สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานสรุปโครงการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี งบประมาณ 2540

เรื่อง

การพัฒนากล่องบรรจุผลิตผลเกษตรแบบควบคุมอุณหภูมิ

(Development of a Temperature Controlled Box for Packing Agricultural Product)

T031154

RCH
S
494.5
.I58
T661S

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 31154
วัน, เดือน, ปี 21 ก.ย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 ก.ย. 2541

การพัฒนากล่องบรรจุผลิตผลเกษตรแบบควบคุมอุณหภูมิ

รุจิรา ตาปราบ ระติพร หาเรือนกิจ และ กิตติชัย บรรจง
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย คือเพื่อสร้างกล่องต้นแบบที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้เหมาะแก่การขนส่งและเก็บรักษาผลิตผลในระยะสั้น โดยศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการออกแบบ โดยขนาดของกล่องเป็น 40 ซม.x50 ซม.x40 ซม. และความหนาของฉนวนเป็นโฟม 2 นิ้ว ได้ทดลองหาความเหมาะสมของน้ำหนักน้ำแข็งแห้งกับอุณหภูมิของกล่อง โดยใช้ 1, 2, 3, และ 4 กิโลกรัม ทดลองหาวิธีในการควบคุมอุณหภูมิของกล่องพบว่า การปิด-เปิด พัดลมจะมีผลทำให้อุณหภูมิของกล่องลดลงต่างกัน และเมื่อทดลองกับผลิตผลเกษตร ได้แก่ ข้าวโพดฝักอ่อน ตะน้า ชมพู่ สามารถเก็บรักษาในกล่องทดลองได้ในระดับที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a Temperature Controlled Box for Packing Agricultural Product

Ruchira Taprap Ratiporn Hareunkit and Kittichai Banjong

Department of Agricultural Industry

Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The aim of this research was to invent a prototype controlled temperature box which was suitable to handle agricultural products. The key elements for the design of this box were studied, such as the volume was 40 cm x 50 cm x 40 cm and the thickness of foam insulation was 2 inch. The effect of the weight of dry ice and the temperature inside the box was also studied, i.e. 1 kg, 2 kg, 3 kg and 4 kg. The temperature control method was performed by on-off the fan connected with thermostat inside the box. When the agricultural products (baby corn, rose apple and kale) were preserved by this box, the result was satisfactory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว	3
2.2 การเก็บรักษา	7
2.3 ความผิดปกติทางสรีระวิทยาของพืชที่เก็บรักษาโดยใช้ความเย็น	11
2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไดอ๊อกไซด์	14
2.5 บทบาทที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
3.1 อุปกรณ์	21
3.2 ตัวอย่างผักและผลไม้ที่ทดลอง	21
3.3 กล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ	21
3.4 วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและสรุปวิจารณ์	24
4.1 ผลการควบคุมอุณหภูมิโดยการเปิด ปิดพัดลมของกล่องทดลอง	24
4.2 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกัน	26
4.3 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งขนาดต่างกัน และมีการระบายอากาศของกล่อง	28
4.4 ผลของอุณหภูมิกับน้ำหนักผักและผลไม้ที่บรรจุในกล่องทดลอง	30
4.5 การเก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกัน	33
4.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	44
4.7 ข้อเสนอแนะการทดลอง	45
4.8 ค่าแก้ไขอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จากผลการทดลอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง 47
ภาคผนวก ก 49
ภาคผนวก ข 53
ภาคผนวก ค 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันผลผลิตทางการเกษตรประเภทผักและผลไม้ทำรายได้แก่เกษตรกรผู้ปลูกเป็นมูลค่าสูงจากความต้องการบริโภคผักและผลไม้ในลักษณะผลิตผลสดมีปริมาณมาก แต่พื้นที่เพาะปลูกบางแห่งอยู่ไกลจากผู้บริโภคทำให้ประสบปัญหาเรื่องการขนส่ง ซึ่งยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะเก็บรักษาผักผลไม้สดให้คงสภาพที่ดีไว้จนถึงผู้บริโภค ภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้จะยังมีการหายใจอยู่โดยจะมีการคายน้ำและพลังงานความร้อนออกมา ทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงภายในทางด้านสรีระและทางเคมีเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาด้วย ทำให้ผักและผลไม้มีคุณภาพต่ำลงส่งผลถึงอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง มีคุณภาพต่ำลงและทำให้มูลค่าของผลิตผลต่ำลงด้วย วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการเก็บรักษา ผักและผลไม้สดคือ การใช้ความเย็น ซึ่งจะมีผลต่อการหายใจของผัก ผลไม้ ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ภายในผัก ผลไม้ ทำให้ผัก ผลไม้มีคุณภาพดีตลอดการเก็บรักษาในขณะขนส่งจนถึงมือผู้บริโภค

การใช้ความเย็นในการเก็บรักษาผลิตผลในระหว่างการขนส่งนั้นมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม หนึ่งในรูปแบบต่างๆ คือ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในลักษณะของแข็งหรือน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) เป็นสารให้ความเย็นในการเก็บรักษา ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันแต่เป็นการใช้ในลักษณะการขนส่งที่มีปริมาณมากและใช้ระยะเวลาในการขนส่งไม่นานนัก เช่น การขนส่งทางเครื่องบิน โดยมีการออกแบบห้องเก็บรักษาอยู่ภายในตู้คอนเทนเนอร์และติดตั้งพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศภายในเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการเก็บรักษาจึงได้ประยุกต์นำเอาวิธีการนี้มาใช้ปรับปรุงกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ เพื่อการเก็บรักษาผลิตผลระหว่างการขนส่งภายในประเทศจากพื้นที่เพาะปลูกที่ห่างไกลสู่ตลาดจำหน่าย และได้มีการนำเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาด้วย การเก็บรักษาในลักษณะนี้จึงเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าจะศึกษาและมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาขั้นต่อไปเพื่อใช้ขนส่งผลิตผลทางการเกษตรจากพื้นที่เพาะปลูกสู่ตลาดผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนากล่องต้นแบบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิต่ำได้
2. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเก็บรักษาและขนส่งผลิตผลเกษตร
3. เพื่อศึกษาการใช้งานกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำในสภาวะจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำและศึกษาวิธีควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งแห้ง
2. ศึกษาและทดลองกับผักและผลไม้สดเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานจริง

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

เพื่อใช้เป็นทางเลือกอีกแนวทางหนึ่งในการเก็บรักษาผักและผลไม้ในระหว่างการขนส่งจากเกษตรกรสู่ตลาดหรือผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่กระบวนการต่างๆทั้งทางสรีระและชีวเคมียังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับที่ยังติดอยู่กับต้นหรือยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ดังนั้นผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจต่อไป โดยการดูดเอาออกซิเจนเข้าไปและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนออกมา มีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียเนื่องจากการหายใจและการคายน้ำขณะที่ผลิตผลยังอยู่กับต้นเดิมจะถูกแทนที่หรือชดเชยด้วยน้ำหล่อเลี้ยงภายในต้น (Cell sap) อาหารได้จากการสังเคราะห์แสงและแร่ธาตุได้จากดินหรือปุ๋ยที่ใส่ให้ หลังจากที่ผักผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวแล้วจะถูกตัดออกจากแหล่งน้ำ อาหาร และแร่ธาตุ ดังนั้นผักและผลไม้หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจึงขึ้นอยู่กับอาหารที่สะสมและความชื้นในเนื้อเยื่อที่มีอยู่ การสูญเสียอาหารและน้ำที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของผลิตผลจะไม่ถูกชดเชย กระบวนการเน่าเสียจะเกิดขึ้นกับผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงในด้านเคมี และชีวเคมี ที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผล การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลดีขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลเลวลง

2.1.1 การสุกของผลไม้

การสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้ การสุกของผลไม้เป็นการเปลี่ยนจากผลที่แก่ในทางสรีระแต่ยังบริโภคไม่ได้ให้ไปอยู่ในสภาพที่มีกลิ่น สี และรสชาติ ดึงดูดให้น่าบริโภค การสุกของผลไม้เป็นสิ่งที่แสดงถึงการพัฒนาที่สมบูรณ์ของผลไม้และเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถจะทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้อีกการสุกของผลไม้ประกอบด้วยกระบวนการหลายอย่าง กระบวนการเหล่านี้มีทั้งที่เป็นการสร้าง (Biosynthesis) และที่เป็นการสลาย (Biodegradation) กระบวนการบางอย่างเป็นอิสระต่อกัน

2.1.2 การเปลี่ยนสี

การสิ้นอายุของพืช ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระ และชีวเคมีในกระบวนการต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีอยู่กระบวนการหนึ่งที่เห็นได้ชัดและสำคัญ คือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียสีเขียว กระบวนการนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเหลือง (Carotenoid) ปรากฏให้เห็น สีแดงมักจะพบบ่อยเนื่องจากการสร้าง Lycopene เช่น ผลมะเขือเทศ

การเปลี่ยนสีเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นทันทีหลังจากเกิด Climacteric peak ของการหายใจในระหว่างการสุกของผลไม้และติดตามด้วยการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับเนื้อเยื่อของผลไม้ การเกิดสีเหลืองเป็นปรากฏการณ์ธรรมดาในผักที่เก็บรักษาไว้ เช่น ถั่ว ตะน้า กะหล่ำดาว และบรอคโคลี เป็นต้น การคงสภาพของสีเขียวและอัตราการเกิดสีเหลืองมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเกี่ยวกับปัจจัยหลายอย่างเช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาของการเก็บรักษาและส่วนประกอบของบรรยากาศในห้องเก็บรักษา

กระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืชจนกระทั่งปัจจุบันยังไม่มีการเข้าใจที่แน่ชัด โดยทั่วไปแล้วคิดว่าระหว่างการเกิด Senescence หรือการเก็บรักษาผักและผลไม้ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้ Carotenoid ปรากฏออกมาให้เห็นคลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในสภาพของความเป็นกรดซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียม (Mg) จากศูนย์กลางโครงสร้าง Tetrapyrrole และเกิดสารใหม่คือ Pheophytin เป็นสารสีเขียวมะกอก มีผู้เสนอว่าในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้น Chlorophyllase ทำหน้าที่เป็น Catalyst ของปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ดังสมการ

$$\text{chlorophyll} + H_2O \xrightarrow{\text{chlorophyllase}} \text{phyton} + \text{chlorophyllide}$$

ปฏิกิริยานี้เป็นขั้นแรกที่คลอโรฟิลล์สลายตัวระหว่างการเกิด Senescence ได้มีผู้รายงานว่า Chlorophyllase มีอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและจะทำงานก็เฉพาะเมื่อได้รับความกระทบกระเทือนทางสรีระ (Physiological stress) เชื่อกันว่าเอนไซม์ตัวนี้มีอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชในรูปของ Chlorophyll-lipoprotein complex ฉะนั้นเอนไซม์ชนิดนี้จึงไม่ทำงานเมื่ออยู่ในสภาพที่ปกติ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์สามารถเร่งให้เกิดขึ้นเร็วได้โดยเอทธิลีน Lipo-protein ที่คลอโรฟิลล์เกาะติดอยู่นี้จะทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากกรดซึ่งมีอยู่โดยธรรมชาติในเนื้อเยื่อของพืช โปรตีนเมื่อถูกความร้อนจะรวมตัวกันและทำให้คลอโรฟิลล์ถูกกับกรด ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย Mg จากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และเกิดสาร Pheophytin อย่างไรก็ตามกลไกสำคัญในการทำลายคลอโรฟิลล์ คือ Photochemical oxidation ซึ่งควบคุมโดย pH และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การหายใจ

สิ่งที่มีชีวิตทั้งหมดต้องการพลังงานที่สนับสนุนต่อเนื่องกันไปตลอด พลังงานนี้จะทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำเนินปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ อากาศที่มีออกซิเจนเป็นปกติ ($\cong$ 21 เปอร์เซ็นต์) ทำให้คาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้สดเกิดออกซิเดชั่นอย่างสมบรูณ์ สิ่งที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานที่เก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ Adenosine triphosphate (ATP) อากาศที่มีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีออกซิเจน การหายใจของผักและผลไม้โดยออกซิเจนของน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างไม่สมบรูณ์

อัตราการหายใจเป็นสิ่งที่แสดงที่ดีถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ โดยปกติผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน การหายใจเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจจึงมีความสำคัญในแง่ของการปฏิบัติการและการเก็บรักษาผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจ

2.1.4.1 ปัจจัยภายใน

- อายุของการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจมีอยู่ในช่วงเวลาระหว่างการพัฒนาส่วนต่างๆ ของพืช ผลไม้ขณะที่ยังมีขนาดเล็กมีอัตราการหายใจสูงแต่เมื่อผลไม้มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นมีอัตราการหายใจลดลง สำหรับผลไม้ประเภท Climacteric มีอัตราการหายใจต่ำสุดขณะที่ผลกำลังแก่และมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่อยู่ระยะหนึ่งหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อผลไม้เริ่มสุกมีอัตราการหายใจสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ผลไม้ประเภท Non-Climacteric หลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้นแล้ว อัตราการหายใจจะลดลงตลอดเวลา
- ขนาดของพืช หัวมันฝรั่งขนาดเล็กมีอัตราการหายใจมากกว่าหัวมันฝรั่งขนาดใหญ่ พืชที่มีขนาดเล็กมีเนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก
- สารธรรมชาติเคลือบผิว ผักและผลไม้ที่มีผิวเคลือบด้วยไขเป็นอย่างดีและมีระเบียบเป็นตัวจำกัดในการแลกเปลี่ยนแก๊ส ทำให้มีอัตราการหายใจน้อย
- ชนิดของเนื้อเยื่อ พวกเนื้อเยื่อที่ยังมีอายุน้อยและกำลังเจริญเติบโตมีอัตราการหายใจมากกว่าเนื้อเยื่อที่หยุดการเจริญเติบโตและอยู่ในระยะพักตัว นอกจากนั้นอัตราการหายใจยังแตกต่างกันภายในอวัยวะของพืช เช่น อัตราการหายใจของเปลือก เนื้อ และเมล็ด ในผลมะม่วงไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 ปัจจัยภายนอก

- อุณหภูมิ อุณหภูมิระหว่าง 32 ถึง 95 องศาฟาเรนไฮท์ทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้เพิ่มขึ้น 2-2.5 เท่าสำหรับทุก 18 องศาฟาเรนไฮท์ ที่เพิ่มขึ้น อัตราการหายใจจะลดลงที่อุณหภูมิเหนือ 95 องศาฟาเรนไฮท์ เนื่องจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในระยะแรกที่เคลื่อนย้ายผักและผลไม้จากอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูง เช่น จาก 75 องศาฟาเรนไฮท์ ไปเป็น 100 องศาฟาเรนไฮท์ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ในระยะแรกจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจมีการทำงานมากขึ้น แต่ในระยะเวลาต่อมาอัตราการหายใจจะลดลง การลดลงของอัตราการหายใจนี้เนื่องจากเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ การหายใจ สูญเสียคุณสมบัติเดิมเพราะอุณหภูมิสูง (Denaturation) อย่างไรก็ตามการลดอัตราการหายใจอาจจะแสดงถึง

1. ออกซิเจนไม่ได้ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่ออย่างเพียงพอ
2. คาร์บอนไดออกไซด์สะสมในเซลล์จนกระทั่งถึงจุดที่ยับยั้งการหายใจ
3. อาหารสะสมที่ใช้สำหรับการหายใจมีไม่เพียงพอ

- เอทธิลีน การใช้เอทธิลีนกับผักและผลไม้จะมีผลต่อช่วงระยะเวลาที่มีอัตราการหายใจสูงสุด (Climacteric peak) เอทธิลีนจะย่นเวลาของการเกิด Climacteric peak ในผลไม้ประเภท Climacteric ให้เกิดเร็วขึ้น แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ(Respiratory curve) เอทธิลีนสามารถกระตุ้นให้ผลไม้ประเภท Non- climacteric เกิดการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อใดก็ได้ การหายใจที่เพิ่มขึ้นจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่ได้รับเอทธิลีน ยิ่งความเข้มข้นของเอทธิลีนที่ให้มีมาก อัตราการหายใจยิ่งมีเพิ่มมากขึ้น การใช้เอทธิลีนกับผลไม้ประเภท Climacteric จะได้ผลเร็วเมื่อใช้กับผลไม้ที่อยู่ในช่วง Preclimacteric stage และที่อุณหภูมิสูง

- ออกซิเจน ผักบางอย่างพบว่าอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อออกซิเจนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เช่น แครอท อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วเมื่อออกซิเจนมีความเข้มข้นมากกว่า 21 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราการหายใจเพียงเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ต่ำกว่า 21 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการหายใจลดลง ผลไม้ประเภท Climacteric มี Climacteric peak เกิดขึ้นช้าหรือไม่เกิดถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำมาก ๆ หรือใกล้ 0 เปอร์เซ็นต์

- คาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติแล้วคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.03 เปอร์เซนต์ จะทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้ลดลง บางครั้งพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ กระตุ้นอัตราการหายใจของ
ผลมะนาวให้มีมากขึ้น

- สารควบคุมการเจริญเติบโต (Growth regulator) สารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดสามารถกระตุ้นหรือยับยั้งการหายใจ เช่นสารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มของ Auxin เช่น 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) และ 2-naphthaleneacetic acid (NAA) สามารถกระตุ้นการหายใจของพืช สารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มของ Cytokinin เช่น 6-benzyladenine (BA) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-benzylaminopurine (6-BAP) สามารถลดการหายใจของพืช

- การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชที่เกิดบาดแผล ไม่ว่าจะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นโดยคน สัตว์ หรือธรรมชาติ ทำให้มีการหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความรุนแรงของการเกิดบาดแผล

2.2 การเก็บรักษา

การเก็บรักษาเป็นสิ่งที่สำคัญในการยืดอายุของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและรักษาราคาให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค สำหรับผักและผลไม้ที่ปลูกเป็นการค้าบางครั้งปริมาณที่ผลิตมาขายไม่หมดจำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ หรือบางครั้งต้องการกักตุนขณะที่ผลิตผลมากแล้วนำไปขายในช่วงที่ผลิตผลมีน้อยเพื่อให้ได้ราคาสูงแต่สำหรับผักและผลไม้ที่ปลูกเพื่อบริโภคภายในครอบครัวจำเป็นที่จะต้องเก็บรักษาบางส่วนไว้เพื่อได้ใช้นานๆในเวลาข้างหน้า ผักและผลไม้ต้องอยู่ในสภาพที่ดีถ้าจะให้เก็บรักษาได้ผลดี ผักและผลไม้ที่จะเก็บรักษาต้องสดด้วย หลังจากการเก็บเกี่ยวใหม่ๆการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆที่เกิดขึ้นขณะเก็บรักษาเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรจะได้ทราบ ผักและผลไม้ทุกชนิดหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงในขบวนการต่างๆ ภายในตัวของผักและผลไม้เองอาจจะกระตุ้นให้เร็วขึ้นหรือทำให้ช้าลง ผักและผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งยังมีชีวิตอยู่ แต่การเปลี่ยนแปลงจะช้าลงเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ

สำหรับประเทศในแถบร้อนนี้การเก็บรักษาผลผลิตสดไม่ว่าวิธีใดจะต้องมีความเย็นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอเพราะอุณหภูมิสูงทำให้ผลผลิตสดนั้นเสียหายเร็ว (ช.ณิฏฐ์ศิริ,2526) หลักการเก็บรักษา ในการเก็บรักษาผลิตผลสดมีหลักการที่ควรคำนึงถึงอยู่ 3 ประการ คือ

- การควบคุมการคายน้ำ สภาวะภายนอกที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้นและความแตกต่างของความดันไอล้วนมีความสำคัญต่อการคายน้ำ สภาวะจำเป็นที่จะต้องควบคุมคือ อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงและค่าความแตกต่างของความดันไอน้อยจะช่วยลดการเหี่ยวย่นของผลิตผลสดได้ ช.ณิฏฐ์ศิริ, (2526) กล่าวว่า การเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้การระเหยน้ำน้อยลง ถ้าผลิตผลสูญเสียน้ำหนักเพียง 5 % คุณภาพในการขายจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำของผลิตผลขณะเก็บรักษาได้แก่ ภาชนะบรรจุ การใช้สารเคลือบผิวและการควบคุมอุณหภูมิ

- การควบคุมการหายใจ การหายใจนั้นเป็นกระบวนการย่อยสลายอาหารสะสมจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดน้อยที่สุด การควบคุมบรรยากาศนับว่าให้ผลดีโดยการเสริมกับวิธีให้ความเย็น การระบายอากาศเป็นผลทางอ้อมต่อการควบคุมการหายใจ โดยทั่วไปความร้อนที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืชจะสะสมมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางของห้องเก็บ ถ้าไม่มีการระบายความร้อนออกไปจะทำให้พืชมีอัตราการหายใจสูงขึ้น การหายใจเกี่ยวพันกับอายุการเก็บรักษาผลิตผล ฉะนั้นปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตราการหายใจจึงมีผลต่ออายุการใช้ประโยชน์ของผลิตผลสดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● การควบคุมกระบวนการต่างๆของพืชที่ไม่ต้องการ คือลดอัตราการทำงานของกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ดังนั้นกระบวนการต่างๆจึงจำเป็นต้องควบคุมให้ถูกต้องด้วยกระบวนการต่างๆเหล่านี้ เช่น (จิรา, 2534)

การงอกหรือการแตกหน่อ หอม ขิง กระเทียม มันฝรั่ง เมื่อเก็บรักษามักเกิดการงอกซึ่งเป็นการนำอาหารสะสมไปใช้ในการงอก ทำให้คุณภาพของพืชที่มนุษย์ใช้มีคุณภาพ

การยืดตัวของโครงสร้าง หน่อไม้ฝรั่ง แครอท หัวผักกาดแดง และกะหล่ำปม จะเกิดการยืดตัวออกในการเก็บรักษา

การเกิดราก พืชหัวมักจะเกิดรากในการเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นสูง เป็นผลให้หัวเหี่ยว ปริมาณอาหารสำรองที่เก็บไว้น้อยลง หัวเน่าเสียมาก

การเกิดเป็นสีเขียว มันฝรั่งที่ถูกแสงมากๆในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้ผิวเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีเขียว เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสารพวก Solanineซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพิษต่อผู้บริโภค

การเกิดลักษณะเหนียวกระด้าง ถั่วและข้าวโพด จะเหนียวขึ้นเมื่อเก็บไว้นานทั้งนี้เพราะเกิดการยืดตัวของเนื้อเยื่อฟองน้ำ(Spongy Tissue)

การเกิดลักษณะผิดปกติ พืชบางชนิดเมื่อได้รับแรงโน้มถ่วงหรือแรงดึงหรือแสงอาจอาจทำให้ผลิตผลงอตัว ทำให้มีรูปร่างไม่แน่นอนผิดปกติ ยากต่อการบรรจุทำให้ราคาตกได้

2.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา

ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ต่างๆ ไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม ควรจะคำนึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

◆ อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีคุณภาพดีและยาวนาน โดยทั่วไปไม่ควรเก็บรักษาผักและผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งแต่ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ พวกที่มีถิ่นกำเนิดมาจากเขตหนาว เช่น กะหล่ำดอก บรอคโคลี่ ถั่วลันเตา ผักกาดขาวปลี แอปเปิล สาลี่ ท้อ สตรอเบอรี่ เป็นต้น ควรเก็บไว้ที่เหนือจุดเยือกแข็ง แต่ผักและผลไม้ที่มีเขตกำเนิดมาจากเขตร้อน เช่น มะเขือ ถั่วฝักยาว พริก แตงกวา มะม่วง ทุเรียน เป็นต้น ควรเก็บไว้ในช่วง 10-13 องศาเซลเซียส ถ้าเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ทำให้ผักและผลไม้มีอายุการเก็บสั้นเพราะเกิดการเน่า สีของผิวผิดปกติ การสุกที่ผิดปกติ การประชุมเชิงวิชาการ (2530) กล่าวว่า การเก็บรักษาที่ดีต้องมีอุณหภูมิที่คงที่ไม่ควรแปรผันเกิน 1 องศาฟาเรนไฮท์ การที่อุณหภูมิขึ้นๆ ลงๆ จะทำให้เกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำเป็นไอน้ำเกาะอยู่บนผิวผักและผลไม้ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตง่าย การเก็บรักษาผลิตผลในอุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเนื่องจาก อุณหภูมิต่ำจะลดกระบวนการต่างๆภายในพืชให้ช้าลง ทำให้อาหารสะสมภายในพืชถูกทำลายช้าลง ในพืชบางชนิดจะมีอัตราการเผาผลาญน้ำตาลที่สะสมไว้อย่างรวดเร็ว เช่น ข้าวโพด หน่อไม้ฝรั่ง ฉะนั้นการลดอุณหภูมิจะช่วยลดการเผาผลาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลในผลิตผลทำให้คุณภาพของผลิตผลเสื่อมช้าลง (จิรา, 2534) และนอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังช่วยลดหรือชลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับพืช

◆ ความชื้น ความชื้นของห้องที่เก็บรักษาหรือของห้องเย็นมีความสำคัญต่อผักและผลไม้ในแง่ของการสูญเสียน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วความชื้นในห้องเก็บรักษาควรจะสูง การสูญเสียน้ำหนักของผักผลไม้มีน้อย เพราะผักผลไม้ที่นำไปเก็บรักษาจะคายน้ำได้น้อย ทำให้ผักและผลไม้สดอยู่เสมอไม่เหี่ยว แต่มีข้อเสียอยู่คือจะทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีและทำให้เกิดการเน่าเสีย ความชื้นในห้องเก็บรักษาไม่ควรสูงมากเกินจนกระทั่งรวมตัวจับกันเป็นน้ำสะสมอยู่ตามผนังห้องเก็บรักษา ภาชนะที่บรรจุ หรือบนผิวของผักและผลไม้

◆ การหมุนเวียนอากาศภายในห้องเย็น ต้องมีการหมุนเวียนอยู่อย่างสม่ำเสมอ เพราะถ้าอากาศหมุนเวียนไม่ดีอาจทำให้จุดต่างๆ ภายในห้องมีอุณหภูมิต่างกันเนื่องจาก Vital heat ที่คายออกมาแตกต่างกัน เครื่องทำความเย็นและพัดลมควรอยู่กลางห้อง เพื่อให้อากาศ ถ่ายเทได้ทั่วห้องและกระจายไปตามแถวของผลผลิตและหมุนเวียนกลับไป-มาได้ ซึ่งขึ้นกับการเรียงหีบห่อหรือภาชนะบรรจุ ควรวางให้เป็นระเบียบ มีช่องว่างให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก
(การประชุมเชิงวิชาการ, 2530)

◆ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ พืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน เช่น ถั่วแขกมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะเขือเทศ 10 เท่า จะเน่าเสียเร็วกว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 18 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ดังนั้นความร้อนที่คายออกจากผักและผลไม้เนื่องจากการหายใจ (Vital heat) จะต้องระบายออกโดยเร็ว (การประชุมเชิงวิชาการ, 2530)

◆ สภาพของผลิตผล พืชผักผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตทั้งอยู่บนต้นและหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลิตผลที่เก็บรักษาควรจะมีคุณภาพดีตั้งแต่ก่อนเก็บรักษา เป็นไปไม่ได้ที่จะนำผลิตผลที่มีคุณภาพไม่ดีมาเก็บรักษาแล้วมีคุณภาพดีขึ้น โดยทั่วไปการเก็บรักษาจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพต่ำลงหรือมีคุณภาพดีใกล้เคียงกับคุณภาพก่อนเก็บรักษาเท่านั้น ฉะนั้นการเก็บรักษาผลิตผลจึงควรเก็บเฉพาะผลิตผลที่มีคุณภาพดี

2.2.2 การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้ความเย็น (Refrigeration technology) ในการรักษาคุณภาพ,ถนอมความสดและยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ชนิดต่างๆหลังการเก็บเกี่ยว จำเป็นจะต้องกระทำต่อเนื่องทุกขั้นตอน ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวพืชผลจากไร่หรือสวน, การบรรจุ, การลำเลียง, ขนส่ง และการเก็บเกี่ยวในห้องเย็น จนสู่ตลาดปลายทางไม่ให้ขาดตอนจึงจะมีประสิทธิภาพสมบูรณ์ (จิรา, 2534)

ความเย็นที่ใช้นี้เป็นประเภทใช้อุณหภูมิต่ำ (Low temperature) เหนือจุดเยือกแข็งของน้ำคือสูงกว่า $0^{\circ}C$ เพื่อชลอการเน่าเสีย, สุก, เนื่องจากทางสรีระวิทยา (Physiological effect),การหายใจ (Respiration), ทางจุลชีพ (Microbial), การทำลายของแมลง (Insect infestation) และอื่นๆ โดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest loss) ที่เกิดจากความร้อนสะสม (Field heat) ระอุอยู่ภายในพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เน่าเสียที่แกนกลางและเหี่ยวในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งการสูญเสียนี้มีถึงร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 80 ในประเทศเขตร้อน (ประพันธ์, 2526)

ความร้อนที่สะสมที่อยู่ในตัวพืชหลังการเก็บเกี่ยว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ลดลงซึ่งก็คือ การหายใจของพืชผัก, การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส,การสูญเสียวิตามิน C และ E หรือการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็จะลดลงด้วย สิ่งเหล่านี้จะเรียกว่า ดรรชนีของสัมประสิทธ์ของอุณหภูมิ(Temperature quotient, Q_{10})

Shirley and Morgy (1994) กล่าวว่า Q_{10} จะวัดความไวของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ Q_{10}สามารถคำนวณได้จากอายุการเก็บรักษา ดังนี้

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } {}^{0}C}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } {}^{0}C + 10\ {}^{0}C}$$

นอกจากนี้ Q_{10}ยังสามารถแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{10} = R_2/R_1 = \text{ค่าคงที่ประมาณ } 2$$

โดย R_2 คือ อัตราปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส และ R_1 คืออัตราปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิ T-10 องศาเซลเซียส (สายชล, 2528)

ช่วง Q_{10} ของผักและผลไม้คือ 1.5-2.5 แต่อย่างไรก็ดี ผลของการลดอุณหภูมิไม่ได้มีต่อปัจจัยด้านกายภาพทั้งหมด การทำงานของเอนไซม์ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี,เนื้อสัมผัสและกลิ่นจะไม่ทำงานช้าลงเมื่ออุณหภูมิลดลงแต่จะมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์เมื่อเอนไซม์สูญเสียสภาพตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน (Shirley and margy, 1994)

อัตราปฏิกิริยาเคมีของสิ่งที่มีชีวิตส่วนมากที่วัดในช่วงอุณหภูมิ 5-40 องศาเซลเซียสจะเพิ่มเป็น 2 เท่าสำหรับทุกๆ 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น โดยปกติแล้ว Q_{10} จะมีค่าสูงสุดระหว่าง 1-10 องศาเซลเซียส คือ Q_{10}อาจจะสูงถึง 7 แต่ที่อุณหภูมิเหนือ 10 องศาเซลเซียส Q_{10} โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 2-3 ถ้า Q_{10}มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าอัตราปฏิกิริยาเคมีกำลังลดลงเนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าของ Q_{10}และอัตราการหายใจของผักผลไม้ทั่วๆไปจะแตกต่างตามชนิดของพืชและอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงไม่ได้หมายความว่าอัตราการหายใจจะมีค่าสูง อุณหภูมิที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียสจะทำให้เอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการหายใจของพืชสูญเสียคุณสมบัติ เนื่องจากโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของเอนไซม์ถูกเปลี่ยนแปลงไปและจะทำให้อัตราปฏิกิริยาเคมีลดลง เอนไซม์หลายชนิดยังสามารถทำหน้าที่ได้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แต่ส่วนมากจะสูญเสียคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในระยะแรกที่อุณหภูมิสูง Q_{10} อาจจะมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วและในที่สุด Q_{10} จะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ.ศ. 2530 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง (29-30 ^{0}C) และห้องเย็น 5 ^{0}C และ 7 ^{0}C โดยวิธีบรรจุในถุง PE (Polyethylene), PP (Polypropylene) เจาะรูและไม่เจาะรู และบรรจุลงในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มใส PVC ผลการทดลองพบว่า การเก็บรักษาในถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์ม PVC จะมีสภาพดีกว่าวิธีการอื่นๆ รองลงมาคือการบรรจุในถุงพลาสติกทั้ง PE และ PP ไม่เจาะรู ข้าวโพดฝักอ่อนยังคงมีสภาพดีหลังจากการเก็บรักษาไว้ได้ 3 วัน, 7-10 วัน และ 2-3 สัปดาห์ตามลำดับ (จิรา, 2534)

อนึ่ง อัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ (Gas permeability) สำหรับฟิล์มพลาสติกขึ้นกับอุณหภูมิ การลดอุณหภูมิทำให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อยลง อาจทำให้อัตราส่วนของก๊าซทั้งสองภายในภาชนะเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะกระทบต่อการหายใจและปฏิกิริยาเคมีต่างๆของพืชได้ เช่น การหายใจเปลี่ยนจากแบบใช้ออกซิเจนไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากปริมาณก๊าซออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มเข้าไปในภาชนะน้อยเกินไป ทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของผักผลไม้สด (รามทิพย์, 2537)

2.3 ความผิดปกติทางสรีระวิทยาของพืชที่เก็บรักษาโดยใช้ความเย็น

ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในเรื่องผลของอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็งที่มีต่อการสุก และการเก็บรักษา เพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการทำให้กระบวนต่าง ๆ ทางชีวช้าลง และยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ กระบวนการทางสรีระของผลไม้เกือบทั้งหมดจะได้รับอันตรายที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่เกิดอันตรายสำหรับผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่เกิดอันตรายกับผลไม้เมืองหนาว เช่น แอปเปิล ท้อ และพลับ คืออยู่ในช่วงระหว่าง 0-4 องศาเซลเซียส สำหรับผลไม้ในเขตกึ่งร้อน เช่น ส้ม และอะโวกาโด มีอุณหภูมิต่ำไม่เกิดอันตรายอยู่ในช่วง 5-10 องศาเซลเซียส ผลไม้ในเขตร้อน เช่น กล้วย และมะม่วง มีอุณหภูมิต่ำไม่เกิดอันตรายอยู่ในช่วง 10-12 องศาเซลเซียส ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวขณะที่แก่ และยังดิบอยู่ เช่น กล้วย อะโวกาโด มะเขือเทศ และมะม่วง จะมีการสุกที่ผิดปกติหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งระยะหนึ่ง

การเก็บรักษาผลไม้ประเภท Non-climacteric ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชลอการเสื่อมเสีย แต่การเก็บรักษาผลไม้ประเภท Climacteric ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชลอการสุก อุณหภูมิต่ำไม่เพียงแต่จะลดการสร้างเอทธิลีนของผลไม้เท่านั้น แต่ยังลดการตอบสนองต่อเอทธิลีนอีกด้วย ยิ่งอุณหภูมิต่ำมากการตอบสนองต่อเอทธิลีน เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสุกจะต้องใช้เวลานานขึ้น (สายชล, 2528)

2.3.1 การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

ผัก และผลไม้เป็นแหล่งของอาหารที่สำคัญของไวตามิน และเกลือแร่หลายชนิดสำหรับมนุษย์นอกเหนือไปจากอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต การสูญเสียคุณค่าทางอาหารบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในผัก และผลไม้จะเกิดขึ้นถ้าสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อของผัก และผลไม้ยังคงดำเนินอยู่ เช่นเดียวกันกับขณะที่ยังอยู่บนต้นเดิม แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง หรือต่ำเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่นำไปสู่การสิ้นอายุขัยของพืชเร็วกว่าปกติ เอนไซม์ในเนื้อเยื่อของผัก และผลไม้มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผัก และผลไม้ การทำงานของเอนไซม์ส่วนมากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรอบ ๆ ผัก และผลไม้ขณะนั้นหลังการเก็บเกี่ยว

ไวตามินซี (Ascorbic acid) เป็นคุณค่าทางอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายที่สุด เมื่อผัก และผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เนื้อเยื่อของพืชมีระบบเอนไซม์ออกซิเดส (Oxidase system) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ไวตามินซีไปเป็นสารอื่น อุณหภูมิสูงเกินไป หรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้เนื้อเยื่อของผัก และผลไม้เกิดอันตราย และเร่งการเกิดอ๊อกซิเดชั่นของไวตามินซี ทำให้มีการสูญเสียไวตามินซีเร็วขึ้น (สายชล, 2528)

ผักกินใบโดยปกติแล้ว เก็บไว้ได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันการสูญเสียไวตามินซี การสูญเสียไวตามินซีในผักคะน้าที่อุณหภูมิ 10 และ 21 องศาเซลเซียสมีมากกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผักกินใบชนิดอื่น ๆ เช่น ป่วยเหล็ง กะหล่ำปลี รวมถึงบรอคโคลี การสูญเสียไวตามินซีของผักเหล่านี้เกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับผักคะน้า

อุณหภูมิต่ำใช่ว่าจะสามารถป้องกันการสูญเสียไวตามินในผัก และผลไม้ได้เสมอไป ผักและผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน และกึ่งร้อน เช่น มันเทศ แตงกวา มะเขือเทศ กล้วย มะม่วง อะโวกาโด และอื่น ๆ อีกหลายชนิดได้รับความเสียหาย เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง มันเทศเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน สูญเสียไวตามินซี 75 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเก็บรักษามันเทศไว้ที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส สูญเสียไวตามินซี 90 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาของการเก็บรักษาเท่ากัน (จิรา, 2534)

นอกจากจะมีการสูญเสียไวตามินซีแล้ว อุณหภูมิต่ำยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียกรดอินทรีย์บางตัวอีก โดย Roy (1986) กล่าวว่า เมื่อเก็บพริกแดงไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน จะมีการสูญเสียกรด Oxalic และ Citric แต่ปริมาณของกรดMalonic, Fumaric, Malic และกรดอื่น ๆ จะเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 ความเสียหายเนื่องจากความเย็น (Chilling Injury)

อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Chilling temperature) สามารถทำให้ผัก และผลไม้ได้รับความเสียหายได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผัก และผลไม้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำนี้ถือว่าเป็นการผิดปกติทางสรีระอย่างหนึ่ง ผัก และผลไม้อาจจะถูกชักนำให้เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเยือกแข็งได้ก่อน หรือหลังการเก็บเกี่ยว พืชส่วนมากที่เกิดอันตรายได้ง่ายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง มีถิ่นกำเนิดมาจากเขตร้อน หรือกึ่งร้อน เช่น มะเขือต่าง ๆ มะเขือเทศ พริกต่าง ๆ ถั่วแขก ถั่วฝักยาว กล้วย เงาะ ฝรั่ง มะม่วง และอะโวกาโด เป็นต้น

ในการเกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็น จะมีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 4 อย่างที่ควบคุมความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพืช คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ถูกอุณหภูมิต่ำ ความแก่ของพืช และชนิดของพืช

จิรา (2528) กล่าวว่า อุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งกับพืชทั่วไป คือประมาณ 50 องศาฟาเรนไฮท์ พืชบางชนิดอาจจะเกิดอันตรายที่อุณหภูมิ 55 องศาฟาเรนไฮท์ และพืชบางชนิดอาจจะเกิดอันตรายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาฟาเรนไฮท์ ยิ่งอุณหภูมิต่ำมากเท่าไร อันตรายก็ยิ่งจะเกิดเร็วขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น มันเทศเกิดความเสียหายภายใน 1 วัน ที่อุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮท์ แต่ถ้าที่อุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮท์มันเทศจะเกิดความเสียหายนานถึง 4 วัน ลักษณะที่เกิดขึ้นคล้าย ๆ กันนี้คือ มันเทศเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาฟาเรนไฮท์มันเทศจะเกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้นาน 10 วันความเสียหายจะเกิดขึ้นอย่างมาก

ช.ณิฏฐ์ศิริ (2526) กล่าวว่า ผลิตผลสุกจะเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าผลิตผลที่ยังไม่สุก ผลิตผลที่มีคุณภาพดีจะทนทานต่อความเย็นมากกว่าผลิตผลที่คุณภาพไม่ดี ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวเร็วไปจะเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าผลิตผลที่แก่จัด ดังตัวอย่างเช่น กล้วยพันธุ์ลาคาแตน ถ้าอยู่ในอุณหภูมิ 34 องศาฟาเรนไฮท์ เพียง 2 ชั่วโมง จะเกิดความเสียหายได้ ถ้าอุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮท์จะเกิดความเสียหายเมื่อ 4 ชั่วโมงไปแล้ว ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาฟาเรนไฮท์ จะเกิดความเสียหายเมื่อ 36 ชั่วโมงไปแล้ว ถ้าเก็บรักษาผลที่สุกสามารถเก็บรักษาไว้ได้ 2-3 วัน ส่วนมะเขือเทศนั้น ถ้าเก็บรักษาผลขณะมีสีชมพูไว้ในอุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 6 วัน เมื่อนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 72 องศาฟาเรนไฮท์ ผลสุกที่ได้ดีโดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากความเย็น ถ้าเก็บรักษาผลก่อนสุกไว้อุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 12 วัน ผลนั้นจะไม่มีรสชาติคุณภาพไม่ดี

จิรา (2534) กล่าวว่า พืชแต่ละชนิดแม้แต่ระหว่างสายพันธุ์ ยังมีความแตกต่างกันมากในเรื่องความรุนแรงมากน้อยของความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง หน่อไม้ฝรั่งเกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อย (อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ำกว่า 40 องศาฟาเรนไฮท์) พริกยักษ์ หรือพริกหวานเกิดความเสียหายปานกลาง (อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ำอยู่ระหว่าง 40-45 องศาฟาเรนไฮท์) และมันเทศเกิดความเสียหายมาก (อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายอยู่สูงกว่า 50 องศาฟาเรนไฮท์)

ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง อายุการเก็บรักษา และอุณหภูมิ สามารถแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปที่ 2.3 เส้นหมายเลข 1 แทนพืชที่ไม่เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น กะหล่ำปลี ซึ่งอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนานที่สุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง เส้นหมายเลข 2 แทนพืชที่เกิดอันตรายเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งอายุการเก็บรักษาจะนานที่สุดเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 36 องศาฟาเรนไฮท์ และเส้นหมายเลข 3 แทนพืชที่เกิดอันตรายง่ายที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง ซึ่งพืชพวกนี้จะมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาฟาเรนไฮท์ พืชหลายชนิดที่เกิดความเสียหายปานกลางเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งจะอยู่ระหว่างเส้นหมายเลข 2 และ 3 อายุการเก็บรักษาจะนานที่สุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 40-50 องศาฟาเรนไฮท์

2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์สามารถอยู่ได้ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยของแข็งจะถูกเก็บอยู่ที่บรรยากาศปกติ โดยจะมีอุณหภูมิของตัวมันเองประมาณ –78 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะถูกเก็บอยู่ที่บรรยากาศที่มีความดันประมาณ 18 เท่าของบรรยากาศ โดยจะมีอุณหภูมิของตัวมันเองประมาณ –25 องศาเซลเซียส สำหรับแก๊สได้มาจากการเก็บของเหลวในภาชนะทนความดันที่ประมาณ 80 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนไดออกไซด์จะแสดงในตารางที่ 2.1 และการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างน้ำแข็งแห้ง (Solid Carbon Dioxide) กับ น้ำแข็ง (Ice) จะแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคาร์บอนไดออกไซด์

Molecular weight	44.01
Density of the gas at 60 °F and 14.696 lb/in^{2}abs	0.1166 lb/ft^3
Critical temperature	88 °F (31.0 °C)
Critical pressure	1073 lb/in^{2}abs (73.01 atm)
Specific heat :	
Gas at 60 °F and 14.696 lb/in^{2}abs ; constant pressure	0.201 Btu/lb.°F
Gas at 60 °F ; constant volume	0.1546 Btu/lb.°F
Ratio of specific heat at constant pressure	
to specific heat at constant volume, 60 °F	1.30
Specific gravity (air = 1.0)	1.528
Triple point (solid, liquid, and gas co-exist)	75.1 lb/in^{2}abs and-70 °F
	(5.11 atm and –56.6 °C)
Atmospheric sublimation point	- 109 °F (78.5 °C)
Thermal conductivity :	
at -58 °F (-50 °C)	0.0064 Btu/hr.ft^2.°F/ft
at 32 °F (0 °C)	0.0084 Btu/hr.ft^2.°F/ft
at 212 °F (100 °C)	0.0128 Btu/hr.ft^2.°F/ft
Viscosity, gas:	
at 0 °F (-17.8 °C)	0.013 cP
at 100 °F (37.8 °C)	0.0155 cP
at 200 °F (93.3 °C)	0.018 cp
Latent heat of vaporization :	
at triple point (-70 °F ; -56.6 °C)	149.7 Btu/lb
at 0 °F (-17.8 °C)	120.1 Btu/lb
at 32 °F (0 °C)	100.9 Btu/lb

ที่มา : Mcketta, 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ระหว่าง น้ำแข็งแห้ง กับ น้ำแข็ง

Property	Dry Ice	Ice
Specific gravity	1.56	0.90
Sublimation point or melting point, °C	-78.5	0
Critical temperature, °C	30.9	365.6
Critical pressure, GPa abs.	7.38	19.72
Latent heat of fusion, kJ/kg	190.7	334.9
Latent heat of vaporization, kJ/kg	368.9	24.9×10^3
Weight of 1 m^3 of gas, kg	1.98	0.804
Weight of 1 m^3 of solid, kg	1441	913
Latent heat of sublimation, kJ/kg	576.8	
Refrigerating effect, kJ/kg	639.7	334.9

ที่มา : Austin, 1986

2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ความดันของคาร์บอนไดออกไซด์

ศิริวรรณ (2533) กล่าวว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ความดัน สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์แสดงในภาพที่ 2.4 จะมีลักษณะคล้ายกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ความดันของน้ำมาก แต่มีความแตกต่างกันบางจุด แผนภาพนี้แบ่งพื้นที่ออกเป็นสามบริเวณ บริเวณที่เป็นจุดรวมสามจุดจะมีค่าอุณหภูมิเป็น-56 องศาเซลเซียส และความดัน 5.11 บรรยากาศ เส้นโค้งความดัน AC จะหยุดเพียงจุด C ซึ่งเป็นจุดวิกฤตและมีค่าเป็น 31.1 องศาเซลเซียส และความดัน 75 บรรยากาศ ความชันของเส้น AD แสดงถึง การเพิ่มของความดันที่เป็นผลทำให้จุดหลอมเหลวของน้ำแข็งแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นปรากฏการณ์ ที่พบตามปกติที่พบในสสารทั่วไป แต่จะตรงข้ามกับน้ำ โดยของเหลวเกือบทุกชนิดจะมีการลดปริมาณลงเมื่อมีการ เยือกแข็ง ที่ความดันต่ำกว่า 5.11 บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของแข็ง (น้ำแข็งแห้ง) จะระเหิดไปเป็นแก๊ส เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้อุ่นหรือร้อนขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติของสสารที่ใช้ประโยชน์ในการเป็นสารทำความเย็น

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสัมผัสกับตัวคนจะไม่เป็นอันตราย แต่ควรระมัดระวังเรื่องการหายใจไม่ออกเนื่องจากขาดออกซิเจน อาจเกิดอาการเป็นลมหมดสติหากได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มาก แต่สำหรับน้ำแข็งแห้งไม่ควรจับต้องด้วยมือเปล่าเนื่องจากมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความเย็นจัดทำให้ความร้อนทั้งหมดในร่างกายจะวิ่งไปที่จุดจุดเดียวบนมือ เกิดความร้อนจัดทำให้ไหม้ (Burn) ได้ (Arora, 1989)

องค์การคุ้มครองเพื่อความปลอดภัยและสุขภาพของสหรัฐอเมริกา (U.S. Occupation Safety and Health Administration หรือ OSHA) ได้กำหนดขีดจำกัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศภายในโรงงานหรือสถานที่ปฏิบัติงานไว้ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิด 10,000 ppm สำหรับสถานที่ที่คนงานต้องปฏิบัติงานติดต่อกันเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง ควรมีระบบตรวจสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อีกทั้งควรมีระบบระบายอากาศเพื่อสุขภาพของคนงาน

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารที่ได้รับการยืนยันจาก OSHA ว่าไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีความเฉื่อยสูง คือเป็นสารไม่ติดไฟ, ไม่ระเบิด องค์การป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association หรือ NFPA) แห่งสหรัฐอเมริกาจึงกำหนดว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีอัตราของอันตรายเนื่องจากการติดไฟและปฏิกิริยาเท่ากับศูนย์ และอัตราความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพน้อยมากเพียง 1 (โดยความเสี่ยงจะเรียงลำดับจากต่ำไปสูง 0,1,2,3 และ 4 ตามลำดับ)

2.4.2 ประโยชน์ของคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆมากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ใช้ในการควบคุมความเป็นกรดด่างในอุตสาหกรรมกระดาษเยื่อกระดาษและอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในขบวนการอบรมควันเพื่อการฆ่าแมลง ใช้เป็นสารปรับพีเอชในน้ำทิ้งหรือน้ำที่ออกมาหลังการบำบัดแล้ว รวมทั้งใช้เป็นตัวส่งผ่านความเย็นในระบบทำความเย็น ซึ่งมีแนวโน้มสูงที่จะนำมาใช้แทนระบบทำความเย็นแบบเชิงกล (Mechanical Refrigeration)

- ซุปเปอร์คริติคอลคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการทำความสะอาดและขบวนการการสกัดสารที่อุณหภูมิ 90 องศาฟาเรนไฮต์ ความดัน 1,100 psi จะอยู่ในสภาพวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีจึงถูกเรียกว่าของไหลซุปเปอร์คริติคอล (Supercritical fluid) เป็นของไหลที่มีความหนืดและความหนาแน่นต่ำที่มีอัตราการแพร่กระจายสูงกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่เคยใช้ในกระบวนการสกัดซุปเปอร์คริติคอล คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ในขบวนการสกัดเพื่อนำสารที่ต้องการออกมาหรือสกัดเพื่อกำจัดสารปนเปื้อน ซึ่งในแต่ละจุดประสงค์และชนิดของสารที่ใช้ต้องการสกัดออกมาจะมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมแตกต่างกันออกไป

ประโยชน์อย่างหนึ่งของซุปเปอร์คริติคอลคาร์บอนไดออกไซด์คือนำไปใช้ในขบวนการทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกปนเปื้อนออกจากชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งวิธีนี้ต้องทำในภาชนะปิด (Sealed vassal) ภายในชิ้นส่วนที่ต้องการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31154

และใส่ซุปเปอร์คริติคอลคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 1,100 psi หรือมากกว่าจนท่วมชิ้นส่วนอุปกรณ์เหล่านั้นเปิดวาล์วระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาซึ่งถูกรวบรวมเพื่อทิ้งหรือทำลายต่อไป ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถส่งเข้าเครื่องแยกซึ่งจะเป็นเครื่องแยกชนิดไหนขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าจะประยุกต์ใช้ในขบวนการทำอะไร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกแยกออกมาสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (รวิวรรณ, 2537)

- คาร์บอนไดออกไซด์ควบคุมค่า pH

คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ในการปรับ pH ของน้ำทิ้งหรือน้ำหลังจากการบำบัดแล้วมีค่าอัลคาไลน์สูง (Alkaline Effluent Steam) ซึ่งน้ำมีค่าความเป็นเบสหรือด่างสูงหรือค่า pHอยู่ในช่วง 12-13 เมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอเนตไฮโดรเจนอิออนอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรออกไซด์จึงเป็นการลด pH และไบคาร์บอเนตจะมีเสมือนสารละลายบัฟเฟอร์โดยธรรมชาติและทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลทำให้สารละลายไม่เป็นกรดมากเกินไปจนมีฤทธิ์กัดกร่อน

คาร์บอนไดออกไซด์มีประโยชน์มากในการควบคุม pH อีกทั้งยังมีคุณสมบัติดีกว่าสารเคมีซึ่งเคยนิยมใช้กันมา เช่นกรดซัลฟูริก เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ปลอดภัยกว่าและมีราคาถูกกว่ากรดซัลฟูริก คาร์บอนไดออกไซด์สามารถใช้แทนกรดซัลฟูริกได้ในปริมาณที่เท่ากันกล่าวคือถ้าเดิมใช้กรดซัลฟูริค 1 ปอนด์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้คาร์บอนไดออกไซด์ราคาจะถูกกว่า และจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดทิ้งและการจัดเก็บ ส่วนกรดซัลฟูริกนั้นการกำจัดทิ้งและการจัดเก็บจะต้องมีความปลอดภัยมากกว่า ดังนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่านอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ยังถูกใช้ในการควบคุม pH และ Activated Sludge อีกด้วย เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Microorganism) ซึ่งจะจับกันเป็นตะกอนชิ้นใหญ่ ๆ สีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า Sludge และคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่ทำลายหรือทำให้ตกตะกอนเหล่านั้นแตกออก ซึ่งแต่เดิมใช้กรดซัลฟูริกในการควบคุม pH แต่พบปัญหาการเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและการทำลายตะกอน

- คาร์บอนไดออกไซด์ใช้อบ-รมควันฆ่าแมลง

คาร์บอนไดออกไซด์มีประโยชน์ในการใช้เป็นสารฆ่าแมลงเหมือนกับ ฟอสฟีน (Phosphin) หรือ เมธิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) แมลงจะไม่สามารถพัฒนาระบบภายในตัวมันเพื่อต้านคาร์บอนไดออกไซด์ได้ อีกทั้งอากาศก็ไม่เป็นพิษและไม่จำเป็นที่จะต้องใช้การกำจัดแบบพิเศษในระบบนี้คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเก็บไว้ในรูปของเหลวที่ 0 องศาฟาเรนไฮท์ และจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซโดยผ่านเครื่องระเหยทำให้เป็นไอ (Vaporizer) และจะถูกส่งผ่านไปยังตัวกรองและวาล์วควบคุมความดันโดยก๊าซจะถูกลดความดันลงประมาณ 10 psi ซึ่งพอเพียงที่จะเป็นแรงผลักดันให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมากทำให้มันสามารถซึมผ่านเข้าไปในส่วนต่างๆของถังเก็บเมล็ดพืช โดยที่ภายในถังมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน ซึ่งโดยทั่วๆ ไปจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.15 ถึง 0.20 ปอนด์ต่อ 8 แกลลอน ของเมล็ดพืช

- คาร์บอนไดออกไซด์ใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็น

การขนส่งอาหารเย็นและอาหารแช่แข็งโดยใช้รถไฟหรือรถพ่วงที่ติดตั้งระบบ ทำความเย็น (In-transit Refrigeration) ซึ่งเรียกว่า รีเฟอร์ (Reefer) คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูก นำมาใช้แทนระบบทำความเย็นเชิงกล ที่ยังคงใช้สาร CFC และสาร HCFC ซึ่งย่อมาจากคำเต็มว่า Hydro chloro Fluoro Carbon เป็นสารทำความเย็นซึ่งระบบนี้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากก๊าซพิษซึ่งเป็นสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) จากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อให้พลังงานแก่ระบบ นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงอีกด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบขนส่งแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย สามารถควบคุมทำให้การลดอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการเร็วกว่าระบบเดิมทำให้ต้นทุนต่ำกว่าระบบเชิงกลมากกว่า 2 เท่า การใช้รถไฟในการขนส่งอาหารแช่แข็งความจุสูงสุดคือ 6.854 ลูกบาศก์ฟุต เมื่อเปรียบเทียบกับการขนส่งโดยรถไฟหรือที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบเก่าคือแบบเชิงกลจากการทดลองขนส่งจากรัฐวอชิงตันถึงนิวยอร์คพบว่ารถไฟที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแช่แข็งสามารถประหยัดค่าขนส่งได้ประมาณ 2,200 ดอลลาร์ ในแต่ละเที่ยว อาหารแช่แข็งจะถูกฉีดเข้าไปในช่องว่างด้านบนหลังคา (Overhead Banker) ที่ความดัน 300 psi คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ถูกฉีดเข้าไปจะขยายตัวผสมกับอากาศภายในอยู่ในรูปของก๊าซผสมและจะพบคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของของแข็งที่เรียกว่าสโนว์ (Snow) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมทำให้เกิดความเย็นสำหรับการแช่แข็งได้มากกว่า 7 ถึง 20 วัน

2.5 บทบาทที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ

2.5.1 ชลออัตราการหายใจของพืช โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักผลไม้สดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดของพืช การชลออัตราการหายใจอาจได้ผลน้อย เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไป ในขณะที่ความเข้มข้นสูงเกินไปอาจทำให้เซลล์พืชเป็นอันตรายอันเป็นเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น แอปเปิลจะทนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่าสตรอเบอรี่ การเก็บรักษาแอปเปิลจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงร้อยละ 3-5 ในขณะที่ใช้ถึงร้อยละ 15-20 สำหรับสตรอบอรี่

2.5.2 ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น Bacteriostatic หรือ Fungistatic คือการยับยั้งการเจริญเติบโตเท่านั้นมิได้ทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจะต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นอย่างน้อยร้อยละ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ. สมดุลในบรรยากาศพบว่าผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เป็นประเภทเลือกเฉพาะ (Selective Effect) ดังนี้คือ

- แบคทีเรียที่ชอบอากาศและเชื้อราทั่วไป ไม่สามารถเจริญเติบโตในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆ

- แบคทีเรียที่ชอบอากาศน้อยๆ (Sightly aerobic bacteria) เช่น Lactobacillus ยังคงเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆ

- แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาพที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ (Facultativeanaerobic bacteria) พบว่าที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงๆ มิได้ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตบางกรณียังช่วยเร่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล่านี้ด้วย

- แบคทีเรียที่ไม่ชอบอากาศ (Anaerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ในสภาพไร้ออกซิเจนแต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10-20 แต่ถ้าเพิ่มก๊าซออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคที่เรียเหล่านี้ได้บางชนิด

- ยีสต์ค่อนข้างทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี จึงพบการเจริญเติบโตของยีสต์ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี ก็ต่อเมื่อเชื้อจุลินทรีย์เหล่านั้นอยู่ในช่วงการเตรียมพร้อมเพื่อแบ่งตัว(Lag phase) โดยจะทำให้ช่วงเวลานี้เพิ่มขึ้นเป็นผลให้การแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เป็นได้ช้ายิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

Thermocouple

Thermostat รุ่น K50-P1127-001

พัดลมขนาด 12 โวลต์

แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

Polystyrene foam ความหนา 2 นิ้ว, ความหนาแน่น 16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แผ่น Acrylic ความหนา 5 มิลลิเมตร

ขอบยางประตูตู้เย็นแบบมีแผ่นแม่เหล็ก

ถุงพลาสติก ถุง Polyethylene ขนาด 12 × 28 ตารางนิ้ว, ความหนา 0.01 มิลลิเมตร

สายยาง

วัตถุดิบที่ให้ความเย็น น้ำแข็งแห้ง (Dry ice)

3.2 ตัวอย่างผักและผลไม้ที่ทดลอง

ข้าวโพดฝักอ่อน

ชมพู่

คะน้า

3.3 กล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ

กล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำนี้ได้เลือกให้มีความจุ 0.08 ลบ.เมตร ฉนวนเป็นโฟมที่มีความหนา 2 นิ้ว ตามผลการศึกษาของการสร้างกล่องผลิตผลเกษตรแบบควบคุมอุณหภูมิของกลุ่มวิจัยและพัฒนา ของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปี 2539 และได้ติดระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้พัดลมและเทอร์โมสตัดสำหรับตัดอุณหภูมิ

3.4 วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ศึกษาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการวางน้ำแข็งแห้งและเปรียบเทียบการเปิด-ปิดพัดลมในการใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัม

จากการออกแบบการวางน้ำแข็งแห้งในกล่องควบคุมอุณหภูมิของการทดลองของ ระติพร (2539) จะมีการวางของน้ำแข็งแห้งตรงบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ข้างของกล่อง ซึ่งอาจทำให้เกิดการกีดขวางในการเก็บรักษาผัก ผลไม้ลงในกล่องและไม่สะดวกในการใส่น้ำแข็งแห้งเมื่อมีผักและผลไม้บรรจุอยู่ในกล่อง จึงมีการออกแบบตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งโดยให้มีการวางไว้บริเวณด้านบนของฝาด้านในของกล่องเพื่อประโยชน์ทางด้านเนื้อที่และปริมาตรภายในกล่อง พร้อมทั้งการติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยในการหมุนเวียนอากาศ และเป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของกล่องให้คงที่ โดยในการทดลองจะเลือกใช้น้ำหนักของน้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัมและให้มีการเปิด-ปิดพัดลมเพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการวางตำแหน่งของน้ำแข็งแห้งทางด้านข้างและด้านบน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการเปิด-ปิดพัดลม มีการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 15 นาที

3.4.2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกัน

จากการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งจากบริเวณด้านข้างของกล่องมาเป็นการวางทางด้านบนของกล่อง จำเป็นต้องศึกษาการใช้น้ำแข็งแห้งที่น้ำหนักต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณน้ำหนักของน้ำแข็งแห้งต่ออุณหภูมิภายในกล่อง ในการทดลองจะใช้น้ำแข็งแห้งหนัก 1 , 2 , 3 และ 4 กิโลกรัม วางในกล่องที่ใช้บรรจุน้ำแข็งแห้งที่อยู่บริเวณฝากล่อง โดยจะมีการเปิดพัดลมอยู่ตลอดเวลา มีการบันทึกอุณหภูมิทุก 15 นาที และใช้เทอร์โมสตัทควบคุมการทำงานของพัดลม

3.4.3 ทดลองหาวิธีในการควบคุมอุณหภูมิ

จะมีการออกแบบโดยการเจาะรูระบายความดันบริเวณด้านล่างของกล่อง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของความดันภายในกล่องต่ออุณหภูมิภายในกล่อง โดยมีการเปิดรูระบายความความดันทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 วินาที ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองโดยจะใช้น้ำแข็งแห้งที่ 3 กิโลกรัม มีการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 15 นาที

3.4.4 ทดลองใช้กล่องในการบรรจุผักและผลไม้ เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเมื่อมีการใช้ผักและผลไม้ที่น้ำหนักต่างกัน

โดยจะมีการทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเมื่อมีการใช้ผักที่น้ำหนักต่างกัน เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏคือ สี, ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สด และเนื้อสัมผัส ผักที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองคือ ข้าวโพดฝักอ่อนจำนวน 3 และ 5 กิโลกรัม ตามลำดับ

วิธีการทดลองมีดังนี้

ชุดที่ 1 ข้าวโพดฝักอ่อน 3 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก Polyethylene ทำการปิดผนึกถุงนำวางในกล่องควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ชุดที่ 2 ทดลองเหมือนชุดที่ 1 แต่ใช้ข้าวโพด 5 กิโลกรัม

3.4.5 เปรียบเทียบการเก็บรักษาในสภาวะที่ต่างกัน

โดยจะมีการเปรียบเทียบลักษณะของผักที่ใช้ในการทดลองระหว่างอุณหภูมิห้อง กล่องควบคุมอุณหภูมิและในตู้เย็น เพื่อศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องและลักษณะปรากฏของผักที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะเก็บผักที่ใช้ในการทดลองไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ และตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยจะใช้ผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลองดังนี้ ข้าวโพดอ่อน ชมพู่ ผักคะน้า โดยจะมีการบันทึกลักษณะปรากฏที่ 12 , 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

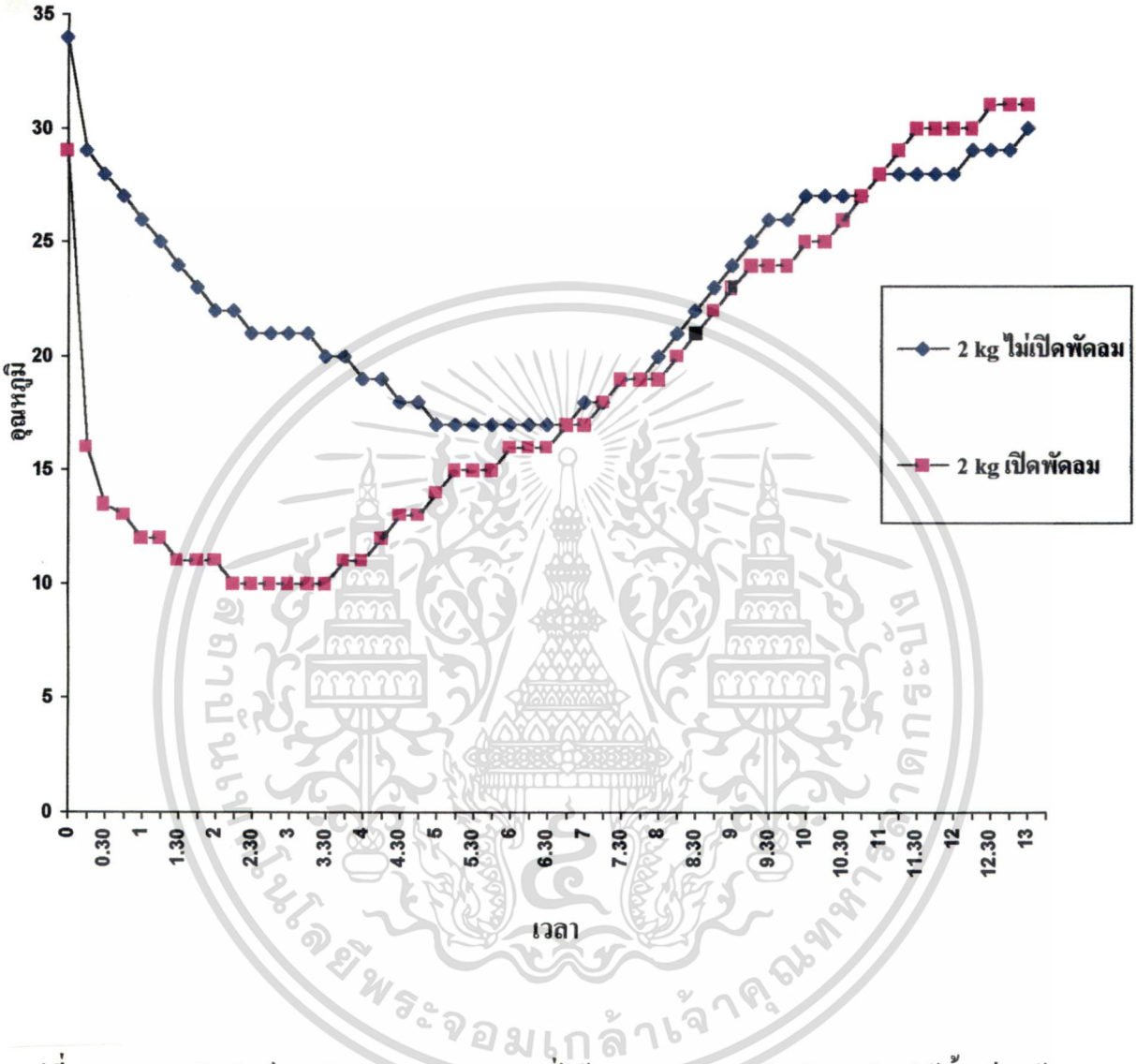
บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปวิจารณ์

4.1 ผลการควบคุมอุณหภูมิโดยการเปิด ปิดพัดลมของกล่องทดลอง

ผลจากการวางน้ำแข็งแห้งไว้ในช่องว่างใต้ฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ และทดลองการเปิดพัดลมที่ติดตั้งไว้ภายในกล่อง พบว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัมวางใส่ในช่องใต้ฝากล่องและเปิดพัดลมจะมีการลดลงของอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการคือ 20 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 นาที และคงอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสไว้ได้ 8 ชั่วโมง และการทดลองลักษณะเดียวกันแต่ปิดพัดลมพบว่าอุณหภูมิจะลดลงอย่างช้าๆใช้เวลาทำให้อุณหภูมิลดลงถึง 20 องศาเซลเซียสใช้เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที และคงอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ไว้ได้ 4 ชั่วโมง 45 นาที จะเห็นได้ว่าแบบไม่เปิดพัดลมจะใช้เวลานานกว่าการเปิดพัดลม จึงเลือกใช้วิธีการเปิดพัดลมในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากสามารถประหยัดเวลาในการลดอุณหภูมิลงได้มาก ซึ่งจะเป็นผลดีในการใช้งานจริง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการเปิด-ปิดพัดลม แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



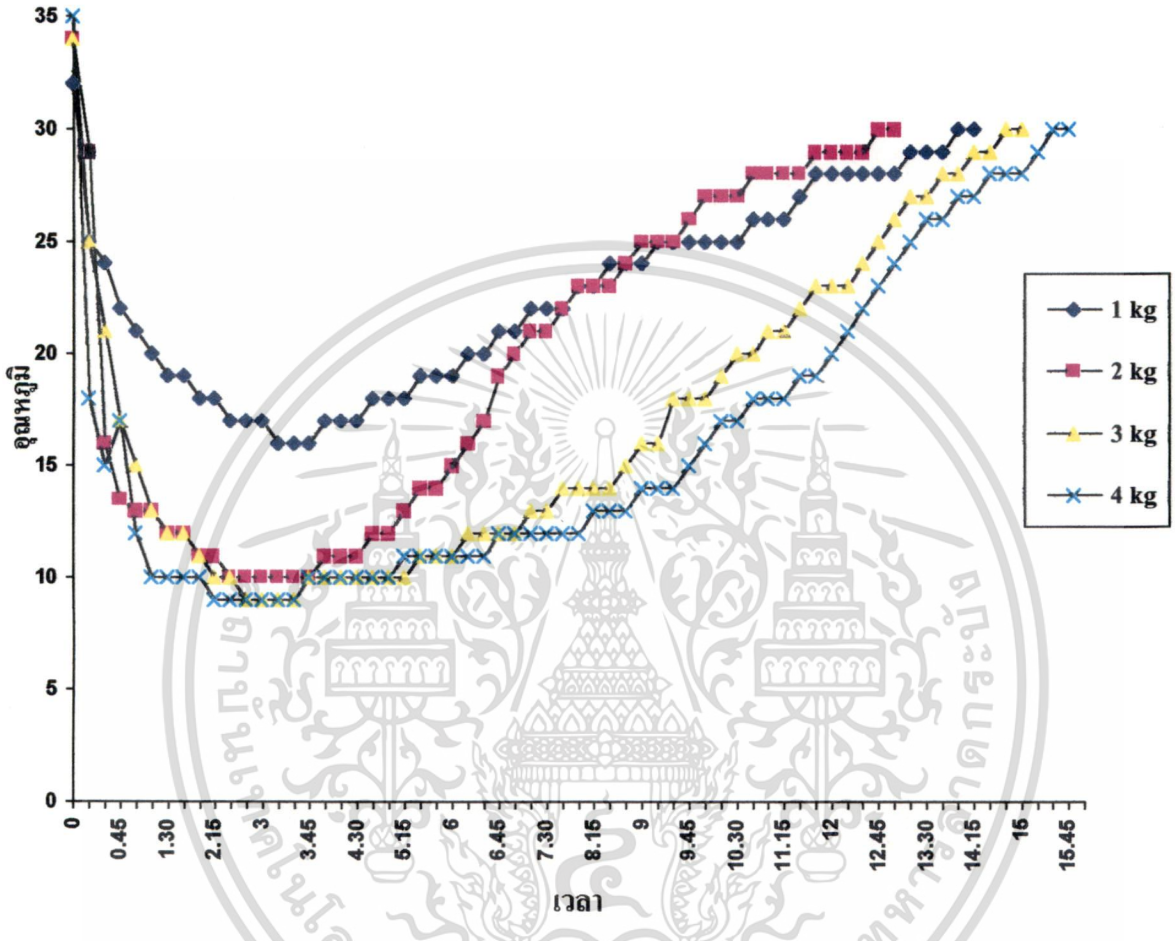
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการเปิดและปิดพัดลม โดยใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกัน

ผลการทดลองเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งน้ำหนักต่างกัน คือ 1, 2 ,3 และ 4 กิโลกรัม เป็นแหล่งให้ความเย็นโดยเปิดพัดลมช่วยในการลดอุณหภูมิ พบว่าน้ำแข็งแห้ง 3 และ 4 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดที่เท่ากันคือ 9 องศาเซลเซียส แต่น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมจะมีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสคือ 11 ชั่วโมง 45 นาที ส่วนน้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมจะมีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง 45 นาที สำหรับน้ำแข็งแห้ง 1 และ 2 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดคือ 16 และ 10 องศาเซลเซียสตามลำดับและน้ำแข็งแห้งที่ใช้ทดลองมีระยะเวลาของการลดอุณหภูมิลงใกล้เคียงกัน ยกเว้นน้ำแข็งแห้ง 1 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิที่ได้จึงเลือกใช้น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมในการทดลองขั้นต่อไปเพราะให้ช่วงอุณหภูมิในระดับที่ต้องการใกล้เคียงกับน้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมแต่ค่าใช้จ่ายถูกกว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1, 2 , 3 และ 4 กิโลกรัม แสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



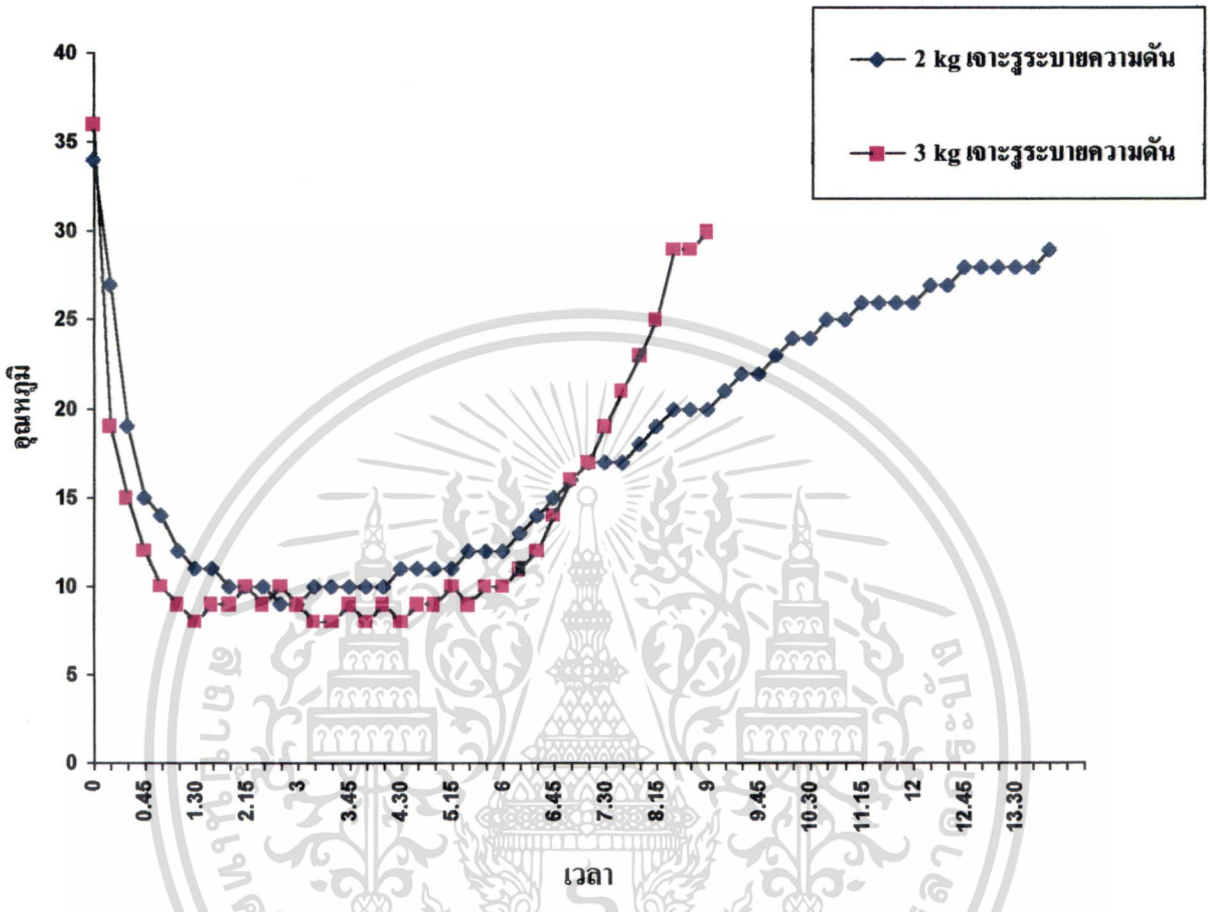
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งขนาดต่างกันและมีการระบายอากาศของกล่อง

จากการที่อุณหภูมิภายในกล่องลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิที่ลดลงถึงจุดต่ำสุดจะคงที่อยู่ได้ไม่นานแล้วอุณหภูมิจะค่อยๆสูงขึ้นจนเกินอุณหภูมิที่ต้องการ คาดว่ามีสาเหตุจากการสะสมความดันภายในกล่อง ซึ่งมีสภาพปิดไม่มีการรั่วซึมและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากจนทำให้เกิดการสะสมความร้อน จึงทำการทดลองเจาะรูเพื่อระบายความดัน พบว่าการเจาะรูระบายความดันออก 30 วินาทีทุกๆ 1 ชั่วโมงจะสามารถช่วยยืดระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิต่ำสุดภายในกล่องลงไปได้ในระดับที่น่าพอใจ และการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยการใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุมการทำงานของพัดลมทำให้พัดลมหยุดทำงานและจะมีผลทำให้อุณหภูมิซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วจากการหมุนของพัดลมซึ่งพัดลมจะเป็นตัวเร่งอัตราการลดลงของอุณหภูมิ เมื่อพัดลมหยุดหมุนอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงตามอัตราการระเหิดของน้ำแข็งแห้งและซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เทอร์โมสตัทก็จะทำงานโดยทำให้พัดลมหมุนก็จะเร่งให้อัตราการระเหิดของน้ำแข็งแห้งเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้ง 2 และ 3 กิโลกรัมเมื่อมีการระบายอากาศของกล่อง แสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



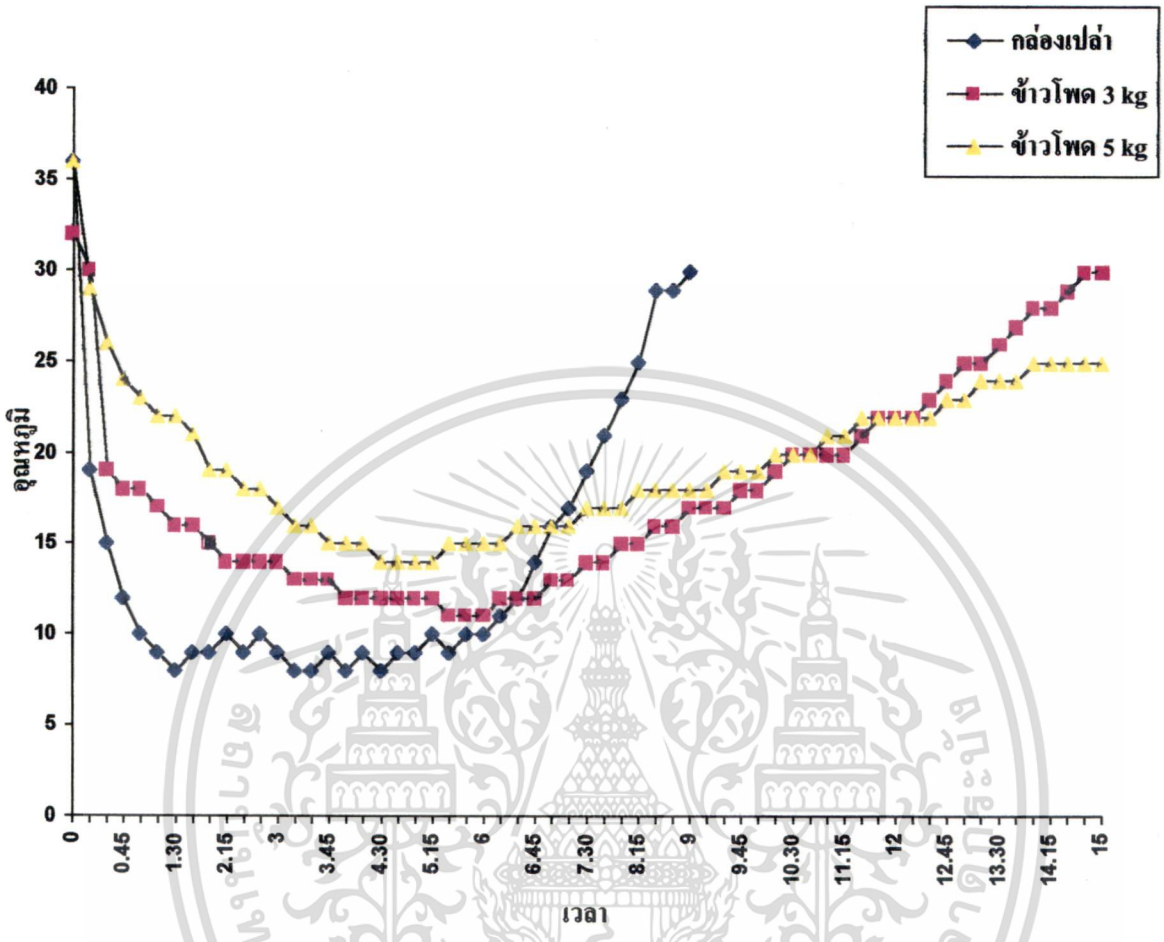
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้ง 2 และ 3 กิโลกรัม เมื่อมีการปล่อยความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของอุณหภูมิกับน้ำหนักผักและผลไม้ที่บรรจุในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

ผลจากการทดลองบรรจุตัวอย่างผักคือ ข้าวโพดฝักอ่อน ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ในปริมาณต่างกันคือ 3 และ 5 กิโลกรัม โดยใช้น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัม เป็นสารให้ความเย็นรวมทั้งมีการเปิดพัดลมและปล่อยความดันเป็นระยะๆ ด้วย พบว่าคุณภาพผักด้านลักษณะปรากฏได้แก่ สี สภาพความสด เนื้อสัมผัส ของผักทั้ง 3 และ 5 กิโลกรัมไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเก็บไว้ในกล่อง 12 ชั่วโมงก่อนแล้วจึงนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะตรวจสอบคุณภาพทุกๆ 24 ชั่วโมงจนกระทั่งครบ 72 ชั่วโมงจึงเลือกน้ำหนักผัก 3 กิโลกรัมใช้ในการทดลองขั้นต่อไปแต่ผลด้านอุณหภูมิลดลงไม่เท่ากัน คุณภาพลักษณะปรากฏแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวโพดฝักอ่อน 3 และ 5 กิโลกรัม แสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวโพดฝักอ่อน น้ำหนัก 3 และ5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 3 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	เหี่ยวเล็กน้อย	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่มเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 5 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

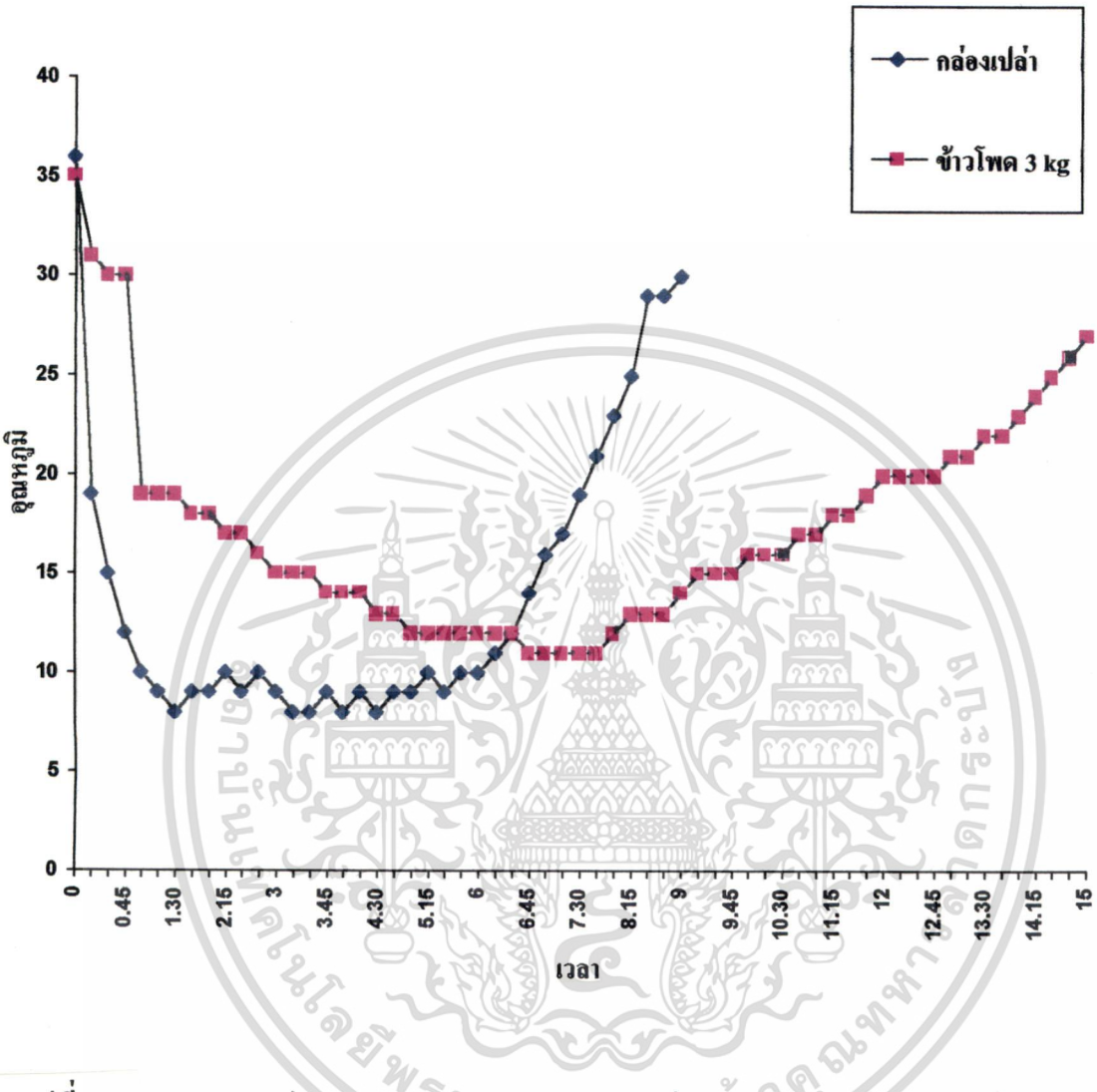
ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่มเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเก็บรักษาในสภาวะที่ต่างกัน

จากผลการเปรียบเทียบคุณภาพของตัวอย่างผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในสภาพที่ต่างกัน คือ เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ตู้เย็น และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู่ และคะน้า พบว่า การเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำและในตู้เย็นจะสามารถรักษาคุณภาพทางด้านสี สภาพความสด และเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าการเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง แต่คุณภาพของผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะด้อยกว่าคุณภาพของผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในตู้เย็นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ลักษณะคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ตู้เย็น และอุณหภูมิในกล่องควบคุมอุณหภูมิแสดงไว้ในตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ลักษณะ คุณภาพของชมพู่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ในตู้เย็น และในกล่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 สำหรับลักษณะคุณภาพของคะน้าที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ในตู้เย็น และในกล่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู่ และคะน้า แสดงไว้ในรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
12 ชม.	เริ่มเหี่ยว	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
24 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม
48 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม
72 ชม.	เน่าเล็กน้อย	มีสีน้ำตาลอ่อน	นิ่ม

ตารางที่ 4.4 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

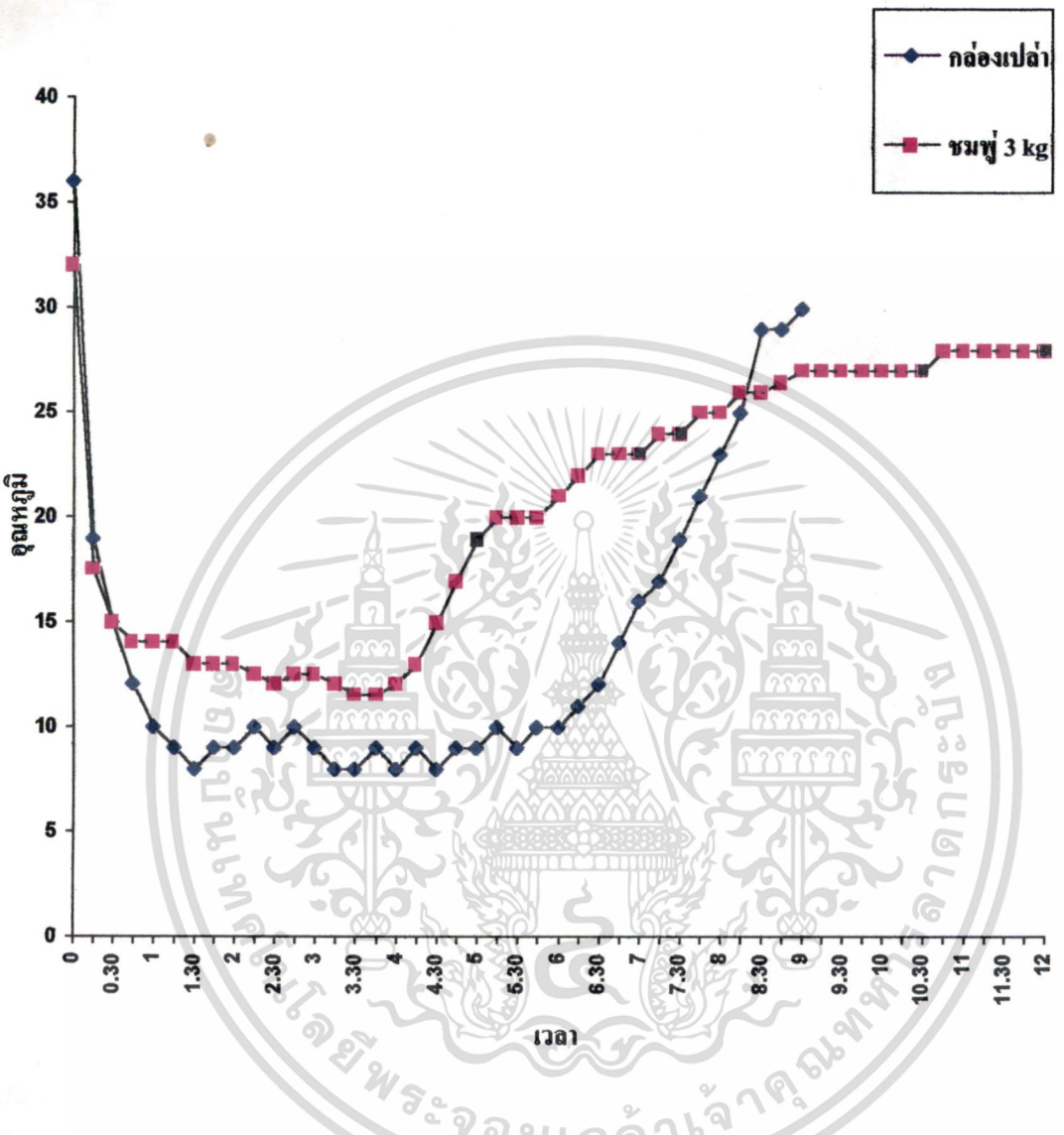
ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชั่วโมง	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชั่วโมง	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณภาพข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	เริ่มเหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาชมพู่ 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

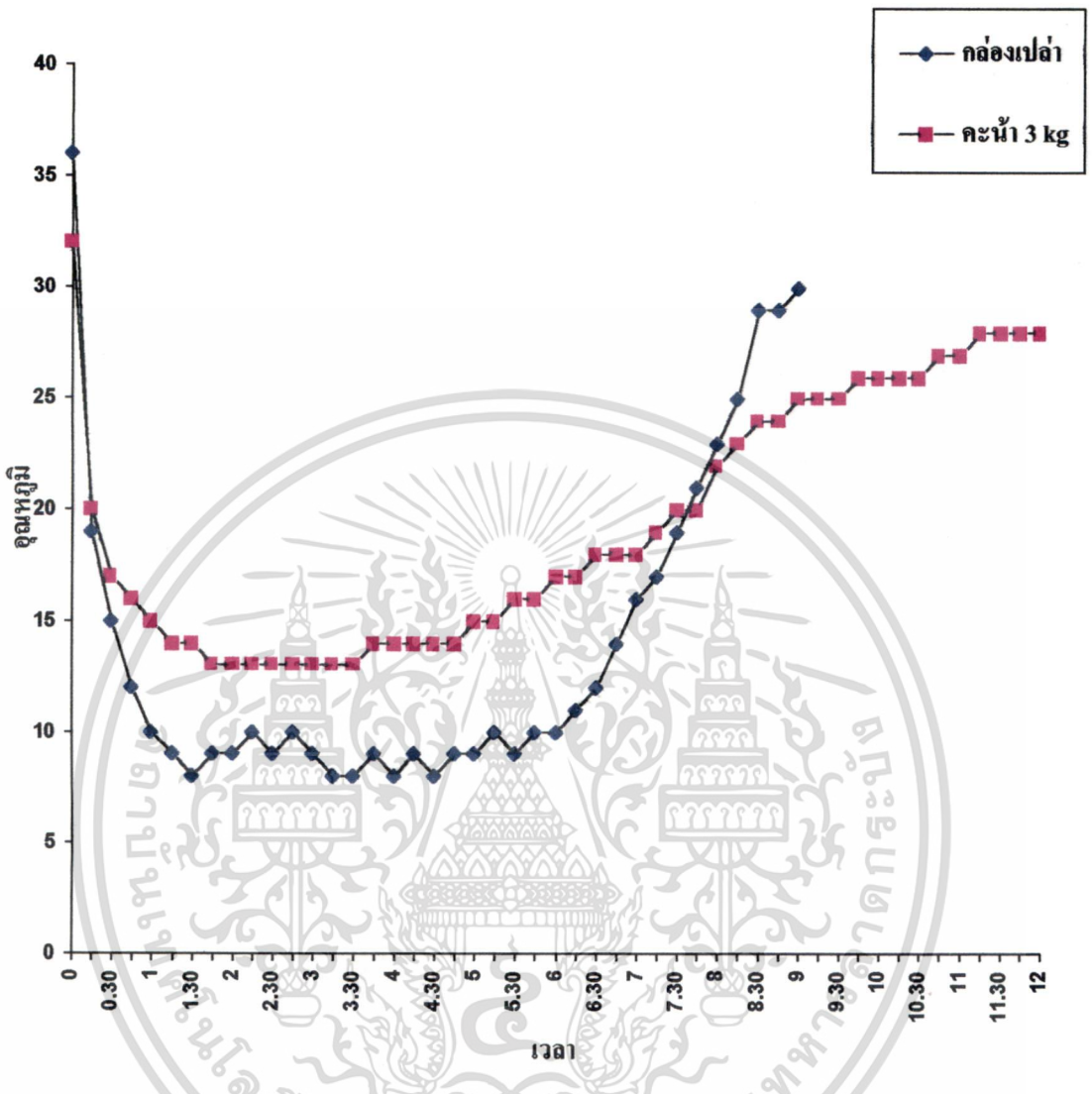
ตารางที่ 4.6 คุณภาพของชมพู่เก็บที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
12 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบ
24 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวปานกลาง	นิ่มเล็กน้อย
48 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวปานกลาง	นิ่ม
72 ชม.	มีลักษณะเน่า	มีสีน้ำตาลอ่อน	เละ

ตารางที่ 4.7 คุณภาพของชมพู่เก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียวซีดปนขาว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวซีดปนขาว	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวซีดปนขวา	นิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาคะน้า 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คุณภาพของคะน้าเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
12 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	มีความกรอบ
24 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวปนเหลือง	เหี่ยวเล็กน้อย
48 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวเหลือง	เหี่ยว
72 ชม.	มีลักษณะเน่า	มีสีเหลือง	เหี่ยวมาก

ตารางที่ 4.10 คุณภาพของคะน้าเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

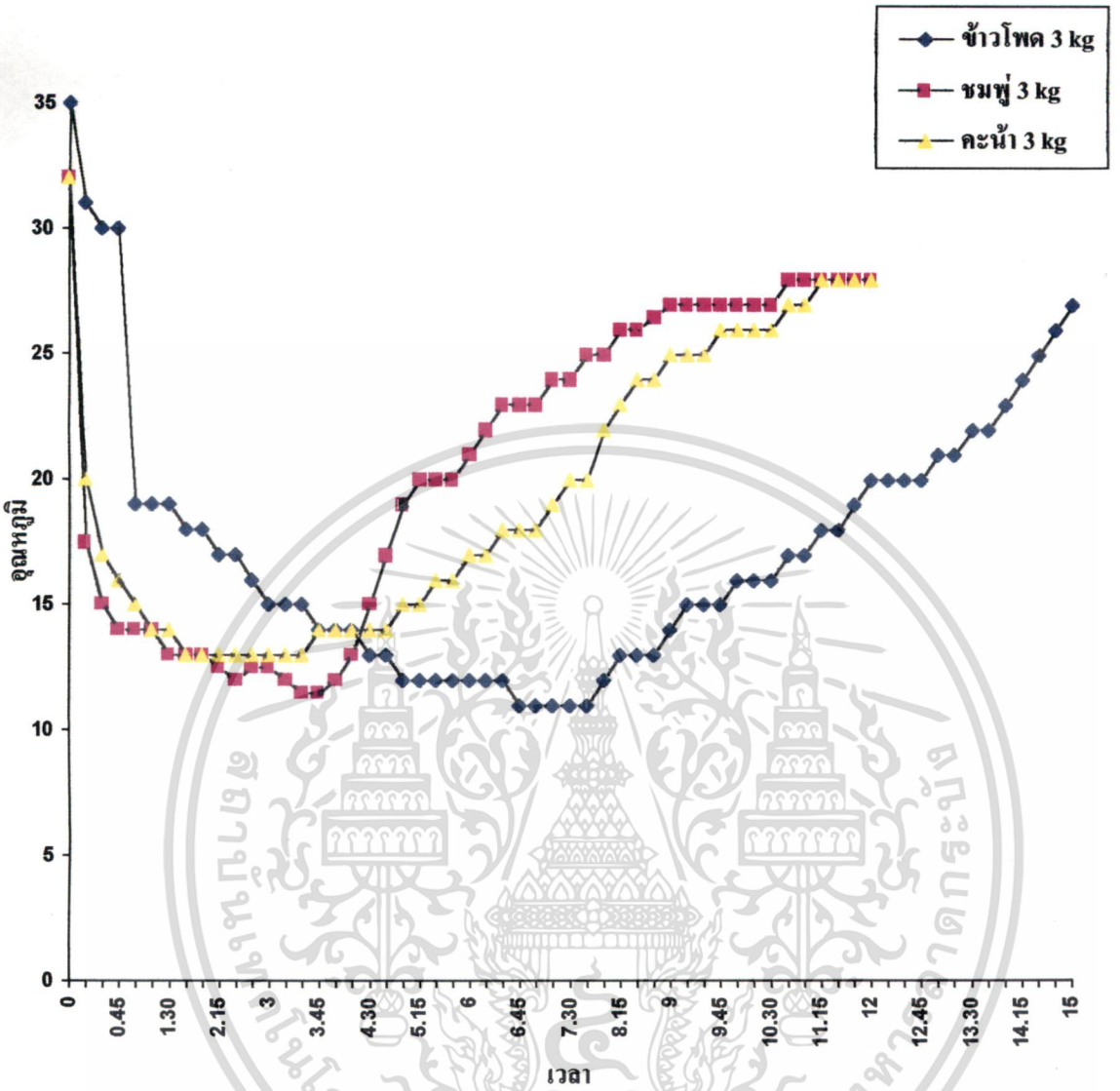
ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวปนเหลือง	เหี่ยวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 คุณภาพของคะน้าเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบคุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน, ชมพู่ และ คะน้า 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการนำกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำซึ่งมีขนาดภายใน 40x50x40 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตร 0.08 ลูกบาศก์เมตรมาพัฒนาประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ โดยใช้ลักษณะโครงสร้างของกล่องควบคุมอุณหภูมิที่ออกแบบมาแล้วคือ ใช้โฟมหนา 2 นิ้วและอะคริลิกหนา 5 มิลลิเมตรเป็นฉนวนความเย็นและใช้สังกะสีหุ้มเพื่อทำให้กล่องมีความแข็งแรง โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งจากด้านข้างของกล่องมาเป็นด้านบนบริเวณใต้ฝากล่องพร้อมทั้งติดตั้งพัดลมขนาดเล็กไว้ในกล่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการเปิดพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศกับการไม่เปิดพัดลม สรุปได้ว่า การเปิดพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศจะช่วยทำให้อุณหภูมิภายในกล่องลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอากาศมีการเคลื่อนไหวทำให้การพาความเย็นจากการระเหิดของน้ำแข็งแห้งมีประสิทธิภาพดีขึ้น และมีช่วงอุณหภูมิตามที่ต้องการเป็นระยะเวลานานกว่าไม่เปิดพัดลม โดยการลดอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการคือ 20 องศาเซลเซียสจะใช้เวลา 15 นาทีและมีช่วงอุณหภูมิที่ต้องการคือ ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงจึงเลือกใช้วิธีเปิดพัดลมเพื่อให้อากาศหมุนเวียนเพราะนอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องลงอย่างรวดเร็ว จะยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาให้มากขึ้นอีก เนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่องจะทำให้ความเย็นกระจายตัวทั่วทั้งกล่อง ลดการสะสมความร้อนในบริเวณที่อยู่ห่างจากช่องเก็บน้ำแข็งแห้งได้

น้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากันคือ 9 องศาเซลเซียสแต่น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมจะให้ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสนานกว่าเพียง 45 นาทีสำหรับน้ำแข็งแห้ง 1 และ 2 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดคือ 16 และ 10 องศาเซลเซียสตามลำดับ จึงเลือกใช้น้ำแข็งแห้งหนัก 3 กิโลกรัมเป็นสารให้ความเย็นในการทดลองขั้นต่อไป เพราะระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสมีมากพอที่จะใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ระหว่างการขนส่งได้ และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัม

จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงระดับหนึ่งแล้ว อุณหภูมิจะคงที่ได้ไม่นานและจะค่อยๆสูงขึ้นจนเกินระดับที่ต้องการ สัณนิษฐานว่าจากการที่น้ำแข็งแห้งมีการระเหิดอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลอง ทำให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความดันภายในกล่องสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งน้ำแข็งแห้งระเหิดออกหมด ซึ่งจากคุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อน้ำแข็งแห้งระเหิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะปล่อยความร้อนและความดันขึ้น ยิ่งมีความดันสูงขึ้นก็มีการสะสมความร้อนมากขึ้นจึงทดลองเจาะรูเพื่อระบายความดัน โดยจะปล่อยความดันออกเป็นเวลา 30 วินาที ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าการปล่อยความดันสามารถยืดระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิต่ำสุด คือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสออกไปได้ โดยมีระยะเวลา 5 ชั่วโมง นอกจากนี้การปล่อยความดันยังเป็นการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปด้วยและจะมีการควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัดลม โดยใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุมการทำงานของพัดลมและพัดลมจะหยุดทำงานที่ 8 องศาเซลเซียสและจะทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องจะทำให้สามารถรักษาคุณภาพของผัก ผลไม้ได้ดีและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

จากการนำกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำไปใช้ในการเก็บรักษาผัก ผลไม้สด โดยทำการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักของผัก ผลไม้ที่บรรจุในกล่องควบคุมอุณหภูมิที่น้ำหนัก 3 และ 5 กิโลกรัม จะใช้ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นตัวอย่างผักที่ใช้ในการทดลอง จากกราฟของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างผัก 5 กิโลกรัมจะมีช่วงอุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่างผัก 3 กิโลกรัม ซึ่งเกิดจากอัตราการหายใจที่มากกว่า และจากการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างผักที่ใช้ทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างของคุณภาพผัก 3 และ 5 กิโลกรัมซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน แสดงว่า อุณหภูมิภายในกล่องเพียงพอที่จะรักษาคุณภาพของผัก 5 กิโลกรัม จึงเลือกตัวอย่างผัก 3 กิโลกรัมนำไปใช้ในการทดลองเปรียบเทียบสภาพการเก็บรักษาที่ต่างกันคือ การเก็บรักษาในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และเก็บรักษาในตู้เย็น โดยใช้ตัวอย่างผัก ผลไม้ในการทดลอง คือ ข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู่ และคะน้า ก่อนการทดลองเก็บรักษาจะบรรจุตัวอย่างผักในถุงโพลีเอทธีลีนเพื่อช่วยในการรักษาคุณภาพของตัวอย่างผัก ผลจากกราฟของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมเป็นสารให้ความเย็น พร้อมทั้งการเปิดพัดลมและการระบายความดันจะสามารถเก็บรักษาตัวอย่างผักไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งซึ่งพอเพียงสำหรับการเก็บรักษาระหว่างการขนส่งจากแหล่งเพาะปลูกมาสู่ตลาดเพื่อจำหน่าย และจากการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างผัก ด้านสี สภาพความสด และเนื้อสัมผัส หลังจากเก็บรักษาในกล่องควบคุมและเก็บไว้ในตู้เย็น 12 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างผักทุกชนิดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาต่ำสุด คุณภาพของตัวอย่างผักที่เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะมีลักษณะที่ดีเหมือนกับตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้เย็นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกแต่เมื่อผ่านไป 48 ชั่วโมง คุณภาพของตัวอย่างผักที่เก็บไว้ในตู้เย็นจะดีกว่าเล็กน้อย ซึ่งจะชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การเก็บรักษาในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ 1 วันส่วนการเก็บรักษาในตู้เย็นจะยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ 2 วัน เนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้เย็นมีระดับที่ต่ำกว่าและมีความสม่ำเสมอมากกว่าอุณหภูมิภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

4.7 ข้อเสนอแนะการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ นับได้ว่าเป็นการเสนอทางเลือกใหม่ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ ระหว่างการขนส่ง โดยมีการพัฒนาประสิทธิภาพการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในด้านการลดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถประหยัดเวลาในช่วงที่ลดอุณหภูมิเริ่มต้นจนกระทั่งถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการได้มาก และมีระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 8-20 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอต่อเวลาในการขนส่ง แต่การทดลองนี้ยังมีจุดด้อยในบางด้านซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างกล่องค่อนข้างสูง จึงควรหาวัสดุที่จะใช้เป็นฉนวนความเย็น ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอะคริลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาใช้แทนและเพื่อให้กล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะต้องปรับปรุงทิศทางการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่อง ซึ่งจากการทดสอบการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่องทำให้ทราบว่าภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะมีการหมุนเวียนของอากาศอย่างทั่วถึงทั้งกล่องแต่เป็นการหมุนเวียนที่ไม่เป็นระบบจึงควรปรับทิศทางการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่องให้มีทิศทางที่แน่นอนและเพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นที่เกิดขึ้นควรหาวัสดุมากั้นไม่ให้น้ำแข็งแห้งสัมผัสกับฝาช่องเก็บน้ำแข็งแห้งซึ่งเป็นสังกะสีซึ่งจะช่วยลดการระเหิดของน้ำแข็งแห้งและป้องกันการสูญเสียความเย็นได้

สำหรับการใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อเก็บรักษาผลิตผลสดระหว่างการขนส่งควรจะต้องพิจารณาปัจจัยหลายๆด้านเพื่อความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน เช่น ควรจะใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิเก็บรักษาผลิตผลสดที่มีราคาสูง ควรจะขยายขนาดของกล่องเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้มากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้คุ้มค่ากับการลงทุน และควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น ความร้อนที่จะผ่านผนังเข้ามา ผลของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

4.8 ค่าแก้ไขอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จากผลการทดลอง

จากผลผารทดลอง อุณหภูมิที่วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ที่สร้างติดกับกล่องการทดลองนั้น ค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเนื่องข้อจำกัดของเทอร์โมมิเตอร์เอง จึงได้ทำการ calibration เพื่อแก้ไขค่าอุณหภูมิเทียบกับ probe วัดอุณหภูมิโดยตรงที่ต่อเข้ากับ recorder เพื่อใช้เป็นการแก้ไขค่าของอุณหภูมิเมื่อมีการนำไปทดลองในภาคสนามจริง สรุปค่าแก้ไขไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าแก้ไขอุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	ค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าที่อ่านได้จาก probe (°C)	ค่าแก้ไข (°C)
30-35	30	28	-2
25-30	27	22	-5
20-25	23	15	-8
15-20	18	10	-8
10-15	13	5	-8
5-10	8	0	-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

การประชุมเชิงปฏิบัติการ. 2530. เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่องอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 273 หน้า

เกชา ธีระโกเมน. 2525. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด. 159 หน้า

ช.ณิฎฐ์ศิริ สุยสุวรรณ. 2526. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร(ผักและผลไม้). กรุงเทพมหานคร. สถาบันเทคโนโลยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 134 หน้า

จิรา ณ หนองคาย. 2534. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้และดอกไม้ กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ แมส พับลิชชิ่ง, 272 หน้า

ประจักษ์ ภักดีรัตน์. 2533. เทคนิคเครื่องเย็นและปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์นิยมวิทยา. 442 หน้า

ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และ เฮฮิโซ ไซโต. 2538. การปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด . 174 หน้า

ภวัฒน์ วิทูรปกรณ์ และ ชำนาญ วิทูรกรณ์.โครงสร้างของฉนวนความร้อนกับความเหมาะสมในการใช้งาน. เทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหการ. : 77-82

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารชนิดต่างๆ. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 271 หน้า

ระวิวรรณ คงคาน้อย. 2537. บทบาทของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานอุตสาหกรรม. วิศวกรรมการผลิต. : 52-57

รามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 170 หน้า

วิบูลย์เกียรติ โมพีรตานนท์. 2526. สายงานการใช้ความเย็น. ใน ประพันธ์ บุญกลิ่นขจร (บรรณาธิการ), เอกสารประกอบการอบรมเรื่องการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้สด. กรุงเทพ: สถาบันวิจัยวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 331 หน้า

ศิริวรรณ ศรีสวัสดิ์. 2533. สมดุลวัฏภาค. กรุงเทพมหานคร:ปรีดาการพิมพ์. 134 หน้า

สมศักดิ์ สุโมตยกุล. 2533. เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด. 441 หน้า

สายชล เกตุษา. 2528. สรีระวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ นครปฐม: โรงพิมพ์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ. 364 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Austin,T.G. 1986. Shreve's Chemical Process Industries. 5 th ed. New york : McGrew-Hill Book Company. 859 pp.

Cohen E. 1986. Role of Volatiles from Cold-Stored Citrus Fruit and of Intermittent Warming on Chilling Injury Reduction. Hort Sci. 21(3): 709

Frenkel, C., and Patterson, M.E. 1997. Effect of Carbon Dioxide on Ultrastructure of 'Bartlett'Pears. Hort Sci. 9 (4) :338-340

Holcroft, M, Gil, I, and Kader, A.A. 1998. Effect of Carbon Dioxide on Anthocyanins, Phenylalanine Ammonia Lyase and Glucosyltransferase in the Arils of Stored Pomegranates. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 123(1): 136-140

Holcroft,D.M., Gil, M.I. ,and Kader, A.A. 1996. Effect of Carbon Dioxide on Stability of Anthocyanins and Other Phenolic Compounds during Storage of Fresh Strawberries. Hort Sci. 31 (4): 590

McDonald E. 1986. Organic Acid Levels in Pepper Pericarp as Influenced by Storage At Low Temperature.Hort Sci. 21(3): 853

Mcketta, J.J. 1993. Inorganic Chemical Handboook. Vol 1. New york: Marcel Dekker, Inc. 708pp.

Thompson, A.K. 1996. Postharvest technology of Fruit and Vegetables. London: Blackwell Science Ltd. 410 pp.

Van Garde, S.J. and Woodburn, m. 1994. Food Preservation and Safety Principles and Practice. Iowa: Iowa: State University Press. 261 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

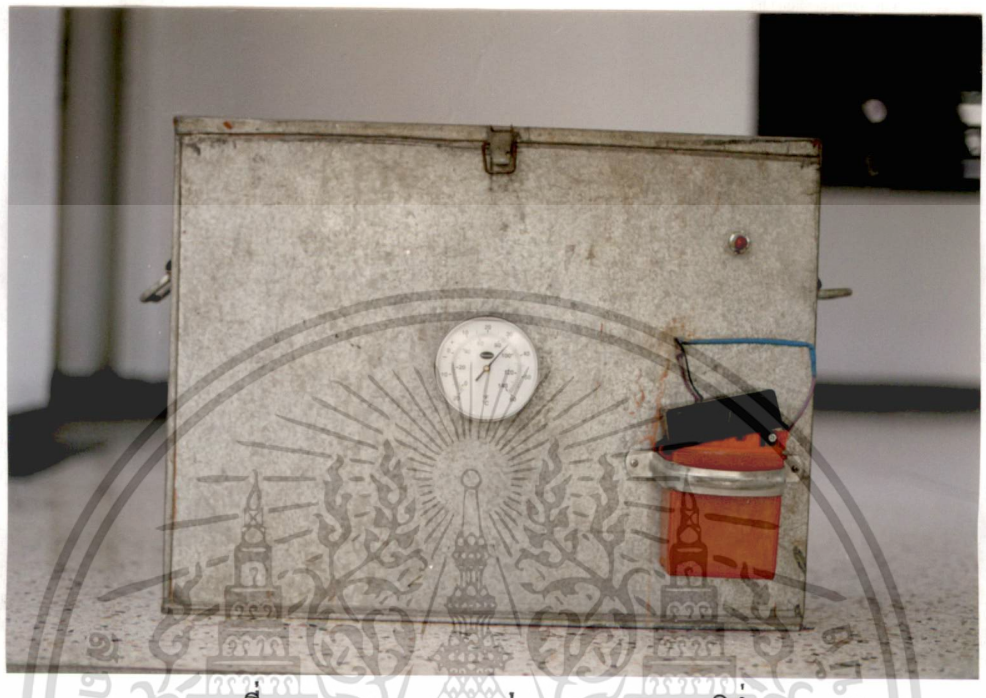
ภาพแสดงรายละเอียดและสัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปถ่ายกล่องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.1 สภาพภายนอกกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ

ภาพที่ ข.2 สภาพภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

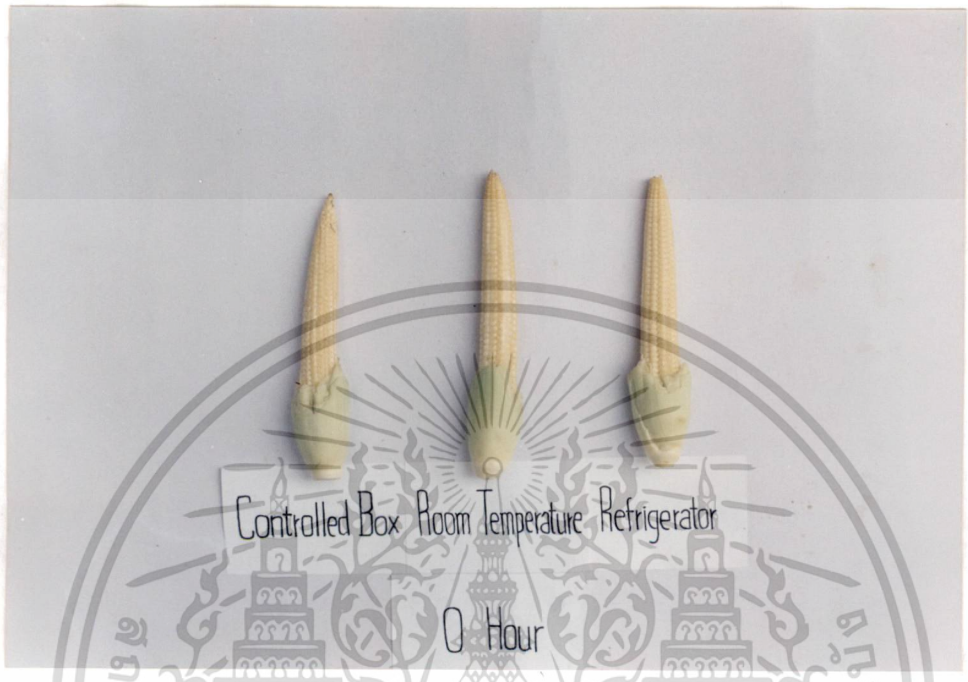
ภาพที่ ข.3 ช่องเก็บน้ำแข็งแห้งใต้ฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

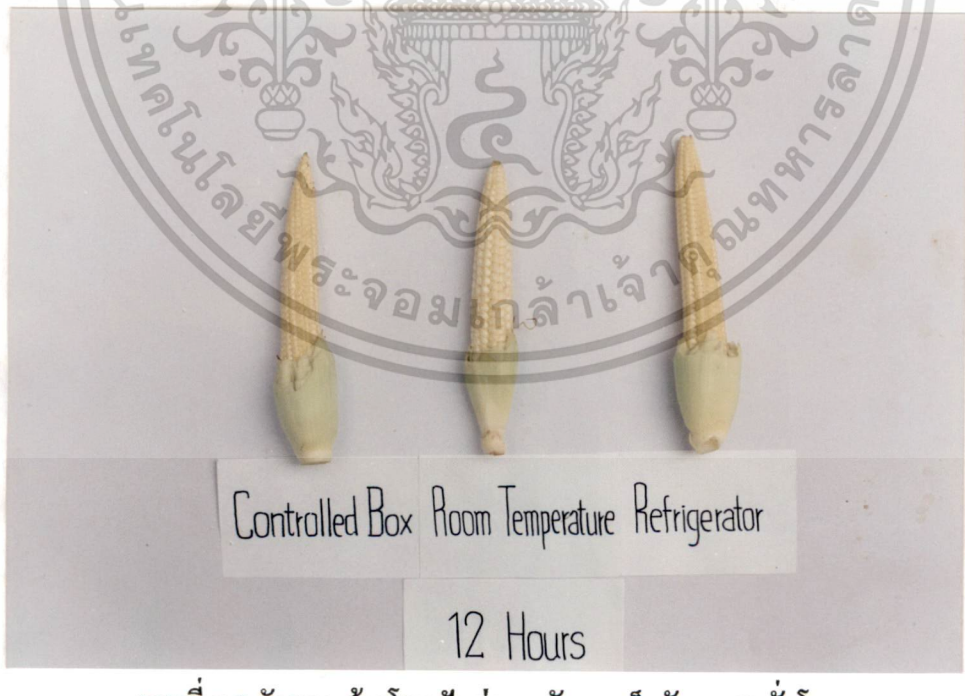
ภาคผนวก ค

ลักษณะผักและผลไม้ของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



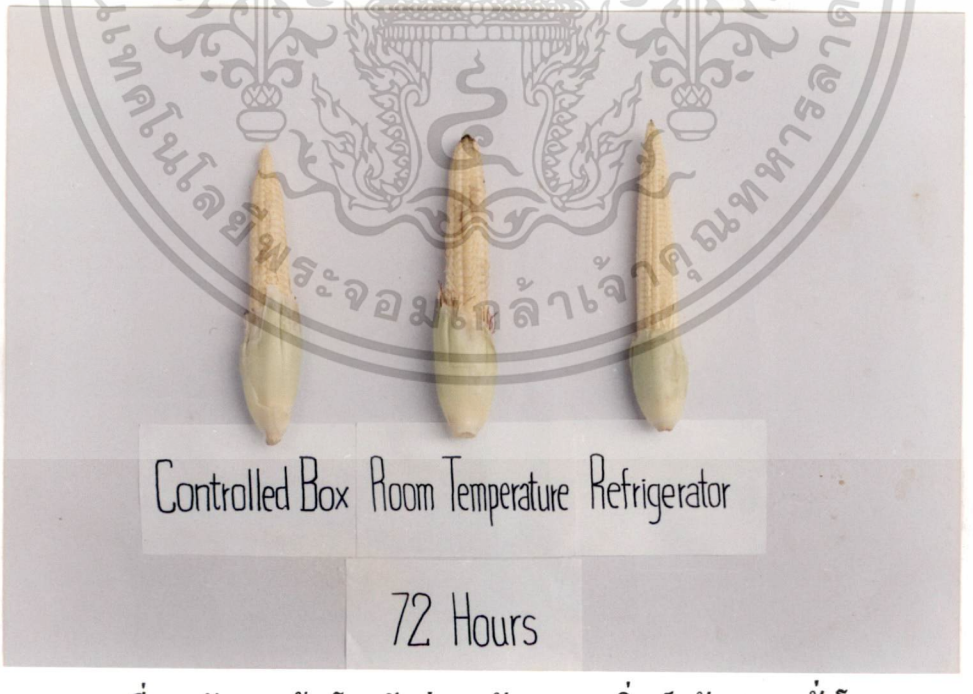
ภาพที่ ค.1 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนก่อนการเก็บรักษา



ภาพที่ ค.2 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.3 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง



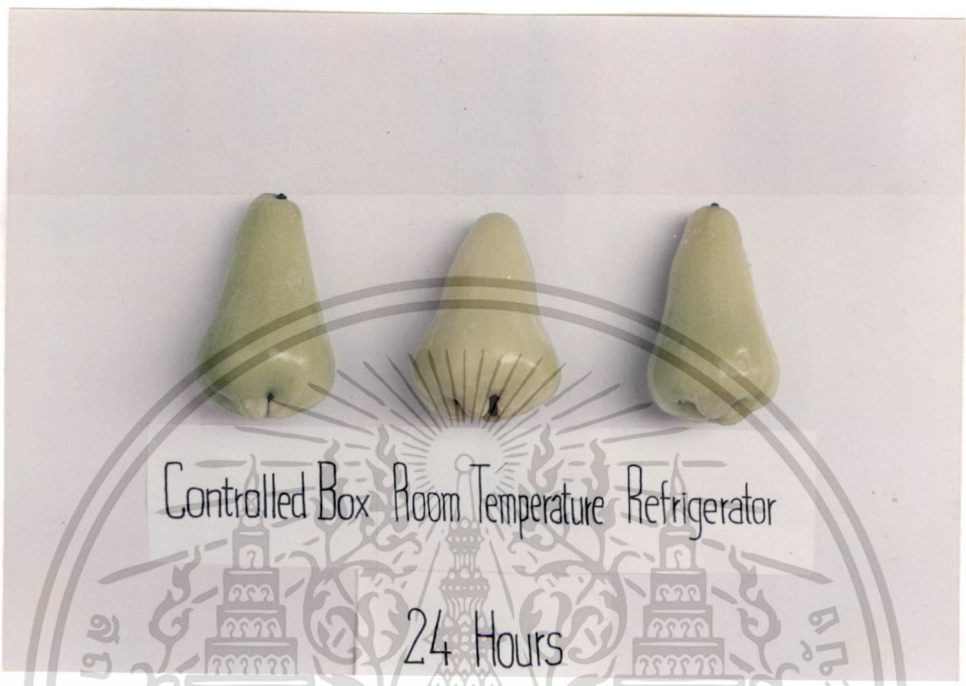
ภาพที่ ค.4 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.5 ลักษณะชมพู่ก่อนการเก็บรักษา

ภาพที่ ค.6 ลักษณะชมพู่หลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

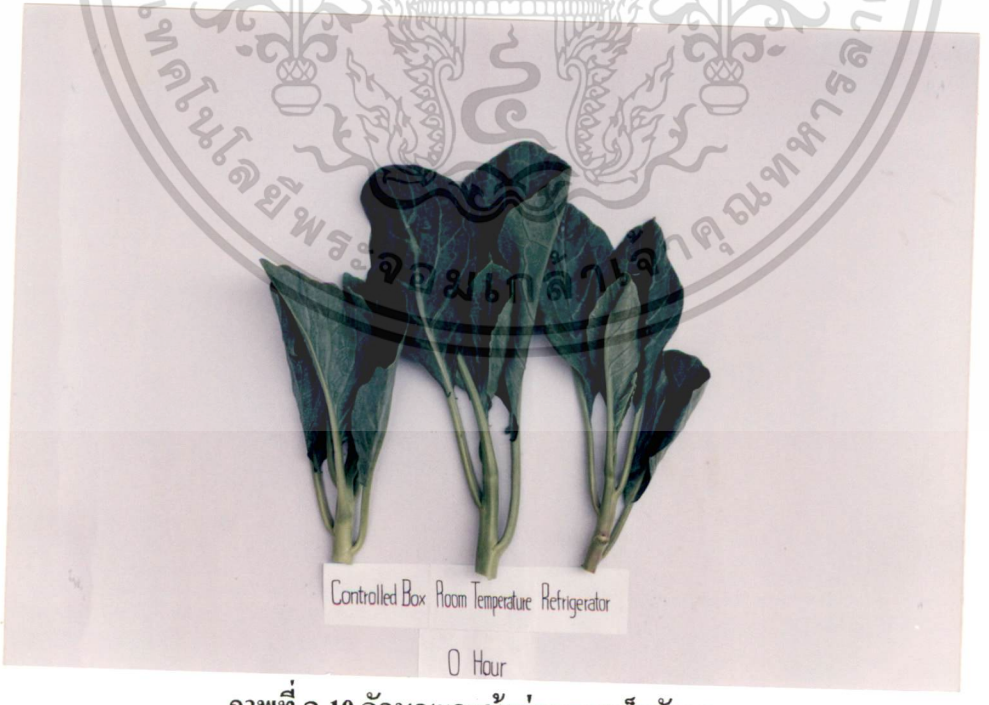


ภาพที่ ค.7 ลักษณะชมพู่หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.8 ลักษณะชมพู่หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.9 ลักษณะชมพู่หลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.10 ลักษณะคะน้าก่อนการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้