการเปรียบเทียบศึกษาระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมในสภาวะการเตรียมหัวที่ต่างกัน คือการเตรียมหัวโดยการสไลด์แบบแนวอนและแนวตั้ง ทำการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-drying process) ที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ใช้ศึกษาคือ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง นำหัวแผ่นที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) แล้วคัดเลือกระยะเวลาการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำหัวแผ่นที่ค่าปริมาณความชื้นเริ่มคงที่และนำหัวแผ่นที่ได้มาวัดค่าปริมาณน้ำอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของหัวสด คือ 78.47 เปอร์เซ็นต์และเมื่อระยะเวลาการทำแห้งมากขึ้น ปริมาณความชื้นก็จะลดลง โดยปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระจะแปรผันตรงกัน จากการทดลองระยะเวลาการทำแห้งที่เหมาะสมคือ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง และจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ผลปรากฏว่า ในการสไลด์แบบแนวตั้งที่ระยะเวลาการทำแห้ง 36 ชั่วโมงในการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ได้คะแนนความชอบสูงสุดด้านกลิ่นรส ความหวานและความชอบรวม ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์หัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปานเนตร อภิวังค์
เมทิตี เรืองแสง
อัจฉรา แก้วมนตรี

นภัสรพี

14 / ม.ค. / 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

วันเดือนปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการเสนอปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาลักษณะของแก้วแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง” เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.นภสรพี เหลืองสกุล ซึ่งให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่กรุณาตลอดเวลาอันมีค่าคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีรวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและสนับสนุนทุนทรัพย์ทำให้การจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและให้กำลังใจตลอดมา

ปานเนตร อภิวังค์
เมธิณี เรืองแสง
อัจฉรา แก้วมนตรี
14 พฤษภาคม 2555

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
หัวข้อ	3
การทำแห้ง	4
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	7
ปริมาณน้ำอิสระ	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	14
วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง	14
ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	15
สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก	34
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค	43
ประวัติผู้เขียน	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ปริมาณความชื้นของหัวแผ่นที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามการสไลด์แบบ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาใน การทำแห้งที่ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง	20
4.2 ปริมาณน้ำอิสระของหัวแผ่นที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามการสไลด์แบบ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการ ทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง	22
4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหัวแผ่นตามการ สไลด์แนวนอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการ ทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง	24
4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหัวแผ่นตามการสไลด์ แนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง	25
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหัวแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการ ทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง	27
4.6 รูปหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ระยะเวลา 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง อุณหภูมิแช่แข็ง ที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ตามการสไลด์แนวนอน	29
4.7 รูปหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ระยะเวลา 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง อุณหภูมิแช่แข็ง ที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ตามการสไลด์แนวตั้ง	30

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภูมิภาคของน้ำ	6
2.2 การระเหิด	7
2.3 ตัวอย่าง Absorption และ Desorption Isotherm ซึ่งมีรูปแบบ Sigmoidol	10
3.1 การต้มสุกเหี่ยวสด	15
3.2 เครื่องสไลด์เหี่ยว	15
3.3 ตัวอย่างที่ได้จากการสไลด์แบบแนวนอน	16
3.4 ตัวอย่างที่ได้จากการสไลด์แบบแนวตั้ง	16
3.5 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งขณะทำแห้งตัวอย่าง	16
3.6 ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบบแนวนอน	17
3.7 ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบบแนวตั้ง	17
4.1 กราฟปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของเหี่ยวแผ่นที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง	21

บทที่ 1

บทนำ

เหี่ยวเป็นพืชดั้งเดิมของแถบร้อน สามารถขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันมีการปลูกเหี่ยวเป็นการค้าในประเทศจีน ฮองกง ฟิลิปปินส์ สหรัฐอเมริกา อินเดีย อเมริกาใต้ และประเทศไทย สำหรับประเทศไทยมีการปลูกเหี่ยวมากแถบสองฝั่งแม่น้ำท่าจีน เขตอำเภอเมือง อำเภอศรีประจันต์ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากเหี่ยวในเชิงอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง ทำให้ตลาดของเหี่ยวไม่ขยายตัว เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเหี่ยวจึงล้นตลาด ทำให้ราคาตกต่ำ หัวเหี่ยวเปลือกนอกของเหี่ยวเป็นสีน้ำตาล เมื่อปอกเปลือกออกเนื้อเหี่ยวมีสีขาวกรอบ สามารถรับประทานสด บรรจุกระป๋อง คั้นน้ำหรือจะต้มทำขนมหรือใช้ประกอบอาหารทั้งคาวหวาน ส่วนใหญ่มักเป็นอาหารจีน จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากเหี่ยวให้มีลักษณะโดดเด่นมากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร เพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และช่วยยืดอายุการเก็บของเหี่ยวได้นานขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย (ผาณิต, 2550)

ผู้บริโภคในปัจจุบันได้ตระหนักและใส่ใจในด้านสุขภาพมากขึ้น จึงต้องการอาหารที่มีประโยชน์ มีความสด สะอาด ปลอดภัย และสามารถคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้แต่ด้วยข้อจำกัดของอาหารสดที่เกิดการเน่าเสียและมีโอกาสปนเปื้อนได้ง่าย เทคโนโลยีของการถนอมอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นเงื่อนไขของการผลิตอาหารในปัจจุบันและอนาคต

การทำแห้งเป็นการถนอมอาหารชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปมักจะต้องผ่านความร้อน เพื่อให้ให้น้ำออกจากผลผลิตสดซึ่งความร้อนไม่ว่าจะจากแหล่งใด ๆ ก็ตามล้วนทำให้คุณค่าทางอาหารจากผลผลิตเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียอย่างน้อยแตกต่างกันไปตามกระบวนการทำแห้งแต่ละแบบ โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่า เป็นกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการถนอมอาหาร ที่ยังคงสามารถรักษาค่าทางอาหาร รส กลิ่น รูปทรงใกล้เคียงอาหารสดมากที่สุดและสามารถทำให้คืนรูป (Rehydration) กลับมาเหมือนของสดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผัก ผลไม้ รวมทั้งสามารถควบคุมเรื่องความสะอาด ความปลอดภัยและที่สำคัญจะมีส่วนที่เป็นของเสียน้อยมาก การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นั้นน้ำถูกทำให้ออกจากวัตถุดิบด้วยกรรมวิธีที่เรียกว่า การระเหิด (Sublimation) โดยน้ำเปลี่ยนสถานะจากผลึกน้ำแข็งระเหิดเป็นไอในสภาพสุญญากาศ

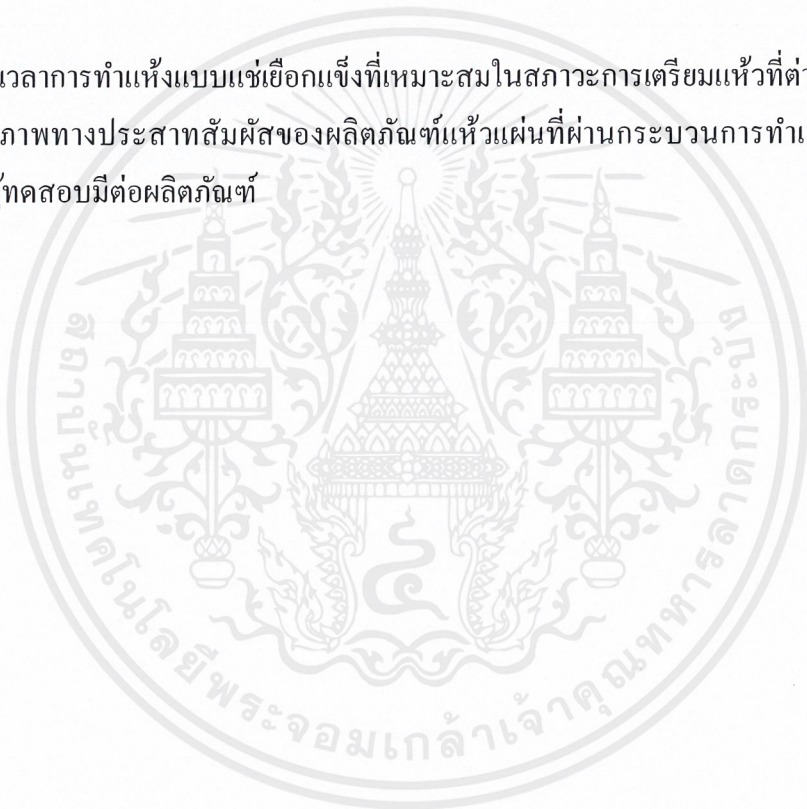
(http://www.cgfreezedry.com/news_upd/news_upd.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์หัวแผ่นโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้หัวสดไม่ล้นตลาด สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร เพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร ทำให้มีการใช้หัวในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้นและยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้รักสุขภาพ โดยผลิตภัณฑ์หัวที่ได้ ยังคงมีรสชาติ กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ รูปร่าง ใกล้เคียงกับหัวสด อีกทั้งยังมีข้อได้เปรียบกว่าการทำผลิตภัณฑ์หัวแผ่นจากวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ เช่น สูญเสียกลิ่นรสออกไปมาก เนื้อสัมผัสแข็ง มีการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างและยังมีข้อได้เปรียบกว่าการทำหัวแผ่นโดยใช้การทอด เช่น ไม่มีคอเรสเทอรอลจากน้ำมันที่ใช้ทอด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมในสภาวะการเตรียมหัวที่ต่างกัน
2. เพื่อศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ผู้ทดสอบมีต่อผลิตภัณฑ์



บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 แห้วจิ้น

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

แห้วเป็นพืชปีเดียวขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ลำต้นเล็กเรียวยาวคล้ายต้นหอม มีใบคล้ายใบกกหรือใบหญ้าทรงกระเทียม มีรากเป็นแบบรากฝอย ส่วนหัวเป็นประเภทคอร์ม (corm) สีน้ำตาลไหม้ หัวกลมมีลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่แต่ขนาดเล็กกว่ามาก ตามปกติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวประมาณ 1-4 เซนติเมตร เนื้อมีสีขาว

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แห้วจิ้น มีชื่อภาษาอังกฤษว่า วอเตอร์นัท (waternut) หรือไชนิส วอเตอร์เชสต์นัท (Chinese water chestnut) หรือมาไต (Matai) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า เอลิโอชาร์ิสต์ลซิส ทริน (Eleocharis dulcis Trin.) มีชื่ออื่นอีก ได้แก่ อี ทูเบอโรซา ชูลท์ (E. tuberosa Schult.) หรือชีปูล ทูเบอโรซัส รอกซ์บ (Scirpus tuberosus Roxb.) อยู่ในตระกูลไซเปอร์ราซี (Cyperaceae) เป็นกกชนิดหนึ่ง คล้ายกับหญ้าทรงกระเทียมแต่เป็นคนละชนิดกัน แห้วเป็นพืชปีเดียว ลำต้นแข็ง อวบ กลวง ตั้งตรง มีความสูง 1-1.5 เมตร

2.1.3 ประโยชน์และสรรพคุณ

หัวแห้วประกอบด้วยส่วนที่กินได้ 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นของแข็งประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในจำนวนนี้เป็นโปรตีน 1.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตและเส้นใยต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในเนื้อหัวแห้วจิ้นส่วนประกอบคือ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี, 2537)

ความชื้น	ประมาณ	75.2	เปอร์เซ็นต์
แคลอรี	ประมาณ	88.0	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	ประมาณ	1.60	เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	ประมาณ	0.90	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	ประมาณ	21.40	เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจน	ประมาณ	18.90	เปอร์เซ็นต์
น้ำตาล	ประมาณ	1.94	เปอร์เซ็นต์
ซูโครส	ประมาณ	6.35	เปอร์เซ็นต์
แป้ง	ประมาณ	7.34	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใย	ประมาณ	0.80	เปอร์เซ็นต์
ถั่ว	ประมาณ	1.19	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	ประมาณ	0.13	เปอร์เซ็นต์
โพแทสเซียม	ประมาณ	0.59	เปอร์เซ็นต์
ฟอสฟอรัส	ประมาณ	52.2- 65	เปอร์เซ็นต์
เหล็ก	ประมาณ	0.05	เปอร์เซ็นต์
วิตามิน บี 1	ประมาณ	0.03	เปอร์เซ็นต์

แป้งที่ให้จากหัวเหั่วมีลักษณะคล้ายคลึงกับแป้งจากมันเทศหรือมันสำปะหลังและมีขนาดใหญ่จนถึง 27 ไมครอน

หัวเหั่วที่ซื้อขายได้ ต้องมีขนาดอย่างน้อยประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ขึ้นไป เนื้อเหั่วมีสีขาว กรอบ รสหวานมัน หอม สามารถรับประทานสด ต้มสุก บรรจุกระป๋อง คั้นน้ำหรือจะต้มทำขนมหรือใช้ประกอบอาหารก็ได้ มักเป็นอาหารจีนและยังใช้ทำแป้ง ได้อีกด้วย

หัวเหั่วเล็กๆ ใช้เลี้ยงเป็ดและไก่ได้ดี หัวเหั่วบางชนิดสามารถนำมาใช้ทำยา ต้นเหั่วใช้เลี้ยงปลุสัตว์ ใช้ในการบรรจุหีบห่อผลไม้ ใช้ทำตะกร้าและทอเสื่อ เป็นต้น

สำหรับสรรพคุณทางยาของหัวเหั่วจีนนั้น หัวเหั่วจีนมีสารที่ชื่อว่า “Puchin” ซึ่งมีสรรพคุณในการช่วยต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นผลของหัวเหั่วยังมีสรรพคุณในการบำรุงร่างกาย แก้อาการกระหายน้ำ อาหารไม่ย่อย ท้องผูกและแก้อาการเป็นพิษเนื่องมาจากการดื่มสุรา

ในตำรับยาแผนโบราณกล่าวว่า หากนำเอาเนื้อของผลเหั่วสดมาฉูดในบริเวณที่เป็นหูดอย่างต่อเนื่องแล้วก็จะทำให้ก้อนหูดนั้นมลงได้หรือหากรับประทานผลเหั่วจีนสดเป็นประจำจะช่วยบรรเทาอาการของโรคริดสีดวงทวารได้ เช่นเดียวกับการดื่มน้ำเหั่วจีนสดที่สามารถจะรักษาอาการพิษของสารประกอบจำพวกทองแดงได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540)

2.2 การทำแห้ง

การทำแห้งหรือการคังน้ำออก หมายถึง การประยุกต์ใช้ความร้อนภายใต้การควบคุมสภาวะเพื่อนำเอาน้ำส่วนใหญ่ออกจากอาหาร (Fellow, 2009)

การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหาร เป็นที่นิยมใช้มานาน จุดประสงค์หลักคือเพื่อลดความชื้นหรือปริมาณน้ำที่มีในอาหารด้วยการอบแห้ง การทอดหรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก ให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต อาหารที่มีน้ำหรือความชื้นสูงจะเน่าเสียง่าย โดยทั่วไปจะพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity : a_w) ของอาหารจะต้องต่ำกว่า 0.7 วัตถุประสงค์เริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็ง ให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสถานะเป็นของแข็งซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเป็นชั้น เป็นแผ่นหรือเป็นผงที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการทำแห้งที่เลือกใช้ ตัวอย่างอาหารแห้ง ที่พบทั่วไป ได้แก่ ผัก ผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง นมผง กาแฟ โกโก้ น้ำตาล เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ อาหารทะเล เห็ด กว๊ายเตี๋ย พาสต้า สมุนไพร เครื่องเทศ วัตถุเจือปนอาหาร เป็นต้น (Remeo, 1990)

กระบวนการอบแห้งอาหารเกี่ยวข้องกับทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน มวลที่ถ่ายเทระหว่างการทำแห้งอาหารส่วนใหญ่ คือ น้ำที่มีอยู่ในอาหารระหว่างการอบแห้งอาหารจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆขึ้นมากมาย ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง ต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่น การนำมาคั้นตัวด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปทรง ทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน มีการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย (สมบัติ, 2529)

2.2.1 วัตถุประสงค์ของการทำแห้ง

2.2.1.1 เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหารเป็นการป้องกันการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น รา ยีสต์ แบคทีเรีย ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค

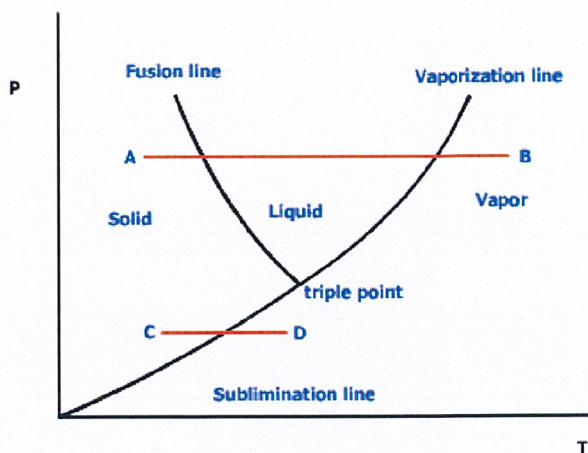
2.2.1.2 เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย

2.2.1.3 เพื่อทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น

2.2.1.4 สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อเป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

2.2.2 ทฤษฎีการทำแห้งพื้นฐาน

วิภาคทั้ง 3 ของน้ำ โดยน้ำบริสุทธิ์สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะได้ 3 สถานะได้แก่ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส โดยอุณหภูมิและความดันจะเป็นตัวกำหนดสถานะต่างๆของน้ำ



รูปที่ 2.1 วัฏภาคของน้ำ

ที่มา: http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/mass_transfer/basic_drying.htm

ทั้งอุณหภูมิและความดันมีผลต่อสถานะของน้ำดังรูป พบว่าเมื่อพิจารณาจากเส้น AB พบว่าน้ำจะมีสามสถานะ คือ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส ซึ่งโดยทั่วไปที่ความดันบรรยากาศน้ำจะมีสถานะ โดยการเปลี่ยนสถานะจะเกิดเมื่อมีการคายหรือรับเอาพลังงานความร้อนแฝงเข้ามา แต่เมื่อพิจารณาเส้นตรง CD พบว่า น้ำสามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นไอได้โดยไม่ผ่านสถานะระเหิดและเรียกจุดที่ทั้งสามสถานะรวมกันว่า Triple point ที่ระดับอุณหภูมิ 0.0098 องศาเซลเซียส และความดัน 0.64 กิโลปาสกาล (4.8 มิลลิเมตรปรอท)

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งในผลิตภัณฑ์นำมาอบแห้งเกิดขึ้นเร็วหรือช้ามีผลมาจากปัจจัย ดังนี้

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2. รูปร่างและความหนาของอาหาร

อาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง

อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้้อตราอบแห้งช้าลง

4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม

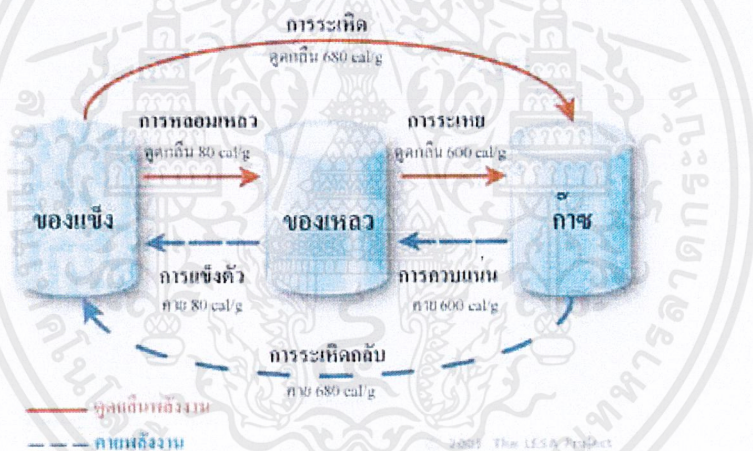
ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5. ความดัน

โดยเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำๆ น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการแห้งเร็วขึ้น

2.3 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying หรือ Lyophilization)

เป็นการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง โดยให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อนแล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิดเป็นไอด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า)



รูปที่ 2.2 การระเหิด

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/freeze%20drying>

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณหภูมิต่ำ จึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง มีการคืนตัวที่ดี รักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดี เมื่อเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป

มีการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากรรมวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ หลายประการ เช่น ผลลัพธ์มีการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างหรือการหดตัวน้อย การคืนตัวเร็ว ส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการคั่นตัว มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารปรุง
ปกติและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก (Luh และ Karel, 1976)

2.3.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ปีณธร, 2547)

ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

2.3.1.1 การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

ในขั้นตอนนี้เป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าจุด
เยือกแข็งให้น้ำหรือสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ สิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้
คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง ระดับความเร็วของการแช่เยือกแข็งควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (Quick
freezing) ขึ้นไปเนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์
แข็งตัวอย่างรวดเร็วลักษณะของผลึกเช่นนี้ ไม่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่หากเป็น
การแช่เยือกแข็งแบบช้า (Natural freezing) เวลาในการเกิดผลึกนาน ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่
เบียดช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เซลล์แตกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย การแช่เยือก
แข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส
และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด

2.3.1.2 การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary drying)

ขั้นตอนนี้เป็นการลดความดันลง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็น
ไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระดับของความดันสุญญากาศ ควรอยู่ในระดับสุญญากาศ
ละเอียด (Fine Vacuum) ถึงระดับสุญญากาศสูง (High Vacuum) ซึ่งมีความดัน ต่ำกว่า 132 ปาสคาล
และ 132 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ โดยมี
ลำดับของการระเหิด ดังนี้

1. การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (Ice Layer) บริเวณผิวหน้า ของผลิตภัณฑ์
2. ชั้นน้ำแข็งที่ระเหิดไป กลายเป็นชั้นแห้ง (Dry Layer) อยู่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์
3. ชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทั้งนี้

เวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่าโครงสร้างเซลล์โปร่งหรือแน่น
เพียงใด

2.3.1.3 การทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary Drying)

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำที่อยู่ในรูปของพันธะกับสารอื่น (Bound Water)
ในผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่ตกผลึกและแข็งตัวไปกับน้ำอิสระ ช่วงการทำแห้งนี้ เรียกว่า “Desorption”
ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้น เมื่อการทำแห้งระยะที่ 1 การระเหิดของน้ำอิสระหมดไป ช่วงของการ
Desorption อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแฝงให้ชั้นน้ำแข็งหมด
ไป พลังงานจากแหล่งความร้อนจึงถ่ายเทสู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง

2.3.2 ประโยชน์ของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Christopher, 1997)

3.4.3.1 ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายน้อยมากในระหว่างกระบวนการทำแห้ง

3.4.3.2 ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและมีความร่วน กรอบ

3.4.3.3 ผลิตภัณฑ์จะเกิดการคืนตัวหรือคืนรูปได้เร็วและสมบูรณ์

2.3.3 ผลเสียของการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Christopher, 1997)

3.4.4.1 ต้นทุนราคาและพลังงานของเครื่องมือสูง

3.4.4.2 ช่วงระยะเวลาในการทำแห้งยาวนาน ตัวอย่างเช่น ประมาณ 4 ถึง 10 ชั่วโมงต่อ Drying cycle จึงจำเป็นต้องทำการหั่นเป็นชิ้น ลูกเต๋าและแผ่นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง

3.4.4.3 อัตราการผลิตค่อนข้างต่ำ

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าการทำแห้งแบบอื่นๆ แต่ก็มีข้อจำกัดที่ทำให้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก อย่างไรก็ตามสามารถชดเชยได้จากการไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายการยืดอายุผลิตภัณฑ์โดยการแช่เยือกแข็งและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะที่ดีเป็นที่ยอมรับในเชิงอุตสาหกรรม (สมบัติ, 2529)

2.4 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity : A_w)

น้ำในอาหารสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. น้ำเกาะติด (Bound water) เป็นน้ำที่จับเกาะหรือยึดอยู่กับโครงสร้างของสารอาหารแยกออกจากอาหารได้ยาก เกาะจับกับสารอื่นด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง เช่น เป็นน้ำในผลึก เป็นต้น น้ำชนิดนี้ไม่สามารถเป็นตัวทำละลายของสารอาหารอื่นและมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอิสระ

2. น้ำอิสระ (Free water) เป็นน้ำที่มีสารอื่นๆ ละลายอยู่หรือแขวนลอยอยู่ น้ำชนิดนี้จะอยู่รอบๆ เซลล์หรืออยู่ภายในเซลล์เป็นน้ำส่วนใหญ่ที่พบในอาหารและสามารถแยกออกจากองค์ประกอบอื่นๆ ของอาหารได้ง่าย เช่น การระเหยจากการอบแห้ง การสกัดหรือคั้นออกจากอาหารได้ง่าย น้ำชนิดนี้มีผลต่อความสดของอาหารพวกผักและผลไม้และมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยน้ำที่เกาะอยู่กับอาหารอย่างหลวมๆ จุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ในการเจริญเติบโตนี้ เรียกว่า water activity (A_w)

(<http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/014.htm>)

Water Activity (A_w) เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่ออายุการเก็บของอาหาร ในขณะที่อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปัจจัยอื่นๆ มีผลกระทบต่อความเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร Water Activity จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการเสื่อมเสียของอาหาร

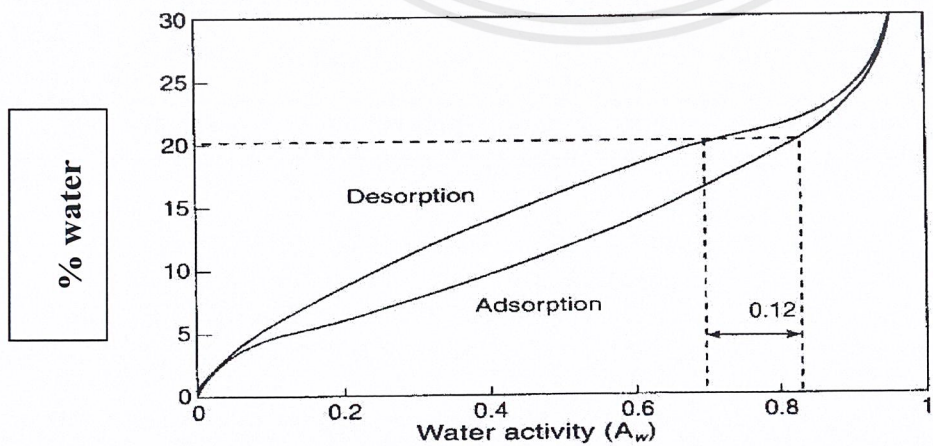
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อค่า Water Activity อยู่ในช่วง 0.6-1.0 โดยเฉพาะยีสต์ และราซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อค่า Water Activity ในระดับต่ำ คือ 0.7 (Macrae, 1993) เราสามารถประเมินได้จากการวัดค่า Water Activity ว่าเป็น จุลินทรีย์ชนิดใดเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสียหรือไม่ Water Activity เป็นปัจจัยซึ่งระดับ ปริมาณน้ำต่ำสุดที่มีอยู่เพื่อการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ Water Activity ยังมีผลกระทบต่อ การทำงานของเอนไซม์และวิตามินในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี รสและกลิ่นของ อาหารอย่างชัดเจน

เครื่องวัดค่า Water Activity จะวัดปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ กระบวนการถนอมอาหารหลายกระบวนการมีจุดมุ่งหมายที่จะป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร โดย การลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญ การลดปริมาณน้ำอิสระจะลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ ไม่ต้องการให้เกิดในระหว่างการเก็บรักษาด้วย กระบวนการที่ใช้เพื่อลดปริมาณน้ำอิสระสำหรับ ผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การเพิ่มความเข้มข้น การทำให้แห้ง การแช่แข็งแบบแห้ง การแช่เยือกแข็ง

2.4.1 Water Activity และความชื้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและ Water Activity ซึ่งเป็นเรื่องซับซ้อนโดยสามารถหา ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ได้จากการ ทดลองวัดค่าทั้งสองของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น แล้วบันทึกค่าทั้ง สองเปรียบเทียบกันในรูปแบบกราฟ เรียกกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ว่า Moisture Sorption Isotherms ดัง รูปที่ 3 สำหรับอาหารแทบทุกชนิดจะมีรูปร่างแบบ Sigmoidal เมื่อดูจากกราฟจะพบว่าเมื่อค่า Moisture Content เพิ่มขึ้น ค่า Water Activity มักเพิ่มขึ้นด้วยแต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง นอกจากนี้กราฟ Moisture Sorption Isotherms ของผลิตภัณฑ์กันละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอของโมเลกุลของน้ำในช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์และพลังงานของการจับ พันธะของน้ำในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด



รูปที่ 2.3 ตัวอย่าง Absorption และ Desorption Isotherm ซึ่งมีรูปแบบ Sigmoidal

ที่มา : วิลโล, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของ Water Activity และความชื้น คือ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร คือ รวมทั้งสองส่วน คือ 1. น้ำเกาะติด (Bound water) 2. น้ำอิสระ (Free water) ในขณะที่ Water Activity เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ ซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น ซึ่งในการทำให้ชื้นหรือการทำให้แห้งเป็นการระเหยน้ำอิสระออกไป ส่วนการเติมเกลือ น้ำตาล หรือส่วนผสม (Ingredient) อื่น ๆ ลงไป โมเลกุลของสารเหล่านั้นจะไปจับพันธะกับน้ำอิสระทำให้ค่า Water Activity ลดลงไปด้วย

2.4.3 ผลของ Water Activity ต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร

อาหารมักจะมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยา Millard Reaction ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาล ที่ไม่เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากเอนไซม์ การเกิดสีน้ำตาล เนื่องจาก Millard Reaction มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่า Water Activity สูงขึ้น โดยจะเกิดได้สูงสุดในช่วง Water Activity 0.6 ถึง 0.7 แต่ในผลิตภัณฑ์บางชนิดเมื่อเพิ่มค่า Water Activity ก็จะช่วยชะลอการเกิด Millard Reaction ได้ ดังนั้นการตรวจวัดและควบคุมค่า Water Activity ในผลิตภัณฑ์ จึงเป็นวิธีที่ดีในการควบคุมปัญหาการเกิดสีน้ำตาลจาก Millard Reaction

Water Activity มีผลกระทบต่อความคงตัวในด้านคุณสมบัติตามธรรมชาติของโปรตีนและเอนไซม์อย่างชัดเจน เอนไซม์และโปรตีนเกือบทุกชนิดต้องรักษาสภาพตามธรรมชาติไว้เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ ดังนั้นการรักษาระดับของ Water Activity เพื่อป้องกันและการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหารอย่างมาก ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ส่วนมากจะช้าลงที่ระดับ Water Activity 0.8 อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเหล่านี้บางปฏิกิริยาก็สามารถเกิดได้แม้ที่ระดับ Water Activity ต่ำมาก ๆ การเสื่อมเสียประเภทนี้จะมีผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติรุนแรงจนผู้บริโภคไม่ยอมรับได้ โดยทั่วไปการเสียเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์มักไม่เกิดกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการใช้อุณหภูมิในการผลิต

2.4.4 ผลของ Water Activity ต่อการเสี้ยวของอาหาร

เนื่องจาก ยีสต์ รา และแบคทีเรียจำเป็นต้องใช้น้ำอิสระในการเจริญเติบโต การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.7 จะช่วยควบคุมการเสียเนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ วิธีที่ง่ายที่สุดในการลด Water Activity ในอาหารคือการกำจัดน้ำในอาหารเช่น การทำให้สุก การอบ หรือการทำให้แห้ง กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวัญหญิง (2546) ศึกษาผลของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพทุเรียนอบแห้งแบบระเหิดโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิของแผ่นความร้อน และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการอบแห้ง และพิจารณาต้นทุน (ผันแปร) โดยมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษาคือ ความพรุน ความหนาแน่น โดยรวม ลักษณะเนื้อสัมผัส สีและความชื้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากจังหวัดระยองที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 62-64 เปอร์เซ็นต์ แล้วหั่นทุเรียนเป็นชิ้นหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการผลิต จากผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นโดยรวม, แรงกดสูงสุด, การเปลี่ยนแปลงความสว่างของสีและความชื้นแปรผันตามอุณหภูมิของแผ่นความร้อนในช่วงสภาวะที่ศึกษา โดยที่ความพรุนและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแปรผกผันกับอุณหภูมิของแผ่นความร้อน ส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแผ่นความร้อนแปรผันตามความหนาแน่นโดยรวมและแรงกดสูงสุดแปรผกผันกับความพรุนของผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งแบบระเหิด โดยไม่มีอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้งแบบระเหิดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความชื้นร้อยละ 95 และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยครั้งนี้คือที่ 0 องศาเซลเซียส 2.5 องศาเซลเซียสต่ออนาที

สวิตรา และคณะ (2550) ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้งของทุเรียนแผ่นต่อคุณภาพของทุเรียนแผ่น โดยศึกษากระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง ซึ่งได้หั่นชิ้นทุเรียนความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการเตรียมตัวอย่างคือ การสไลด์-แช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) การสไลด์-แช่แข็ง (-18 องศาเซลเซียส) และการแช่แข็ง-สไลด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การสไลด์-แช่แข็งและการแช่แข็ง-สไลด์ก่อนการอบแห้ง ทำให้โพรงอากาศภายในผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและเมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนทอด จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการทดสอบผู้บริโภคร พบว่า การเตรียมทุเรียนด้วยการสไลด์-แช่แข็งและการแช่แข็ง-สไลด์ ส่งผลให้คะแนนความชอบ ด้านความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมสูงกว่าทุเรียนทอด โดยผู้บริโภครให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการสไลด์-แช่แข็งก่อนการอบแห้งร้อยละ 85 และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็ง-สไลด์ร้อยละ 74

Rhim และคณะ (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่แข็งต่อคุณลักษณะการคั้นตัวและการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องสำเร็จรูปโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งศึกษาอุณหภูมิแช่แข็ง 2 สภาวะ คือ การแช่แข็งแบบช้า (-5 และ -20 องศาเซลเซียส) และการแช่แข็งแบบรวดเร็ว (-40 และ -70 องศาเซลเซียส) ผลปรากฏว่าการแช่แข็งแบบช้าจะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เปราะ ร่วนแตกหักง่ายและมีรูพรุนขนาดใหญ่มากกว่าการแช่แข็งแบบรวดเร็วแต่การแช่แข็งแบบช้ามีอัตราการคั้นตัวและระยะเวลาในการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tambunan และคณะ (2001) ทำการศึกษาลักษณะของพืชสมุนไพรที่ผ่านกาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่ ระยะเวลาในการทำแห้งจะขึ้นอยู่กับความดันในห้องทำแห้งและอัตราการแช่เยือกแข็ง สำหรับการทดลองในอีกรูปแบบจะกำหนดให้ความดันและอัตราการแช่เยือกแข็งคงที่ ผลการทำลองที่ได้คือ เมื่อลดระยะเวลาในการทำแห้งขั้นต้นลง จะทำให้อุณหภูมิผิวหน้าของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นและกาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าวัตถุดิบเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย แต่คุณภาพผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นความร้อนเป็น 35-40 องศาเซลเซียส



บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมหัวแบบแช่เยือกแข็ง

1. อุปกรณ์เครื่องครัว
2. ถุงพลาสติกเย็น
3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
4. เครื่องสไลด์หัว (HR7640, Netherland)
5. ตู้แช่แข็ง (-4 องศาเซลเซียส)
6. ตู้แช่แข็ง (-40 องศาเซลเซียส)
7. เครื่องฉีดแบบสูญญากาศ (รุ่น V252T, Spain)
8. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (รุ่น Coolsafe 90-80A, Denmark)

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์

1. ภาชนะอะลูมิเนียม
2. ถาดอะลูมิเนียม
3. โถดูดความชื้น
4. ตู้อบลมร้อน
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน (รุ่น HR73, Switzerland)
7. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (A_w) (รุ่น RTD-502, Switzerland)

3.1.3 วัตถุดิบ

หัวจิ้นสด (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากตลาดมินบุรี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 – 3.5 เซนติเมตร หัวจิ้นมีความสมบูรณ์ โดยมีตำหนิ เช่น รุ้แมลงเจาะหรือมีรอยแผลน้อยที่สุด

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

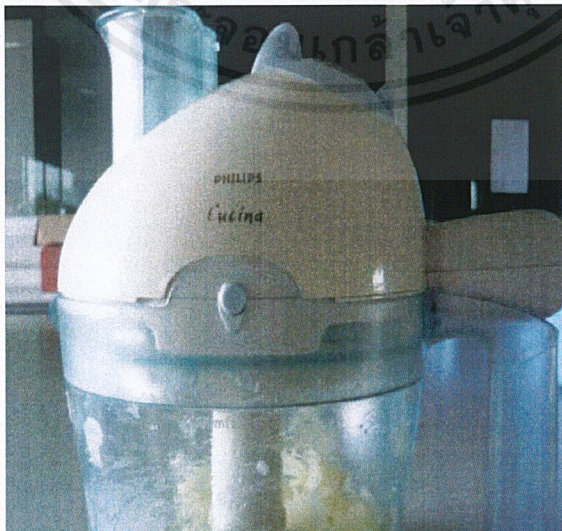
3.2.1 ศึกษาระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมในสภาวะการเตรียมแห้งที่ต่างกัน

โดยการนำเห็ดสดมาปอกเปลือกและทำการล้างให้สะอาดจากนั้นจึงนำไปต้มให้สุก โดยจับเวลาเห็ดสุกที่ 10 นาทีระหว่างน้ำเดือดท่วมผลเห็ด



รูปที่ 3.1 การต้มสุกเห็ดสด

จากนั้นนำเห็ดที่ต้ม มาทำการสไลด์ 2 แบบ คือการสไลด์แนวนอนและการสไลด์แนวตั้ง เพื่อศึกษารูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบ โดยการสไลด์จะใช้เครื่องสไลด์ เพื่อให้เห็ดมีลักษณะเป็นแผ่น โดยจะเลือกแผ่นเห็ดที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 – 3.5 เซนติเมตรนำมาใช้ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

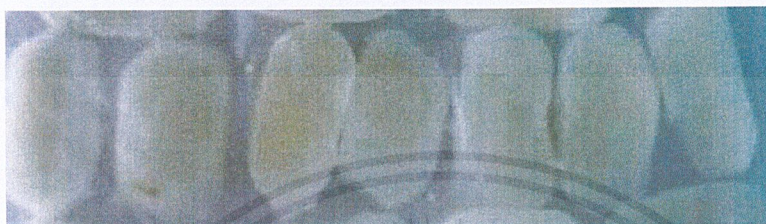


รูปที่ 3.2 เครื่องสไลด์เห็ด (HR7640, Netherland)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างที่ได้จากการสไลด์แบบแนวนอน



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างที่ได้จากการสไลด์แบบแนวตั้ง

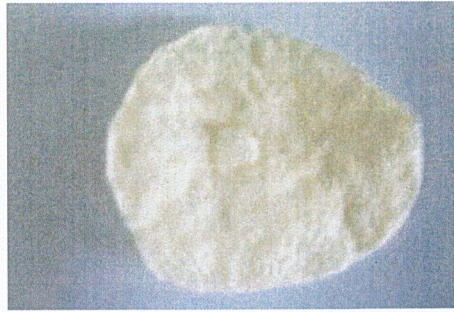
เมื่อทำการสไลด์หัวแผ่นเสร็จแล้วจะทำการแช่แข็งตัวอย่างทั้งสองที่ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส และตู้แช่แข็งอุณหภูมิ-40 องศาเซลเซียส ให้ตัวอย่างแข็งตัวและนำตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสกดเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งขณะทำแห้งตัวอย่าง

เมื่อได้ตัวอย่างจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้ว จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพ โดยการวัดปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ระยะเวลาต่างๆ (ชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48) เพื่อหาระยะเวลาที่ความชื้นของตัวอย่างเริ่มคงที่เพื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งหัวแผ่นแบบแช่เยือกแข็งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบบเนวอน



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบบเนวตั้ง

3.2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1.1.1 การหาปริมาณความชื้นของเห็ดสด (AOAC, 2000)

นำเห็ดสดสับละเอียดมา 3 กรัมโดยใส่ในภาชนะอะลูมิเนียม นำไปอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ โดยใช้ตู้อบลมร้อน

3.2.1.1.2 การหาปริมาณความชื้นของเห็ดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

โดยการนำไปหาความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นฮาโลเจน(รุ่น HR73, Switzerland) โดยการวิเคราะห์เห็ดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลาต่างๆ (ชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48) จนครบ 48 ชั่วโมง โดยในการวิเคราะห์ความชื้นจะวัด 3 ซ้ำ(รายละเอียดวิธีการแสดงในภาคผนวก ก)

3.2.1.2 การหาระยะเวลาการทำแห้งที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อทราบระยะเวลาที่เริ่มคงที่ของแต่ละสภาวะการทดลองแล้วจากข้อ 3.2.1.1 จะทำการเก็บตัวอย่างในช่วงปริมาณความชื้นในเห็ดแผ่นเริ่มคงที่ทุก 6 ชั่วโมง มาทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.2.1.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี: ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (A_w) ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (รุ่น RTD-502, Switzerland) โดยทำการวัด 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows (SPSS version 13.0) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏความเป็นรูปทรง ความกรอบเบา รสชาติ ความหวาน ความชอบโดยรวม ใช้วิธีทดสอบแบบ 9-points Hedonic scale (ภาคผนวก ข) โดยให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุดและ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block design :RCBD) คะแนนที่ได้จากการทดสอบชิม นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows (SPSS version 13.0) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละตัวอย่างในการทำแห้ง

3.2.2 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแห้วแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เตรียมจากสถานะการทำแห้งที่ได้จากข้อ 3.2.1

เมื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของแต่ละตัวอย่างได้แล้ว นำตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏความเป็นรูปทรง ความกรอบเบา รสชาติ ความหวาน ความชอบโดยรวม ใช้วิธีทดสอบแบบ 9-points Hedonic scale (ภาคผนวก ข) โดยให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุดและ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block design :RCBD) คะแนนที่ได้จากการทดสอบชิม นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS version 13.0) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์และหาสถานะของตัวอย่างที่ผู้ทดสอบมีความชอบมากที่สุด

3.3 สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการทดลองระหว่างเดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2555 รวม 4 เดือน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของการศึกษาระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมในสภาวะการเตรียมเห็ดที่ต่างกัน

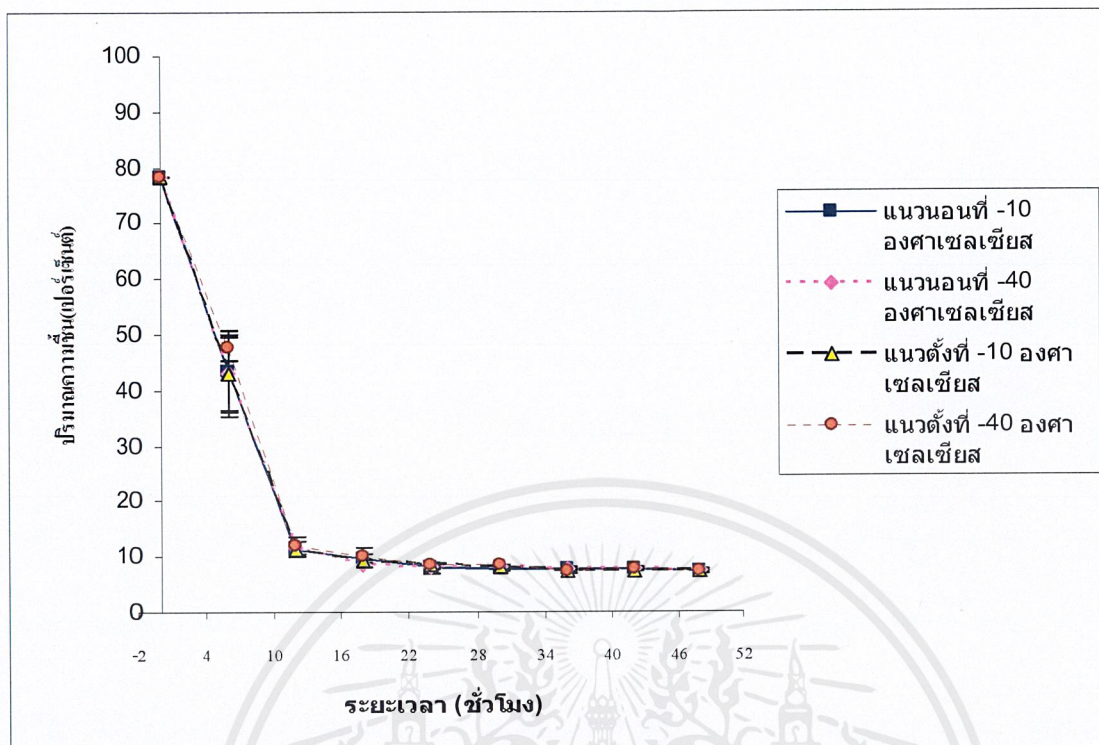
4.1.1 ปริมาณความชื้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของหัวแผ่นที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามการสไลด์แบบแนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง

ลักษณะการสไลด์	อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณความชื้น(เปอร์เซ็นต์)								
		0	6	12	18	24	30	36	42	48
แนวนอน	-10	78.47±0.00	43.25±7.34	11.20±1.05	9.52±0.68	8.05±1.02	7.68±0.41	7.60±0.23	7.71±0.45	7.51±0.48
	-40	78.47±0.00	42.98±7.70	11.54±1.34	8.58±0.25	8.23±0.45	8.19±0.30	7.84±0.24	7.58±0.27	7.29±0.28
แนวตั้ง	-10	78.47±0.00	43.09±6.53	11.35±1.37	9.47±1.17	8.55±0.43	7.98±0.51	7.52±0.53	7.47±0.10	7.19±0.20
	-40	78.47±0.00	47.81±2.32	12.11±1.52	10.13±1.40	8.62±0.36	8.43±0.22	7.49±0.21	7.69±0.48	7.44±0.27



รูปที่ 4.1 กราฟปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของแก้วแผ่นที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง

จากการวัดปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของแก้วแผ่น ดังตารางที่ 4.1 พบว่า ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของแก้วแผ่นที่มีการสไลด์แบบแนวอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง ตามลำดับและปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของแก้วแผ่นที่มีการสไลด์แบบแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง ตามลำดับ เช่นเดียวกัน โดยปริมาณความชื้นที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่ 0, 6, 12 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วและที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36, 42, 48 ชั่วโมง ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ยังคงมีแนวโน้มลดลงและจะเริ่มคงที่ ซึ่งเมื่อนำมาพลอตกราฟจะได้กราฟที่มีแนวโน้มของปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ลดลงและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่ 18 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.1.2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นจะพบว่าปริมาณความชื้นของเห็ดแผ่นจะเริ่มคงที่ที่ ชั่วโมงที่ 18 และคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 48 จึงกำหนดระยะเวลาที่ชั่วโมงที่ 18, 24, 30 และ 36 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำเห็ดแผ่นจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเหตุผลที่ไม่เลือกชั่วโมงที่ 42 และ 48 เนื่องจากผลิตภัณฑ์เห็ดแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ได้ กลิ่น รสชาติของเห็ดได้หายไปและที่สำคัญยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานอีกด้วย

4.1.2.1 ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำอิสระของเห็ดแผ่นที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามการสไลด์แบบ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง

ลักษณะการสไลด์	อุณหภูมิในการแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำอิสระ (เปอร์เซ็นต์)			
		ระยะเวลาในการทำแห้ง (ชั่วโมง)			
		18 ชม.	24 ชม.	30 ชม.	36 ชม.
แนวนอน	-10	0.43 ^a ±0.02	0.44 ^a ±0.01	0.37 ^b ±0.01	0.30 ^c ±0.01
	-40	0.47 ^a ±0.01	0.44 ^b ±0.01	0.36 ^c ±0.01	0.33 ^d ±0.01
แนวตั้ง	-10	0.50 ^a ±0.01	0.45 ^b ±0.02	0.38 ^c ±0.01	0.35 ^d ±0.02
	-40	0.50 ^a ±0.01	0.46 ^b ±0.01	0.38 ^c ±0.01	0.35 ^d ±0.01

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเทียบกันในแต่ละอุณหภูมิการแช่แข็ง

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) ที่วิเคราะห์ตามลักษณะการสไลด์แบบแนวนอน ที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 18, 24, 30, 36 ชั่วโมงตามลำดับและค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) ที่วิเคราะห์ตามลักษณะการสไลด์แบบแนวตั้ง ที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 18, 24, 30, 36 ชั่วโมงตามลำดับ เช่นเดียวกัน

จากข้อมูลค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity: A_w) ของหัวแผ่นดังกล่าว เนื่องจากค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ดังนั้นโดยทั่วไปจึงพิจารณาค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) ของอาหารให้ต่ำกว่า 0.7 (จิราภรณ์, 2547) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นจากตารางที่ 4.1 ที่วิเคราะห์ได้โดยเมื่อระยะเวลาการทำแห้งนานขึ้นค่าปริมาณความชื้นในอาหารก็จะลดลง (ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) แปรผันตรงกับค่าปริมาณความชื้น)

4.1.2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเห้วแผ่น

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเห้วแผ่นตามการสไลด์เนวอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง

อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำแห้ง (ชั่วโมง)	คุณลักษณะ				
		ความเป็นรูปพรุน	ความกรอบเบา	รสชาติ	ความหวาน	ความชอบรวม
-10	18	4.92 ^{ns} ±1.40	4.25 ^b ±1.17	4.18 ^b ±1.29	4.33 ^b ±1.13	4.77 ^b ±1.16
	24	5.00±1.20	5.07 ^a ±1.11	4.62 ^{ab} ±1.23	4.43 ^{ab} ±1.20	5.20 ^{ab} ±1.26
	30	5.23±1.30	5.43 ^a ±1.52	5.28 ^a ±1.49	5.08 ^a ±1.21	5.72 ^a ±1.33
	36	5.40±1.32	5.23 ^a ±1.37	5.00 ^a ±1.60	4.67 ^a ±1.52	5.38 ^a ±1.48
-40	18	4.58 ^{ns} ±1.19	4.13 ^b ±1.43	4.20 ^b ±1.20	3.97 ^c ±1.47	4.23 ^b ±1.20
	24	4.85±1.37	4.75 ^{ab} ±1.33	4.58 ^{ab} ±1.14	4.37 ^{bc} ±1.10	4.85 ^a ±0.94
	30	4.97±1.12	5.22 ^a ±1.35	4.82 ^{ab} ±1.58	4.98 ^a ±1.30	5.02 ^a ±1.21
	36	5.05±1.40	5.35 ^a ±1.21	4.97 ^a ±1.30	4.68 ^{ab} ±1.30	5.15 ^a ±1.23

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเทียบกันในแต่ละอุณหภูมิการแช่แข็ง ns ค่าตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเห้วแผ่นตามการสไลด์เนวอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านความเป็นรูปพรุนของเห้วแผ่น ($p>0.05$) แต่ระยะเวลาในการทำแห้งจะมีผลต่อคะแนนความชอบด้านความกรอบเบา รสชาติ ความหวานและความชอบรวม โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นแนวโน้มของคะแนนจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียสพบว่าระยะเวลาในการทำแห้งไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านความเป็นรูปพรุนของเห้วแผ่นแต่ระยะเวลาในการทำแห้งจะมีผลต่อคะแนนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชอบด้านความกรอบเบา รสชาติ ความหวานและความชอบโดยรวม โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นแนวโน้มของคะแนนจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแห้วแผ่นตามการสไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง

อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำแห้ง (ชั่วโมง)	คุณลักษณะ				
		ความเป็นรูพรุน	ความกรอบเบา	รสชาติ	ความหวาน	ความชอบโดยรวม
-10	18	4.52 ^a ±1.58	3.62 ^c ±1.20	4.00 ^c ±1.22	3.85 ^b ±1.23	4.08 ^b ±1.06
	24	4.65 ^b ±1.32	4.43 ^b ±1.11	4.47 ^b ±1.00	4.32 ^b ±1.00	4.42 ^b ±1.04
	30	5.02 ^{ab} ±1.48	5.40 ^a ±1.40	5.18 ^a ±1.32	5.23 ^a ±1.47	5.37 ^a ±1.32
	36	5.37 ^a ±1.25	5.18 ^a ±1.64	5.03 ^a ±1.44	4.93 ^a ±1.26	5.18 ^a ±1.37
-40	18	4.55 ^b ±1.07	4.08 ^a ±1.21	4.57 ^b ±1.39	4.57 ^b ±1.39	4.42 ^b ±1.17
	24	4.73 ^b ±1.06	4.32 ^b ±1.30	4.62 ^b ±0.98	4.62 ^b ±0.98	4.62 ^b ±1.30
	30	5.25 ^a ±1.16	5.48 ^a ±1.41	5.45 ^a ±1.56	5.45 ^a ±1.56	5.42 ^a ±1.47
	36	5.47 ^a ±1.31	5.63 ^a ±1.16	5.28 ^a ±1.16	5.28 ^a ±1.16	5.57 ^a ±1.39

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเทียบกันในแต่ละอุณหภูมิการแช่แข็ง

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแห้วแผ่นตามการสไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 18, 24, 30, 36 ชั่วโมง พบว่า ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในแห้วแผ่นที่ผ่านการสไลด์แบบแนวตั้งพบว่า ที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งมีผลต่อคะแนนความชอบด้านความเป็นรูพรุน ความกรอบเบา รสชาติ ความหวาน และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นแนวโน้มของคะแนนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น น้ำแข็งที่อยู่ภายในอาหารจะถูกเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและระเหิดออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนและในการบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิต่ำ จึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง รักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดี ทำให้เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นจะส่งผลให้แห้งแผ่นมีความกรอบ รสชาติและความหวานในผลิตภัณฑ์ที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นจึงส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านความกรอบเบา รสชาติ ความหวาน และความชอบโดยรวมที่เพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลแสดงให้เห็นว่าทั้งการสไลด์แบบแนวอนและการสไลด์แบบแนวตั้ง ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในการแช่แข็งแบบช้าที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ 30 ชั่วโมงมากที่สุด และให้คะแนนการยอมรับในการแช่แข็งแบบเร็วที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ 36 ชั่วโมงมากที่สุด จากการทดลองนี้จึงทำการคัดเลือกตัวอย่างดังกล่าวมาศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แห้งแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและหาสภาวะของตัวอย่างที่ผู้ทดสอบมีความชอบสูงสุดต่อไป



4.2 ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหั่วแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ในการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหั่วแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งตามการสไลด์แบบแนวนอนและแนวตั้ง ที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 องศาเซลเซียส และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเหั่วแผ่น แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเหั่วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ-40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง







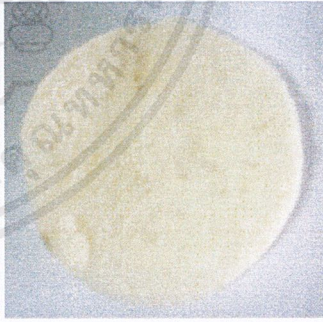

ลักษณะการสไลด์	เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (ชั่วโมง)	อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	คุณลักษณะ				
			ความเป็นรูปพรุน	ความกรอบเบา	รสชาติ	ความหวาน	ความชอบรวม
แนวนอน	30	-10	5.55 ^{ns} ±1.56	5.45 ^{ns} ±1.80	5.12 ^a ±1.93	4.72 ^b ±1.67	5.37 ^{ab} ±1.75
	36	-40	5.68±1.65	5.10±1.70	4.45 ^b ±1.56	4.47 ^b ±1.61	4.87 ^b ±1.51
แนวตั้ง	30	-10	5.97±1.40	5.43±1.54	4.88 ^b ±1.25	4.92 ^b ±1.34	5.45 ^{ab} ±1.21
	36	-40	5.64±1.11	4.78±1.43	5.72 ^a ±1.21	5.65 ^a ±1.08	5.65 ^a ±1.24

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเทียบกันในแต่ละอุณหภูมิการแช่แข็ง ns ค่าตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันของแต่ละระยะเวลาในการทำแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%






จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ พบว่า ลักษณะการสไลด์ ระยะเวลาในการทำแห้งและอุณหภูมิที่แช่แข็งไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านความเป็นรูพรุน ความกรอบเบาและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากอัตราการแช่แข็งไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และระยะเวลาการอบแห้ง (Genin และRene, 1996) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ อบแห้งแบบระเหิดมีคุณภาพดี จะต้องให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารอย่างเหมาะสม ทำได้โดยการแช่แข็งแบบเร็วและผลิตภัณฑ์ไม่ควรหนาเกินไป (Kessler, 1981) ระยะเวลาทำแห้งที่ 36 ชั่วโมงในการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ในการสไลด์แบบแนวตั้ง จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หั่วแผ่นกรอบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



ตารางที่ 4.6 รูปหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ระยะเวลา 18 ,24,30,36 ชั่วโมง อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ-40 องศาเซลเซียส ตามการสไลด์แวนอน

อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการทำแห้ง(ชั่วโมง)			
	18	24	30	36
-10				
-40				

ตารางที่ 4.7 รูปหัวแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ระยะเวลา 18 ,24,30,36 ชั่วโมง อุณหภูมิแช่แข็งที่ -10 และ-40 องศาเซลเซียส ตามการสไลด์แนวดิ่ง

อุณหภูมิแช่แข็ง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการทำแห้ง(ชั่วโมง)			
	18	24	30	36
-10				
-40				

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ระยะเวลาในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมของการทำแห้งแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือก โดยทำการคัดเลือกระยะเวลาในการทำแห้งชั่วโมงที่ 18, 24, 30, 36 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่มีปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) ลดต่ำลงและคงที่ (ซึ่งปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w) จะแปรผันตรงกัน)

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งแผ่นซึ่งใช้วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic scale พบว่าแห้งแผ่นตามการสไลด์แนวตั้งที่ระยะเวลาการทำแห้งที่ 36 ชั่วโมง อุณหภูมิการแช่แข็ง -40 องศาเซลเซียส มีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์แห้งแผ่นที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ลักษณะเนื้อสัมผัสมีความกรอบเบา ร่วน ซึ่งสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นขนมขบเคี้ยวได้ และควรเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ด้วยการปรุงแต่งกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. แห้วจีน: ฐานความรู้ด้านพืชกรมวิชาการเกษตร. เกษตรอำเภอสรีประ
จันทร์. เข้าถึงได้จาก <http://www.kanchanapisek.or.th> (2 มีนาคม 2555).

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. เข้าถึงได้จาก

<http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/freeze%20drying> (28 ธันวาคม 2554)

ขวัญหญิง. 2546. ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพทุเรียนอบแห้งแบบระเหิด. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี, กรุงเทพฯ.

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2540. เรื่องพืชมหัศจรรย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ด้านสุขภาพการพิมพ์จำกัด
, กรุงเทพฯ. หน้า 129-183.

จิราภรณ์ สิริสัมพันธ์. 2547. การทำแห้งเพื่อการแปรรูปผลผลิตเกษตร, เอกสารประกอบการสอนวิชา
อุตสาหกรรมเกษตรเบื้องต้น. หน้า 13-18. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. เข้าถึงได้จาก
www.kmitl.ac.th/agrokm/paper/คณะเกษตร.doc (4 พฤษภาคม 2555)

ชนิดของน้ำในอาหาร. เข้าถึงได้จาก

<http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/014.htm> (28 ธันวาคม 2554)

เทคโนโลยี Freeze-Drying. เข้าถึงได้จาก

http://www.cgfreezedry.com/news_upd/news_upd.html (28 ธันวาคม 2554)

ปิ่นนธร ภัทรสถาพรกุล. 2547. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. วารสารสมาคมเครื่องทำ
ความเย็นไทย. 11:20-22.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2550. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ช
จากแห้วจีน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 28(1):168-178.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะ
วิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัทเท็กซ์
แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ. หน้า 41-433.

สวิตรา ไบงวู้, นันทวัน เทิดไทย และ พิสิษฐุ์ ธรรมวิถี. 2550. ผลของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการ
อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศต่อคุณภาพของทุเรียนแผ่น. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 287 น.

สุจิตรา เลิศพฤกษ์. 2546. การใช้ความเย็น, เอกสารประกอบการบรรยายวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อ.หน้า 94-95. ภาควิชาอุตสาหกรรมกรรมการเกษตร คณะธุรกิจการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่. เข้าถึงได้จาก

http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning46/ft470/ct/ct_0601.html (4 พฤษภาคม 2555)

สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี. 2537. ข้อมูลการผลิตและการตลาดเห้วจีน.จังหวัด

สุพรรณบุรี. สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี. สุพรรณบุรี. 28 หน้า.

หลักการเบื้องต้นของการทำแห้ง. เข้าถึงได้จาก

http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/mass_transfer/basic_drying.htm (29 ธันวาคม2554)

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. (17th ed). Washington D.C., USA: The Association of Official Analytical Chemists.

Christopher, G.J. 1997. Industrial drying of foods. Blackie Academic and Professional, London.

Fellows, P.J. 2009. Food Processing technology Principles and Practice. Ellis Horwood, Chichester.

Genin, N., and F. Rene. 1996. Influence of freeze rate and ripeness state of fresh courgette on the quality of freeze-dried products and freeze-drying time. Journal of Food Engineering. 29:201-209.

Kessler, H.G. 1981. Food engineering and dairy technology. Freising, Germany.

Macrae, R., R.K. Robinson, and M.J. Sadler. 1993. Dressings and Mayonnaise-Fruits of Tropical Climates. Encyclopaedia of Food Science Food Technology and Nutrition. 3:2035-2043.

Rhim, J.W., S. Koh, and J.M. Kim. 2010. Effect of freezing temperature on rehydration and water vapor adsorption characteristics of freeze-dried rice porridge. Journal of food engineering. 104:484-491.

Romeo, T.I. 1990. Fundamentals of food process engineering. 2nd ed. Van Nowtrand Reinhold, New York.

Tambunan, A.H., Y.D. Kisdiyani and Hernani. 2001. Freeze drying characteristics of medicinal herbs. Drying Tech. 19(2):325 – 331.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

1.1. อุปกรณ์

- 1.1.1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
- 1.1.2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 1.1.3. โถตุคความชื้น
- 1.1.4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

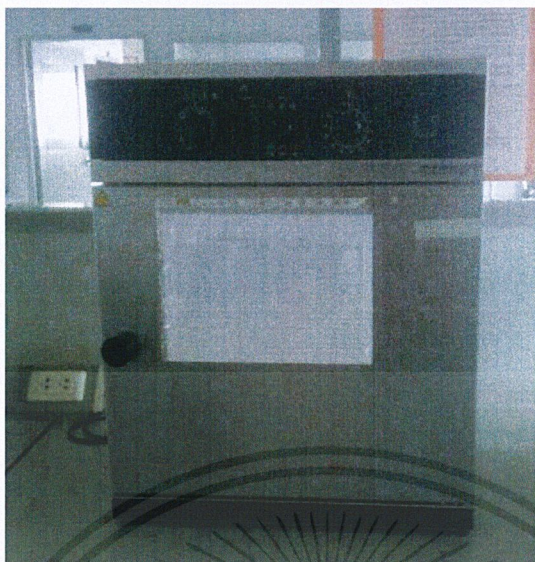
1.2 การวิเคราะห์

- 1.2.1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถตุคความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
- 1.2.2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ช้าจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 1.2.3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 2-5 กรัมใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
- 1.2.4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 24 ชั่วโมง
- 1.2.5. นำออกจากตู้อบใส่โถตุคความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
- 1.2.6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 1.2.7. กำหนดหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

เมื่อ M_1 คือน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

M_2 คือน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ



รูปที่ ก.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

2. การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องฮาโลเจน (รุ่น HR73, Switzerland)

2.1. อุปกรณ์

- 2.1.1. เครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน
- 2.1.2. ถาดอะลูมิเนียม
- 2.1.3. Forceps
- 2.1.4. โถดูดความชื้น
- 2.1.5. ตู้อบลมร้อน
- 2.1.6. เครื่องปั่นแห้ง

2.2. การวิเคราะห์

2.2.1. นำถาดอะลูมิเนียมไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น

2.2.2. เปิดเครื่องทำการ warm เครื่องประมาณ 20 นาที และ Set เครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน โดยกำหนดให้ใช้การวิเคราะห์แบบ Rapid อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วัด 3 กรัม

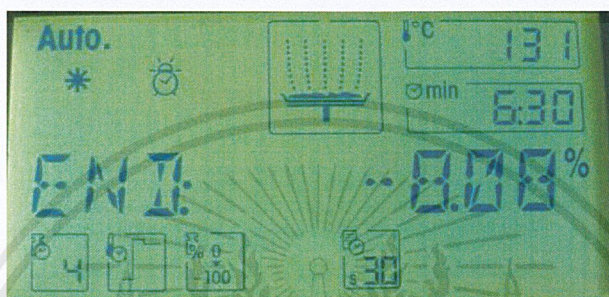
2.2.3 นำตัวอย่างมาปั่นให้เป็นผงละเอียด

2.2.4 จากนั้นถาดอะลูมิเนียมมาใส่ลงในเครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน โดยใช้ Forceps คีบออกจากโถดูดความชื้น

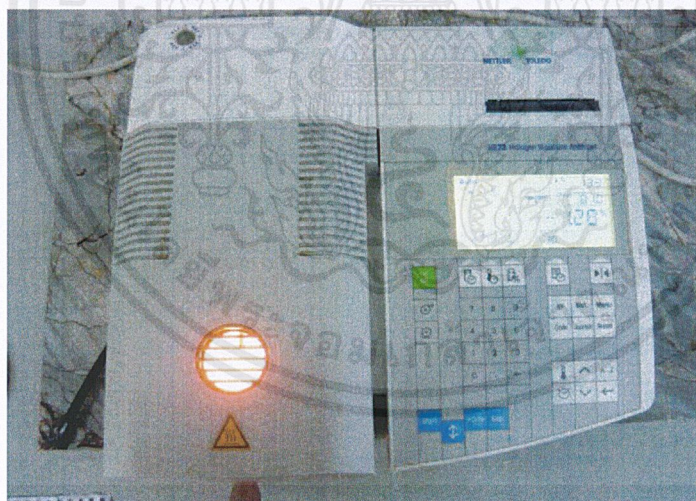
2.2.5. นำตัวอย่างใส่ลงในถาดอะลูมิเนียมจำนวน 3 กรัม โดยให้ตัวอย่างกระจายทั่วถาดอะลูมิเนียม

2.2.6. จากนั้นรอกว่าเครื่องวัดความชื้นฮาโลเจนวัดจนความชื้นของตัวอย่างคงที่

2.2.7 อ่านค่าที่ได้จากการวิเคราะห์



รูปที่ ก.2 ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ ก.3 เครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 การใส่ตัวอย่างในการวิเคราะห์

2.2.3 นำตัวอย่างมาบดให้เป็นผงละเอียด

2.2.4 จากนั้นถาดอะลูมิเนียมมาใส่ลงในเครื่องวัดความชื้นฮาโลเจน โดยใช้ Forceps คีบออก
จากโถดูดความชื้น

2.2.5 นำตัวอย่างใส่ลงในถาดอะลูมิเนียมจำนวน 3 กรัม โดยให้ตัวอย่างกระจายทั่วถาด
อะลูมิเนียม

2.2.6 จากนั้นรอกว่าเครื่องวัดความชื้นฮาโลเจนวัดจนความชื้นของตัวอย่างคงที่

2.2.7 อ่านค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

3. การหาปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w)

3.1. อุปกรณ์

3.1.1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (รุ่น RTD-502, Switzerland)

3.1.2. ตลับพลาสติก

3.2. การวิเคราะห์

3.2.1. เปิดเครื่อง ทำการ Warm เครื่องประมาณ 30 นาที

3.2.2. นำตัวอย่างบรรจุลงในตลับพลาสติกที่เตรียมไว้ประมาณ 1 ใน 3

3.2.3. นำตลับพลาสติกวางลงในเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี

3.2.4. กดปุ่ม Start ค้างไว้เพื่อเริ่มการวิเคราะห์ จนกระทั่งค่าวอเตอร์แอกติวิตีคงที่แล้ว

กดปุ่ม Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5. อ่านค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

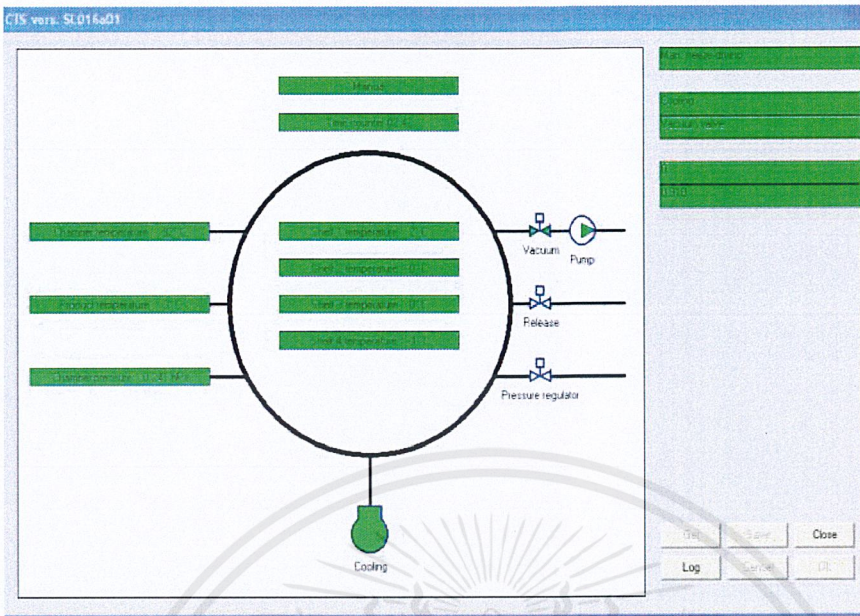


รูปที่ ก.5 เครื่องวัดค่าออกเตอร์แอกติวิตี (A_w)

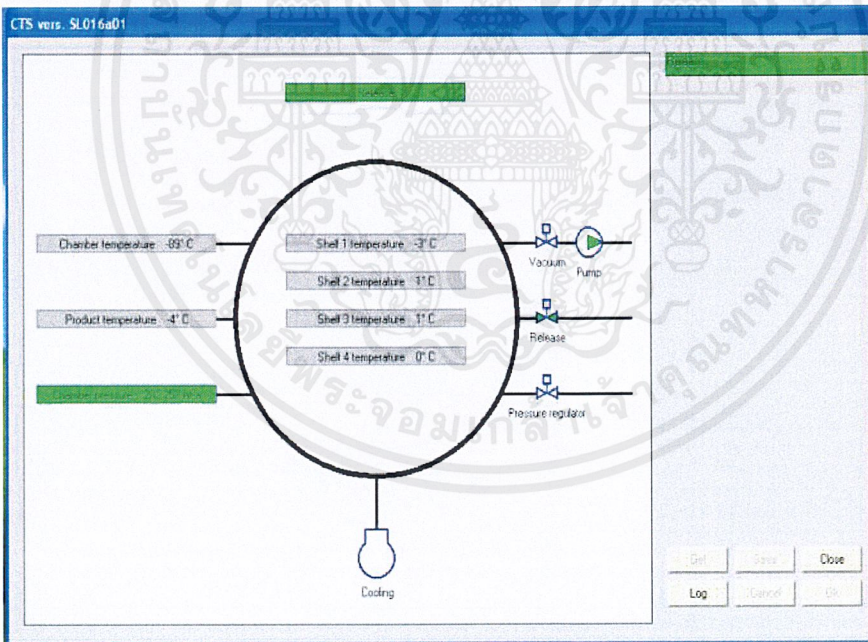
4. วิธีการใช้เครื่อง Freeze-dry (รุ่น Coolsafe90-80A, Denmark)

- 4.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการสั่งการทำงานของเครื่องฟรีสตราย
- 4.2 เปิดเครื่องฟรีสตราย (คลิกขวา ตรงช่อง Man. Freeze-drying ไปเรื่อยๆ จนช่องมีสีเขียว)
ทำการ Cooling เพื่อลดอุณหภูมิ (คลิกขวาให้ช่อง cooling มีสีเขียว)
- 4.3 รอจนกระทั่งอุณหภูมิ Chamber ใต้ -80 องศาเซลเซียส
- 4.5 เปิด Vacuum pump
- 4.6 ทำการเปิดประตูเครื่องฟรีสตราย (คลิกขวาให้เป็น Mode Release) รอประตูเปิดและนำตัวอย่างใส่ทันที โดยจะต้องไม่ให้ น้ำแข็งที่อยู่ในตัวอย่างละลายแล้วปิดประตูทันที
- 4.7 ทำการ Cooling อีกครั้งเพื่อให้อุณหภูมิต่ำกว่า -80 องศาเซลเซียส (กดช่อง Cooling ให้มีสีเขียว)
- 4.8 เมื่ออุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสแล้ว ให้เปิด Vacuum valve (กดช่อง Vacuum valve ให้มีสีเขียว)
- 4.9 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการทำแห้งแล้ว ให้นำตัวอย่างออกและนำไปซีลแบบสุญญากาศ (คลิกขวาให้เป็น Mode Release)
- 4.10 ทำการละลายน้ำแข็ง (คลิกขวาให้เป็น Mode De-ice)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

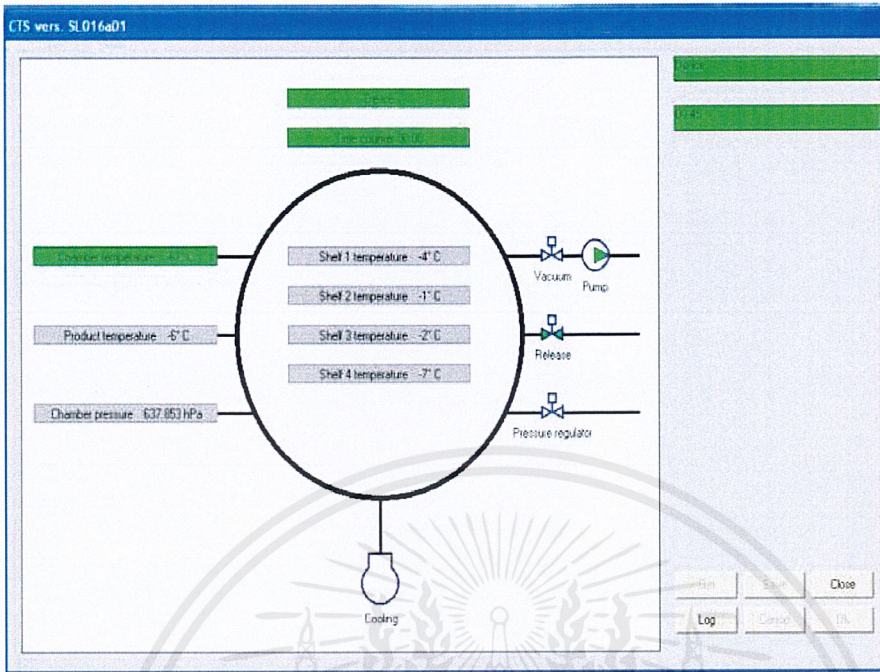


รูปที่ ก.6 เริ่มการทำแห้ง



รูปที่ ก.7 การเปิดประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 การละลายน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่าง: การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณลักษณะของเห็ดแผ่น

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่

คำแนะนำ: ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบ ตามคำอธิบายคะแนนความชอบด้านล่าง
กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

ระดับคะแนนความชอบ

- | | | |
|--------------------|--------------|------------------|
| 1= ไม่ชอบมากที่สุด | 2= ไม่ชอบมาก | 3= ไม่ชอบปานกลาง |
| 4= ไม่ชอบเล็กน้อย | 5= เฉยๆ | 6 = ชอบเล็กน้อย |
| 7= ชอบปานกลาง | 8 = ชอบมาก | 9 = ชอบมากที่สุด |

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ความเป็นรูพรุน	.....	.....	.....
ความกรอบเบา	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความหวาน	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าปริมาณน้ำอิสระของแก้วแผ่นตามการสไลด์
แนวนอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการทำแห้งที่ 18,24,30,36
ชั่วโมง

-	SS	DF	MS	F	Sig.
เวลาในการทำแห้ง	0.036	3	0.012	71.067	0.000
Error	0.001	8	0.000		
Total	1.831	12			

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าปริมาณน้ำอิสระของแก้วแผ่นตามการสไลด์
แนวนอนที่อุณหภูมิแช่แข็ง -40 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการทำแห้งที่ 18,24,30,36
ชั่วโมง

-	SS	DF	MS	F	Sig.
เวลาในการทำแห้ง	0.039	3	0.013	155.533	0.000
Error	0.001	8	0.000		
Total	1.960	12			

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าปริมาณน้ำอิสระของแห้วแผ่นตามการสไลด์
แนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการทำแห้งที่ 18,24,30,36
ชั่วโมง

-	SS	DF	MS	F	Sig.
เวลาในการทำแห้ง	0.043	3	0.014	74.551	0.000
Error	0.002	8	0.000		
Total	2.161	12			

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าปริมาณน้ำอิสระของแห้วแผ่นตามการสไลด์
แนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -40 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการทำแห้งที่ 18,24,30,36
ชั่วโมง

-	SS	DF	MS	F	Sig.
เวลาในการทำแห้ง	0.043	3	0.014	114.311	0.000
Error	0.001	8	0.000		
Total	2.194	12			

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์แนวนอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความเป็นรูพรุน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103.417(a)	32	3.232	3.037	.000
Intercept	3167.269	1	3167.269	2976.866	.000
ผู้ทดสอบ	99.044	29	3.415	3.210	.000
เวลาในการทำแห้ง	4.373	3	1.458	1.370	.257
Error	92.565	87	1.064		
Total	3363.250	120			
Corrected Total	195.981	119			

a. R Squared = 0.528 (Adjusted R Squared = 0.354)

ความเป็นรูพรุน

Duncan^a

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset
		1
18	30	4.92
24	30	5.00
30	30	5.23
36	30	5.40
Sig.		0.101

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.211

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแห้วแผ่นตามการสไลด์แนวนอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความกรอบเบา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	108.083(a)	32	3.378	2.608	.000
Intercept	2995.002	1	2995.002	2312.751	.000
ผู้ทดสอบ	83.810	29	2.890	2.232	.002
เวลาในการทำแห้ง	24.273	3	8.091	6.248	.001
Error	112.665	87	1.295		
Total	3215.750	120			
Corrected Total	220.748	119			

a. R Squared = 0.490 (Adjusted R Squared = 0.302)

ความกรอบเบา

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.25	
24	30		5.07
36	30		5.23
30	30		5.43
Sig.		1.000	0.244

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.295

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์เนวอนอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: รสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	166.158(a)	32	5.192	5.297	.000
Intercept	2731.302	1	2731.302	2786.076	.000
ผู้ทดสอบ	145.635	29	5.022	5.123	.000
เวลาในการทำแห้ง	20.523	3	6.841	6.978	.000
Error	85.290	87	.980		
Total	2982.750	120			
Corrected Total	251.448	119			

a. R Squared = 0.661 (Adjusted R Squared = 0.536)

รสชาติ

Duncan^{a,b,c}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset		
		1	2	3
18	30	4.18		
24	30	4.62	4.62	
36	30		5.00	5.00
30	30			5.28
Sig.		0.094	0.137	0.271

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.980

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ๘.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแห้วแผ่นตามการสไลด์แนวนอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความหวาน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	116.692(a)	32	3.647	3.866	.000
Intercept	2571.502	1	2571.502	2726.431	.000
ผู้ทดสอบ	106.685	29	3.679	3.900	.000
เวลาในการทำแห้ง	10.006	3	3.335	3.536	.018
Error	82.056	87	.943		
Total	2770.250	120			
Corrected Total	198.748	119			

a. R Squared = 0.587 (Adjusted R Squared = 0.435)

ความหวาน

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.33	
24	30	4.43	
36	30	4.67	4.67
30	30		5.08
Sig.		0.214	0.100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.943

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์เนวนอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชอบรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	132.458(a)	32	4.139	4.473	.000
Intercept	3328.533	1	3328.533	3596.925	.000
ผู้ทดสอบ	118.342	29	4.081	4.410	.000
เวลาในการทำแห้ง	14.117	3	4.706	5.085	.003
Error	80.508	87	.925		
Total	3541.500	120			
Corrected Total	212.967	119			

a. R Squared = 0.622 (Adjusted R Squared = 0.483)

ความชอบรวม

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.77	
24	30	5.20	5.20
36	30		5.38
30	30		5.72
Sig.		0.085	0.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.980

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการสไลด์เนวอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความเป็นรูพรุน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	97.892(a)	32	3.059	2.844	.000
Intercept	2837.269	1	2837.269	2637.498	.000
ผู้ทดสอบ	94.169	29	3.247	3.019	.000
เวลาในการทำแห้ง	3.723	3	1.241	1.154	.332
Error	93.590	87	1.076		
Total	3028.750	120			
Corrected Total	191.481	119			

a. R Squared = 0.511 (Adjusted R Squared = 0.331)

ความเป็นรูพรุน

Duncan^a

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset
		1
18	30	4.58
24	30	4.85
30	30	4.97
36	30	5.05
Sig.		0.116

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.067

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์เนวอนที่อุณหภูมิกวนแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความกรอบเบา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	102.892(a)	32	3.215	2.142	.003
Intercept	2837.269	1	2837.269	1890.215	.000
ผู้ทดสอบ	75.669	29	2.609	1.738	.026
เวลาในการทำแห้ง	27.223	3	9.074	6.045	.001
Error	130.590	87	1.501		
Total	3070.750	120			
Corrected Total	233.481	119			

a. R Squared = 0.441 (Adjusted R Squared = 0.235)

ความกรอบเบา

Duncan^{ab}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.13	
24	30	4.75	4.75
30	30		5.22
36	30		5.35
Sig.		0.054	0.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.501

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเหี่ยวแผ่นตามการ
สไลด์เนวอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: รสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	121.383(a)	32	3.793	3.679	.000
Intercept	2585.408	1	2585.408	2507.354	.000
ผู้ทดสอบ	111.342	29	3.839	3.723	.000
เวลาในการทำแห้ง	10.042	3	3.347	3.246	.026
Error	89.708	87	1.031		
Total	2796.500	120			
Corrected Total	211.092	119			

a. R Squared = 0.575 (Adjusted R Squared = 0.419)

รสชาติ

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.20	
24	30	4.58	4.58
30	30		4.82
36	30		4.97
Sig.		0.147	0.172

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.067

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์เนวอนที่อุณหภูมิกวนแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความหวาน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	128.333(a)	32	4.010	4.170	.000
Intercept	2430.000	1	2430.000	2526.813	.000
ผู้ทดสอบ	111.250	29	3.836	3.989	.000
เวลาในการทำแห้ง	17.083	3	5.694	5.921	.001
Error	83.667	87	.962		
Total	2642.000	120			
Corrected Total	212.000	119			

a. R Squared = 0.605 (Adjusted R Squared = 0.460)

ความหวาน

Duncan^{a,b,c}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset		
		1	2	3
18	30	3.97		
24	30	4.37	4.37	
36	30		4.68	4.68
30	36			4.98
Sig.		0.118	0.214	0.239

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.962

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห็ดแผ่นตามการ
สไลด์เนวอนที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชอบรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	108.433(a)	32	3.389	4.836	.000
Intercept	2788.852	1	2788.852	3979.854	.000
ผู้ทดสอบ	92.960	29	3.206	4.574	.000
เวลาในการทดสอบ	15.473	3	5.158	7.360	.000
Error	60.965	87	.701		
Total	2958.250	120			
Corrected Total	169.398	119			

a. R Squared = 0.640 (Adjusted R Squared = 0.508)

ความชอบรวม

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.23	
24	30		4.85
30	30		5.02
36	30		5.18
Sig.		1.000	0.149

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.701

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิกวนแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความเป็นรูปพรุน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	133.125(a)	32	4.160	3.243	.000
Intercept	2866.519	1	2866.519	2234.527	.000
ผู้ทดสอบ	119.919	29	4.135	3.223	.000
เวลาในการทำแห้ง	13.206	3	4.402	3.432	.020
Error	111.606	87	1.283		
Total	3111.250	120			
Corrected Total	244.731	119			

a. R Squared = 0.544 (Adjusted R Squared = 0.376)

ความเป็นรูปพรุน

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.52	
24	30	4.65	
30	30	5.02	5.02
36	30		5.37
Sig.		0.110	0.235

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.283

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความกรอบเบา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	151.333(a)	32	4.729	3.453	.000
Intercept	2604.008	1	2604.008	1901.241	.000
ผู้ทดสอบ	92.492	29	3.189	2.329	.001
เวลาในการทำแห้ง	58.842	3	19.614	14.321	.000
Error	119.158	87	1.370		
Total	2874.500	120			
Corrected Total	270.492	119			

a. R Squared = 0.559 (Adjusted R Squared = 0.397)

ความกรอบเบา

Duncan^{a,b,c}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset		
		1	2	3
18	30	3.62		
24	30		4.43	
36	30			5.18
30	30			5.40
Sig.		1.000	1.000	0.475

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.370

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิกวนแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: รสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	144.133(a)	32	4.504	5.972	.000
Intercept	2618.002	1	2618.002	3471.274	.000
ผู้ทดสอบ	117.560	29	4.054	5.375	.000
เวลาในการทำแห้ง	26.573	3	8.858	11.745	.000
Error	65.615	87	.754		
Total	2827.750	120			
Corrected Total	209.748	119			

a. R Squared = 0.687 (Adjusted R Squared = 0.572)

รสชาติ

Duncan^{a,b,c}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset		
		1	2	3
18	30	4.00		
24	30		4.47	
36	30			5.03
30	30			5.18
Sig.		1.000	1.000	0.505

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.754

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความหวาน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	128.658(a)	32	4.021	4.043	.000
Intercept	2520.833	1	2520.833	2535.160	.000
ผู้ทดสอบ	94.042	29	3.243	3.261	.000
เวลาในการทำแห้ง	34.617	3	11.539	11.604	.000
Error	86.508	87	.994		
Total	2736.000	120			
Corrected Total	215.167	119			

a. R Squared = 0.598 (Adjusted R Squared = 0.450)

ความหวาน

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	3.85	
24	30	4.32	
36	30		4.93
30	30		5.23
Sig.		0.073	0.247

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.994

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชอบรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	123.358(a)	32	3.855	4.239	.000
Intercept	2721.769	1	2721.769	2992.734	.000
ผู้ทดสอบ	89.669	29	3.092	3.400	.000
เวลาในการทำแห้ง	33.690	3	11.230	12.348	.000
Error	79.123	87	.909		
Total	2924.250	120			
Corrected Total	202.481	119			

a. R Squared = 0.609 (Adjusted R Squared = 0.466)

ความชอบรวม

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.08	
24	30	4.42	
36	30		5.18
30	30		5.37
Sig.		0.179	0.459

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.909

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความเป็นรูพรุน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	101.492(a)	32	3.172	3.999	.000
Intercept	3000.000	1	3000.000	3782.152	.000
ผู้ทดสอบ	84.875	29	2.927	3.690	.000
เวลาในการทำแห้ง	16.617	3	5.539	6.983	.000
Error	69.008	87	.793		
Total	3170.500	120			
Corrected Total	170.500	119			

a. R Squared = 0.595 (Adjusted R Squared = 0.446)

ความเป็นรูพรุน

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.55	
24	30	4.73	
30	30		5.25
36	30		5.47
Sig.		0.427	0.349

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 0.793

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิกว้างที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความกรอบเบา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	115.817(a)	32	3.619	2.456	.001
Intercept	2856.752	1	2856.752	1938.953	.000
ผู้ทดสอบ	59.310	29	2.045	1.388	.124
เวลาในการทำแห้ง	56.506	3	18.835	12.784	.000
Error	128.181	87	1.473		
Total	3100.750	120			
Corrected Total	243.998	119			

a. R Squared = 0.475 (Adjusted R Squared = 0.281)

ความกรอบเบา

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.08	
24	30	4.32	
30	30		5.48
36	30		5.63
Sig.		0.459	0.633

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.473

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: รสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	141.858(a)	32	4.433	5.483	.000
Intercept	2975.052	1	2975.052	3679.714	.000
ผู้ทดสอบ	123.385	29	4.255	5.262	.000
เวลาในการทำแห้ง	18.473	3	6.158	7.616	.000
Error	70.340	87	.809		
Total	3187.250	120			
Corrected Total	212.198	119			

a. R Squared = 0.669 (Adjusted R Squared = 0.547)

รสชาติ

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.57	
24	30	4.62	
36	30		5.28
30	30		5.45
Sig.		0.830	0.475

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 0.809

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเห้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความหวาน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	125.967(a)	32	3.936	4.313	.000
Intercept	2745.633	1	2745.633	3008.440	.000
ผู้ทดสอบ	94.117	29	3.245	3.556	.000
เวลาในการทำแห้ง	31.850	3	10.617	11.633	.000
Error	79.400	87	.913		
Total	2951.000	120			
Corrected Total	205.367	119			

a. R Squared = 0.613 (Adjusted R Squared = 0.471)

ความหวาน

Duncan^{a,b,c}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset		
		1	2	3
24	30	4.05		
18	30		4.55	
30	30			5.23
36	30			5.30
Sig.		1.000	1.000	0.788

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 0.913

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแก้วแผ่นตามการ
สไลด์แนวตั้งที่อุณหภูมิการแช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชอบรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	127.892(a)	32	3.997	3.194	.000
Intercept	3005.002	1	3005.002	2401.655	.000
ผู้ทดสอบ	98.435	29	3.394	2.713	.000
เวลาในการทำแห้ง	29.456	3	9.819	7.847	.000
Error	108.856	87	1.251		
Total	3241.750	120			
Corrected Total	236.748	119			

a. R Squared = 0.540 (Adjusted R Squared = 0.371)

ความชอบรวม

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
18	30	4.42	
24	30	4.62	
30	30		5.42
36	30		5.57
Sig.		0.490	0.605

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 1.251

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความเป็นรูพรุน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	84.092(a)	32	2.628	1.427	.099
Intercept	3915.919	1	3915.919	2126.097	.000
ผู้ทดสอบ	81.519	29	2.811	1.526	.069
เวลาในการทำแห้ง	2.573	3	.858	.466	.707
Error	160.240	87	1.842		
Total	4160.250	120			
Corrected Total	244.331	119			

a. R Squared = 0.344 (Adjusted R Squared = 0.103)

ความเป็นรูพรุน

Duncan^a

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset
		1
30	30	5.55
38	30	5.67
36	30	5.68
37	30	5.95
Sig.		0.284

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 1.842

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความกรอบเบา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	106.100(a)	32	3.316	1.384	.120
Intercept	3234.408	1	3234.408	1349.663	.000
ผู้ทดสอบ	97.092	29	3.348	1.397	.120
เวลาในการทำแห้ง	9.008	3	3.003	1.253	.296
Error	208.492	87	2.396		
Total	3549.000	120			
Corrected Total	314.592	119			

a. R Squared = 0.337 (Adjusted R Squared = 0.093)

ความกรอบเบา

Duncan^a

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset
		1
38	30	4.78
36	30	5.10
37	30	5.43
30	30	5.45
Sig.		0.132

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.396

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.27 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเห้วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable : รสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	100.758(a)	32	3.149	1.438	.094
Intercept	3050.208	1	3050.208	1392.765	.000
ผู้ทดสอบ	75.667	29	2.609	1.191	.263
เวลาในการทำแห้ง	25.092	3	8.364	3.819	.013
Error	190.533	87	2.190		
Total	3341.500	120			
Corrected Total	291.292	119			

a. R Squared = 0.346 (Adjusted R Squared = 0.105)

รสชาติ

Duncan^{ab}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
36	30	4.45	
37	30	4.88	
30	30	5.12	5.12
38	30		5.72
Sig.		0.103	0.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.190

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.28 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความหวาน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	99.200(a)	32	3.100	1.619	.041
Intercept	2925.469	1	2925.469	1527.878	.000
ผู้ทดสอบ	75.844	29	2.615	1.366	.136
เวลาในการทำแห้ง	23.356	3	7.785	4.066	.009
Error	166.581	87	1.915		
Total	3191.250	120			
Corrected Total	265.781	119			

a. R Squared = 0.373 (Adjusted R Squared = 0.143)

ความหวาน

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
36	30	4.47	
30	30	4.72	
37	30	4.92	
38	30		5.65
Sig.		0.240	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.915

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค.29 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแก้วแผ่นตามการสไลด์ แนวนอนและแนวตั้งที่อุณหภูมิแช่แข็ง -10 และ -40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 และ 36 ชั่วโมง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชอบรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	84.650(a)	32	2.645	1.378	.123
Intercept	3413.333	1	3413.333	1778.026	.000
ผู้ทดสอบ	74.667	29	2.575	1.341	.150
เวลาในการทำแห้ง	9.983	3	3.328	1.733	.166
Error	167.017	87	1.920		
Total	3665.000	120			
Corrected Total	251.667	119			

a. R Squared = 0.336 (Adjusted R Squared = 0.092)

ความชอบรวม

Duncan^{a,b}

เวลาในการทำแห้ง	N	Subset	
		1	2
36	30	4.87	
30	30	5.37	5.37
37	30	5.45	5.45
38	30		5.65
Sig.		0.127	0.460

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.920

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000

b. Alpha = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปานเนตร อภิวงศ์ เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2533
 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนไตรภพวิทยา พ.ศ. 2544
 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย พ.ศ.2550
 จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2554

นางสาวเมทนี เรืองแสง เกิดวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2532
 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนวัดบึงบ้านสนม พ.ศ. 2544
 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีศรีนครินทร์บำเพ็ญ พ.ศ.2550
 จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2554

นางสาวอัจฉรา แก้วมนตรี เกิดวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2533
 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนกรพิทักษ์ศึกษา พ.ศ.2544
 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีนครินทร์บำเพ็ญ พ.ศ.2550
 จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2554