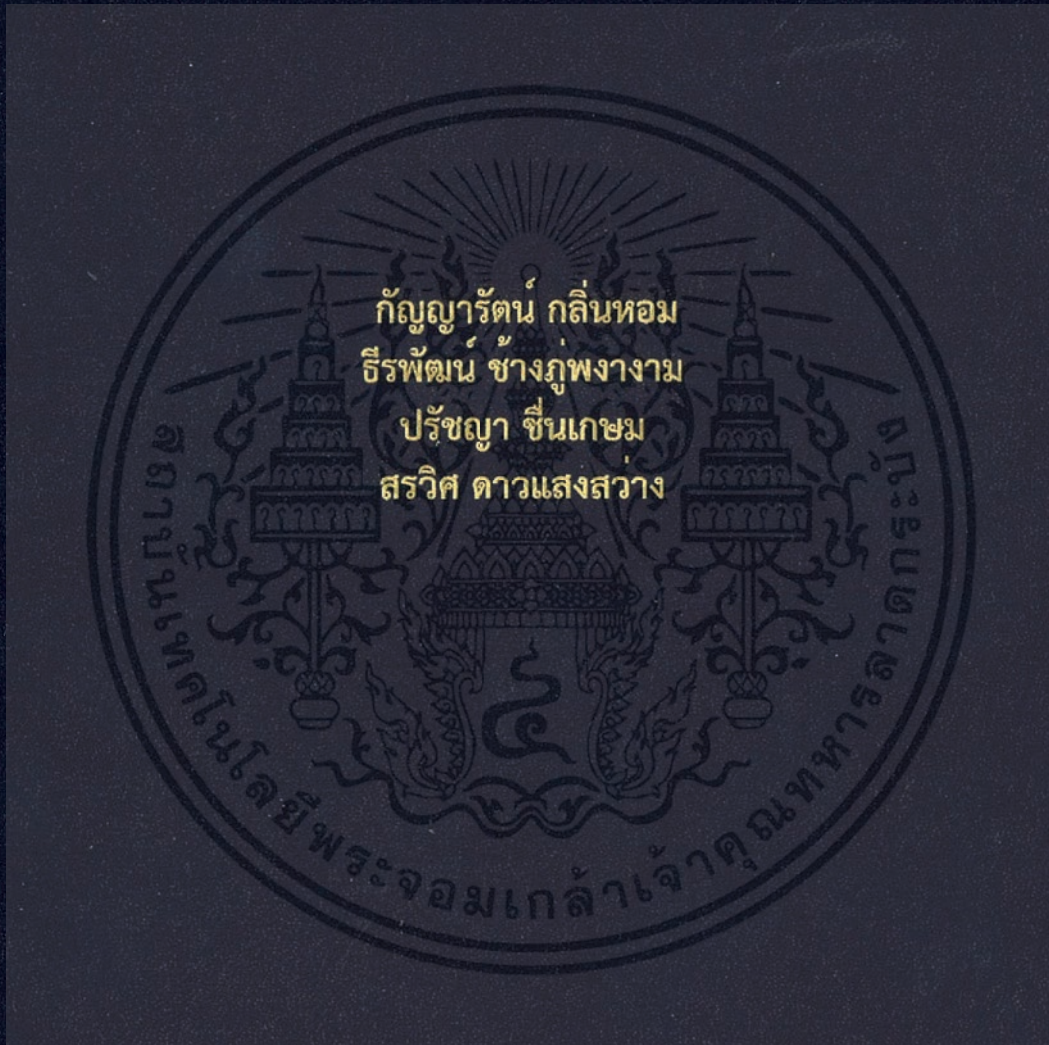


การพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง
Development of Smart Controlled Atmosphere Cabinet
for Guava Storage



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง
Development of Smart Controlled Atmosphere Cabinet
for Guava Storage



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Smart Controlled Atmosphere Cabinet
for Guava Storage



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง

Development of Smart Controlled Atmosphere Cabinet for Guava Storage

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวกัญญารัตน์ กลิ่นหอม รหัสนักศึกษา 58010064

นายธีรพัฒน์ ช่างภูพวงงาม รหัสนักศึกษา 58010598

นายปรัชญา ชื่นเกษม รหัสนักศึกษา 58010735

นายสรวิศ ดาวแสงสว่าง รหัสนักศึกษา 58011271

ปริญญာ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวกัญญารัตน์	กลิ่นหอม	58010064
	นายธีรพัฒน์	ช่างภู่งางาม	58010598
	นายปรัชญา	ชื่นเกษม	58010735
	นายสรวิศ	ดาวแสงสว่าง	58011271
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รวิภัทร ลากเจริญสุข		
ปีการศึกษา	2561		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่งกิมจู อิทธิพลของการเก็บรักษาในสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกลของฝรั่งได้ถูกศึกษา สมบัติทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูหลังการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศถูกเปรียบเทียบกับฝรั่งกิมจูตามท้องตลาด ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะถูกพัฒนาให้สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซออกซิเจนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ข้อมูลสภาวะในการเก็บรักษาถูกบันทึกไปยังระบบคลาวด์ (Cloud) การทำงานของตู้สามารถควบคุมระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ตัวอย่างฝรั่งกิมจูได้มาจากสวนในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ที่อายุการเก็บเกี่ยว 150 วันหลังดอกบาน ตัวอย่างฝรั่งกิมจูถูกนำมาแช่น้ำผสมด้วยคลอรีนที่อุณหภูมิ 5 C เป็นระยะเวลา 30 นาทีก่อนการเก็บรักษา สภาวะในการเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศคืออุณหภูมิ 12.2 C ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ 2-5% และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2-5% โดยมีพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในตู้ สำหรับการเก็บรักษาด้วยความเย็นสภาวะที่ใช้เก็บรักษาคืออุณหภูมิ 12.2 C และความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% โดยไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศ สมบัติต่าง ๆ ถูกวิเคราะห์ที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 วันหลังการเก็บรักษา สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแน่นเนื้อเฉลี่ย แรงในการแทงทะลุ ความเหนียว แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณวิตามินซี การทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสแบบความชอบโดยรวมด้วยฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 24 วัน ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นเป็นเวลา 24 วัน ฝรั่งกิมจูจากท้องตลาดและฝรั่งกิมจูจากห้างสรรพสินค้า สมบัติทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏของผล ความหวาน ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม จากผลการศึกษานี้พบว่าและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของฝรั่งกิมจูมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะการเก็บรักษา สีของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น สมบัติเชิงกลพบว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีความแข็งมากกว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณวิตามินซีของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพบรรยากาศมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าการยอมรับโดยรวมของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศดีกว่าฝรั่งกิมจูจาก 3 แหล่งที่มาที่เหลือ ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะนี้มีต้นทุนเท่ากับ 16,500 บาทและค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาฝรั่งต่อ 24 วันเท่ากับ 4,475 บาท ตู้สามารถเก็บรักษาฝรั่งด้วยความจุ 100 กิโลกรัม ส่งผลให้คืนทุนได้ภายในระยะ 768 วัน หรือการเก็บรักษาทั้งหมด 32 รอบ จากข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่าตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของฝรั่งกิมจูได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of Smart Controlled Atmosphere Cabinet for Guava Storage		
Authors	Ms. Kanyarat Klinhom		58010064
	Mr. Teerapat Changpupangangam		58010598
	Mr. Prachaya Chuenkasem		58010735
	Mr. Sorawit Daosaengsawang		58011271
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Ravipat Lapcharoensuk		
Year	2018		

ABSTRACT

This project aims to design and develop smart controlled atmosphere cabinet for guava storage. Effect of controlled atmosphere and cold storage method on physical, mechanical, chemical properties of guava were studied. Sensory quality of guava from controlled atmosphere storage was compared with guava from market. The smart controlled atmosphere cabinet was developed to control temperature, relative humidity, carbon dioxide and oxygen content with the Internet of Things (IoT). Data of storage conditions was recorded to the cloud system (cloud). The procedures of cabinet can be controlled remotely with the application on smart phone. Guava samples were collected from Sampran, Nakhon Pathom at 150 days of harvested time after blooming. Guava samples were soaked in water chlorination at 5 C for 30 minutes before storage. The conditions of controlled atmosphere storage were set on 12.2 C of temperature; 70-90% of relative humidity; 2-5% of oxygen and carbon dioxide concentration with forced air circulator system. For the cold storage, the conditions were prepared at 12.2 C and the 70-90% of relative humidity with forced air circulator system without controlled atmosphere. All properties were analyzed at 0, 6, 12, 18, and 24 days after storage. Physical properties included weight, color and geometric mean diameter. Mechanical properties consisted of average firmness, rupture force, toughness, average penetrating force and penetrating energy. The chemical properties were total soluble solids and vitamin c. Sensory properties of guava experiment was studied with overall liking method on the guava samples stored with the controlled atmosphere storage condition at 24 days, the guava samples stored with the cool storage condition at 24 days, the guava from supermarket and the guava from local market. Sensory properties were reported on appearances, sweetness, hardness and overall acceptance. From the results of this study, weight and geometric mean diameter changed according storage days both storage conditions. Color of guava samples from controlled atmosphere storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

changed less than guava samples from cold storage. Mechanical properties of guava presented that hardness of the samples from controlled atmosphere storage was more than the samples from cold storage. The soluble solids content and vitamin c content of guava from controlled atmosphere storage changed more than the guava from cold storage. Sensory evaluation results showed that overall acceptance of guava from controlled atmosphere better than guava from 3 remainder source. The cost of smart controlled atmosphere cabinet was 16,500 baht and the cost of guava storage for 24 days was 4,475 baht. The maximum capacity of this cabinet was 100 kg. Therefore, break even point obtained within 768 days or 32 rounds of storage. All results indicated that the storage of guava in controlled atmosphere cabinet could extend storage time and maintain quality of guava.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.รวิภัทร ลากเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่ช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุน (งบประมาณรายได้ประจำปี พ.ศ. 2562) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆชาววิศวกรรมเกษตร ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทดลองเสมอ

ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำงานและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณงามความดีที่เกิดจากปณิธานอันแน่วแน่ของข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพ ตลอดจนครอบครัวอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัย



กัญญารัตน์

กลิ่นหอม

ธีรพัฒน์

ช่างภูพวงงาม

ปรัชญา

ชื่นเกษม

สรวิศ

ดาวแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	IX
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ฝรั่ง	5
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฝรั่ง	5
2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของฝรั่ง	6
2.2 สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต	7
2.2.1 การหายใจ	7
2.2.2 การคายน้ำ	8
2.2.3 เอทิลีน	8
2.2.4 เมแทบอลิซึม	9
2.3 การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร (สรวิต แจ่มจำรูญ, 2556)	9
2.3.1 การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)	9
2.3.2 เก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage – CA Storage)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล และสมบัติทางประสาทสัมผัสหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลทางการเกษตร	11
2.5	อุปกรณ์ตรวจวัด ระบบควบคุม และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศ.....	12
2.5.1	เซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์.....	12
2.5.2	เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน.....	12
2.5.3	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266	13
2.5.4	รีเลย์	14
2.5.5	โซลินอยด์วาล์ว.....	14
2.5.6	วาล์วควบคุมความปลอดภัย.....	15
2.5.7	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น.....	15
2.5.8	ระบบทำความเย็นแบบ Forced air circulation	16
2.5.9	หน้าจอ-LCD (เกร็ดความรู้: 2561).....	16
2.6	Internet of Things (IoT).....	17
บทที่ 3	ออกแบบ สร้าง และขั้นตอนการทดลอง	18
3.1	การออกแบบและสร้าง.....	18
3.1.1	การออกแบบตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ.....	18
3.2	การพัฒนาแอปพลิเคชันผ่านทางสมาร์ทโฟน.....	20
3.3	ระบบคลาวด์.....	20
3.4	การสอบเทียบเซนเซอร์.....	20
3.5	การทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้.....	21
3.6	ต้นทุนของชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ.....	21
3.7	การเปรียบเทียบการเก็บรักษาฝรั่งด้วยการควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นที่ระยะเวลาต่างๆ	22
3.7.1	การเตรียมตัวอย่างและสภาวะในการเก็บรักษา	22
3.7.2	น้ำหนัก.....	24
3.7.3	ขนาด	24
3.7.4	สี.....	25
3.7.5	สมบัติเชิงกล.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	26
3.7.7 ปริมาณวิตามินซี.....	27
3.7.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	28
3.7.9 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์	30
4.2 ผลการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้	31
4.3 การทดลองเปรียบเทียบฝรั่งกิมจูที่ถูกเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็น	31
4.3.1 สมบัติทางกายภาพ.....	31
4.3.2 สมบัติเชิงกล	37
4.3.3 สมบัติทางเคมี.....	42
4.3.4 สมบัติทางประสาทสัมผัส	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก. ผลการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้.....	52
ภาคผนวก ข. แบบทดสอบความพึงพอใจต่อฝรั่งกิมจู	54
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองเปรียบเทียบฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นต่อสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และเคมี.....	56
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจู.....	69

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ฝรั้งกิมจู.....	6
รูปที่ 2.2 การเก็บรักษาในห้องเย็น.....	10
รูปที่ 2.3 เก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ.....	10
รูปที่ 2.4 เซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น MH-Z16 NDIR	12
รูปที่ 2.5 เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน รุ่น ME2-O2-Φ20	13
รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266.....	14
รูปที่ 2.7 รีเลย์	14
รูปที่ 2.8 โซลินอยด์วาล์ว	15
รูปที่ 2.9 วาล์วควบคุมความปลอดภัย	15
รูปที่ 2.10 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	16
รูปที่ 2.11 ตู้เย็นแบบ Forced air circulation.....	16
รูปที่ 2.12 หน้าจอ LCD.....	17
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั้ง.....	18
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์.....	19
รูปที่ 3.3 ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะ.....	19
รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผลของแอปพลิเคชัน.....	20
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน.....	21
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งที่วัดการกระจายตัวของก๊าซ	21
รูปที่ 3.7 ฝรั้งกิมจูที่มาจากสวน	23
รูปที่ 3.8 การแช่ฝรั้งกิมจูในน้ำ.....	23
รูปที่ 3.9 เครื่อง Water Bath (Polyscience, PN 9502A12E, USA).....	23
รูปที่ 3.10 การจัดเรียงฝรั้งกิมจูเข้าตู้.....	24
รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักฝรั้งกิมจู	24
รูปที่ 3.12 การวัดขนาดฝรั้งกิมจู (แกน X).....	25
รูปที่ 3.13 การวัดขนาดฝรั้งกิมจู (แกน Y)	25
รูปที่ 3.14 การวัดขนาดฝรั้งกิมจู (แกน Z).....	25
รูปที่ 3.15 การวัดค่าสีฝรั้งกิมจู	26
รูปที่ 3.16 การวัดสมบัติเชิงกล โดยใช้เครื่อง texture analyzer.....	26
รูปที่ 3.17 การปั่นตัวอย่างกับน้ำกลั่น.....	27
รูปที่ 3.18 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้	27
รูปที่ 3.19 การหาปริมาณวิตามินซี.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20	ฝรั่งกิมจูที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส	28
รูปที่ 3.21	ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส	29
รูปที่ 3.22	การทดสอบทางประสาทสัมผัส	29
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อ่านได้กับค่าที่เครื่องมือวัดมาตรฐานอ่านได้	30
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจนอ่านได้กับค่าที่เครื่องมือวัดมาตรฐานอ่านได้	31
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงน้ำหนักของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	32
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของฝรั่งกิมจูจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	32
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงค่า L^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	34
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่า a^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	35
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่า b^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	35
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความแน่นเนื้อเฉลี่ยของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	37
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงแรงสูงสุดในการแทงทะลุของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	38
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความเหนียวของเปลือกฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	38
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงแรงกดเฉลี่ยที่เนื้อฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	39
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงพลังงานในการแทงทะลุเนื้อฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	39
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	42
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงปริมาณวิตามินซีของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	43
รูปที่ 4.15	ลักษณะภายนอกของฝรั่งกิมจูจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการ	7
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ.....	22
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้.....	31
ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิง เรขาคณิต) หลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ.....	33
ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิง เรขาคณิต) ตามสภาวะในการเก็บรักษาต่างๆ.....	33
ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (L^* , a^* และ b^*) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะ และระยะเวลาต่างๆ.....	36
ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติทางกลของฝรั่งกิมจู (แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ แรงสูงสุดในการแทงทะลุ และ พลังงานในการแทงทะลุเนื้อ) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะและระยะเวลาต่างๆ	40
ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติทางกลของฝรั่งกิมจู (ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และความเหนียวของเปลือก) หลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ.....	41
ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติทางกลของฝรั่งกิมจู (ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และความเหนียวของเปลือก) ตาม สภาวะในการเก็บรักษาต่างๆ.....	41
ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) หลังจากการเก็บรักษาที่ ระยะเวลาต่างๆ.....	44
ตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) ตามสภาวะในการเก็บ รักษาต่างๆ.....	44
ตารางที่ 4.10 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณวิตามินซี) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะ และระยะเวลาต่างๆ	45
ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจู (ลักษณะปรากฏของผล, ความหวาน, ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม) หลังจากการเก็บรักษาควบคุมสภาพบรรยากาศเป็น เวลา 24 วัน กับ ฝรั่งกิมจูที่วางขายอยู่ในร้านสะดวกซื้อ.....	47
ตารางที่ ก1 ผลการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้.....	53
ตารางที่ ก2 ผลการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนในตู้.....	53
ตารางที่ ค1 น้ำหนักของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา.....	57
ตารางที่ ค2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บ รักษา.....	58
ตารางที่ ค3 L^* ของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	59
ตารางที่ ค4 a^* ของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค5 b* ของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา.....	61
ตารางที่ ค6 ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา.....	62
ตารางที่ ค7 แรงสูงสุดในการแทงทะลุของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	63
ตารางที่ ค8 ความเหนียวของเปลือกของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	64
ตารางที่ ค9 แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	65
ตารางที่ ค10 พลังงานในการแทงทะลุเนื้อของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา .	66
ตารางที่ ค11 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา ..	67
ตารางที่ ค12 ปริมาณวิตามินซีของฝรั่งมิวจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา	68
ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งมิวจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพ บรรยากาศเป็นเวลา 24 วันๆ.....	70
ตารางที่ ง2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งมิวจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น	71
ตารางที่ ง3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งมิวจูที่วางขายในห้างสรรพสินค้า	72
ตารางที่ ง4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งมิวจูที่วางขายในท้องตลาด	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเรามักจะพบฝรั่งกิมจูอยู่ในเมนูของผลไม้รวมตามร้านอาหาร ภัตตาคาร หรือแม้กระทั่งในโรงแรม อีกทั้งเรายังสามารถหาซื้อฝรั่งกิมจูได้ตามร้านผลค้าปลีก หรือร้านขายผลไม้สดและห้างสรรพสินค้าอีกด้วย เห็นได้ว่าฝรั่งกิมจูเป็นผลไม้ในชีวิตประจำวันที่ได้รับความนิยมสามารถหาซื้อรับประทานได้ง่ายอยู่เสมอ เนื่องจากรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งมีทั้ง ไฟเบอร์ เพคติน (0.5-1.8%) วิตามินเอ วิตามินซี (78-1014.4 mg/100g เนื้อสด) ฟอสฟอรัส แคลเซียม ธาตุเหล็ก ไทอามีน โนอาซิน ไรโบเฟลวิน แคลโรทีน และอื่นๆ (Murmur & Mishra, 2018a, 2018b) จากการสำรวจข้อมูลในท้องตลาดพบว่าราคาของฝรั่งในท้องตลาดมีราคาตั้งแต่ 30-80 บาทต่อกิโลกรัม ฝรั่งที่มีถูกคัดคุณภาพและวางขายในห้างสรรพสินค้าสามารถขายได้ในราคาสูงถึง 80 บาทต่อกิโลกรัม การคัดเกรดของฝรั่งกิมจูจะดูที่ผิวและลักษณะภายนอกซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค (กรมวิชาการเกษตร, 2558) โดยฝรั่งแบ่งออกเป็น 3 เกรด คือ เบอร์ยอด (ผิวสวย) เบอร์รอง (มีตำหนิเล็กน้อย) และเบอร์ตำหนิ (ผิวไม่สวย) (มติชนบทเทคโนโลยีชาวบ้าน, 2553) ฝรั่งเป็นผลไม้ประเภทปมให้สุกได้ (Climacteric fruit) ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะสุกจะมีการผลิตปริมาณเอทิลีนสูงจะเร่งให้มีการหายใจมากขึ้น ฝรั่งกิมจูมีความอ่อนนุ่มและเกิดการเน่าเสียในระยะเวลาอันรวดเร็ว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ทำให้ระยะเวลาการวางจำหน่ายสั้น โดยในกรณีที่เก็บเกี่ยวฝรั่งกิมจูแก่พอดีจะสามารถวางตลาดได้นานราว 5 วัน หรือหากเก็บแก่เกินไปอายุการวางตลาดก็จะลดลงเหลือเพียง 3 วัน (มติชนบทเทคโนโลยีชาวบ้าน, 2553) หากผู้ประกอบการไม่สามารถจำหน่ายผลผลิตได้หมดในเวลาดังกล่าวย่อมก่อให้เกิดการขาดทุนอย่างมหาศาล ดังนั้นเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูเป็นสิ่งที่จะต้องเป็นอย่างมาก

เทคโนโลยีในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตเกษตรวิธีหนึ่งคือการลดอัตราการหายใจของผักและผลไม้ลงด้วยการปรับปริมาณของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของสภาวะแวดล้อมของพื้นที่การเก็บรักษา โดยอาจอยู่ในรูปแบบของการตัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmosphere storage, MAP) หรือ การควบคุมสภาพบรรยากาศ (Controlled atmosphere storage) มีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการยืดอายุการเก็บรักษาฝรั่งด้วยเทคโนโลยีนี้ออกไปได้ถึง 21-30 วัน (Teixeira et al., 2016; Antala et al., 2015; Rana et al., 2015; Sahoo et al., 2015; Mangaraj et al., 2014; Teixeira and Durigan (2010); Singh and Pal (2008); Pereira et al., 2004; Jacomino et al., 2001; Gasper et al., 1996) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีดังกล่าวถือว่ายังมีต้นทุนที่สูงเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาในปริมาณมากจึงเหมาะสมกับเฉพาะธุรกิจค้าส่งเท่านั้น ดังนั้นยังมีความต้องการในการพัฒนาให้มีต้นทุนที่ต่ำสามารถเข้าถึงได้โดยผู้ประกอบการธุรกิจระดับค้าปลีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจร้านอาหาร ภัตตาคาร โรงแรม และห้างสรรพสินค้าที่มีศักยภาพในการลงทุนในเทคโนโลยีที่ทันสมัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในยุคปัจจุบันทั่วโลกวมถึงประเทศไทยตื่นตัวเรื่องการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมด้วยนวัตกรรม ในยุคเกษตร 4.0 เครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้มีความอัจฉริยะ (smart) โดยการทำงานที่มีอุปกรณ์ตรวจจับ (sensors) ติดตั้งอยู่กับทุกส่วนเพื่อตรวจวัดและทำหน้าที่ส่งข้อมูล ส่งไปยังคลังข้อมูลที่ไว้ใจได้ (cloud system) ในขณะเดียวกันอุปกรณ์อัจฉริยะเหล่านี้ก็ยังสามารถตัดสินใจ วิเคราะห์และกำหนดรูปแบบการทำงานนั้นด้วยตัวเอง นอกจากนั้นการทำงานต้องสามารถควบคุมจากระยะไกลได้ทุกที่ด้วย internet of thing (IoT) ผ่านหน้าจอสมาร์ทโฟนได้ ดังนั้นการบูรณาการความอัจฉริยะเข้ากับเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการควบคุมสภาพบรรยากาศจึงเป็นแนวทางยกระดับธุรกิจค้าปลีกฝรั่งของประเทศให้ก้าวสู่ยุคเกษตร 4.0

เป้าหมายในโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะที่มีต้นทุนต่ำเหมาะสมกับการลงทุนของผู้ประกอบการค้าปลีกและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูได้นานขึ้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบอิทธิพลของการเก็บรักษาในสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกลของฝรั่ง และทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูหลังการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศเปรียบเทียบกับฝรั่งกิมจูตามท้องตลาดด้วย

1.2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง
- 2) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกล และทางประสาทสัมผัสของฝรั่งที่เก็บรักษาด้วยความเย็นกับเก็บรักษาด้วยการควบคุมสภาพบรรยากาศที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) การออกแบบและพัฒนาตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะ โดยการใช้ Node MCU8266 ในการพัฒนาโค้ดควบคุมตู้เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตให้ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันได้อย่างสะดวก มีการใช้ Nextion Display ซึ่งเป็นจอร์บบสัมผัสในการควบคุมหรือดูข้อมูลต่างๆ ขณะที่ตู้กำลังทำงาน
- 2) ตัวอย่างฝรั่งสายพันธุ์กิมจู ทั้งหมด 200 ลูก จากสวนในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ที่อายุการเก็บเกี่ยว 150 วันหลังดอกบาน
- 3) สภาวะในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ ได้แก่
 - 3.1) เก็บรักษาด้วยความเย็นที่อุณหภูมิ 12.2 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90%
 - 3.2) การเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 12.2 °C ปริมาณก๊าซออกซิเจน 2-5% และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-5% ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90%
- 4) สมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ค่าสี น้ำหนัก และขนาด สมบัติเชิงกลที่ศึกษา ได้แก่ ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (Average Firmness) แรงสูงสุดในการแทงทะลุ (Rupture Force) ความเหนียว (Toughness) แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ (Average Penetrating Force) และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ (Penetrating Energy) สมบัติทางเคมีที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามินซี สำหรับสมบัติทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏของผล ความหวาน ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม

5) ปัจจัยในการศึกษาความแตกต่างของการเก็บรักษา ได้แก่ 1. วิธีการเก็บรักษา 2. ระยะเวลาในการเก็บรักษา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศต้นแบบที่สามารถชะลอการสุกของฝรั่ง โดยสามารถควบคุมตู้ผ่านแอปพลิเคชันได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับฝรั่ง การเขียนโปรแกรม Arduino และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) เขียนโปรแกรมโดยใช้ Node MCU8266 เพื่อให้แสดงผลและควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน การเปิดปิดไฟของตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ
- 3) เก็บผลฝรั่งที่สวนจากอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม เป็นจำนวน 200 ผล ที่อายุการเก็บเกี่ยว 150 วันหลังดอกบาน
- 4) นำฝรั่งมาแช่น้ำผสมด้วยคลอรีนที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นนำฝรั่งมาเช็ดทำความสะอาดด้วยผ้าสะอาด และนำไปเก็บในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ 90 ลูกและตู้เย็นธรรมดา 90 ลูก
- 5) นำผลฝรั่งไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงกล โดยการทดลองถูกกำหนดไว้ที่ 5 ระยะเวลา ได้แก่ 0, 6, 12, 18 และ 24 วัน แต่ครั้งใช้ตัวอย่าง จำนวน 20 ลูก (ตู้ควบคุมความเย็น 10 ลูก และตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ 10 ลูก) โดยหาน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Mettler-Toledo, ARC120, USA), ศึกษาขนาดของฝรั่งโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ดิจิตอล (Mitutoyo, ABS digimatic caliper, No. 9 3 8 8 8 2, Japan), การวัดสีใช้เครื่อง Color Spectrophotometer (Miniscan EZ, 4500L, USA), การวัดสมบัติเชิงกลใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System Model TA.HD. Plus, London, UK), การหาวิตามินซีด้วยเครื่อง Auto Titrator (Mettler Toledo, Titrator T50, Switzerland) และการตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Refractometer (Atago, PAL-1, Japan)
- 6) ในครั้งสุดท้ายของการทดลอง (วันที่24) ผลฝรั่งจะถูกนำไปทำ Sensory Test จำนวน 12 ลูก (ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ 3 ลูก ตู้ควบคุมความเย็น 3 ลูก ห้องตลาด 3 ลูก และจากห้างสรรพสินค้า 3 ลูก) โดยแบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) ความหวาน (Sweetness) ความแข็ง (Hardness) และการยอมรับโดยรวม (Overall acceptance) ใช้จำนวนคนในการทดสอบ 30 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Scaling) ที่ระดับคะแนน 5 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) วางแผนการทดลองแบบ Factorial analysis in CRD โดยมีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่ สภาวะในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสภาวะในการเก็บรักษามีทั้งสิ้น 2 สภาวะ คือ เก็บรักษาด้วยการควบคุมสภาพบรรยากาศและเก็บรักษาด้วยการควบคุมความชื้น สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษากำหนด 5 ระยะเวลาได้แก่ 0, 6, 12, 18 และ 24 วัน รวมทั้งสิ้น 9 กลุ่มการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยจะถูกนำไปเปรียบเทียบความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 way ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

8) สรุปผลและเขียนรายงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝรั่ง

ฝรั่ง (Guava) เป็นพืชวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava* L. เป็นผลไม้ที่มีศักยภาพและมีความโดดเด่นในตัวเองหลายประการไม่ว่าจะเป็นตลาดรองรับที่กว้าง ปลูกง่าย ดูแลง่าย ให้ผลผลิตเร็วภายใน 1 ปีเท่านั้น ดังนั้นโอกาสในการคืนทุนก็ค่อนข้างเร็ว เป็นผลไม้ที่ไม่มีปัญหาในการออกดอกติดผลและติดผลได้ตลอดทั้งปี (อภิชาติ ศรีสอาด, 2543)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฝรั่ง

1) ลำต้น ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กหรือไม้พุ่ม ทรงต้นสูงประมาณ 3-10 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาที่บริเวณใกล้โคนต้น มีการแตกหน่อจากรากบริเวณใกล้กับลำต้น ประฐาน เปลือกมีสีน้ำตาลอมแดง หรือสีน้ำตาลอมเขียว เปลือกจะลอกออกเองเมื่อลำต้นแก่ กิ่งอ่อนมีปีกเล็กๆ ทำให้รูปหน้าของกิ่งเป็นสี่เหลี่ยม แต่กิ่งแก่จะไม่มีปีก กิ่งอ่อนมีสีเขียวอมเหลืองหรือแดงเข้ม มีขนปกคลุมหนาแน่น ขนสีขาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ กิ่งแก่สีน้ำตาลอมแดงอ่อนไม่มีขนปกคลุม

2) ใบ ใบเป็นไม้ประเภทใบคู่ ใบอ่อนสีเขียวมีลักษณะไม่เรียบ มีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแตกจะแยกเป็น 2 แนว จัดเรียงตรงกันข้าม ด้านบนมีร่องลึก แผ่นใบเป็นรูปไข่ ปลายมนขนาดความกว้าง 3-7 เซนติเมตร ยาว 5-15 เซนติเมตร ด้านหลังใบเรียบ ด้านท้องใบมีขนอ่อนอยู่ ฐานใบโค้ง ขอบใบเรียบและมีขอบโปร่งใส

3) ดอก เกิดที่ตาข้างมักจะไม่เกิดที่ตายอด เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อจำนวน 2-3 ดอกต่อ 1 ช่อ ก้านดอกสีเขียวอมเหลืองมีขนอ่อนอยู่ทั่วไป มีกลีบรองดอกจำนวน 4-6 อัน สีเขียวอมเหลือง มีขนอ่อนปกคลุม ขณะที่ดอกตูมกลีบเลี้ยงจะหุ้มส่วนอื่นของดอก แต่จะแตกออกเมื่อดอกเริ่มคลี่บาน ชั้นกลีบเลี้ยงจะไม่หลุดร่วงจนผลแก่ก็ยังติดอยู่ ชั้นกลีบดอกสีขาวรูปร่างรี มีจำนวน 4-5 อัน เกสรตัวผู้มีจำนวนมาก และแทรกอยู่รอบๆ งานวงกลมสีขาว อับเกสรสีเหลืองอ่อน และแตกตามความยาว เกสรตัวเมีย มีรังไข่ที่มี 4-5 ช่อง ก้านเกสรตัวเมียรูปร่างยาวเรียว สีเขียวอมเหลือง ไม่มีขน ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มเล็กๆ ลักษณะของดอกจะมีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน

4) ผล รูปร่างกลมหรือรูปไข่ป่องตรงปลาย เส้นผ่าศูนย์กลาง 5-9 เซนติเมตร ยาว 5-12 เซนติเมตร มีชั้นกลีบเลี้ยงของดอกอยู่ที่ปลาย เปลือกขรุขระเล็กน้อยแต่เป็นมัน เมื่ออ่อนผลยังเล็กอยู่ มีผิวสีเขียวเข้มแก่ ผิวจะเป็นสีเขียวอ่อน และเมื่อสุกจะมีสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นกลางสีขาว ความหนาของเนื้อแตกต่างกันตามชนิดพันธุ์ เนื้อฉ่ำน้ำ เมื่อสุกมีรสหวาน กลิ่นแรง มักปรากฏเซลล์หินด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมรับประทานเมื่อผลแก่จัดแต่ยังไม่สุก เนื่องจากรสชาติดี มีทั้งเปรี้ยวอมหวานและกรอบรับประทานได้ทั้งผลยกเว้นเมล็ดซึ่งย่อยยาก เนื้อชั้นในติดกับเมล็ดมีทั้งสีขาว สีเหลือง สีชมพูหรือสีแดงรสหวาน

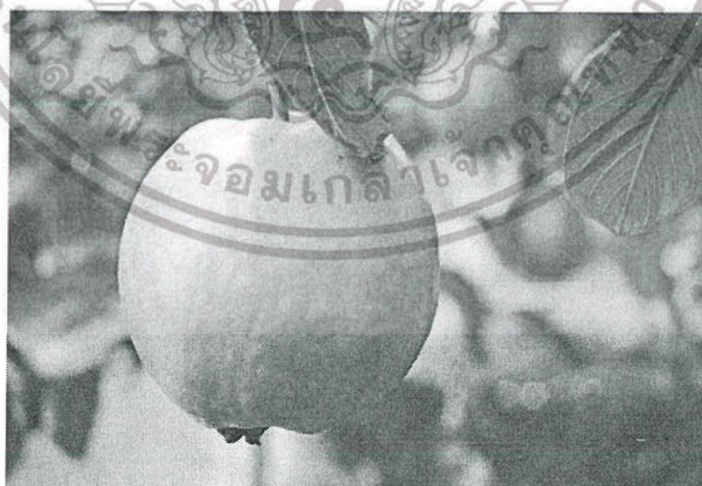
5) เมล็ด เกาะติดอยู่กับเนื้อชั้นในใจกลางของผลเป็นจำนวนมากน้อยหรือไม่มีเลยขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีสีเหลืองอ่อนหรือน้ำตาลอมเหลือง เปลือกแข็งมาก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร และยาว 0.3-0.5 เซนติเมตร รูปร่างคล้ายไตก็เพราะมีลักษณะโค้ง (สร้อยดี เฟื่องสกนธ์. 2532)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของฝรั่ง

คุณค่าทางโภชนาการของฝรั่ง พบว่ามีมากกว่าผลไม้หลายชนิดโดยเฉพาะวิตามิน C และ A มีมากกว่ามะนาวถึง 4 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบผลไม้ที่คนไทยนิยมบริโภคเป็นประจำ เช่น ทุเรียน ลำไย และเงาะ จะพบว่าฝรั่งมีวิตามิน C มากกว่าผลไม้อื่นๆ ประมาณ 3-4 เท่า มีวิตามิน A มากกว่าผลไม้อื่นๆ เป็นจำนวนมาก มีค่าความร้อนต่ำกว่าผลไม้อื่นๆ ซึ่งจะทำให้เมื่อรับประทานเป็นจำนวนมากแล้วไม่เกิดอาการร้อนใน มีเส้นใยมากกว่าผลไม้อื่นๆ ถึง 5 เท่า และมีไขมันต่ำกว่าผลไม้อื่นๆ มาก โดยกองโภชนาการกรมอนามัยได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารไว้ในปี 2521 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

นอกจากนี้ฝรั่งยังมีแพคตินเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีสรรพคุณในทางยา ช่วยเคลือบลำไส้ และแพคตินนี้ยังเป็นสารที่มีความสำคัญในการทำให้แยมและเยลลี่แข็งตัว

สำหรับวิตามินซีซึ่งมีอยู่ในฝรั่งเป็นจำนวนมากนั้นต้องขึ้นอยู่กับพันธุ์ของฝรั่งบางพันธุ์มีวิตามินซีเฉลี่ยได้ 95 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักฝรั่ง 100 กรัม แต่จากการวิเคราะห์พบว่าฝรั่งชั้นกิวิตามินซีมากที่สุด



รูปที่ 2.1 ฝรั่งกิมจู
ที่มา: พลังเกษตร. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
วิตามินบี 1	0.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินบี 2	0.13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินซี	160 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินเอ	89 หน่วยสากลต่อ 100 กรัม
ค่าพลังงานความร้อน	51 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม
แคลเซียม	13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
เหล็ก	0.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	25 กิโลกรัมต่อ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	11.6 %
โปรตีน	0.9 %
เส้นใย	6 %
ไขมัน	0.1 %
ความชื้น	80.7 %

ที่มา: จิตรดา ก๊ก เกื้อกุลสงค์. 2550

2.2 สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล

2.2.1 การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญของผลไม้ที่จะเปลี่ยนพลังงานในรูปอาหารสะสมไปเป็นพลังงานที่นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ แต่สำหรับผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะใช้ในการรักษาชีวิตให้คงอยู่ ซึ่งอาหารสะสมที่มีอยู่อย่างจำกัดเมื่อถูกใช้หมดไปความมีชีวิตของผลิตผลนั้นก็จบสิ้นลง ดังนั้นอายุการเก็บรักษาผลิตผลรวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ โดยมีความสัมพันธ์กันคือผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักมีอายุสั้นกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ

ฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีลักษณะการหายใจแบบ Climacteric คือ กลุ่มของผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลไม้นั้นสุกมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นทั้งกระบวนการที่เป็น การสร้าง (Anabolic Process) เช่น การสร้างสารสี การเปลี่ยนแปลงแป้งเป็นน้ำตาล กระบวนการเหล่านี้ต้องมีการสร้างโปรตีนหรือเอนไซม์ใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อให้กระบวนการนั้นๆ เกิดขึ้นได้ ต้องอาศัย การผลิตและการตอบสนองต่อเอทิลีนเป็นหลัก

ปัจจัยภายนอกอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปกระตุ้นให้สสารทุกอย่างมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูงขึ้น สำหรับองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของบรรยากาศ ผลไม้ต้องการออกซิเจนในการหายใจ แต่ถ้าผลิตผลอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน จะเกิดกระบวนการหมักซึ่งส่งผลต่อผลิตผลเกิดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ต้องการ สังเกตได้จากกลิ่นของแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมากจะไปยับยั้งการหายใจของผลิตผลได้

2.2.2 การคายน้ำ

พืชใช้น้ำในการช่วยระบายความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปจากแหล่งพลังงานความร้อนภายนอก เช่น แสงอาทิตย์หรือจากการหายใจของพืช แต่สำหรับผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำเดิม คือ ราก ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นน้ำมากกว่า 70% แต่การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ทำให้น้ำหนักของผลิตผลลดลง รูปร่างลักษณะของผลิตผลเปลี่ยนแปลงไป และอาจทำให้รสชาติของผลิตผลเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ ได้แก่ ความชื้นในบรรยากาศ โดยยิ่งความชื้นในบรรยากาศสูงการคายน้ำของผลิตผลจะต่ำกว่าที่ความชื้นในบรรยากาศต่ำและอุณหภูมิยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะมีมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวเป็นก๊าซได้มากขึ้น ความดันไอน้ำภายในผลิตผลจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ที่อากาศรอบๆ อุณหภูมิไม่มีผลต่อความดันไอน้ำ ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำที่ผลิตผลกับภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลิตผลสู่อากาศมากขึ้น การป้องกันการคายน้ำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด โดยการเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิต่ำ

2.2.3 เอทิลีน

สำหรับผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะมีฮอร์โมนที่มีความสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวคือ เอทิลีน ซึ่งมีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย สามารถแพร่กระจายไปส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่ายโดยสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นทำให้เกิดการสุกขึ้นและเร่งให้เกิดการชราภาพของผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้นแม้มีความเข้มข้นเพียง 0.1 ppm ก็อาจกระตุ้นให้เกิดการสุกหรือการร่วงของใบได้ ถ้าไม่มีเอทิลีนกระบวนการสุกจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งฝรั่งเป็นผลไม้ประเภท Climacteric มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ แต่เมื่อผลไม้สุกการผลิตเอทิลีนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ซึ่งอัตราการเกิดเอทิลีนจะสูงขึ้นกว่าปกติได้จากการเกิดบาดแผลที่ผลไม้ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตเอทิลีน ได้แก่ อุณหภูมิเมื่อสูงขึ้นส่งผลต่อการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ในผลไม้เขตร้อนถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวซึ่งก่อให้เกิดการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นได้ การสังเคราะห์เอทิลีนของพืชจะต้องใช้ออกซิเจนดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนจะช่วยยับยั้งหรือลดการผลิตเอทิลีนลง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปกติจะขัดขวางการทำงานของเอทิลีนได้ ความเครียดต่างๆ เช่น การเกิดบาดแผล การเกิดโรค และการขาดน้ำเป็นต้น จะไปกระตุ้นการผลิตเอทิลีน เอทิลีนจะไปกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้ผลิตผลหลายๆ

ชนิดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็ว แล้วช่วยกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การลดลงของปริมาณกรดและทำให้รสชาติของผลไม้ดีขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549)

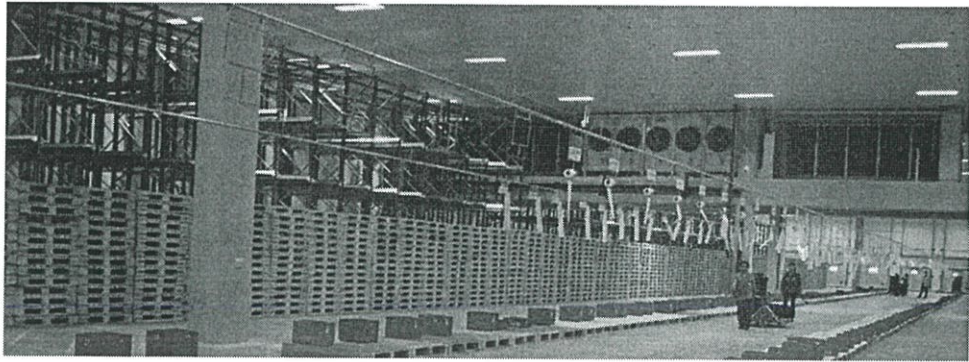
2.2.4 เมแทบอลิซึม

เมแทบอลิซึม (metabolism) เป็นกระบวนการพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 ประการคือ 1. การสร้างพลังงานและการสะสมพลังงาน และ 2. การใช้พลังงานจากแหล่งสะสม โดยผักและผลไม้ก็มีเมแทบอลิซึมเช่นเดียวกัน แต่อัตราการสร้างและการใช้พลังงานจะแตกต่างกัน ระหว่างก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว ก่อนการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้จะมีการสร้างและสะสมพลังงานมากกว่าการใช้พลังงาน จึงทำให้เจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ แต่หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจะขาดองค์ประกอบในการสร้างพลังงาน เช่น น้ำ แร่ธาตุ และแสง ซึ่งปกติจะได้รับมาจาก ราก ลำต้น และใบ จึงทำให้พลังงานที่สร้างขึ้นนั้นน้อยกว่าพลังงานที่ถูกใช้ไปมาก ดังนั้นจึงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ลักษณะเนื้อ รสชาติ คุณค่าทางอาหารของผักและผลไม้ ทำให้ผักและผลไม้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งโดยทั่วไป เราเรียกว่าผักและผลไม้เน่าเสีย การเน่าเสียของผักและผลไม้จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1. สาเหตุทางด้านชีวภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเมแทบอลิซึม, การสูญเสียความชื้น, การเจริญเติบโตของผักและผลไม้ และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ 2. สาเหตุทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ปรีญา ชมเชยวชาญ. 2545)

2.3 การเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร (สรวิศ แจ่มจำรูญ. 2556)

2.3.1 การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)

การเก็บรักษาในห้องเย็นเป็นการปรับปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิที่เย็นยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เข้าทำลายผลิตผลนั้น ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในกรณีนี้ได้แก่อุณหภูมิ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิมิผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผล ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลทุกชนิดจึงควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำในระดับเหมาะสมเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล

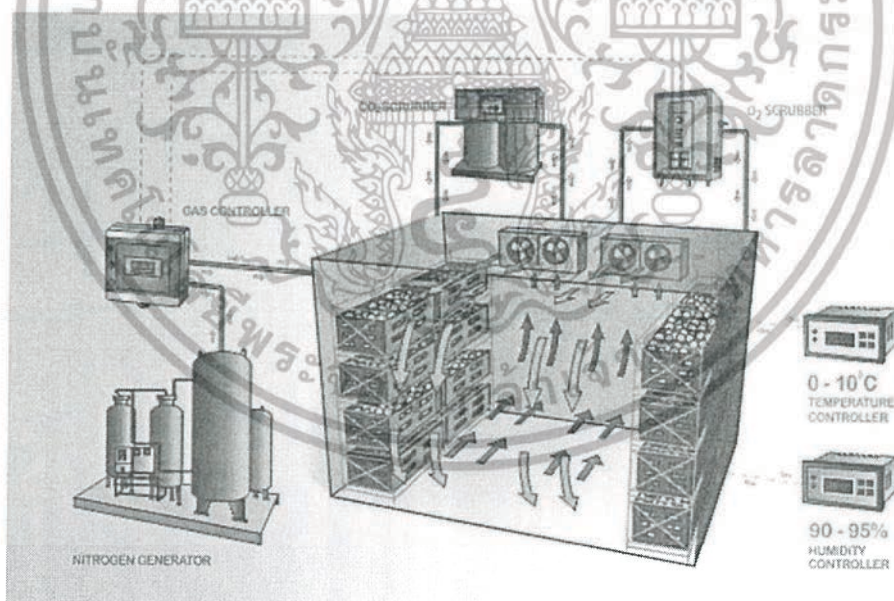


รูปที่ 2.2 การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)

ที่มา: บริษัท วอลล์เทคโนโลยี จำกัด. 2561

2.3.2 เก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage – CA Storage)

โดยปกติอากาศมีก๊าซออกซิเจนประมาณ 20% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% ที่เหลือคือก๊าซไนโตรเจน การเพิ่มลดปริมาณก๊าซออกซิเจนหรือเพิ่มลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศรอบๆ ผลิตผล มีผลทั้งในการชะลอหรือเร่งการเน่าเสียของผลิตผล ทั้งนี้จะก่อให้เกิดผลดีหรือผลเสียนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล พันธุ์ อายุ ระดับของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา



รูปที่ 2.3 เก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage – CA Storage)

ที่มา: Agroripe. 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล และสมบัติทางประสาทสัมผัสหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลทางการเกษตร

สมบัติเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่มักถูกใช้ชี้วัดคุณภาพของผลผลิตเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับฝรั่ง ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติเชิงกล โดยมีรายละเอียดดังนี้

สมบัติทางกายภาพถูกระบุด้วย ขนาด น้ำหนักและสี โดยทั่วไปผลิตผลเกษตรตามธรรมชาติ มีรูปร่างที่ไม่เป็นทรงเรขาคณิตดังนั้นการรายงานขนาดของผลิตผลเกษตรมักใช้พารามิเตอร์ที่ถูกสร้างมาจากมิติของผลิตผล เช่น ขนาด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดเป็นสมบัติทางเคมีที่ใช้ชี้วัดคุณภาพของผลิตผลเกษตรที่สำคัญ โดยที่ปริมาณของแข็งที่ละลายเป็นค่าที่วัดจากเครื่อง Refractometer โดยใช้หลักการดัชนีหักเหของแสง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ทำให้ทราบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดใช้บ่งชี้ความเข้มข้นของอาหารเหลวซึ่งส่วนใหญ่ของแข็งอยู่ในรูปของน้ำตาลจึงอนุมานได้ว่าเป็นค่าแสดงถึงความหวานซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ โดยในผลไม้ที่สะสมอาหารในรูปของแป้งเป็นหลักพบว่าผลที่สุกจะมีแป้งลดลงพร้อมกับน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550) ปริมาณกรดเป็นค่าที่วัดได้จากคาร์โบไฮเดรตซึ่งในผลไม้ปริมาณกรดแสดงถึงรสเปรี้ยว ในผลไม้มักพบกรดมาลิก กรดซิตริก กรดฟอสฟอริก กรดทาร์ทาริก และกรดซาลิกเป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550)

สมบัติเชิงกลเป็นการศึกษาเนื้อสัมผัสจากการตอบสนองของผลิตผลทางการเกษตรต่อแรงที่กระทำ โดยอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการรับประทานหรือเกี่ยวข้องกับลักษณะการรับแรงในส่วนภายนอกของผลิตผลชนิดนั้น สมบัติเชิงกลจากการใช้เครื่องมือวัดสามารถช่วยชี้วัดคุณภาพการรับประทานของผลิตผลชนิดนั้นถูกต้องละแม่นยำกว่าคณหนึ่งนี้เนื่องจากการใช้การรับรู้ของแต่ละคนจะไม่เหมือนกันจึงมีอคติสูง (ปานมนัส. 2559) สมบัติเชิงกลเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของฝรั่งที่ส่งผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค อีกทั้งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และกระบวนการขนส่งด้วย

สมบัติทางประสาทสัมผัสเป็นการยอมรับความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยทำการทดสอบด้วยผู้บริโภค โดยทั่วไปสมบัติภายนอกอธิบายโดยลักษณะปรากฏของผล ถือเป็นคุณภาพที่สำคัญต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคที่ลักษณะภายนอกของผลิตผลจะบ่งบอกถึงความหวานและความสุกได้ ส่วนการชิมได้ทำการทดสอบกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เป็นความรู้สึกโดยรวมเมื่ออาหารเข้าสู่ปากซึ่งเกิดจากการรับรู้รสของริมฝีปาก ลิ้น และผนังภายในช่องปาก โดยที่กลิ่นเกิดจากการกระตุ้นด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (วิไล รังสาดทอง. 2559)

2.5 อุปกรณ์ตรวจวัด ระบบควบคุม และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศ

2.5.1 เซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

เซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ การวัดค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยระบบ NDIR (Non Dispersive Infrared Detection) ที่ใช้รังสีอินฟราเรด ที่จะถูกดูดกลืนโดยสารแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 4,200-4,340 nm โดยในตัวเซนเซอร์จะมีหลอดบรรจุก๊าซอยู่ 2 หลอด หลอดที่ 1 จะบรรจุก๊าซเฉื่อยไว้ซึ่งจะไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด หลอดที่ 2 จะปล่อยให้อากาศจากภายนอกที่ต้องการวัดมาอยู่แล้วรังสีอินฟราเรดจะฉายผ่านทั้งสองหลอด โดยในหลอดที่ 1 ปริมาณรังสีอินฟราเรดจะเท่าเดิม หลอดที่ 2 ปริมาณรังสีอินฟราเรดจะลดลงซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (กลอยใจ กางกรณ์, 2551) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยสามารถวัดค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ในช่วง 0-5% ความถูกต้อง $\pm 5\%$ ใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 0-50 °C ความชื้น 0-95 %RH อายุการทำงานมากกว่า 5 ปี ดังแสดงในรูปที่ 2.4

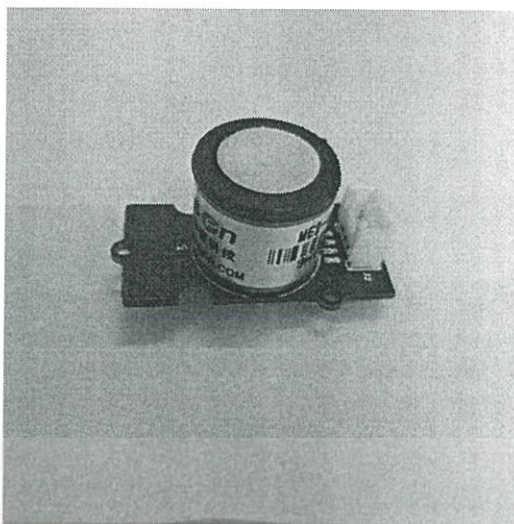


รูปที่ 2.4 เซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น MH-Z16 NDIR

2.5.2 เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน

เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน การวัดค่าปริมาณออกซิเจนในอากาศ โดยโมเลกุลของออกซิเจนเข้าไปที่เซลล์ไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างขั้วไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของออกซิเจนในการวัดปริมาณออกซิเจน (บริษัท อีซี อิเล็กทรอนิกส์ คอมโพเนนท์ จำกัด. 2560) โดยสามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนในอากาศในอากาศได้ในช่วง 0-25% ความถูกต้อง $\pm 2\%$ ใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -20-50 °C ความชื้น 0-99%RH อายุการทำงาน 2 ปี ดังแสดงในรูปที่ 2.5

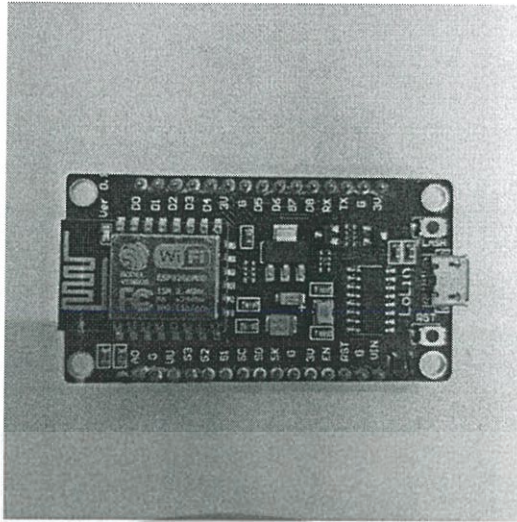
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจน รุ่น ME2-O2-Φ20

2.5.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 (embeddedsystem2558. 2558)

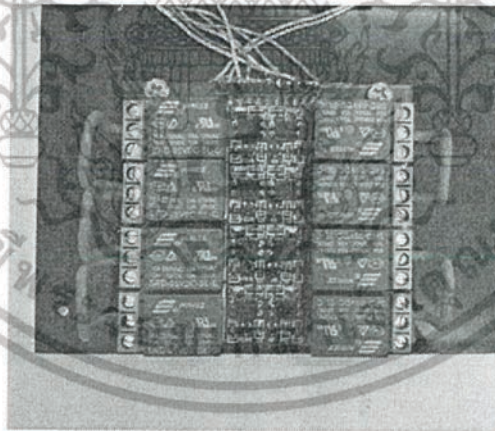
NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มาพร้อมกับโมดูล WiFi (ESP8266) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตนั่นเอง ตัวโมดูล ESP8266 นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่นมาก ตั้งแต่เวอร์ชันแรกที่เป็น ESP-01 ไปเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบันมีถึง ESP-12 แล้ว และที่ฝังอยู่ใน NodeMCU version แรกนั้นก็จะเป็น ESP-12 แต่ใน version 2 นั้นจะใช้เป็น ESP-12E แทน ซึ่งการใช้งานโดยรวมก็ไม่แตกต่างกันมากนัก NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output build in มาในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และเมื่อไม่นานมานี้ก็มีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ Node MCU ได้ จึงทำให้ใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรมได้ ทำให้เราสามารถใช้งานมันได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น NodeMCU ตัวนี้สามารถทำอะไรได้หลายอย่างมากโดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ IoT ไม่ว่าจะเป็นการทำ Web Server ขนาดเล็ก การควบคุมการเปิดปิดไฟผ่าน WiFi และอื่นๆ อีกมากมาย ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266

2.5.4 รีเลย์

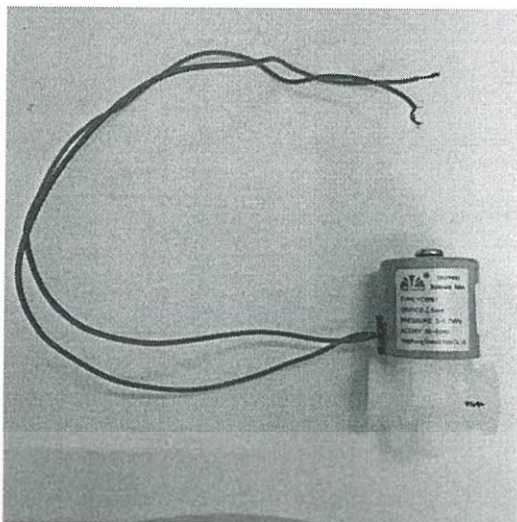
รีเลย์ (Relay) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ ตัด-ต่อวงจร คล้ายกับสวิตช์ โดยใช้หลักการหน้าสัมผัส และการที่จะให้มันทำงานก็ต้องจ่ายไฟให้มันตามที่กำหนด เพราะเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์ มันจะทำให้หน้าสัมผัสติดกัน กลายเป็นวงจรปิด และตรงข้ามทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้มัน มันก็จะกลายเป็นวงจรเปิด ไฟที่เราใช้ป้อนให้กับตัวรีเลย์ก็จะเป็นไฟที่มาจากพาวเวอร์ซัพพลายของเครื่อง ดังนั้นทันทีที่เปิดเครื่อง ก็จะทำให้รีเลย์ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รีเลย์

2.5.5 โซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์ว เป็นวาล์วไฟฟ้าควบคุมการปิด-เปิดโดยอาศัยไฟฟ้ามาเหนี่ยวนำขดลวดโซลินอยด์สร้างเป็น สนามแม่เหล็ก ใช้เป็นกลไกในการ เปิด-ปิด วาล์วเนื่องจากใช้ไฟฟ้าในการควบคุมหลัก วาล์วชนิดนี้ ค่อนข้างจะเชื่อถือได้ หรือมีความปลอดภัยสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โซลिनอยด์วาล์ว

2.5.6 วาล์วควบคุมความปลอดภัย

วาล์วควบคุมความปลอดภัยคืออุปกรณ์ระบายแรงดันอากาศ เมื่อมีค่าสูงกว่าที่ตั้งไว้โดยอัตโนมัติออกสู่ภายนอกเพื่อเป็นการรักษาความปลอดภัยภายในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

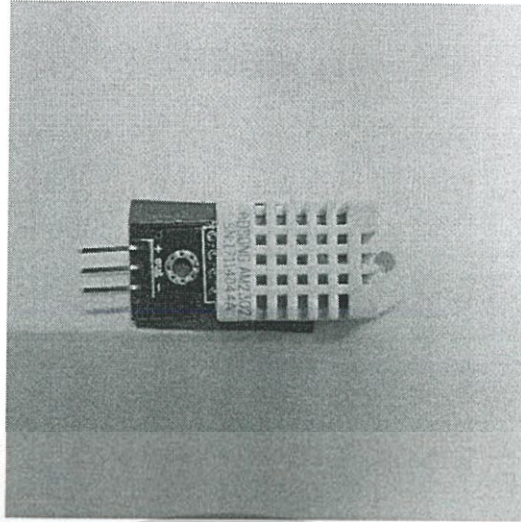


รูปที่ 2.9 วาล์วควบคุมความปลอดภัย

2.5.7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น (Temperature Sensor / Humidity Sensor) คือ อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ หรือความชื้นในบริเวณที่ใช้งาน ซึ่งเหมาะสำหรับห้องควบคุมอุณหภูมิความชื้น อุตสาหกรรมอาหาร ห้องอบ ห้องแช่เย็น ห้องควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ Clean Room, Warehouse ที่มี ปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้น ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ หรือวัสดุที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

2.5.8 ระบบทำความเย็นแบบ Forced air circulation

ตู้เย็นแบบ Forced air circulation คือตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิโดยมีพัดลมกระจายความเย็นของอากาศภายในตู้ ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศเพราะก๊าซภายในตู้มีการเคลื่อนที่กระจายทั่วถึงทั้งตู้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตู้เย็นแบบ Forced air circulation

2.5.9 หน้าจอ LCD (เกรดความรู้, 2561)

หน้าจอ LCD (Liquid Crystal Display) เป็นหน้าจอที่ใช้การแสดงผลแบบดิจิทัล และใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวแทนการใช้หลอดภาพแบบหน้าจอ CRT ในอดีต และใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับการสร้างแสงสว่าง ภาพที่จะปรากฏบนหน้าจอ เกิดจากฉายแสงของ Back Light ที่ฉายผ่านชั้นกรองแสง และส่งผ่านไปยังคริสตัลที่เป็นของเหลว 3 ส่วนคือ สีแดง เขียว และน้ำเงินตามลำดับจนสามารถสร้างให้ภาพมีลักษณะออกมาเป็นพิกเซลได้ ภาพจาก LCD จะดูสว่างและคมชัดอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หน้าจอ LCD

2.6 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ตโดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไปจนถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ากับการใช้งานอื่นๆ จนเกิดเป็นบรรดา Smart ต่างๆ ได้แก่ Smart Device, Smart Grid, Smart Home, Smart Network และ Smart Intelligent Transportation ทั้งหลายที่เราเคยได้ยินนั่นเอง ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเพียงสื่อกลางในการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

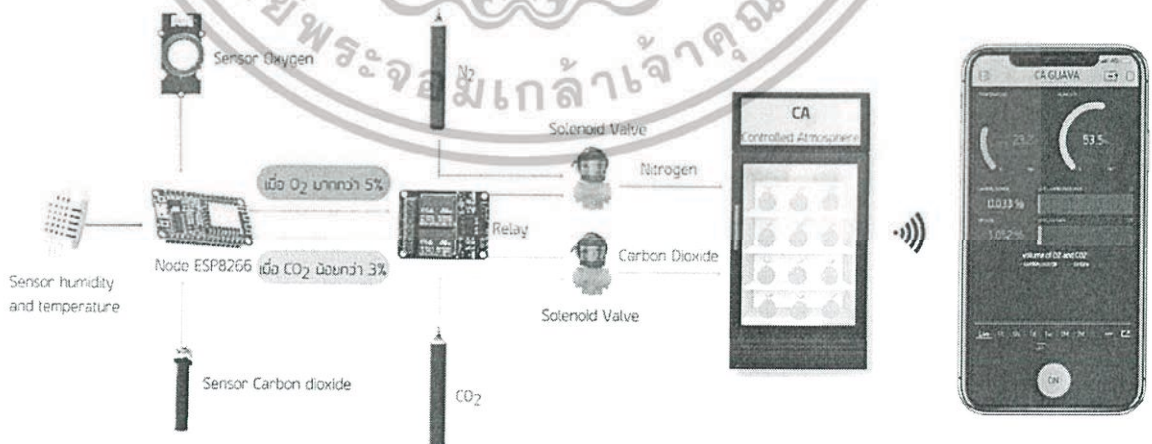
ออกแบบ สร้าง และขั้นตอนการทดลอง

3.1 การออกแบบและสร้าง

3.1.1 การออกแบบตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

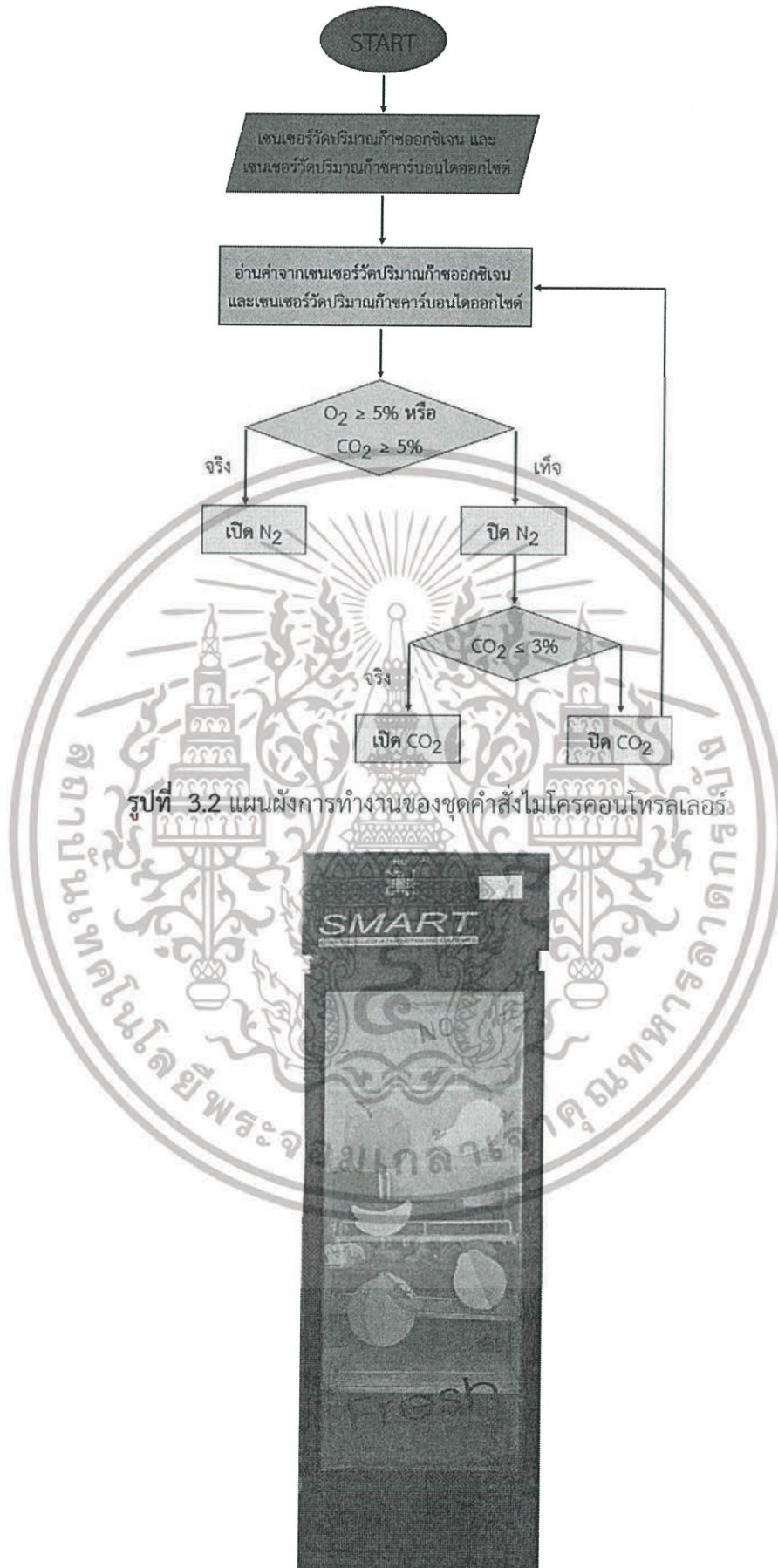
ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะมีระบบควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน โดยประกอบไปด้วย 6 ส่วนสำคัญ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีเลย์ โซลินอยด์วาล์ว เซนเซอร์ วาล์วควบคุมความปลอดภัย และระบบ Internet of Things ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีวงจรการทำงานดังแผนภาพในรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

เซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจน (Grive MME2-O2- ϕ 20, China) และเซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์ (Winson, MH-Z16, China) อ่านค่าปริมาณก๊าซในตู้และส่งสัญญาณมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU esp8266) ทำหน้าที่ประมวลผลและสั่งการจ่ายก๊าซตามปริมาณที่ต้องการไปยังโซลินอยด์วาล์ว (Yong Chuang, YCWS1, China) เพื่อให้ก๊าซไหลผ่านจากถังเข้าสู่ตู้ตามที่ตั้งค่าไว้ โดยได้กำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-5% และปริมาณก๊าซออกซิเจน 2-5% ซึ่งในรูปที่ 3.2 จะแสดงถึงขั้นตอนการทำงานของคำสั่งที่ป้อนให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้เพื่อป้องกันความดันภายในตู้สูงจนอาจเกิดอันตรายจึงมีการติดตั้งวาล์วควบคุมความปลอดภัย (SS, S10L, Taiwan) ทำหน้าที่ระบายก๊าซภายในตู้ ออก ระบบข้างต้นจะถูกติดตั้งเข้ากับตู้เย็นแบบ Forced air circulation โดยตั้งค่าสถานะที่อุณหภูมิเท่ากับ 12.2 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70-90% โดยการแสดงผลของปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น อุณหภูมิ และการเปิดปิดไฟของตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ สามารถตรวจสอบและควบคุมได้จากแอปพลิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะสำหรับเก็บรักษาฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



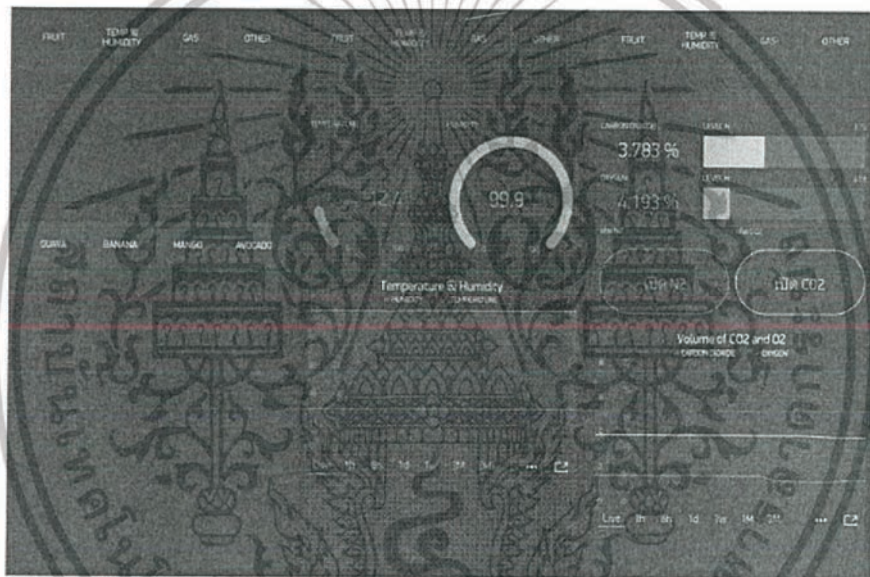
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 3.3 ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การพัฒนาแอปพลิเคชันผ่านทางสมาร์ทโฟน

แอปพลิเคชันถูกพัฒนาขึ้นด้วยแอปพลิเคชันสำเร็จรูป Blynk ซึ่งสามารถใช้ได้กับทั้งระบบปฏิบัติการ IOS และ Android โดยแอปพลิเคชันถูกพัฒนาให้มีหน้าจอแสดงผลต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 โดยรูปที่ 3.2 (a) เป็นหน้าตาสำหรับการเลือกชนิดของผลไม้ที่ต้องการเก็บรักษา โดยแอปพลิเคชันส่งการตั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลไม้ชนิดนั้นไปยังตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะ รูปที่ 3.3 (b) แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษา รูปที่ 3.4 (c) แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในตู้ขณะมีการทำงานพร้อมทั้งสามารถสั่งการเติมก๊าซทั้ง 2 ได้อีกด้วย โดยข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในระหว่างการเก็บรักษาจะถูกส่งไปเก็บไว้ยัง cloud ต่อไป



รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผลของแอปพลิเคชัน

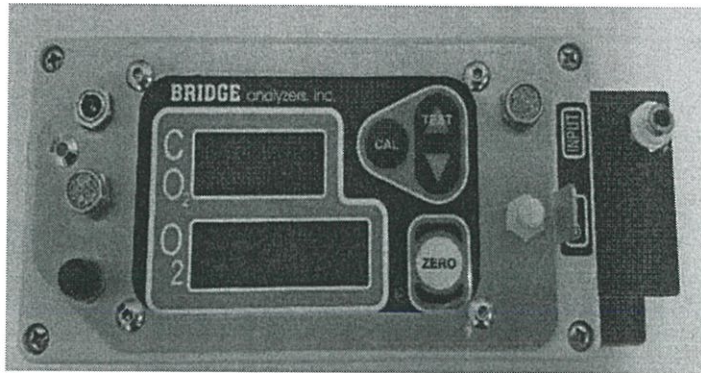
3.3 ระบบคลาวด์

ข้อมูลสถานะในการเก็บรักษาจากตู้ควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซออกซิเจน ในระหว่างการเก็บรักษา

3.4 การสอบเทียบเซนเซอร์

การสอบเทียบเซนเซอร์ใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (headspace gas analyzer (Bridge, 900141, USA)) เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกป้อนเข้าสู่ตู้ตั้งแต่ 2 ถึง 5% และก๊าซออกซิเจนถูกป้อนเข้าสู่ตู้ตั้งแต่ 2 ถึง 5% โดยวัดปริมาณก๊าซทั้งสองชนิดที่ทุกๆ 0.25% แล้วบันทึกปริมาณก๊าซที่เครื่องวัดกับเซนเซอร์อ่านได้ นำค่าที่ได้มาสร้างสมการสอบเทียบเซนเซอร์

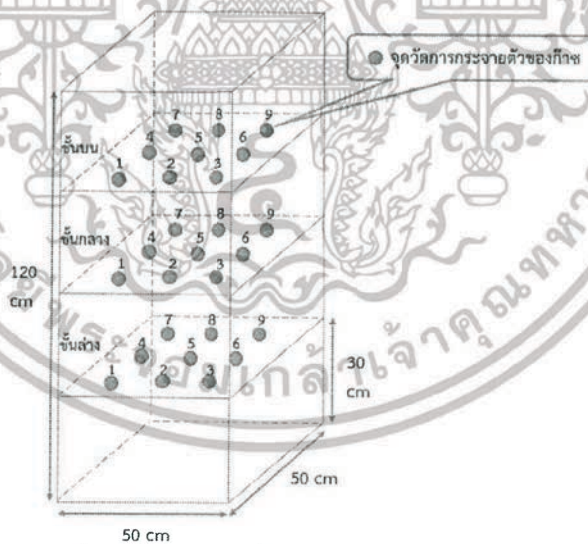
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน

3.5 การทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้

เนื่องจากตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการติดตั้งระบบควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนเข้ากับตู้เย็นแบบ Forced air circulation ซึ่งก๊าซภายในตู้จะมีการหมุนเวียนตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้เพื่อยืนยันว่าผลผลิตเกษตรที่เก็บรักษาภายในตู้ทุกตำแหน่งจะอยู่ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาเดียวกัน โดยการทดสอบจะกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 3.5% และก๊าซออกซิเจนที่ 4% ใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน (headspace gas analyzer (Bridge, 900141, USA)) วัดปริมาณก๊าซภายในตู้ทั้งหมด 27 ตำแหน่ง แบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นละ 9 ตำแหน่ง โดยแต่ละจุดวัดจำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่วัดได้จากทั้ง 27 จุดมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งที่วัดการกระจายตัวของก๊าซ

3.6 ต้นทุนของชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ

ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะที่ได้พัฒนามานี้ อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดคือ ชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ อุปกรณ์ชุดนี้สามารถนำไปติดตั้งและประยุกต์ใช้กับตู้เย็นแบบ Forced air circulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ดังนั้นจึงขอรายงานต้นทุนในการพัฒนาชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ โดยต้นทุนทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ต้นทุนชุดควบคุมสภาพบรรยากาศ

รายการ	ราคา (บาท)
Forced air circulation	4,500
เซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจน	2,500
เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	2,500
ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และจอแสดงผล	2,000
อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ โซลินอยด์วาล์ว ท่อก๊าซ สายไฟ หัวจ่ายก๊าซ	5,000
รวมเป็นจำนวนเงิน	16,500

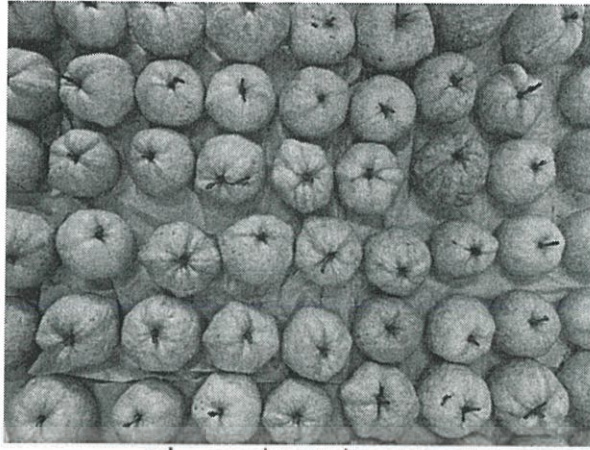
3.7 การเปรียบเทียบการเก็บรักษาฝรั่งด้วยการควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นที่ระยะเวลาต่างๆ

3.7.1 การเตรียมตัวอย่างและสถานะในการเก็บรักษา

ฝรั่งที่สุกมาจากสวนในอำเภอสสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยอายุการเก็บเกี่ยว 150 วันหลังดอกบาน ฝรั่งจะถูกนำมาแช่ในน้ำที่ผสมด้วยคลอรีนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอุณหภูมิ น้ำด้วยเครื่อง Water Bath (Polyscience, PN 9502A12E, USA) เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นนำฝรั่งมาเช็ดทำความสะอาดด้วยผ้าสะอาด และนำไปเก็บในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ 90 ลูก และตู้ควบคุมความเย็น 90 ลูก ตัวอย่างฝรั่งจำนวน 10 ลูก ถูกนำมาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงกลเพื่อเป็นข้อมูลก่อนการเก็บรักษา (0 วัน) จากนั้นตัวอย่างฝรั่งจำนวน 180 ลูก ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ จำนวน 90 ลูก และเก็บรักษาด้วยความเย็นจำนวน 90 ลูก

การเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศที่สถานะในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12.2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% ควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ 2-5% และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2-5% ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฝรั่ง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) โดยมีพัดลมหมุนเวียนอากาศในตู้ (Forced air circulation) สำหรับการเก็บรักษาด้วยความเย็นตัวอย่างถูกเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 12.2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% โดยไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศ โดยในการทดลองจะนำฝรั่งออกมาวัดค่าต่าง ๆ ทุก 6 วัน ทั้งหมด 4 ครั้ง ที่ 6, 12, 18 และ 24 วันหลังการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ฝรั่งกิมจูที่มาจากสวน

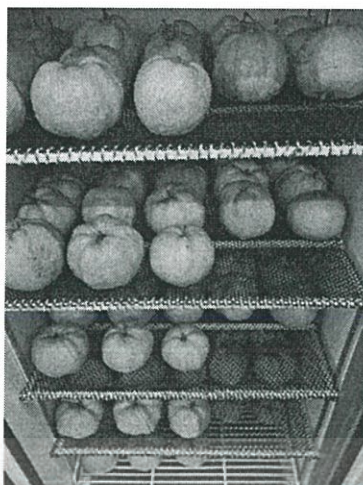


รูปที่ 3.8 การแช่ฝรั่งกิมจูในน้ำ



รูปที่ 3.9 เครื่อง Water Bath (Polyscience, PN 9502A12E, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การจัดเรียงฝรั่งกิมจูเข้าตู้

3.7.2 น้ำหนัก

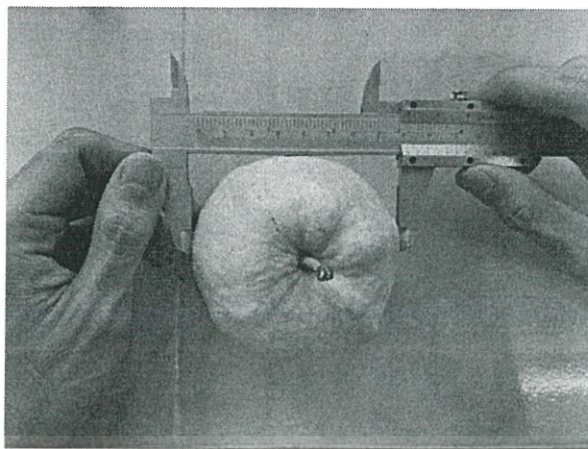
การหาน้ำหนักของฝรั่งกิมจูใช้เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Mettler-Toledo, ARC120, USA, พิกัด 3100 g, ความละเอียดสี่ตำแหน่ง)



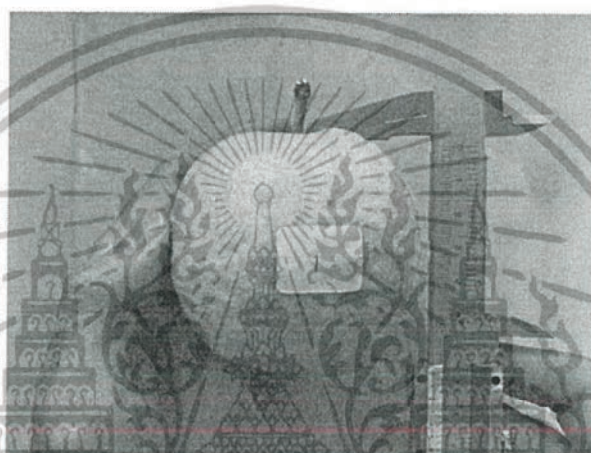
รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักฝรั่งกิมจู

3.7.3 ขนาด

การกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของฝรั่งกิมจูโดยระยะด้านที่ยาวที่สุดหรือความยาว (length, L) ความกว้าง (ซึ่งเป็นระยะสูงสุดของด้านที่ตั้งฉากกับความยาว (width, W) และความหนา (thickness, T) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ดิจิตอล (Mitutoyo, ABS digimatic caliper, No. 938882, Japan) แล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.12 การวัดขนาดฝรั่งกิมจู (แกน X)



รูปที่ 3.13 การวัดขนาดฝรั่งกิมจู (แกน Y)



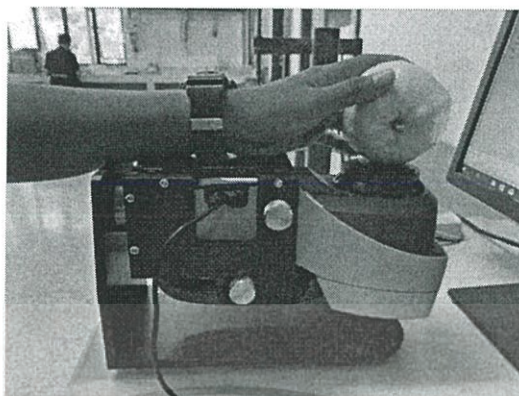
รูปที่ 3.14 การวัดขนาดฝรั่งกิมจู (แกน Z)

3.7.4 สี

การวัดสีใช้เครื่อง Color Spectrophotometer (Miniscan EZ, 4500L, USA) บันทึกค่าสี โดยใช้มาตรฐานระบบ CIE Lab แหล่งกำเนิดแสง D65 มุม 10° (L^* บอกความสว่างของสี, a^* บอกความเป็นสีเขียวเมื่อค่าเป็นลบกับสีแดงเมื่อค่าเป็นบวก, b^* บอกความเป็นสีน้ำเงินเมื่อค่าเป็นลบกับสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

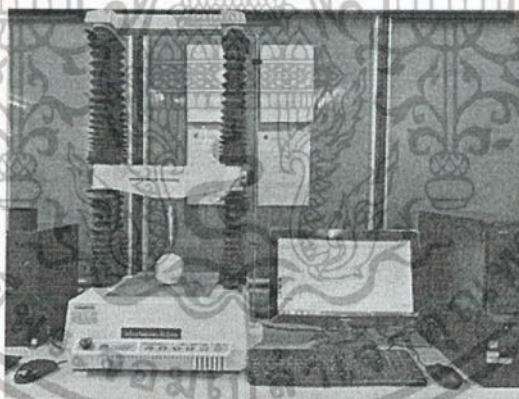
เหลืองเป็นบวก) โดยวัดสีของฝรั่งกิมจู 3 ตำแหน่ง ในแต่ละตำแหน่งสแกน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยแล้ว นำค่าทั้ง 3 มาหาค่าเฉลี่ยของทั้งลูก



รูปที่ 3.15 การวัดค่าสีฝรั่งกิมจู

3.7.5 สมบัติเชิงกล

การวัดสมบัติเชิงกลใช้เครื่อง Texture analyzer (stable micro system model TA.HD. Plus, London, UK) ทดสอบโดยวิธี Puncture test หัวกดทรงกระบอกหน้าตัดตรงขนาด 0.2 mm ค่าที่ได้มา ได้แก่ ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (Average Firmness) แรงสูงสุดในการแทงทะลุ (Rupture Force) ความเหนียว (Toughness) แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ (Average Penetrating Force) และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ (Penetrating Energy)



รูปที่ 3.16 การวัดสมบัติเชิงกล โดยใช้เครื่อง Texture analyzer

3.7.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Brix) โดยนำเนื้อฝรั่งกิมจู 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 2 เท่า ของน้ำหนักเนื้อฝรั่งกิมจูมาปั่นให้ละเอียด กรองเฉพาะส่วนของน้ำมาหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยเครื่อง Refractometer (Atago, PAL-1, Japan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



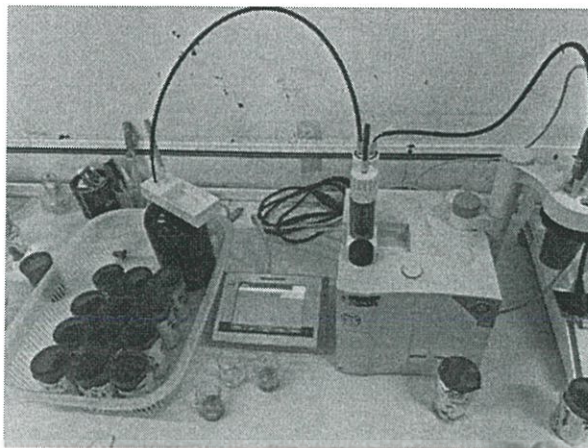
รูปที่ 3.17 การปั่นตัวอย่างกับน้ำกลั่น



รูปที่ 3.18 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

3.7.7 ปริมาณวิตามินซี

ใช้เครื่อง Auto Titrator (Mettler Toledo, Titrator T50, Switzerland) ในการหาวิตามินซี โดยสารมาตรฐานที่ใช้ปรับเทียบคือสารละลาย L-ascorbic 5 ml กับน้ำกลั่น 50 ml และปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 3.5 ด้วยสารละลาย Oxalic acid แล้วจึงไทเทรตสารละลายมาตรฐานเพื่อดูความเข้มข้น จากนั้นจึงวิเคราะห์วิตามินซีในตัวอย่างที่เตรียมไว้โดยนำน้ำฝรั่งที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้มาใช้และปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 3.5 แล้วหาค่าวิตามินซีต่อไป



รูปที่ 3.19 การหาปริมาณวิตามินซี

3.7.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

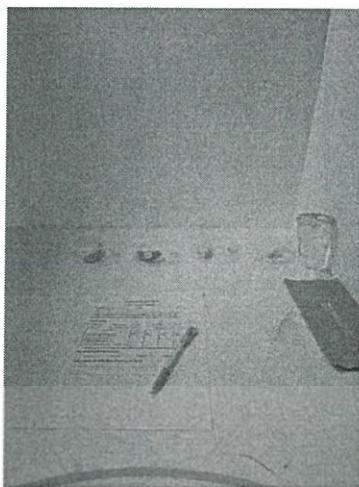
การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศจะเกิดกระบวนการสุกแบบปกติ โดยสมมติฐานเบื้องต้นคือสมบัติทางประสมผัสจะไม่แตกต่างกับฝรั่งกิมจูที่วางขายอยู่ในท้องตลาดและห้างสรรพสินค้า

การทดสอบทางประสาทสัมผัสในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความชอบหรือการยอมรับ (Affective test or acceptance test) เพื่อประเมินความรู้สึกของผู้ทดสอบที่มีต่อฝรั่งกิมจูในแง่ความชอบหรือการยอมรับ ผู้ทดสอบในวิธีนี้เป็นผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนนั้นคือผู้บริโภคนั่นเอง (เพ็ญขวัญ ชิมปรีดา, 2536) การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้ตัวอย่างฝรั่งกิมจูที่ถูกเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ เป็นเวลา 24 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างฝรั่งกิมจูที่ถูกเก็บรักษาในตู้ควบคุมความเย็น เป็นเวลา 24 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง การทดลองจะนำตัวอย่างฝรั่งมาเปรียบเทียบกับฝรั่งกิมจูที่วางขายอยู่ในท้องตลาดจำนวน 3 ตัวอย่าง และวางขายในห้างสรรพสินค้า 3 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบความชอบของผู้บริโภค โดยทำการทดสอบลักษณะปรากฏของผล ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ความหวาน ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ที่ระดับคะแนนความชอบ 5 ระดับกับผู้บริโภคทั้งเพศชายและหญิงจำนวน 30 คน ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ตัวอย่างแบบสอบถามได้แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.20 ฝรั่งกิมจูที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏของผล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส
(ความหวาน ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม)



รูปที่ 3.22 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.7.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Factorial analysis in CRD โดยมีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่ สภาพในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสภาวะในการเก็บรักษามีทั้งสิ้น 2 สภาวะ คือ 1) เก็บรักษาด้วยควบคุมสภาพบรรยากาศ 2) เก็บรักษาด้วยความเย็น สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษากำหนด 5 ระยะเวลาได้แก่ 0, 6, 12, 18 และ 24 วัน รวมทั้งสิ้น 9 กลุ่มการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มการทดลองทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล ค่าเฉลี่ยถูกเปรียบเทียบความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 way ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับสมบัติทางประสาทสัมผัสจะใช้การทดสอบสมมุติฐานของกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (one way ANOVA) ระหว่างฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ เป็นเวลา 24 วัน ฝรั่งกิมจูที่ถูกเก็บรักษาในตู้ควบคุมความเย็น เป็นเวลา 24 วัน กับฝรั่งกิมจูที่วางขายอยู่ในท้องตลาด และวางขายในห้างสรรพสินค้า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

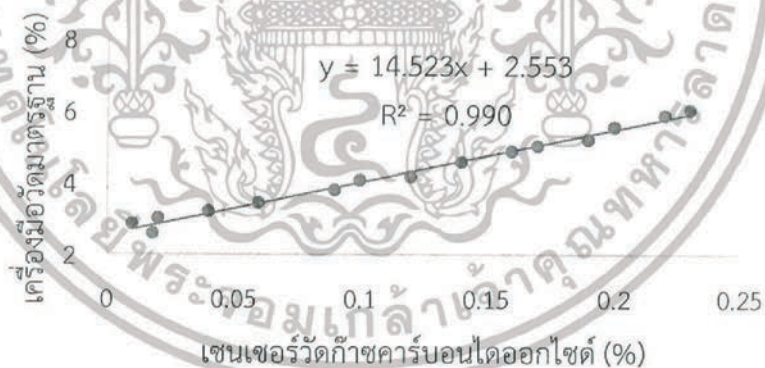
4.1 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์

เพื่อปรับตั้งความถูกต้องในการอ่านค่าของเซนเซอร์ จึงจำเป็นต้องสอบเทียบเซนเซอร์กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน สำหรับเซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์สมการสอบเทียบแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งให้ผลค่า $R^2 = 0.990$ กราฟการกระจายตัวของข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับเซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจนสมการสอบเทียบแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งให้ผลค่า $R^2 = 0.998$ กราฟการกระจายตัวของข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.2

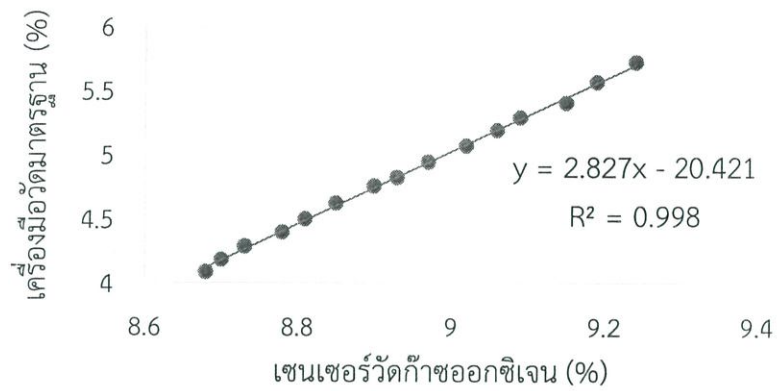
$$Y = 14.523x + 2.553 \quad (1)$$

$$Y = 2.827x - 20.421 \quad (2)$$

โดยที่ X คือค่าที่เซนเซอร์วัดได้ Y คือค่าจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยสมการที่ได้นี้จะถูกป้อนสู่คำสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ปรับเทียบความถูกต้องในการตรวจจับและควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อ่านได้กับค่าที่เครื่องมือวัดมาตรฐานอ่านได้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจนอ่านได้กับค่าที่เครื่องมือวัดมาตรฐานอ่านได้

4.2 ผลการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้

ตารางที่ 4.1 จะแสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้ จากการกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 3.5% และก๊าซออกซิเจนที่ 4% และทำการวัดปริมาณก๊าซทั้ง 27 จุดโดยรอบภายในตู้ โดยผลการทดสอบที่ได้สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $3.54 \pm 0.03\%$ และสำหรับก๊าซออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $4.15 \pm 0.04\%$ แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของก๊าซในตู้มีความสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้

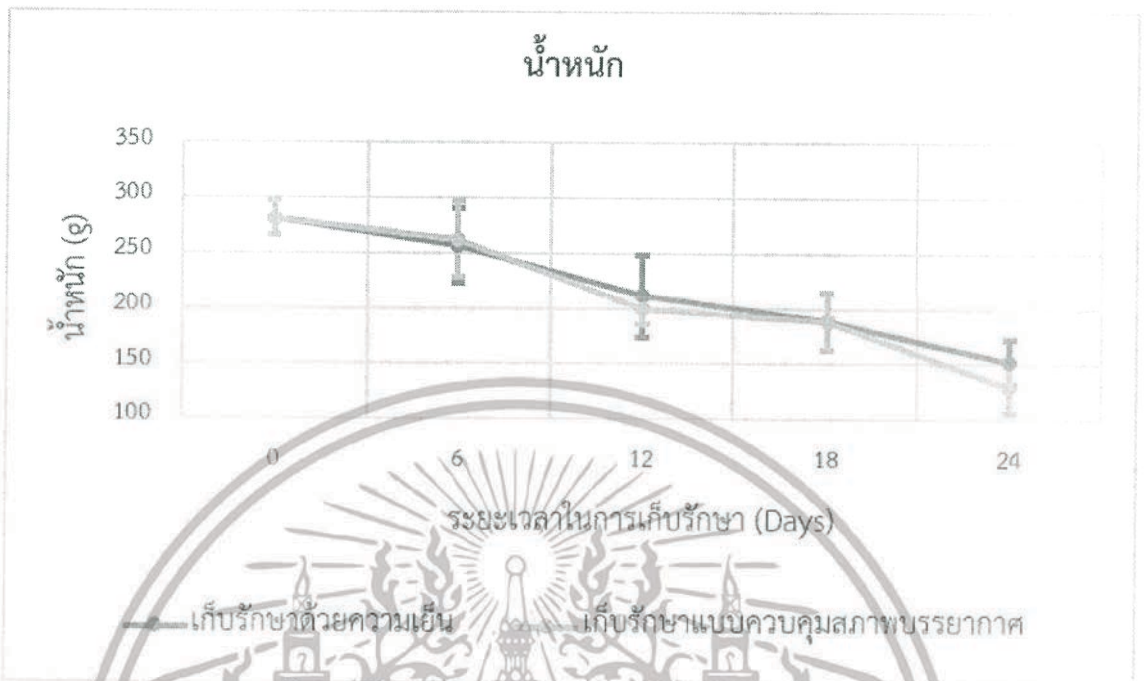
ก๊าซ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คาร์บอนไดออกไซด์	3.54%	0.03%
ออกซิเจน	4.15%	0.04%

4.3 การทดลองเปรียบเทียบฝรั่งิมจูที่ถูกเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็น

4.3.1 สมบัติทางกายภาพ

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) สำหรับสมบัติทางกายภาพพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเก็บรักษา เวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ฝรั่งิมจูที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต ดังแสดงในตารางที่ 4.2-4.3 ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.4 โดยน้ำหนักและขนาดมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝรั่งิมจูมีช่องเปิดต่างๆ และยังมีเปลือกที่บาง ส่งผลให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้ จึง

เกิดการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้น้ำหนักและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงน้ำหนักของฝรั่งิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของฝรั่งิมจูจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต) หลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทางกายภาพ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (days)				
	0	6	12	18	24
น้ำหนัก (g)	2.81±15.33 ^a	2.60±33.56 ^b	2.05±28.15 ^c	1.89±25.50 ^d	1.40±24.22 ^e
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (cm)	7.93±0.18 ^a	7.70±0.28 ^b	7.11±0.28 ^c	6.85±0.32 ^d	6.24±0.31 ^e

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

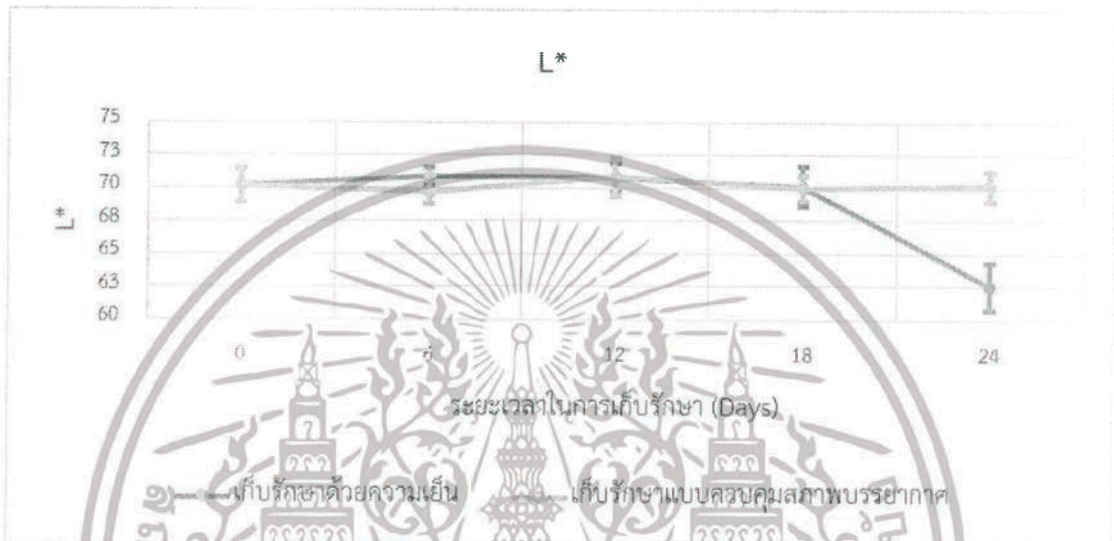
ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต) ตามสภาวะในการเก็บรักษาต่างๆ

สมบัติทางกายภาพ	สภาวะในการเก็บรักษา	
	CA	RF
น้ำหนัก (g)	2.21±59.91 ^{ns}	2.18±53.93 ^{ns}
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (cm)	7.14±0.71 ^{ns}	7.19±0.63 ^{ns}

หมายเหตุ ns ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

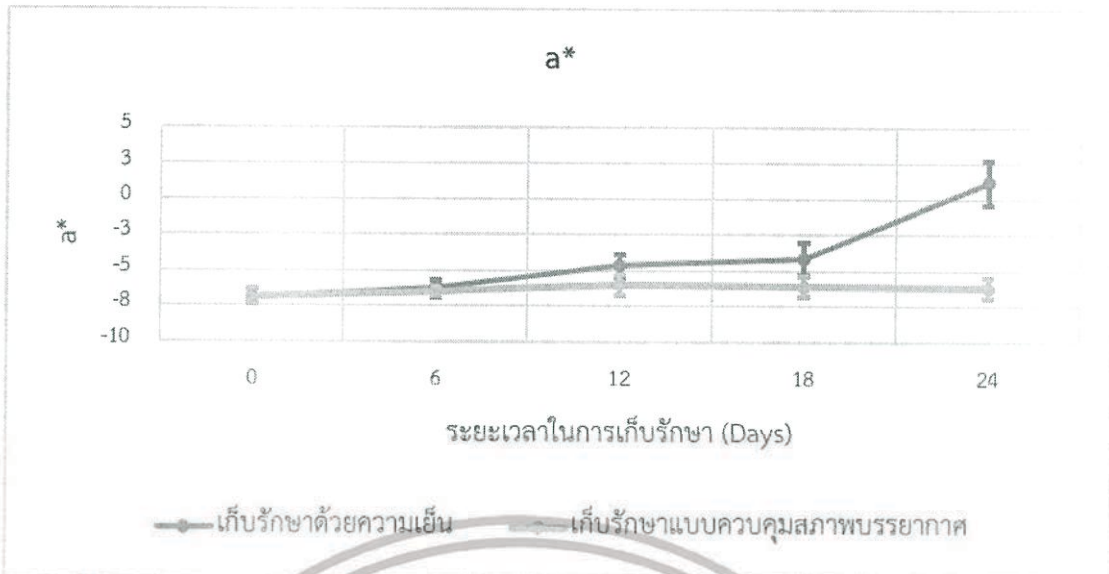
CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

สำหรับค่า L^* , a^* และ b^* พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 4.4 ค่า L^* ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 ถึง 18 วันหลังการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 18 พบว่าสภาวะในการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูมีผลต่อค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า L^* ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่างจาก L^* ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 สิ่งนี้บ่งบอกได้ว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นมีสีที่เข้มขึ้น (L^* ลดลง) แต่ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างของสีผลหลังจากวันที่ 24



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า L^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

ค่า a^* ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ต่างจากการเก็บรักษาด้วยความเย็นที่เกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากวันที่ 18 พบว่า ค่า a^* ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นมีความเป็นสีเขียวลดลง (a^* ค่าติดบวก) แต่ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศยังสามารถคงสีเขียวไว้ได้ (a^* ค่าติดลบ)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า a^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

ค่า b^* แสดงให้เห็นว่าฝรั่งกิมจูเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นสีเหลืองขึ้น (b^* เพิ่มขึ้น) แต่ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองของผลเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงสีของฝรั่งกิมจูอาจเนื่องมาจากการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสุก



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า b^* ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของฝรั่งกิมจู (L*, a* และ b*) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะและระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทาง กายภาพ	สภาวะ ในการ เก็บรักษา	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
		0	6	12	18	24
L*	CA	70.19±0.39 ^{NS, ns}	69.74±0.39 ^{NS, b}	70.90±0.39 ^{NS, ns}	69.97±0.39 ^{NS, ns}	70.14±0.39 ^{NS, a}
	RF	70.19±0.39 ^{C, ns}	70.88±0.39 ^{A, a}	70.77±0.39 ^{B, ns}	70.13±0.39 ^{C, ns}	62.56±0.39 ^{D, b}
a*	CA	-6.87±0.48 ^{B, ns}	-6.44±0.38 ^{AB, ns}	-6.01±0.73 ^{A, b}	-6.12±0.72 ^{A, b}	-6.24±0.69 ^{A, b}
	RF	-6.87±0.48 ^{C, ns}	-6.30±0.66 ^{C, ns}	-4.66±0.80 ^{B, a}	-4.20±0.11 ^{B, a}	1.20±0.16 ^{A, a}
b*	CA	35.09±0.24 ^{E, ns}	36.61±0.24 ^{D, ns}	37.12±0.24 ^{C, a}	38.04±0.24 ^{B, a}	38.37±0.24 ^{A, a}
	RF	35.09±0.24 ^{E, ns}	36.34±0.24 ^{B, ns}	36.02±0.24 ^{D, b}	36.69±0.24 ^{A, b}	36.27±0.24 ^{C, b}

หมายเหตุ A,B,C,D ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

a,b,c ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

NS ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

4.3.2 สมบัติเชิงกล

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย (สภาวะและเวลาในการเก็บรักษา) ดังแสดงในตารางที่ 4.5-4.6 การพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของฟรังกิมจุที่เก็บรักษาตามสภาวะทั้ง 2 สภาวะ โดยสมบัติเชิงกลของฟรังกิมจุ ได้แก่ ความแน่นเนื้อเฉลี่ย แรงในการแทงทะลุ ความเหนียวแรงกตเฉลี่ยที่เนื้อ และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ

ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของฟรังกิมจุที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะมีการเปลี่ยนแปลง ในช่วง 0 ถึง 24 วัน เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.8

แรงสูงสุดในการแทงทะลุของฟรังกิมจุที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วง 12 ถึง 24 วัน ต่างจากการเก็บรักษาด้วยความเย็นที่ค่าแรงในการแทงทะลุในช่วง 12 ถึง 24 วัน ลดลงต่ำกว่าค่าเริ่มต้นอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

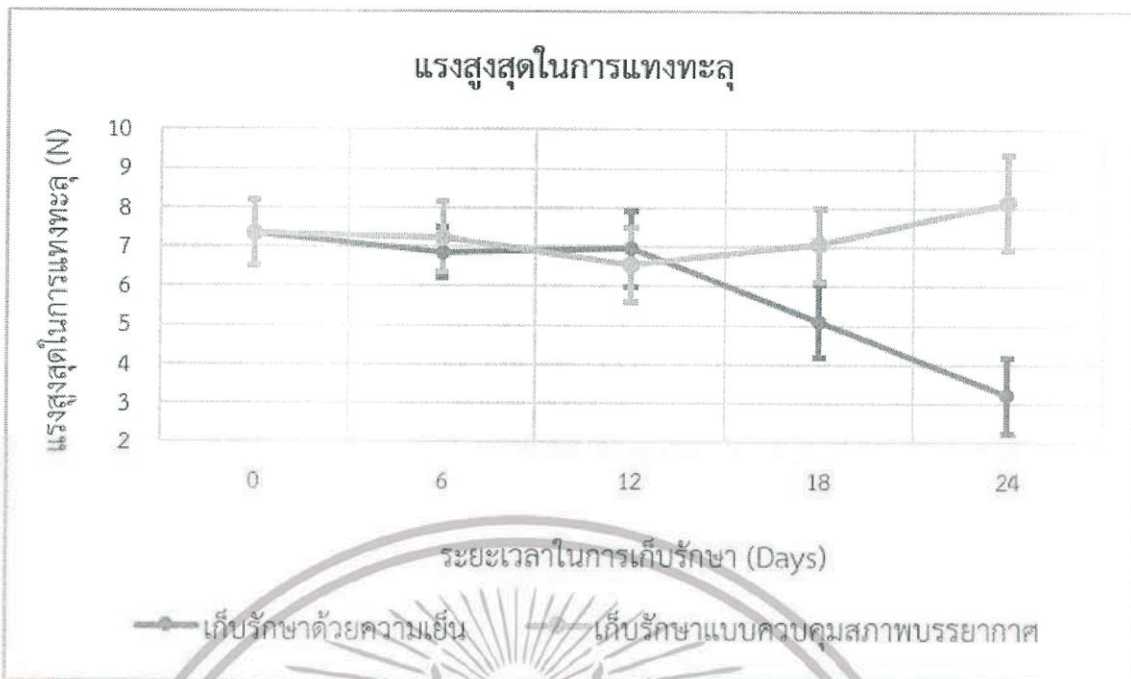
ความเหนียวของเปลือกฟรังกิมจุทั้ง 2 สภาวะมีค่าลดลง แต่ที่เก็บรักษาด้วยความเย็น ในช่วง 18 ถึง 24 วัน ค่าความเหนียวของเปลือกกลับลดลงต่ำกว่าค่าเริ่มต้นอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

สมบัติเชิงกลของเนื้อฟรังกิมจุ ได้แก่ แรงกตเฉลี่ยที่เนื้อ และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ แรงกตเฉลี่ยที่เนื้อและพลังงานในการแทงทะลุเนื้อของฟรังกิมจุที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 ถึง 18 วันหลังการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 24 พบว่าสภาวะในการเก็บรักษาฟรังกิมจุมีผลต่อการลดลงของค่าแรงกตเฉลี่ยที่เนื้อและพลังงานในการแทงทะลุเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ โดยที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าลดลงน้อยกว่าการเก็บรักษาด้วยความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.12



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความแน่นเนื้อเฉลี่ยของฟรังกิมจุหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

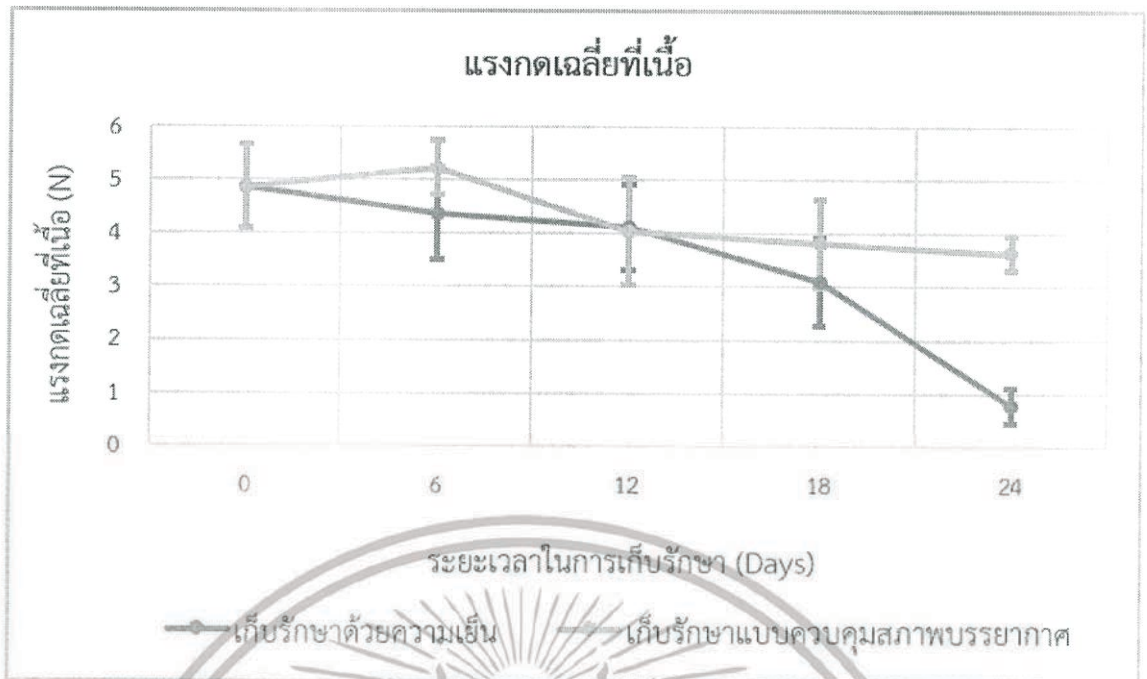


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแรงสูงสุดในการแทงทะลุของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่าง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเหนียวของเปลือกฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแรงกดเฉลี่ยที่เนื้อฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงพลังงานในการแทงทะลุเนื้อฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติทางกลของฟรังกิมจู (แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ แรงสูงสุดในการแทงทะลุ และพลังงานในการแทงทะลุเนื้อ) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะและระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทางกล	สภาวะในการเก็บรักษา	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
		0	6	12	18	24
แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ (N)	CA	4.872±0.790 ^{A,ns}	5.231±0.518 ^{A,a}	4.046±1.014 ^{B,ns}	3.813±0.838 ^{B,ns}	3.626±0.319 ^{B,a}
	RF	4.872±0.790 ^{A,ns}	4.377±0.871 ^{AB,b}	4.114±0.801 ^{B,ns}	3.099±0.830 ^{C,ns}	0.782±0.330 ^{D,b}
แรงสูงสุดในการแทงทะลุ (N)	CA	7.476±0.300 ^{B,ns}	7.251±0.300 ^{C,ns}	6.547±0.300 ^{E,ns}	7.066±0.300 ^{D,a}	8.145±0.300 ^{A,a}
	RF	7.476±0.300 ^{A,ns}	6.862±0.300 ^{C,ns}	6.960±0.300 ^{B,ns}	5.108±0.300 ^{D,b}	3.229±0.300 ^{E,b}
พลังงานในการแทงทะลุ (N·mm)	CA	45.803±11.700 ^{A,ns}	39.410±21.243 ^{B,ns}	56.437±17.184 ^{A,a}	58.242±16.401 ^{A,a}	47.015±4.090 ^{AB,a}
	RF	45.803±11.700 ^{A,ns}	46.793±15.909 ^{AB,ns}	28.460±21.210 ^{B,b}	36.713±13.089 ^{AB,b}	9.197±3.327 ^{C,b}

หมายเหตุ A,B,C,D,E ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

a,b,c ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติทางกลของฟรังกิมจุ (ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และความเหนียวของเปลือก) หลังการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทางกายภาพ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (days)				
	0	6	12	18	24
ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (N/mm)	0.911±0.412 ^{ns}	1.766±2.160 ^{ns}	1.592±1.849 ^{ns}	1.427±0.892 ^{ns}	1.407±0.637 ^{ns}
ความเหนียวของเปลือก (N-mm)	35.851±21.660 ^a	25.875±18.884 ^b	22.605±25.235 ^c	14.447±12.813 ^e	16.215±9.370 ^d

หมายเหตุ a,b,c,d,e ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติทางกลของฟรังกิมจุ (ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และความเหนียวของเปลือก) ตามสภาวะในการเก็บรักษาต่างๆ

สมบัติทางกายภาพ	สภาวะในการเก็บรักษา	
	CA	RF
ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (N/mm)	1.707±1.449 ^a	1.134±1.252 ^b
ความเหนียวของเปลือก (N-mm)	25.500±19.948 ^{ns}	20.501±19.331 ^{ns}

หมายเหตุ a,b ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

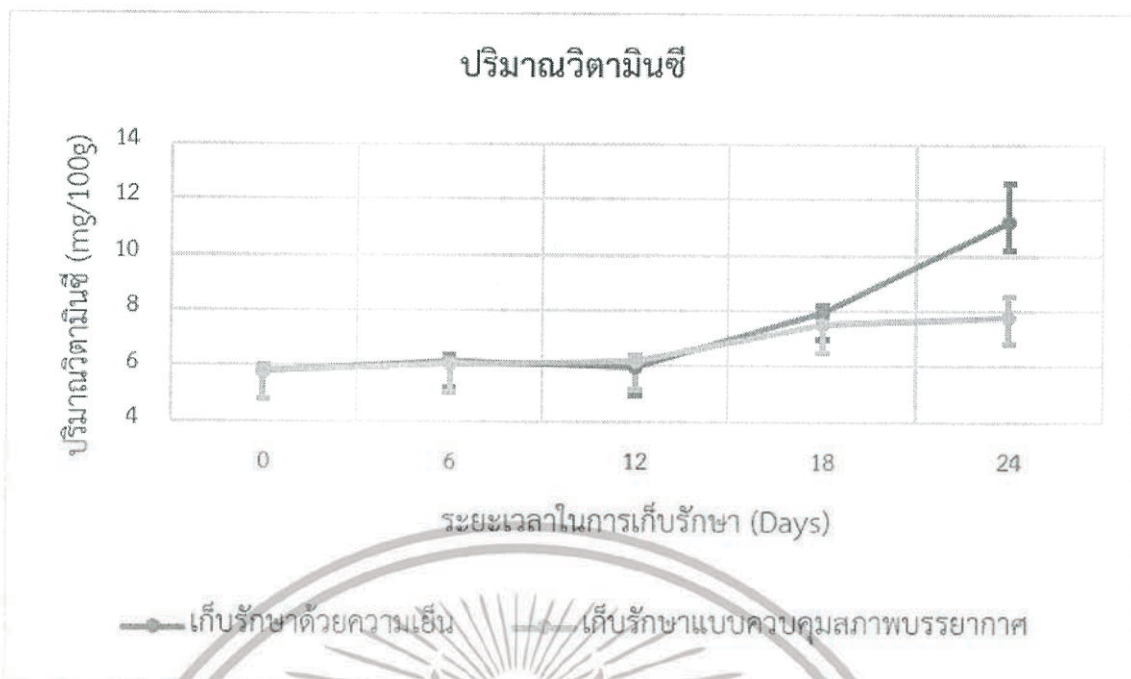
4.3.3 สมบัติทางเคมี

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย (สภาวะและเวลาในการเก็บรักษา) ดังแสดงในตารางที่ 4.8-4.9 ขณะที่ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) สำหรับปริมาณวิตามินซีพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย (สภาวะและเวลาในการเก็บรักษา) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะเกิดการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันในช่วง 0 ถึง 12 วันหลังการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 12 พบว่าสภาวะในการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาด้วยความเย็นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศสามารถเก็บรักษาความหวานของฝรั่งกิมจูได้มากกว่าที่เก็บรักษาด้วยความเย็น เนื่องจากกระบวนการสุกของฝรั่งกิมจูจะเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล

ค่าปริมาณวิตามินซีของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะเกิดการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันในช่วง 0 ถึง 18 วันหลังการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 18 พบว่าสภาวะในการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาด้วยความเย็นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงปริมาณวิตามินซีของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสถานะและระยะเวลาต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) หลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทางเคมี	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (days)				
	0	6	12	18	24
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Brix)	16.07±0.28 ^a	13.16±1.06 ^b	11.95±0.98 ^c	110.45±0.61 ^d	9.22±0.30 ^e

หมายเหตุ a,b,c,d,e ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) ตามสภาวะในการเก็บรักษาต่างๆ

สมบัติทางเคมี	สภาวะในการเก็บรักษา	
	CA	RF
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Brix)	12.27±2.81 ^a	11.01±1.46 ^b

หมายเหตุ a,b ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ 4.10 แสดงสมบัติทางเคมีของฝรั่งกิมจู (ปริมาณวิตามินซี) หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะและระยะเวลาต่างๆ

สมบัติทางเคมี	สภาวะ ในการ เก็บรักษา	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (days)				
		0	6	12	18	24
วิตามินซี (mg/100mg)	CA	5.796±0.242 ^{C,ns}	6.055±0.222 ^{BC,ns}	6.185±0.062 ^{B,a}	7.506±0.302 ^{A,b}	7.812±0.708 ^{A,na}
	RF	5.796±0.242 ^{C,ns}	6.200±0.226 ^{C,ns}	5.964±0.093 ^{B,b}	7.973±0.221 ^{A,a}	N/A

หมายเหตุ A,B,C ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

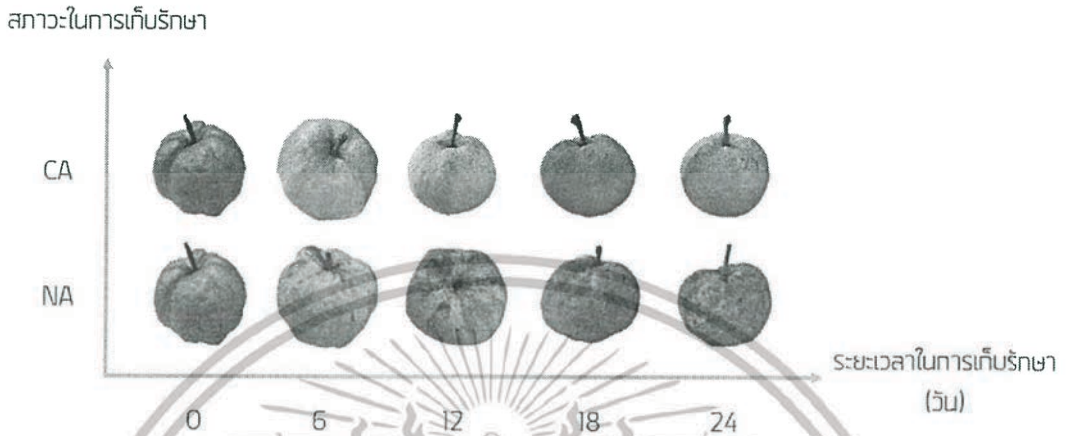
a,b ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CA คือสภาวะควบคุมสภาพบรรยากาศ, RF คือสภาวะเก็บรักษาด้วยความเย็น

N/A ไม่ปรากฏ

ลักษณะภายนอกของฝรั่งกิมจูหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 12 วัน ต่างจากฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศที่สามารถคงสีเขียวไว้ได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา



รูปที่ 4.15 ลักษณะภายนอกของฝรั่งกิมจูจากการเก็บรักษาในสภาวะและระยะเวลาต่างๆ

4.3.4 สมบัติทางประสาทสัมผัส

ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ เป็นเวลา 24 วัน ฝรั่งกิมจูจากท้องตลาด และฝรั่งกิมจูจากห้างสรรพสินค้า สมบัติทางประสาทสัมผัสได้รับคะแนนความชอบมากกว่า 3 แสดงถึงการยอมรับของผู้บริโภค ดังแสดงในตารางที่ 7 แต่การยอมรับโดยรวมของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าน้อยกว่าฝรั่งกิมจูที่จากท้องตลาด และจากห้างสรรพสินค้า

ผลของการวิเคราะห์ one way ANOVA ระหว่างฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ ฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น ฝรั่งกิมจูจากท้องตลาด และฝรั่งกิมจูจากห้างสรรพสินค้า พบว่าสมบัติทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่ามากที่สุด ส่วนเนื้อสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีค่าน้อยกว่าฝรั่งกิมจูจากท้องตลาด และฝรั่งกิมจูจากห้างสรรพสินค้า ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจู (ลักษณะปรากฏของผล ความหวาน ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม) หลังจากการเก็บรักษาควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 24 วัน กับ ฝรั่งกิมจูที่วางขายอยู่ในร้านสะดวกซื้อ

สมบัติทางประสาทสัมผัส	ตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
ลักษณะปรากฏของผล	3.87±1.07 ^a	2.43±1.22 ^c	3.53±1.01 ^{ab}	2.97±1.43 ^{bc}
ความหวาน	3.67±1.24 ^{ns}	3.07±1.39 ^{ns}	3.07±0.98 ^{ns}	3.50±1.17 ^{ns}
ความแข็ง	2.60±1.24 ^b	2.20±1.24 ^b	3.47±1.04 ^a	3.93±1.11 ^a
การยอมรับโดยรวม	3.17±1.23 ^b	2.43±1.17 ^c	3.47±0.86 ^{ab}	3.83±1.02 ^a

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ตัวอักษรพิมพ์เล็กหลังค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะที่ถูกพัฒนาขึ้นได้ถูกปรับเทียบเซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างสมการในการควบคุมการจ่ายก๊าซให้มีความถูกต้องและแม่นยำ โดยสมการปรับเทียบแสดงค่า $R^2 = 0.998$ สำหรับเซนเซอร์วัดก๊าซออกซิเจน และ $R^2 = 0.990$ สำหรับเซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอทั่วทั้งตู้โดยจากการทดสอบก๊าซออกซิเจนแสดงผลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $4.15 \pm 0.04\%$ และคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ $3.54 \pm 0.03\%$ ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้จึงสามารถนำมาใช้ในการเก็บรักษาได้

การเก็บรักษาฝรั่งกิมจูในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็น พบว่าน้ำหนักและขนาดของฝรั่งกิมจูมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น สมบัติเชิงกลของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศมีความแข็งแรงมากกว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณวิตามินซีมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่เก็บในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ พบว่ารสชาติของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศหวานที่สุด ส่วนความชอบโดยรวมมีระดับคะแนนเท่ากับ 3 ซึ่งถือว่าได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค จากข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่าฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษา คุณภาพของฝรั่งกิมจูได้ และมีระยะเวลาในการจำหน่ายได้นานขึ้น ทำให้ไม่เกิดการเน่าเสียระหว่างรอการจำหน่าย ตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศอัจฉริยะนี้มีต้นทุนเท่ากับ 16,500 บาท และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาฝรั่งต่อ 24 วันเท่ากับ 4,475 บาท ตู้สามารถเก็บรักษาฝรั่งด้วยความจุ 100 กิโลกรัมส่งผลให้คืนทุนได้ภายในระยะ 768 วัน หรือการเก็บรักษาทั้งหมด 32 รอบ

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2558. **วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตฝรั่ง**. [Online]. Available : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2266>
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 5
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พลังเกษตร. 2561. **ฝรั่งกิมจู แนวทางการปลูกฝรั่งกิมจู และดูแลสวนฝรั่งกิมจู ปลูกง่ายทำรายได้ดีตลอดปี**. [Online]. Available : <https://www.palangkaset.com/ไม้เมืองผล/ฝรั่งกิมจู-1-สวนฝรั่งกิม>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2557. **การเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ**. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0765/controlled-atmosphere-storage> การเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ
- มติชนบทเทคโนโลยีชาวบ้าน. 2553. **"สวนทานิต" ฝรั่งแปลงใหญ่ที่สุดในภาคเหนือตอนล่าง**. [Online]. Available : <http://info.matichon.co.th/techno/techno.php?srctag=0501610453&srcday=&search=no>
- วีไล รังสาดทอง. 2559. **เทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี : ยูโอเพ่น.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2561. **การบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ**. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/828/modified-atmosphere-packaging-map>.
- Antala, D. K., Varshney, A. K., Davara, P. R., & Sangani, V. P. (2015). Modified atmosphere packaging of guava fruit. *Packaging Technology and Science*, 28(6), 557–564.
- Gaspar, J., Couto, F., Salomao, L. C. C., Finger, F. L., & Cardoso, A. (1996). Effect of low temperature and plastic films on post-harvest life of guava (*Psidium guajava* L.). *International Symposium on Myrtaceae*, 45, 107–114.
- Jacomino, A. P., de Luca Sarantópoulos, C. I. G., Sigrist, J. M. M., Kluge, R. A., & Minami, K. (2001). Sensorial characteristics of “Kumagai” guavas submitted to passive modified atmosphere in plastic packages. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 17(1), 6–21.
- Mangaraj, S., Goswami, T. K., Giri, S. K., & Joshy, C. G. (2014). Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 2925–2946.
- Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018a). The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. *Food Chemistry*, 245, 820–828.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018b). Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava durin low-temperature storage. *Food Chemistry*, 253, 55–62.
- Pereira, L. M., Rodrigues, A. C. C., Sarantopoulos, C. I. G. L., Junqueira, V. C. A., Cunha, R. L., & Hubinger, M. D. (2004). Influence of modified atmosphere packaging and osmotic dehydration on the quality maintenance of minimally processed guavas. *Journal of Food Science*, 69(4), 172–177.
- Rana, S., Siddiqui, S., & Goyal, A. (2015). Extension of the shelf-life of guava by individual packaging with cling and shrink films. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8148–8155.
- Sahoo, N. R., Panda, M. K., Bal, L. M., Pal, U. D., & Sahoo, D. (2015). Comparative study of MAP and shrink wrap packaging techniques for shelf-life extension of fresh guava. *Scientia Horticulturae*, 182, 1–7.
- Singh, S. P., & Pal, R. K. (2008). Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 296–306.
- Teixeira, G. H., Júnior, L. C. C., Ferraudo, A. S., & Durigan, J. F. (2016). Quality of guava (*Psidium guajava* L. cv. Pedro Sato) fruit stored in low-O₂ controlled atmospheres is negatively affected by increasing levels of CO₂. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 62–68.
- Teixeira, G. H. A., & Durigan, J. F. (2010). Effect of controlled atmosphere with low oxygen levels on extended storage of guava fruit (*Psidium guajava* L. 'Pedro Sato'). *Horticultural Science*, 45(6), 918–924.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ผลการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้

ชั้น	ตำแหน่ง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
บน	3.47±0.02	3.62±0.05	3.46±0.02	3.49±0.03	3.57±0.03	3.52±0.02	3.50±0.03	3.51±0.03	3.52±0.03
กลาง	3.55±0.03	3.47±0.03	3.46±0.04	3.54±0.04	3.56±0.03	3.49±0.04	3.53±0.04	3.51±0.04	3.50±0.03
ล่าง	3.55±0.02	3.50±0.04	3.53±0.02	3.61±0.02	3.63±0.02	3.64±0.03	3.59±0.04	3.58±0.05	3.57±0.02

ตารางที่ ก2 ผลการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนในตู้

ชั้น	ตำแหน่ง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
บน	4.787±0.065	4.775±0.053	4.880±0.055	4.191±0.059	4.261±0.048	4.303±0.060	4.007±0.044	4.075±0.025	4.050±0.033
กลาง	4.062±0.049	4.090±0.055	4.160±0.048	4.003±0.035	4.062±0.025	4.022±0.030	4.209±0.035	4.155±0.020	4.156±0.038
ล่าง	4.169±0.049	4.076±0.045	4.089±0.057	3.835±0.029	3.822±0.029	3.876±0.025	3.977±0.021	4.020±0.019	4.008±0.027



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

อาหารทดสอบ : ฝรั่งกิมจู

รหัสผู้ทดสอบ..... เพศ..... อายุ.....ปี
วันที่.....

คำชี้แจง : ทดสอบ 4 ตัวอย่าง และให้คะแนนในช่องตามรหัสตัวอย่าง เพื่อประเมินความชอบในแต่ละคุณลักษณะตามความรู้สึกของท่าน และบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าก่อนทำการทดสอบอาหารตัวอย่างต่อไป

คะแนนความชอบ

1 = ไม่ชอบมาก 2 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = เฉยๆ 4 = ชอบเล็กน้อย 5 = ชอบมาก

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
ลักษณะปรากฏ (Appearance)				
ความหวาน (Sweetness)				
ความแข็ง (Hardness)				
การยอมรับโดยรวม (Overall acceptance)				

→ โปรดเรียงระดับความชอบของท่านต่ออาหารทดสอบ ตัวอย่างที่ชอบมากที่สุดในระดับแรก และตัวอย่างที่ชอบน้อยที่สุดในลำดับสุดท้าย
ลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 ลำดับที่ 3 ลำดับที่ 4

แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของอาหารทดสอบ

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก ค.

ผลการทดลองเปรียบเทียบฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นต่อสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค1 น้ำหนัก (g) ของฝรั่งจุ่มตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	278.55	262.69	314.50	276.68	272.75	303.07	281.18	281.01	268.53	274.56
	RF	278.55	262.69	314.50	276.68	272.75	303.07	281.18	281.01	268.53	274.56
6	CA	289.27	215.09	255.61	301.41	282.66	237.79	323.59	235.03	250.11	233.54
	RF	269.81	218.37	279.98	269.18	214.20	256.11	309.44	221.59	295.48	233.09
12	CA	175.92	205.41	201.35	182.98	219.44	208.79	196.60	191.90	217.77	193.43
	RF	228.38	284.50	208.69	182.75	171.31	177.19	174.97	212.52	255.81	216.38
18	CA	190.43	168.07	235.00	165.74	184.09	187.74	225.39	174.00	151.99	204.42
	RF	184.08	168.41	234.71	170.41	207.84	226.02	177.31	153.35	186.97	181.92
24	CA	132.80	129.73	105.26	154.93	113.21	107.51	165.90	112.85	107.82	158.60
	RF	114.02	133.29	149.65	165.93	169.01	170.40	154.94	166.12	166.30	127.94

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต (cm) ของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	7.69	7.87	7.99	7.93	8.19	8.01	7.70	7.73	8.00	8.20
	RF	7.69	7.87	7.99	7.93	8.19	8.01	7.70	7.73	8.00	8.20
6	CA	7.65	7.39	7.95	7.83	7.33	8.17	8.12	7.47	7.72	7.73
	RF	7.50	8.02	7.24	7.55	7.77	8.02	8.01	7.40	7.6	7.44
12	CA	7.00	7.08	7.21	7.26	7.02	6.99	7.06	7.48	7.11	7.07
	RF	7.18	7.85	7.06	7.00	6.71	6.80	6.69	6.94	7.54	7.27
18	CA	6.94	6.74	7.38	6.69	6.81	6.66	7.18	6.62	6.32	6.93
	RF	6.93	6.50	7.29	6.48	7.11	7.32	6.60	6.39	7.19	6.86
24	CA	6.23	6.03	5.89	6.46	6.07	5.76	6.38	5.81	5.77	6.59
	RF	5.97	6.19	6.26	6.52	6.47	6.58	6.36	6.75	6.62	5.99

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค3 L* ของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	71.88	68.40	71.89	69.40	69.12	69.05	70.21	69.62	70.52	71.83
	RF	71.88	68.40	71.89	69.40	69.12	69.05	70.21	69.62	70.52	71.83
6	CA	69.55	69.44	68.95	69.91	68.72	70.92	70.84	69.79	68.50	70.81
	RF	70.19	70.17	71.85	70.18	70.70	70.30	71.41	71.63	70.68	71.69
12	CA	73.46	70.73	70.46	69.78	73.16	70.37	70.96	71.54	69.21	69.30
	RF	71.59	71.64	70.54	68.81	71.68	70.37	71.77	71.25	71.07	68.99
18	CA	70.42	70.23	70.14	71.19	68.76	71.72	69.52	68.26	70.37	69.50
	RF	70.04	70.09	70.77	69.98	68.89	71.89	71.31	66.91	69.46	71.95
24	CA	71.76	71.78	69.66	68.85	71.25	69.12	68.80	70.11	69.35	70.70
	RF	63.34	64.87	64.30	62.64	63.61	60.96	60.48	63.64	61.82	59.70

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค4 a* ของฝรั่งิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	-6.37	-7.30	-7.20	-7.19	-6.59	-7.73	-6.18	-6.70	-6.85	-6.57
	RF	-6.37	-7.30	-7.20	-7.19	-6.59	-7.73	-6.18	-6.70	-6.85	-6.57
6	CA	-6.69	-6.43	-6.59	-6.84	-6.55	-6.00	-5.86	-5.92	-6.85	-6.67
	RF	-7.07	-7.21	-5.32	-6.04	-6.15	-6.27	-6.61	-6.73	-6.32	-5.25
12	CA	-5.28	-6.89	-5.85	-6.62	-6.84	-6.54	-6.31	-4.76	-5.60	-5.42
	RF	-3.89	-5.32	-5.65	-4.18	-2.92	-4.76	-5.26	-4.87	-4.94	-4.85
18	CA	-6.29	-5.78	-6.35	-6.31	-7.01	-4.92	-5.42	-7.34	-5.60	-6.18
	RF	-4.03	-5.10	-2.26	-5.27	-2.90	-3.71	-3.55	-5.21	-4.30	-5.64
24	CA	-6.16	-6.05	-5.80	-7.36	-7.28	-6.27	-6.03	-6.25	-4.93	-6.24
	RF	-0.32	2.57	-0.04	0.33	-2.91	3.94	-0.79	1.94	0.82	0.66

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค5 b* ของฝรั่งิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	34.86	34.05	36.68	35.62	35.03	35.64	36.41	34.01	34.4	34.17
	RF	34.86	34.05	36.68	35.62	35.03	35.64	36.41	34.01	34.4	34.17
6	CA	37.74	37.50	35.87	36.53	36.55	36.92	35.45	36.59	35.68	37.31
	RF	36.6	36.26	36.36	35.92	36.64	35.98	36.88	35.65	36.82	36.25
12	CA	36.92	37.97	38.26	36.01	36.08	38.29	36.74	38.13	36.22	37.24
	RF	36.00	34.76	36.63	34.62	36.75	36.09	36.28	36.11	36.57	36.37
18	CA	38.02	38.92	37.60	37.73	38.61	36.83	37.19	38.71	38.13	38.63
	RF	37.69	36.57	36.91	37.63	36.23	35.99	37.08	35.89	36.23	36.6
24	CA	39.06	38.10	38.43	38.26	37.78	38.11	37.78	38.02	38.16	39.04
	RF	36.64	35.22	37.04	36.18	35.78	35.17	37.38	37.02	36.02	36.23

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค6 ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (N/mm) ของฝักรังจิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	6.256	0.781	0.675	0.683	0.595	0.623	1.188	5.651	0.556	0.649
	RF	6.256	0.781	0.675	0.683	0.595	0.623	1.188	5.651	0.556	0.649
6	CA	0.457	0.783	0.691	0.489	0.557	4.317	0.451	5.350	5.821	0.714
	RF	0.456	3.492	4.135	0.664	0.600	0.602	0.459	0.492	0.651	0.660
12	CA	1.359	0.723	2.301	2.741	2.503	1.628	2.536	1.890	0.374	2.319
	RF	0.388	0.392	0.438	0.466	1.884	0.850	2.186	2.386	0.395	0.784
18	CA	1.240	2.585	1.556	1.913	2.338	2.156	0.483	2.029	0.736	1.932
	RF	0.655	1.667	1.214	0.732	1.695	0.950	0.675	1.659	0.635	1.280
24	CA	1.303	1.290	1.302	0.827	1.651	1.404	1.242	0.991	1.165	1.527
	RF	0.520	0.696	0.670	0.433	0.575	0.681	0.448	0.445	0.660	0.387

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค7 แรงสูงสุดในการแทงทะลุ (N) ของฟรังกิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	8.515	7.155	7.011	6.102	8.018	7.713	6.069	8.029	7.546	8.603
	RF	8.515	7.155	7.011	6.102	8.018	7.713	6.069	8.029	7.546	8.603
6	CA	8.358	6.969	6.534	7.622	6.761	7.072	6.779	5.679	8.429	8.309
	RF	6.990	6.447	6.960	6.196	7.006	6.625	7.859	7.990	6.407	6.135
12	CA	6.516	6.383	6.185	7.200	6.856	5.920	7.509	4.496	7.948	6.457
	RF	7.103	6.400	6.537	6.813	8.361	6.609	6.487	8.279	7.846	5.163
18	CA	8.061	7.170	8.933	7.072	6.632	5.530	6.764	7.237	6.265	6.994
	RF	4.163	6.664	4.745	6.203	4.648	5.463	3.757	5.275	4.407	5.752
24	CA	8.698	7.626	7.548	5.974	8.484	7.230	10.132	9.700	7.560	8.493
	RF	2.489	2.823	4.905	4.956	2.743	2.844	3.544	2.147	2.664	3.174

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค8 ความเหนียวของเปลือก (N-mm) ของฟรังกิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	3.416	40.708	43.415	30.789	41.284	67.237	31.989	27.555	2.892	69.225
	RF	3.416	40.708	43.415	30.789	41.284	67.237	31.989	27.555	2.892	69.225
6	CA	37.541	33.378	14.878	58.855	28.398	56.46	33.317	5.465	43.269	5.935
	RF	4.144	4.404	4.943	27.780	23.726	43.308	4.354	62.487	40.403	35.274
12	CA	17.343	6.547	27.186	7.883	8.172	86.936	8.894	7.527	7.174	62.573
	RF	65.491	60.311	8.305	7.894	7.918	7.074	10.263	6.410	33.256	4.949
18	CA	63.815	9.791	17.410	6.980	11.416	7.376	20.573	9.079	23.024	9.417
	RF	14.521	9.137	10.327	6.831	23.019	15.803	9.327	6.434	8.086	6.546
24	CA	14.024	17.277	15.16	29.986	20.981	16.218	29.865	36.702	30.792	19.512
	RF	5.361	16.816	7.945	13.909	13.245	6.568	11.218	7.029	6.630	5.065

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค9 แรงกดเฉลี่ยที่เนื้อ (N) ของฟรังกิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	5.151	3.769	5.232	5.379	3.659	5.664	4.447	5.459	4.178	5.780
	RF	5.151	3.769	5.232	5.379	3.659	5.664	4.447	5.459	4.178	5.780
6	CA	5.162	5.151	4.828	5.586	4.590	4.574	5.660	5.413	5.094	6.250
	RF	4.04	3.557	3.625	4.325	3.835	5.032	3.268	5.954	5.278	4.851
12	CA	2.954	3.583	4.618	4.511	4.898	4.495	2.830	5.093	2.392	5.081
	RF	4.365	4.55	5.531	4.396	2.940	4.584	2.980	4.401	3.958	3.421
18	CA	4.065	3.319	4.821	3.862	4.535	2.455	3.902	4.715	2.481	3.973
	RF	2.945	3.525	4.141	3.263	4.207	2.108	3.921	2.419	2.358	2.106
24	CA	3.330	3.664	3.379	4.095	3.460	3.367	4.110	3.586	3.961	3.307
	RF	1.249	0.734	1.130	1.143	0.687	0.427	0.759	1.038	0.481	0.470

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค10 พลังงานในการแหงทะลุเนื้อ (N·mm) ของฝรั่งกิมจูตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	29.536	41.198	57.015	38.233	52.665	70.063	37.125	46.666	38.707	46.824
	RF	29.536	41.198	57.015	38.233	52.665	70.063	37.125	46.666	38.707	46.824
6	CA	32.089	60.211	42.144	8.718	30.159	41.143	840646	33.883	18.237	42.874
	RF	65.922	66.420	41.083	19.376	42.302	60.568	39.162	26.946	53.952	52.194
12	CA	52.066	30.98	63.604	52.925	76.139	83.539	73.981	46.343	42.167	42.624
	RF	16.282	18.735	24.783	4.926	48.545	12.336	51.096	70.909	24.058	12.925
18	CA	70.033	56.071	53.304	79.720	43.037	64.766	43.245	77.559	28.556	65.124
	RF	40.394	52.533	48.596	36.434	45.884	16.933	40.410	11.486	39.119	35.007
24	CA	47.102	51.946	45.346	47.620	43.145	53.297	47.084	49.932	45.210	39.472
	RF	5.312	5.856	14.656	9.481	5.941	10.722	11.828	13.336	7.692	7.145

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค11 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%brix) ของฝรั่งจิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	8.78	9.62	8.78	9.32	8.85	9.28	9.47	9.52	9.28	9.30
	RF	8.78	9.62	8.78	9.32	8.85	9.28	9.47	9.52	9.28	9.30
6	CA	10.53	10.48	10.35	10.77	10.15	10.32	11.17	10.02	10.22	9.38
	RF	9.40	11.23	11.02	9.75	10.80	10.90	10.62	11.50	10.83	9.53
12	CA	13.45	11.17	13.40	12.90	12.52	12.17	12.22	12.02	10.35	10.27
	RF	11.10	11.90	11.63	13.00	12.92	10.80	10.88	11.80	12.93	11.48
18	CA	14.60	11.98	15.10	12.98	12.38	14.30	13.98	13.75	13.80	13.90
	RF	10.80	12.40	12.80	13.63	12.83	12.00	13.33	12.10	13.30	N/A
24	CA	13.53	19.63	13.37	16.47	13.00	14.53	19.37	19.53	17.50	13.73
	RF	8.73	N/A	11.60	14.14	10.97	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น

ตารางที่ ค12 ปริมาณวิตามินซี (mg/100mg) ของฝรั่งจิมจุตามระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษา		ตัวอย่างที่									
ระยะเวลา	สภาวะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	CA	5.2781	5.8939	6.0477	5.818	5.5457	5.8348	5.9262	5.9404	6.0394	5.6369
	RF	5.2781	5.8939	6.0477	5.818	5.5457	5.8348	5.9262	5.9404	6.0394	5.6369
6	CA	6.1368	6.3541	5.8144	6.3264	6.1943	6.2156	5.9440	5.8133	5.7436	6.0124
	RF	5.9000	6.0995	6.3506	5.9762	6.1401	6.2243	6.3369	5.9360	6.5073	6.5151
12	CA	6.0872	6.1192	5.9286	6.0661	6.3840	6.1595	6.2687	6.5314	5.9528	6.3925
	RF	6.0205	6.0818	5.9442	5.8539	5.8629	5.8837	6.3114	6.0120	5.9128	6.0255
18	CA	6.8887	7.6115	7.9548	7.1432	7.5303	7.7323	7.6702	7.5773	7.5462	7.4046
	RF	7.9065	N/A	7.7368	8.2304	8.1789	7.8102	N/A	N/A	N/A	N/A
24	CA	7.2233	6.9055	7.5168	7.5384	7.5867	7.8214	8.6211	7.5411	9.3478	8.0216
	RF	10.2378	12.1718	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ CA คือ การเก็บรักษาด้วยตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ

RF คือ การเก็บรักษาด้วยความเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาพ
บรรยากาศเป็นเวลา 24 วัน

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	ความหวาน	ความแข็ง	การยอมรับ โดยรวม
1	5	2	4	3
2	2	4	1	2
3	3	1	1	1
4	3	5	4	5
5	4	3	3	3
6	4	3	2	3
7	4	3	3	3
8	5	4	2	3
9	4	4	4	4
10	5	3	1	3
11	5	4	1	4
12	5	3	3	3
13	2	1	1	1
14	3	3	3	3
15	3	5	4	4
16	3	5	1	1
17	5	5	1	4
18	4	5	5	5
19	3	4	1	2
20	3	4	3	2
21	5	1	1	2
22	5	3	2	2
23	4	5	4	4
24	2	3	1	2
25	4	4	3	4
26	2	5	5	5
27	3	5	4	5
28	3	4	3	4
29	5	5	5	5
30	2	4	2	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่เก็บรักษาด้วยความเย็นเป็นเวลา 24 วัน

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	ความหวาน	ความแข็ง	การยอมรับ โดยรวม
1	5	2	1	1
2	2	5	3	4
3	3	1	1	1
4	3	4	1	1
5	5	5	4	4
6	2	5	2	2
7	3	3	2	2
8	2	3	2	3
9	2	2	2	2
10	4	2	2	2
11	1	4	4	4
12	3	4	2	3
13	1	2	5	3
14	2	2	2	2
15	2	2	1	2
16	1	1	1	1
17	1	3	3	2
18	3	5	4	5
19	1	1	1	1
20	3	1	1	1
21	3	4	2	2
22	3	5	5	5
23	3	3	2	3
24	5	2	1	2
25	1	2	2	2
26	3	2	2	2
27	1	5	1	2
28	2	4	2	3
29	2	4	4	4
30	1	4	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่วางขายในห้างสรรพสินค้า

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	ความหวาน	ความแข็ง	การยอมรับ โดยรวม
1	4	4	4	4
2	5	3	2	3
3	4	3	3	3
4	4	2	3	3
5	4	3	3	3
6	4	4	4	4
7	2	4	4	4
8	5	4	4	4
9	3	4	3	4
10	5	5	5	5
11	4	4	4	4
12	4	2	4	3
13	4	2	3	3
14	3	2	2	2
15	4	4	4	4
16	4	4	5	4
17	2	3	4	4
18	4	4	4	5
19	3	4	3	4
20	4	3	4	4
21	3	3	3	3
22	1	3	4	3
23	3	2	2	3
24	3	2	2	2
25	1	4	5	4
26	3	2	4	4
27	4	2	4	3
28	4	2	2	3
29	4	3	5	4
30	4	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของฝรั่งกิมจูที่วางขายในท้องตลาด

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	ความหวาน	ความแข็ง	การยอมรับ โดยรวม
1	2	5	5	5
2	5	5	5	5
3	5	3	4	4
4	2	5	5	5
5	3	5	5	5
6	1	2	3	3
7	1	2	5	5
8	1	4	3	3
9	3	5	5	5
10	2	5	5	5
11	4	3	2	3
12	3	4	4	4
13	4	4	2	4
14	2	3	5	3
15	1	3	4	4
16	2	4	5	5
17	4	2	1	2
18	3	3	5	5
19	5	5	5	5
20	5	1	4	2
21	5	4	4	4
22	4	3	4	3
23	2	3	3	4
24	3	3	4	3
25	3	3	5	4
26	3	4	3	3
27	4	5	3	3
28	1	3	4	4
29	1	2	3	3
30	5	2	3	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้