

15447



ปัญหาพิเศษ



T096573

เรื่อง

การพัฒนากล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ
(Development A Low Temperature Controlled Box)

โดย

นาย พรหมประสิทธิ์ ถนอมตระกูลชัย	รหัส 39042082
นาย มนตรี อินทรพรหม	รหัส 39042086
นาย วิสรุต ตัญศักดิ์	รหัส 39042094

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร

Department of Agricultural Industry

Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

King Mongkut's Institute of Technology

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Chaokuntaharn Ladkrabang

กรุงเทพฯ 10520

พ.พ.

Bangkok 10520 Thailand

พ.ร.ก.

2541

หมายเหตุ:.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารฉบับนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน เดือน ปี.....



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การพัฒนากล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ
(Development A Low Temperature Controlled Box)

โดย

นาย พรหมประสิทธิ์ ถนอมตระกูลชัย	รหัส 39042082
นาย มนตรี อินทรพรหม	รหัส 39042086
นาย วิศรุต ด้อยศักดิ์	รหัส 39042094

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 18/6/41 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ
()

..... /...../..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปัญหาพิเศษ
()

..... /...../..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปัญหาพิเศษ
()

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....
()

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

41 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ฉ.พ.

พ.ร.บ. เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
๒๐๕๐
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายพรหมประสิทธิ์ ถนอมตระกูลชัย นายมนตรี อินทรพรหม และนายวิศรุต ดู่ศักดิ์ดา. :การพัฒนา
กล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Development a Low Temperature Controlled Box) ภาควิชาอุตสาหกรรม
เกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ. 91 หน้า.

การพัฒนากล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำจากกล่องต้นแบบที่มีความจุ 0.08 ลูกบาศก์เมตร โดย
เปลี่ยนการวางน้ำแข็งแห้งไปไว้ในช่องเก็บได้ฝากกล่องและติดตั้งพัดลมภายในกล่อง เมื่อใช้
น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัมเป็นสารให้ความเย็น พบว่าการเปิดพัดลมจะทำให้อุณหภูมิลดลงเร็วขึ้น จาก
การเปรียบเทียบการใช้น้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1,2,3 และ 4 กิโลกรัม พบว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัม
จะให้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาและมีการใช้จ่ายถูกกว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัม
จากการเจาะรูเพื่อระบายความดันที่มีการสะสมและการใช้เทอร์โมสตัทในการควบคุมการทำงานของ
พัดลมจะสามารถยืดระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิต่ำสุด คือ 8-10 องศาเซลเซียส ออกไปได้พอ
เพียงพอต่อการเก็บรักษา เมื่อนำกล่องไปทดลองเก็บข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 3 และ 5 กิโลกรัม พบว่า
ไม่มีความแตกต่างในด้านคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อเปรียบเทียบ
คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู และกระน้ำ ที่เก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกัน
คือ การเก็บรักษาในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ การเก็บในตู้เย็น และการเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดย
การเก็บรักษาในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำและในตู้เย็นจะเก็บไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิ
ห้อง พบว่าอายุการเก็บรักษาของผลผลิตที่เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำมีระยะใกล้เคียงกับที่
เก็บในตู้เย็นรวมทั้งมีคุณภาพใกล้เคียงกันด้วย และมีอายุการเก็บรักษานานกว่าเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ
ห้อง

นายพรหมประสิทธิ์ ถนอมตระกูลชัย

วิศรุต ดู่ศักดิ์ดา
อรุณรัตน์ อำนวย

ลายมือชื่อนักศึกษา

รุจิรา ตาปราบ

ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

18/6/41

วัน เดือน ปี

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงลงไปได้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำห้องเทคนิคที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการติดตั้งอุปกรณ์ของกล่องควบคุมอุณหภูมิ เจ้าหน้าที่ประจำห้องแปรรูปเนื้อสัตว์ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง และเพื่อนๆที่คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษา พร้อมทั้งช่วยแก้ไข ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นรวมทั้งการแก้ไขรูปแบบของปัญหาพิเศษนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมกลุ่มที่คอยช่วยเหลือซึ่งกันและกันให้กำลังใจรวมทั้งช่วยกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นมาตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	3
2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว	3
2.2 การเก็บรักษา	11
2.3 ความผิดปกติทางสรีระวิทยาของพืช	16
2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์	21
2.5 บทบาทที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ	29
2.6 วัตถุประสงค์ของการใช้ก๊าซบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ	32
2.7 เทอร์โมสแตท	32
2.8 เทอร์โมมิเตอร์	35
2.9 นวนวนความร้อน	38
2.10 กล้องควบคุมอุณหภูมิ	40
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	42
3.1 อุปกรณ์	42
3.2 ตัวอย่างผัก ผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3 วิธีการทดลอง	43
4. ผลการทดลอง	45
4.1 การเปลี่ยนตำแหน่งการวางน้ำแข็งแห้ง	45
4.2 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งน้ำหนักต่างกัน	47
4.3 วิธีควบคุมอุณหภูมิ	49
4.4 การเปรียบเทียบน้ำหนักผัก	51
4.5 การเก็บรักษาที่สภาวะต่างกัน	54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	65
5.2 ข้อเสนอแนะการทดลอง	67
5.3 ค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer จากผลการทดลอง	70
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	75
ประวัติผู้เขียน	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผักและผลไม้	4
2.2 ตัวอย่างชนิดของผลไม้แยกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก	10
2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคาร์บอนไดออกไซด์	22
2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ระหว่างน้ำแข็งแห้งกับน้ำแข็ง	23
2.5 ความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักผลไม้บางชนิดทนได้	31
4.10 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 3 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	53
4.10 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 5 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	53
4.3 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง	56
4.4 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	56
4.5 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	57
4.6 คุณภาพของขมิ้นฝักเก็บที่อุณหภูมิห้อง	59
4.7 คุณภาพของขมิ้นฝักเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	59
4.8 คุณภาพของขมิ้นฝักเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	60
4.9 คุณภาพของกระเทียมเก็บที่อุณหภูมิห้อง	62
4.10 คุณภาพของกระเทียมเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	62
4.11 คุณภาพของกระเทียมเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	63
5.1 ค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN	70
5.2 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 35-30 °C	71
5.3 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 30-25 °C	71
5.4 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 25-20 °C	71
5.5 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 20-15 °C	72
5.6 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 15-10 °C	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.7 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN ในช่วงอุณหภูมิ 10-5 °C	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบัญชีรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืช	6'
2.2 การเจริญเติบโตและลักษณะการหายใจของผลไม้ประเภท Climacteric และ Non-climacteric	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บรักษากับอุณหภูมิของพืชที่มีความเสียหายต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง	19
2.4 แผนภาพแสดงสมดุลวัฏภาคของระบบคาร์บอนไดออกไซด์	24
2.5 แสดงตัวอย่างของตู้ Container	29
2.6 เทอร์โมมิเตอร์ประเภท Thermocouple	37
3.1 ภาพแสดงตำแหน่งของน้ำแข็งแห้งและพัดลม	43
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่เปิดและปิดพัดลม โดยใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัม	46
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1, 2, 3, และ 4 กิโลกรัม	48
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้ง 2 และ 3 กิโลกรัมเมื่อมีการปล่อยความดัน	50
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน 3 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน 3 กิโลกรัม	55
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาชมพู 3 กิโลกรัม	58
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาคะน้า 3 กิโลกรัม	61
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน, ชมพู และคะน้า 3 กิโลกรัม	64
ก.1 แสดงรายละเอียดและสัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิด้านหน้า	74
ก.2 แสดงรายละเอียดและสัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิด้านข้าง	75
ก.3 แสดงรายละเอียดและสัดส่วนฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ	76
ข.1 สภาพภายนอกกล่องควบคุมอุณหภูมิ	78
ข.2 สภาพภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ	78
ข.3 ช่องเก็บน้ำแข็งแห้งใต้ฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ	79
ค.1 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนก่อนการเก็บรักษา	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.2 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง	81
ค.3 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง	82
ค.4 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง	82
ค.5 ลักษณะชมพูก่อนการเก็บรักษา	83
ค.6 ลักษณะชมพูหลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง	83
ค.7 ลักษณะชมพูหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชั่วโมง	84
ค.8 ลักษณะชมพูหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง	84
ค.9 ลักษณะชมพูหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง	85
ค.10 ลักษณะคะน้าก่อนการเก็บรักษา	85
ค.11 ลักษณะคะน้าหลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง	86
ค.12 ลักษณะคะน้าหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชั่วโมง	86
ค.13 ลักษณะคะน้าหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง	87
ค.14 8ลักษณะคะน้าหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง	87

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันผลผลิตทางการเกษตรประเภทผักและผลไม้ ทำรายได้แก่เกษตรกรผู้ปลูกเป็นมูลค่าสูงจากความต้องการบริโภคผักและผลไม้ในลักษณะผลิตผลสดมีปริมาณมาก แต่พื้นที่เพาะปลูกบางแห่งอยู่ไกลจากผู้บริโภคทำให้ประสบปัญหาเรื่องการขนส่ง ซึ่งยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะเก็บรักษาผักผลไม้สดให้คงสภาพที่ดีไว้จนถึงผู้บริโภค ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้จะยังมีการหายใจอยู่โดยจะมีการคายน้ำและพลังงานความร้อนออกมาทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงภายในทางด้านสรีระและทางเคมีเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ด้วยทำให้ผักและผลไม้มีคุณภาพต่ำลงส่งผลถึงอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง มีคุณภาพต่ำลงและทำให้มูลค่าของผลิตผลต่ำลงด้วย วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการเก็บรักษา ผักและผลไม้สดคือ การใช้ความเย็น ซึ่งจะมีผลต่อการหายใจของผัก ผลไม้ ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ภายในผัก ผลไม้ ทำให้ผัก ผลไม้มีคุณภาพดีตลอดการเก็บรักษาในขณะขนส่งจนถึงมือผู้บริโภค

การใช้ความเย็นในการเก็บรักษาผลิตผลในระหว่างการขนส่งนั้นมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม หนึ่งในรูปแบบต่างๆ คือ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในลักษณะของแข็งหรือน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) เป็นสารให้ความเย็นในการเก็บรักษา ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันแต่เป็นการใช้ในลักษณะการขนส่งที่มีปริมาณมาก และใช้ระยะเวลาในการขนส่งไม่นานนัก เช่น การขนส่งทางเครื่องบิน โดยมีการออกแบบห้องเก็บรักษาอยู่ภายในตู้คอนเทนเนอร์และติดตั้งพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศภายใน เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการเก็บรักษาจึงได้ประยุกต์นำเอาวิธีการนี้มาใช้ปรับปรุงกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ เพื่อการเก็บรักษาผลิตผลระหว่างการขนส่งภายในประเทศจากพื้นที่เพาะปลูกที่ห่างไกลสู่ตลาดจำหน่าย และได้มีการนำเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาด้วย การเก็บรักษาในลักษณะนี้จึงเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าจะศึกษาและมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาขั้นต่อไปเพื่อใช้ขนส่งผลิตผลทางการเกษตรจากพื้นที่เพาะปลูกสู่ตลาดผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนากล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำ
2. เพื่อศึกษาการควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องโดยการใช้พัดลม
3. เพื่อศึกษาการใช้งานกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำในสภาวะจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่างๆ ทั้งทางสรีระและชีวเคมียังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับที่ยังติดอยู่กับต้นหรือยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ดังนั้นผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจต่อไป โดยการดูดเอาออกซิเจนเข้าไปและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนออกมา มีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียน้ำเนื่องจากการหายใจและการคายน้ำขณะที่ผลิตผลยังอยู่กับต้นเดิมจะถูกแทนที่หรือชดเชยด้วยน้ำหล่อเลี้ยงภายในต้น (Cell sap) อาหารได้จากการสังเคราะห์แสงและแร่ธาตุได้จากดินหรือน้ำที่ใส่ให้ หลังจากที่ผักผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวแล้ว จะถูกตัดออกจากแหล่งน้ำ อาหาร และแร่ธาตุ ดังนั้น ผักและผลไม้หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจึงขึ้นอยู่กับอาหารที่สะสมและความชื้นในเนื้อเยื่อที่มีอยู่ การสูญเสียน้ำและน้ำที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของผลิตผลจะไม่ถูกชดเชย กระบวนการเน่าเสียจะเกิดขึ้นกับผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงในด้านเคมี และชีวเคมี ที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผล การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลดีขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลเลวลง

2.1.1 การสุกของผลไม้

การสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้ การสุกของผลไม้เป็นการเปลี่ยนจากผลที่แก่ในทางสรีระแต่ยังบริโภคน้ำไม่ได้ให้ไปอยู่ในสภาพที่มีกลิ่น สี และรสชาติ ดึงดูดให้น้ำบริโภค การสุกของผลไม้เป็นสิ่งที่แสดงถึงการพัฒนาที่สมบูรณ์ของผลไม้และเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถจะทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้อีก การสุกของผลไม้ประกอบด้วยกระบวนการหลายอย่าง กระบวนการเหล่านี้มีทั้งที่เป็นการสร้าง (Biosynthesis) และที่เป็นการสลาย (Biodegradation) กระบวนการบางอย่างเป็นอิสระต่อกัน

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลไม้

กระบวนการต่าง ๆ	
การเปลี่ยนสี	การสลายตัวของแป้ง
การหายใจ	การเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์
การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ	การเกิดรสชาติ
การสังเคราะห์เอทิลีน	การเกิดกลิ่น
การสังเคราะห์น้ำตาล	การสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์
ฯลฯ	

ที่มา : สายชล, 2528

2.1.1.1 Climacteric fruit

ผลไม้ประเภท Climacteric ที่เก็บมาจากต้นขณะที่แก่มีการหายใจลดลงถึงจุดต่ำสุดแล้วเริ่มมีการหายใจเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่กระบวนการสุกเริ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีการหายใจสูงสุด ซึ่งมีมากเป็น 2-3 เท่าของการหายใจที่ต่ำสุดหรืออาจจะมากกว่านี้ แล้วการหายใจจะค่อย ๆ ลดลง ผลไม้จะมีคุณภาพดีสำหรับบริโภคหลังจากที่ผ่าน Climacteric peak ผลมะเขือเทศมี Climacteric peak เกิดขึ้นก่อนที่ผลจะเปลี่ยนไปเป็นสีแดงทั้งผล การหายใจลดลงขณะที่ผิวสีแดงปรากฏให้เห็น ผลไม้ประเภท Climacteric เมื่อผลแก่สามารถเก็บจากต้นมาบ่มให้สุกและมีคุณภาพดีสำหรับบริโภค ไม่จำเป็นต้องรอให้สุกบนต้นแล้วค่อยเก็บเกี่ยว

2.1.1.2 Non-climacteric fruit

ผลไม้ประเภท Non-climacteric มีลักษณะการหายใจที่แตกต่างจากผลไม้ประเภท Climacteric ขณะที่ผลสุก นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่แตกต่างกันเห็นได้ชัดอีกอย่างหนึ่งคือ ผลไม้ประเภท Non-climacteric ไม่ได้มีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างมากมายเมื่อผลไม้สุกพวกผลส้มชนิดต่าง ๆ เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับผลไม้ประเภท Non-climacteric ผลส้มสร้างเอทิลีนเล็กน้อย (0.02 ถึง 0.06 $\mu\text{L/kg/hr}$) ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตจนกระทั่งผลแก่ ไม่มีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นขณะผลสุก ผลส้มชนิดต่าง ๆ เป็น Tree ripened คือผลส้มจะต้องอยู่บนต้นจนถึงระยะเวลาที่ผลส้มมีส่วนประกอบหรือคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับบริโภคก่อนที่จะเก็บเกี่ยวแต่จะไม่มีการเพิ่มคุณภาพโดยเฉพาะความหวานหลังจากเก็บเกี่ยวเหมือนกับผลไม้ประเภท Climacteric เนื่องจากผลส้มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ดังนั้นอาจจะปล่อยให้ผลส้มให้อยู่บนต้นช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากถึงระยะเวลาของการแก่หรือการสุก

2.1.2 การเปลี่ยนสี

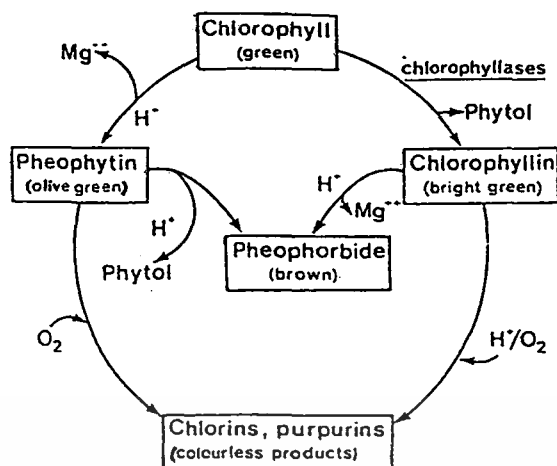
การสลายตัวของพืชหรือ Senescence ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับ สรีระ และชีวเคมี ในกระบวนการต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีอยู่กระบวนการหนึ่งที่เราเห็นได้ชัด และสำคัญ คือการสูญเสียสีเขียว กระบวนการนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเหลือง (Carotenoid) ปรากฏให้เห็นซึ่งเป็นลักษณะของการเกิด Senescence สีแดงมักจะพบบ่อยเนื่องจากการสร้าง Lycopene เช่น ผลมะเขือเทศ

การเปลี่ยนสีเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นทันทีหลังจากเกิด Climacteric peak ของการหายใจในระหว่างการสุกของผลไม้และติดตามด้วยการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับเนื้อเยื่อของผลไม้ การเกิดสีเหลืองเป็นปรากฏการณ์ธรรมดาในผักที่เก็บรักษาไว้ เช่น ถั่ว กระเทียม กระหล่ำดาว และบรอกโคลี เป็นต้น การคงสภาพของสีเขียวและอัตราการเกิดสีเหลืองมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเกี่ยวกับปัจจัยหลายอย่างเช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาของการเก็บรักษาและส่วนประกอบของบรรยากาศในห้องเก็บรักษา

กระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืชจนกระทั่งปัจจุบันยังไม่มีที่แน่ชัด โดยทั่วไปแล้วคิดว่าระหว่างการเกิด Senescence หรือการเก็บรักษาผักและผลไม้ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้ Carotenoid ปรากฏออกมาให้เห็น คลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในสภาพของความเป็นกรดซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียม (Mg) จากศูนย์กลางโครงสร้าง Tetrapyrrole และเกิดสารใหม่คือ Pheophytin เป็นสารสีเขียวมะกอก มีผู้เสนอว่าในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้น Chlorophyllase ทำหน้าที่เป็น Catalyst ของปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้เป็นขั้นแรกที่คลอโรฟิลล์สลายตัวระหว่างการเกิด Senescence ได้มีผู้รายงานว่า Chlorophyllase มีอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและจะทำงานก็เฉพาะเมื่อได้รับความกระทบกระเทือนทางสรีระ (Physiological stress) เชื่อกันว่าเอนไซม์ตัวนี้มีอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชในรูปของ Chlorophyll-lipoprotein complex ฉะนั้นเอนไซม์ชนิดนี้จึงไม่ทำงานเมื่ออยู่ในสภาพที่ปกติ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์สามารถเร่งให้เกิดขึ้นเร็วได้โดยเอนไซม์ Lipo-protein ที่คลอโรฟิลล์เกาะติดอยู่นี้จะทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากการดัดซึ่งมีอยู่โดยธรรมชาติในเนื้อเยื่อของพืช โปรตีนเมื่อถูกความร้อนจะรวมตัวกันและทำให้คลอโรฟิลล์ถูกกับกรด ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย Mg จากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และเกิดสาร Pheophytin อย่างไรก็ตามกลไกสำคัญในการทำลายคลอโรฟิลล์ คือ Photochemical oxidation ซึ่งควบคุมโดย pII และอนุมูล



รูปที่ 2.1 กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืช (จาก สายชล, 2528)

2.1.3 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผักและการสุกของผลไม้คือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Softening) การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการอ่อนตัวของผักและผลไม้ ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ด้านนอกให้ติดกัน (Intercellular cement หรือ Middle lamella) ผนังเซลล์ชั้นที่หนึ่ง (Primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นที่สอง (Secondary cell wall) ส่วนที่เชื่อมให้ผนังเซลล์ติดกันมีลักษณะเป็นวุ้น (Jelly) และถูกสร้างขึ้นขณะที่มีการแบ่งตัวของเซลล์ ทั้งส่วนที่เชื่อมผนังเซลล์ติดกันและเป็นผนังเซลล์ชั้นที่หนึ่งประกอบด้วย Pectin เป็นส่วนที่สำคัญ Polysaccharide สำคัญของ Pectin คือ Rhamnogalacturonan เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งประกอบด้วย

1,2-linked-D-galacturonopyrose ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนในกลุ่ม Carboxyl (-COOH) ถูกแทนที่ (Esterification) โดย Methyl (-CH₃) Rhamnogalacturonan เกิดเป็น pectin ในรูปทั้งที่ไม่ละลายน้ำ (Protopectin) และเกิดอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำคือ Pectinic acid และ Pectic acid กลุ่มของ -COOH ใน Rhamnogalacturonan จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียม (Ca) เกิด Ca-pectate ซึ่งไม่ละลายน้ำและอยู่ในชั้นที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกันและยังมิอยู่ในรอบนอกของผนังเซลล์ด้วย Pectin ที่ไม่ละลายน้ำมีอยู่ในผลไม้ที่ยังไม่สุก เมื่อผลไม้เริ่มสุก Pectin ที่ไม่ละลายน้ำจะสลายลงและ Pectin ที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นโดยกระบวนการเอนไซม์ 2 ชนิดคือ

Pectin methylesterase (Pectinesterase) และ Polygalacturonase การเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้เกิดขึ้นระหว่างที่เริ่มกระบวนการสุก ขั้นตอนของปฏิกิริยาทั้งหมดของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ทำให้ผักและผลไม้อ่อนตัวประกอบด้วย (สายชล, 2528)

1. Deesterification เป็นกระบวนการแยกตัวของกลุ่ม $-CH_3$ ออกจากโพลีเมอร์
2. Depolymerization เป็นกระบวนการที่ทำให้ความยาวของโพลีเมอร์สั้นลง

การเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล Pectin ที่ไม่ละลายน้ำให้เป็น Galacturonic acid ซึ่งละลายน้ำ ทำให้เซลล์ที่เคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบบกลับมามีอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆ ในผลไม้สุก ดังนั้นผลไม้สุกจึงอ่อนตัว นอกจากเอนไซม์ 2 ชนิดนี้ที่ทำให้ Pectin ที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำ ยังมีเอนไซม์ชนิดอื่นๆ คือ Pectin depolymerase, Polymethyl galacturonase และ Pectin transeliminase ซึ่งสามารถทำให้ Pectin เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในผักและผลไม้ไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์เท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์และการสูญเสียของความเต่ง (Turgor) ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการสูญเสียความกรอบและความสดของผักและผลไม้ ในระหว่างการเก็บรักษา

2.1.4 การหายใจ

สิ่งที่มีชีวิตทั้งหมดต้องการพลังงานที่สนับสนุนต่อเนื่องกันไปตลอด พลังงานนี้จะทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำเนินปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ อากาศที่มีออกซิเจนเป็นปกติ ($\cong 21$ เปอร์เซ็นต์) ทำให้คาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้สลายเกิดออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ สิ่งที่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานที่เก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ Adenosine triphosphate (ATP) อากาศที่มีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีออกซิเจน การหายใจของผักและผลไม้โดยออกซิเจนของน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์

พลังงานส่วนมากที่พืชต้องการได้มาจากการหายใจโดยการใช้ออกซิเจน สารต่างๆ ไปที่ใช้สำหรับการหายใจคือกลูโคส ปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงกลูโคสประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ (สาขชล, 2528)

1. กลูโคสถูกเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวทโดยปฏิกิริยาของ Embden- Meyerhof-Parnas (EMP) ซึ่งเกิดขึ้นในไซโทพลาสซึม
2. ไพรูเวทถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดย Tricarboxylic acid (TCA) Cycle ซึ่งเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย

อัตราการหายใจเป็นสิ่งที่แสดงที่ดีถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ โดยปกติผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน การหายใจเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจจึงมีความสำคัญในแง่ของการปฏิบัติการและการเก็บรักษาผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจ

2.1.5.1 ปัจจัยภายใน

2.1.5.1.1 อายุของการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจมีอยู่ในช่วงเวลาระหว่างการพัฒนาส่วนต่างๆ ของพืช ผลไม้ขณะที่ยังมีขนาดเล็กมีอัตราการหายใจสูงแต่เมื่อผลไม้มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นมีอัตราการหายใจลดลง สำหรับผลไม้ประเภท Climacteric มีอัตราการหายใจต่ำสุดขณะที่ผลกำลังแก่และมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่อยู่วะหนึ่งหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้เริ่มสุกมีอัตราการหายใจสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ผลไม้ประเภท Non-Climacteric หลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้นแล้ว อัตราการหายใจจะลดลงตลอดเวลา

2.1.5.1.2 ขนาดของพืช ห้วมันฝรั่งขนาดเล็กมีอัตราการหายใจมากกว่าห้วมันฝรั่งขนาดใหญ่ พืชที่มีขนาดเล็กมีเนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก

2.1.5.1.3 สารธรรมชาติที่เคลือบผิว ผักและผลไม้ที่มีผิวเคลือบด้วยไขเป็นอย่างดีและมีระเบียบเป็นตัวจำกัดในการแลกเปลี่ยนแก๊ส ทำให้มีอัตราการหายใจน้อย

2.1.5.1.4 ชนิดของเนื้อเยื่อ พวกเนื้อเยื่อที่ยังมีอายุน้อยและกำลังเจริญเติบโตมีอัตราการหายใจมากกว่าเนื้อเยื่อที่หยุดการเจริญเติบโตและอยู่ในระยะพักตัว นอกจากนั้นอัตราการหายใจยังแตกต่างกันภายในอวัยวะของพืช เช่น อัตราการหายใจของเปลือก เนื้อ และเมล็ด ในผลมะม่วงไม่เท่ากัน

2.1.5.2 ปัจจัยภายนอก

2.1.5.2.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิระหว่าง 32 ถึง 95 องศาฟาเรนไฮต์ทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้เพิ่มขึ้น 2-2.5 เท่าสำหรับทุก 18 องศาฟาเรนไฮต์ ที่เพิ่มขึ้น อัตราการหายใจจะลดลงที่อุณหภูมิเหนือ 95 องศาฟาเรนไฮต์ เนื่องจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในระยะแรกที่เคลื่อนย้ายผักและผลไม้จากอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูง เช่น จาก 75 องศาฟาเรนไฮต์ ไปเป็น 100 องศาฟาเรนไฮต์ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ในระยะแรกจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจมีการทำงานมากขึ้น แต่ในระยะเวลาดำเนินการหายใจจะลดลงการลดลงของอัตราการหายใจนี้เนื่องจากเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจสูญเสียคุณสมบัติเดิมเพราะอุณหภูมิสูง (Denaturation) อย่างไรก็ตามการลดอัตราการหายใจอาจจะแสดงถึง

1. ออกซิเจนไม่ได้ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่ออย่างเพียงพอ
2. การรบกวนไดออกไซด์สะสมในเซลล์จนกระทั่งถึงจุดที่ยับยั้งการหายใจ
3. อาหารสะสมที่ใช้สำหรับการหายใจมีไม่เพียงพอ

2.1.5.2.2 เอทรีลีน การใช้เอทรีลีนกับผักและผลไม้จะมีผลต่อช่วงระยะเวลาที่มีอัตราการหายใจสูงสุด (Climacteric peak) เอทรีลีนจะย่นเวลาของการเกิด Climacteric peak ในผลไม้ประเภท Climacteric ให้เกิดเร็วขึ้น แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ (Respiratory curve) เอทรีลีนสามารถกระตุ้นให้ผลไม้ประเภท Non-climacteric เกิดการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อใดก็ได้ การหายใจที่เพิ่มขึ้นจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่ได้รับเอทรีลีน ซึ่งความเข้มข้นของเอทรีลีนที่ให้มามาก อัตราการหายใจยังมีเพิ่มมากขึ้น การใช้เอทรีลีนกับผลไม้ประเภท Climacteric จะได้ผลเร็วเมื่อใช้กับผลไม้ที่อยู่ในช่วง Preclimacteric stage และที่อุณหภูมิสูง

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

2.1.5.2.4 คาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติแล้วคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้ลดลง บางครั้งพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ กระตุ้นอัตราการหายใจของผลมะนาวให้เพิ่มมากขึ้น

2.1.5.2.5 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 6-benzylaminopurine (6-BAP) สามารถลดการหายใจของพืช

2.1.5.2.6 การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชที่เกิดบาดแผล ไม่ว่าจะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นโดยคน สัตว์ หรือธรรมชาติ ทำให้มีการหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความรุนแรงของการเกิดบาดแผล

2.1.6 การหายใจของผลไม้

ผลไม้หลายชนิดมีอัตราการหายใจสูงหลังจากที่เก็บเกี่ยวในช่วงระยะที่แก่ และเมื่อสุกปรากฏการณ์ของการหายใจเช่นนี้เรียกว่า Climacteric rise¹. Biale นักชีวเคมีชาวอเมริกันได้จำแนกผลไม้ตามลักษณะการหายใจออกเป็น 2 ชนิด คือ Climacteric และ Non-Climacteric ดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างชนิดของผลไม้แยกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก

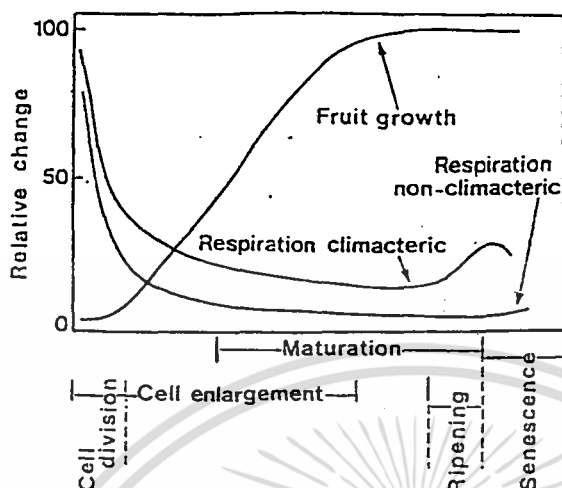
ผลไม้ประเภท Climacteric	ผลไม้ประเภท Non-Climacteric
แอปเปิล	สตอเบอรี่
สาลี่	องุ่น
ท้อ	ส้มชนิดต่างๆ
พลัม	มะนาว
กล้วย	สับปะรด
มะเดื่อ	เงาะ
กีวี	มังคุด
อะโวคาโด	ลิ้นจี่
น้อยหน่า	ลำไย
มะละกอ	มะไฟ
มะม่วง	ลองกอง
ทุเรียน	มะเฟือง
แตงโม	แตงกวา
มะเขือเทศ	มะเขือเทศพันธุ์ริน (rin)
ขนุน	และพันธุ์นอร์ (nor)
ฝรั่ง	เชอรี่
ละมุด	มะกอก
	ลางสาด

ที่มา : สายชล, 2530

ถ้าวัดอัตราการหายใจของผลไม้ โดยวัดการใช้ออกซิเจนหรือการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาระหว่างที่ผลไม้มีการเจริญพัฒนาจนกระทั่งสุกและหมดอายุ จะได้ลักษณะการหายใจของผลไม้ดังในรูปที่ 2.2 อัตราการหายใจต่อน้ำหนักสดจะสูงสุดสำหรับผลไม้ที่ยังมีอายุน้อย แล้วอัตราการหายใจค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น ระยะเวลาก่อนถึง Climacteric rise ของผลไม้ที่เป็น Climacteric เป็นระยะเวลาที่มีอัตราการหายใจต่ำสุดเรียกว่า Preclimacteric การเพิ่มอัตราการหายใจของผลไม้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการสุกระยะเวลาลงหลังจาก Climacteric rise เป็น Postclimacteric stage หรือ Senescence ซึ่งมีอัตราการหายใจลดลง อัตราการหายใจขณะเกิด Climacteric rise และช่วงความยาวนานที่เกิดของ Climacteric rise แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่เป็น Non-Climacteric อัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น และไม่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตและลักษณะการหายใจของผลไม้ประเภท Climacteric และ Non-Climacteric (จาก สายชล, 2528)

2.1.7 การหายใจของผัก

Climacteric rise ของการหายใจในผักไม่มีการแบ่งแยกอย่างชัดเจนดังเช่นในผลไม้ ยกเว้นผักประเภทรับประทานผล เช่น มะเขือเทศ แตงกวา เป็นต้น ซึ่งสามารถจำแนกออกตามลักษณะของการหายใจได้ดังในผลไม้ทั่วไป อัตราการหายใจของผักขึ้นอยู่กับชนิดของผักและอายุที่เก็บเกี่ยว ส่วนที่เก็บเกี่ยวนั้นเป็นอวัยวะที่กำลังเจริญเติบโตหรือเป็นแหล่งที่สะสมอาหาร (Storage organ) ผักกาดหอมห่อที่มีอายุน้อยมีอัตราการหายใจมากกว่าผักกาดหอมห่อที่มีอายุมากในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงแรกหลังจากเก็บเกี่ยว แต่หลังจาก 12 ชั่วโมงแล้วมีอัตราการหายใจเท่ากัน ห่อไม้ฝรั่งมีอัตราการหายใจมากกว่ามันฝรั่งถึง 59 เท่าที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจโดยทั่วไปจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เชื่อว่าเป็นผลเนื่องมาจากเนื้อเยื่อเกิด Senescence

2.2 การเก็บรักษา

การเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญในการยืดอายุของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและรักษาราคาให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค สำหรับผักและผลไม้ที่ปลูกเป็นการค้า บางครั้งปริมาณที่ผลิตมาขายไม่หมดจำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ หรือบางครั้งต้องการกักตุนขณะที่

ผลิตผลมากแล้วนำไปขายในช่วงที่ผลิตผลมีน้อยเพื่อให้ได้ราคาสูงแต่สำหรับผักและผลไม้ที่ปลูกเพื่อบริโภคภายในครอบครัวจำเป็นที่จะต้องเก็บรักษาบางส่วนไว้เพื่อได้ใช้นานๆในเวลาข้างหน้า ผักและผลไม้ต้องอยู่ในสภาพที่ดีถ้าจะให้เก็บรักษาได้ผลดี ผักและผลไม้ที่จะเก็บรักษาต้องสดด้วย หลังจากการเก็บเกี่ยวใหม่ๆการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆที่เกิดขึ้นขณะเก็บรักษาเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรจะได้ทราบ ผักและผลไม้ทุกชนิดหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงในขบวนการต่างๆ ภายในตัวของผักและผลไม้เองอาจจะกระตุ้นให้เร็วขึ้นหรือทำให้ช้าลง ผักและผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งยังมีชีวิตอยู่ แต่การเปลี่ยนแปลงจะช้าลงเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ

สำหรับประเทศในแถบร้อนนี้การเก็บรักษาผลผลิตสดไม่ว่าวิธีใดจะต้องมีความเย็นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอเพราะอุณหภูมิสูงทำให้ผลผลิตสดนั้นเสียหายเร็ว (ช.ณิภูริศิริ, 2526)

2.2.1 หลักการเก็บรักษา ในการเก็บรักษาผลผลิตสดมีหลักการที่ควรคำนึงถึงอยู่ 3 ประการ คือ

2.2.1.1 การควบคุมการคายน้ำ สภาพอากาศนอกที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้นและความแตกต่างของความดันไอล้วนมีความสำคัญต่อการคายน้ำ สภาพจำเป็นที่จะต้องควบคุมคือ อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงและค่าความแตกต่างของความดันไอน้อยจะช่วยลดการเหี่ยวแห้งของผลผลิตสดได้ ช.ณิภูริศิริ, (2526) กล่าวว่า การเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้การระเหยน้ำน้อยลง ถ้าผลผลิตสูญเสียน้ำหนักเพียง 5 % คุณภาพในการขายจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำของผลผลิตขณะเก็บรักษาได้แก่ ภาชนะบรรจุ การใช้สารเคลือบผิวและการควบคุมอุณหภูมิ

2.2.1.2 การควบคุมการหายใจ การหายใจนั้นเป็นกระบวนการย่อยสลายอาหารสะสมจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดน้อยที่สุด การควบคุมบรรยากาศนับว่าให้ผลดีโดยการเสริมกับวิธีให้ความเย็น การระบายอากาศเป็นผลทางอ้อมต่อการควบคุมการหายใจ โดยทั่วไปความร้อนที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืชจะสะสมมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางของห้องเก็บ ถ้าไม่มีการระบายความร้อนออกไปจะทำให้พืชมีอัตราการหายใจสูงขึ้น การหายใจเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาผลผลิต ฉะนั้นปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการหายใจจึงมีผลต่ออายุการใช้ประโยชน์ของผลผลิตสดด้วย

2.2.1.3 การควบคุมกระบวนการต่างๆของพืชที่ไม่ต้องการ คือลดอัตราการทำงานของกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ดังนั้นกระบวนการต่างๆจึงจำเป็นต้องควบคุมให้ถูกต้องด้วย กระบวนการต่างๆเหล่านี้คือ (จิรา, 2534)

2.2.1.3.1 การงอกหรือการแตกหน่อ หอม จิง กระเทียม มันฝรั่ง เมื่อเก็บรักษามักเกิดการงอกซึ่งเป็นการนำอาหารสะสมไปใช้ในการงอก ทำให้คุณภาพของพืชที่มนุษย์ใช้มีคุณภาพเลวลง

2.2.1.3.2 การบิดตัวของโครงสร้าง หน่อไม้ฝรั่ง แครอท หัวผักกาดแดง และกะหล่ำปลี จะเกิดการบิดตัวออกในการเก็บรักษา



2.2.1.3.3 การเกิดราก พืชหัวมักจะเกิดรากในการเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นสูง เป็นผลให้หัวเหี่ยว ปริมาณอาหารสำรองที่เก็บไว้ไถ่ลง หัวเน่าเสียมาก

2.2.1.3.4 การเกิดเป็นสีเขียว มันฝรั่งที่ถูกแสงมากในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้ผิวเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีเขียว เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสารพวก Solanineซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพิษต่อผู้บริโภค

2.2.1.3.5 การเกิดลักษณะเหนียวกระด้าง ถั่วและข้าวโพด จะเหนียวขึ้นเมื่อเก็บไว้นานทั้งนี้เพราะเกิดการยึดตัวของเนื้อเยื่อฟองน้ำ (Spongy Tissue)

2.2.1.3.6 การเกิดลักษณะผิดปกติ พืชบางชนิดเมื่อได้รับแรงโน้มถ่วงหรือแรงดึงหรือแสงอาจทำให้ผลิตผลงอตัว ทำให้มีรูปร่างไม่แน่นอนผิดปกติ ยากต่อการบรรจุทำให้ราคาตกได้

2.2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ต่างๆ ไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม ควรจะคำนึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีคุณภาพดีและยาวนาน โดยทั่วไปไม่ควรเก็บรักษาผักและผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิตำหนือจุดเยือกแข็งแต่ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ พวกที่มีถิ่นกำเนิดมาจากเขตร้อน เช่น กะหล่ำดอก บรอกโคลี ถั่วลันเตา ผักกาดขาวปลี แอปเปิล สลัด ท้อ สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น ควรเก็บไว้ในที่เหนือจุดเยือกแข็ง แต่ผักและผลไม้ที่มีเขตกำเนิดมาจากเขตร้อน เช่น มะเขือ ถั่วฝักยาว พริก แตงกวา มะม่วง ทุเรียน เป็นต้น ควรเก็บไว้ในช่วง 10-13 องศาเซลเซียส ถ้าเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ จะเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ทำให้ผักและผลไม้มีอาการเก็บสั่นเพราะเกิดการเน่า สีของผิวผิดปกติ การสุกที่ผิดปกติ การประทุงเชิงวิชาการ (2530) กล่าวว่า การเก็บรักษาที่ดีต้องมีอุณหภูมิที่คงที่ ไม่ควรแปรผันเกิน 1 องศาฟาเรนไฮต์ การที่อุณหภูมิขึ้นๆ ลงๆ จะทำให้เกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำเป็นไอน้ำเกาะอยู่บนผิวผักและผลไม้ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตง่าย การเก็บรักษาผลิตผลในอุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเนื่องจาก อุณหภูมิต่ำจะลดกระบวนการต่างๆ ภายในพืชให้ช้าลง ทำให้อาหารสะสมภายในพืชถูกทำลายช้าลง ในพืชบางชนิดจะมีอัตราการเผาผลาญน้ำตาลที่สะสมไว้อย่างรวดเร็ว เช่น ข้าวโพด หน่อไม้ฝรั่ง ฉะนั้นการลดอุณหภูมิจะช่วยลดการเผาผลาญน้ำตาลในผลิตผลทำให้คุณภาพของผลิตผลเสื่อมช้าลง (จิรา, 2534) และนอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังช่วยลดหรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับพืช

2.2.2.2 ความชื้น ความชื้นของห้องที่เก็บรักษาหรือของห้องเย็นมีความสำคัญต่อผักและผลไม้ในแง่ของการสูญเสียน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วความชื้นในห้องเก็บรักษาควรจะสูง การสูญเสียน้ำหนักของผักผลไม้มีน้อย เพราะผักผลไม้ที่นำไปเก็บรักษาจะคายน้ำได้น้อย ทำให้ผักและผลไม้สดอยู่เสมอไม่เหี่ยว แต่มีข้อเสียอยู่ก็จะทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีและทำให้เกิดการเน่าเสีย

ความชื้นในห้องเก็บรักษาไม่ควรสูงมากเกินไปจนกระทั่งรวมตัวจับกันเป็นน้ำสะสมอยู่ตามผนังห้องเก็บรักษา ภาชนะที่บรรจุ หรือบนผิวของผักและผลไม้

2.2.2.3 การหมุนเวียนอากาศภายในห้องเย็น ต้องมีการหมุนเวียนอยู่อย่างสม่ำเสมอเพราะถ้าอากาศหมุนเวียนไม่ดีอาจทำให้จุดต่างๆ ภายในห้องมีอุณหภูมิแตกต่างกันเนื่องจาก Vital heat ที่คายออกมาแตกต่างกัน เครื่องทำความเย็นและพัดลมควรอยู่กลางห้อง เพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ทั่วห้องและกระจายไปตามแนวของผลผลิตและหมุนเวียนกลับไป-มาได้ ซึ่งขึ้นกับการเรียงหีบห่อหรือภาชนะบรรจุ ควรวางให้เป็นระเบียบ มีช่องว่างให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก (การประชุมเชิงวิชาการ, 2530)

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

2.2.2.5 สภาพของผลผลิต พืชผักผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตทั้งอยู่บนดินและหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลผลิตที่เก็บรักษาควรจะมีคุณภาพดีตั้งแต่ก่อนเก็บรักษา เป็นไปไม่ได้ที่จะนำผลผลิตที่มีคุณภาพไม่ดีมาเก็บรักษานแล้วมีคุณภาพดีขึ้น โดยทั่วไปการเก็บรักษาจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพต่ำลงหรือมีคุณภาพดีใกล้เคียงกับคุณภาพก่อนเก็บรักษาเท่านั้น ฉะนั้นการเก็บรักษาผลผลิตจึงควรเก็บเฉพาะผลผลิตที่มีคุณภาพดี

2.2.1 การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้ความเย็น (Refrigeration technology) ในการรักษาคุณภาพ, ถนอมความสด และยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ชนิดต่างๆ หลังการเก็บเกี่ยว จำเป็นจะต้องกระทำต่อเนื่องทุกขั้นตอน ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวพืชผลจากไร่หรือสวน, การบรรจุ, การลำเลียง, ขนส่ง และการเก็บเกี่ยวในห้องเย็น จนสู่ตลาดปลายทาง ไม่ให้ขาดตอนจึงจะมีประสิทธิภาพสมบูรณ์ (จิรา, 2534)

ความเย็นที่ใช้นี้เป็นประเภทใช้อุณหภูมิต่ำ (Low temperature) เหนือจุดเยือกแข็งของน้ำคือสูงกว่า 0°C เพื่อชะลอการเน่าเสีย, สุก, เนื่องจากทางสรีระวิทยา (Physiological effect), การหายใจ (Respiration), ทางจุลชีพ (Microbial), การทำลายของแมลง (Insect infestation) และอื่นๆ โดยเฉพาะการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest loss) ที่เกิดจากความร้อนสะสม (Field heat) ระอุอยู่ภายในพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เน่าเสียที่แกนกลางและเปลือกในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งการสูญเสียนี้มีถึงร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 80 ในประเทศเขตร้อน (ประพันธ์, 2526)

ความร้อนที่สะสมที่อยู่ในตัวพืชหลังการเก็บเกี่ยว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ลดลงซึ่งก็คือ การหายใจของพืชผัก, การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส, การสูญเสียวิตามิน C และ E หรือการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็จะลดลงด้วย สิ่งเหล่านี้จะเรียกว่า ครรชนของสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (Temperature quotient, Q_{10})

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

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

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 (สาขชล, 2528)

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

อัตราปฏิกิริยาเคมีของสิ่งที่มีชีวิตส่วนมากที่วัดในช่วงอุณหภูมิ 5-40 องศาเซลเซียส จะเพิ่มเป็น 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} และอัตราการหายใจของผักผลไม้ต่างๆ ไปจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชและอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงไม่ได้หมายความว่าอัตราการหายใจจะมีค่าสูง อุณหภูมิที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียสจะทำให้เอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการหายใจของพืชสูญเสียคุณสมบัติ เนื่องจากโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของเอนไซม์ถูกเปลี่ยนแปลงไปและจะทำให้อัตราปฏิกิริยาเคมีลดลง เอนไซม์หลายชนิดยังสามารถทำหน้าที่ได้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แต่ส่วนมากจะสูญเสียคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในระยะแรกที่อุณหภูมิสูง Q_{10} อาจจะมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วและในที่สุด Q_{10} จะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

ปี พ.ศ. 2530 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง ($29-30 ^\circ\text{C}$) และห้องเย็น $5 ^\circ\text{C}$ และ $7 ^\circ\text{C}$ 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 เพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการทำให้กระบวนการต่าง ๆ ทางชีวช้าลง และยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ กระบวนการทางสรีระของผลไม้เกือบทั้งหมดจะได้รับอันตรายที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่เกิดอันตรายสำหรับผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่เกิดอันตรายกับผลไม้เมืองหนาว เช่น แอปเปิล ท้อ และพลัม คืออยู่ในช่วงระหว่าง 0-4 องศาเซลเซียส สำหรับผลไม้ในเขตกึ่งร้อน เช่น ส้ม และอะโวคาโด มีอุณหภูมิต่ำไม่เกิดอันตรายอยู่ในช่วง 5-10 องศาเซลเซียส ผลไม้ในเขตร้อน เช่น กลัวย และมะม่วง มีอุณหภูมิต่ำไม่เกิดอันตรายอยู่ในช่วง 10-12 องศาเซลเซียส ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวขณะที่แก่ และยังคงิบอยู่ เช่น กลัวย อะโวคาโด มะเขือเทศ และมะม่วง จะมีการสุกที่ผิดปกติหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งระยะหนึ่ง

การเก็บรักษาผลไม้ประเภท Non-climacteric ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชลอการเสื่อมเสีย แต่การเก็บรักษาผลไม้ประเภท Climacteric ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชลอการสุก อุณหภูมิต่ำไม่เพียงแต่จะลดการสร้างเอทิลีนของผลไม้เท่านั้น แต่ยังลดการตอบสนองต่อเอทิลีนอีกด้วย ยิ่งอุณหภูมิต่ำมากการตอบสนองต่อเอทิลีน เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสุกจะต้องใช้เวลานานขึ้น (สาขชล, 2528)

2.3.1 การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

ผัก และผลไม้เป็นแหล่งของอาหารที่สำคัญของวิตามิน และเกลือแร่หลายชนิด สำหรับมนุษย์นอกเหนือไปจากอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต การสูญเสียคุณค่าทางอาหารบางส่วนในผัก และผลไม้จะเกิดขึ้นถ้าสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อของผัก และผลไม้ยังคงดำเนินอยู่ เช่น เติบโตขึ้นกับขณะที่ยังอยู่บนต้นเดิม แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง หรือต่ำเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่นำไปสู่การสลายตัวของพืชเร็วกว่าปกติ เอนไซม์ในเนื้อเยื่อของผัก และผลไม้มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผัก และผลไม้ การทำงานของเอนไซม์ส่วนมากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรอบ ๆ ผัก และผลไม้ขณะนั้นหลังการเก็บเกี่ยว

วิตามินซี (Ascorbic acid) เป็นคุณค่าทางอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายที่สุด เมื่อผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เนื้อเยื่อของพืชมีระบบเอนไซม์ออกซิเดส (Oxidase system) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์วิตามินซีไปเป็นสารอื่น อุณหภูมิสูงเกินไป หรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้เนื้อเยื่อของผัก และผลไม้เกิดอันตราย และเร่งการเกิดออกซิเดชันของวิตามินซี ทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้น

(สาขชล, 2528)

ผักกินใบโดยปกติแล้ว เก็บไว้ได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันการสูญเสียวิตามินซี การสูญเสียวิตามินซีในผักคะน้าที่อุณหภูมิ 10 และ 21 องศาเซลเซียสมีมากกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผักกินใบชนิดอื่น ๆ เช่น ปวยเล้ง กะหล่ำปลี รวมถึงบรอกโคลี การสูญเสียวิตามินซีของผักเหล่านี้เกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับผักคะน้า

อุณหภูมิต่ำโซ่จะสามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินในผัก และผลไม้ได้เสมอไป ผักและผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน และกึ่งร้อน เช่น มันเทศ แตงกวา มะเขือเทศ กหล่ำย มะม่วง อะโวคาโด และอื่น ๆ อีกหลายชนิดได้รับความเสียหาย เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง มันเทศเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน สูญเสียวิตามินซี 75 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเก็บรักษามันเทศไว้ที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส สูญเสียวิตามินซี 90 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาของการเก็บรักษาเท่ากัน (จิรา, 2534)

นอกจากจะมีการสูญเสียวิตามินซีแล้ว อุณหภูมิต่ำยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียกรดอินทรีย์บางตัวอีก โดบ Roy (1986) กล่าวว่า เมื่อเก็บพริกแดงไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน จะมีการสูญเสียกรด Oxalic และ Citric แต่ปริมาณของกรด Malonic, Fumaric, Malic และกรดอื่น ๆ จะเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 ความเสียหายเนื่องจากความเย็น (Chilling Injury)

อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Chilling temperature) สามารถทำให้ผัก และผลไม้ได้รับความเสียหายได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผัก และผลไม้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำนี้ถือว่าการผิดปกติทางสรีระอย่างหนึ่ง ผัก และผลไม้อาจจะถูกชักนำให้เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งได้ก่อน หรือหลังการเก็บเกี่ยว พืชส่วนมากที่เกิดอันตรายได้ง่ายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง มีถิ่นกำเนิดมาจากเขตร้อน หรือกึ่งร้อน เช่น มะเขือต่าง ๆ มะเขือเทศ พริกต่าง ๆ ถั่วแขก ถั่วฝักยาว กหล่ำย เงาะ ฝรั่ง มะม่วง และอะโวคาโด เป็นต้น

ในการเกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็น จะมีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 4 อย่างที่ควบคุมความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพืช คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ถูกอุณหภูมิต่ำ ความแก่ของพืช และชนิดของพืช

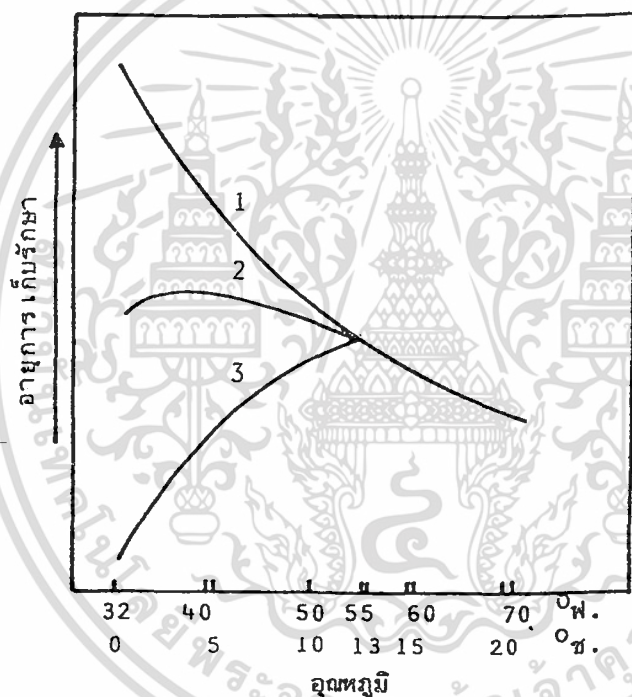
จิรา (2528) กล่าวว่า อุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งกับพืชทั่วไป คือประมาณ 50 องศาฟาเรนไฮต์ พืชบางชนิดอาจจะเกิดอันตรายที่อุณหภูมิ 55 องศาฟาเรนไฮต์ และพืชบางชนิดอาจจะเกิดอันตรายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาฟาเรนไฮต์ ยิ่งอุณหภูมิต่ำมากเท่าไร อันตรายก็ยิ่งจะเกิดเร็วขึ้นเท่านั้น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

ช.ณิรัฐศิริ (2526) กล่าวว่า ผลผลิตสุกจะเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าผลผลิตที่ยังไม่สุก ผลผลิตที่มีคุณภาพดีจะทนทานต่อความเย็นมากกว่าผลผลิตที่คุณภาพไม่ดี ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวเร็วไปจะเกิดความเสียหายไ้เร็วกว่าผลผลิตที่แก่จัด ดังตัวอย่างเช่น ถั่วฝักยาวพันธุ์ลาคาแดน ถ้าอยู่ในอุณหภูมิ 34 องศาฟาเรนไฮต์ เพียง 2 ชั่วโมง จะเกิดความเสียหายได้ ถ้าอุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮต์ จะเกิดความเสียหายเมื่อ 4 ชั่วโมงไปแล้ว ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาฟาเรนไฮต์ จะเกิดความเสียหายเมื่อ 36 ชั่วโมงไปแล้ว ถ้าเก็บรักษาผลที่สุกสามารถเก็บรักษาไว้ได้ 2-3 วัน ส่วนมะเขือเทศนั้น ถ้าเก็บรักษาผลขณะมีสีชมพูไว้ในอุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 6 วัน เมื่อนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 72 องศาฟาเรนไฮต์ ผลสุกที่ได้ดีโดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากความเย็น ถ้าเก็บรักษาผลก่อนสุกไว้ที่อุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 12 วัน ผลนั้นจะไม่มีรสชาติคุณภาพไม่ดี

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

ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง อาชุกการเก็บรักษา และอุณหภูมิ สามารถแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปที่ 2.3 เส้นหมายเลข 1 แทนพืชที่ไม่เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น กะหล่ำปลี ซึ่งอาชุกการเก็บรักษาจะนานที่สุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง เส้นหมายเลข 2 แทนพืชที่เกิดอันตรายเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งอาชุกการเก็บรักษาจะนานที่สุดเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 36 องศาฟาเรนไฮต์ และเส้นหมายเลข 3 แทนพืชที่เกิดอันตรายง่ายที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง ซึ่งพืชพวกนี้จะมีอาชุกการเก็บรักษานานที่สุด เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาฟาเรนไฮต์ พืชหลายชนิดที่เกิดความเสียหายปานกลางเนื่องจากอุณหภูมิ

ตำแหน่งจุดเยือกแข็งจะอยู่ระหว่างเส้นหมายเลข 2 และ 3 อายุการเก็บรักษาจะนานที่สุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 40-50 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บรักษากับอุณหภูมิของพืชที่มีความเสียหายแตกต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิตำแหน่งจุดเยือกแข็ง (1) ไม่เกิดความเสียหาย (2) เสียหายเล็กน้อย (3) เสียหายมาก (จาก สาขาชล 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็งมักจะไม่ค่อยแสดงอาการให้เห็นชัดเจนที่พืชอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ พืชจะแสดงอาการให้เห็นชัดเมื่อเคลื่อนย้ายไปยังอุณหภูมิสูงกว่า อาการของพืชที่ได้รับอันตราย และปรากฏให้เห็นอาจจะเป็นเพียงอย่างเดียว หรือ หลายอย่าง รวมกัน อาการเหล่านี้ได้แก่ (จิรา, 2534)

1. การเน่าเสีย ผัก และผลไม้ที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งจะเน่าเสียอย่างรวดเร็ว เพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำจะลดความต้านทานของเซลล์พืชที่มีต่อเชื้อโรค นอกจากนี้ที่อุณหภูมิต่ำยังป้องกันการสลายของเซลล์ในพืชหัวบางชนิด เช่น มันเทศ ทำให้มีโอกาสเกิดการเน่ามากขึ้น การเน่าของพืชที่ได้รับอันตรายมาจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งและจะลุกลามไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้อง เพราะเชื้อโรคเจริญได้ดีบนเนื้อเยื่อที่ตายแล้วหรือกำลังจะตาย

2. สีสันผิดปกติ เนื้อเยื่อของพืชที่มีสีผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งอาจเกิดขึ้นภายนอก เช่น ถั่ว ถั่วเขียว ถั่ว หรือเกิดขึ้นภายใน เช่น มะเขือเทศ จุดหรือบริเวณของเนื้อเยื่อพืชที่มีสีผิดปกติอาจจะเป็นสีน้ำตาล สีดำ หรือสีคล้ำลงกว่าเดิม เนื้อเยื่อของพืชที่มีสีผิดปกติจะเห็นเด่นชัดเมื่อพืชอยู่ที่อุณหภูมิต่ำหรือเคลื่อนย้ายจากอุณหภูมิต่ำไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่า ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของอันตรายที่พืชได้รับเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง

3. รอยไหม้ รอยไหม้ลึกลงไปจากผิวของเนื้อเยื่อพืช (Pitting) เป็นอาการที่พบโดยทั่วไปของพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง และมักเป็นอาการแรกของพืชที่แสดงออกให้เห็น ความรุนแรงของการเกิดรอยไหม้ของเนื้อเยื่อพืชขึ้นอยู่กับความรุนแรงของอันตรายของพืชที่ได้รับเนื่องจากอุณหภูมิต่ำและความชื้นในบรรยากาศ รอยไหม้จะเกิดขึ้นรุนแรงในสภาพที่มีความชื้นน้อยกว่าสภาพที่มีความชื้นมาก ในสภาพที่มีความชื้นน้อย เซลล์ของพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ จะสูญเสียความชื้นมากกว่าความชื้นที่ได้รับ เซลล์ของพืชที่ขาดน้ำจะแห้งและทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะของการทรงตัวหรือโครงสร้างเดิม และทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นเกิดรอยไหม้ เมื่อพืชได้รับอันตรายมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ รอยไหม้ของเนื้อเยื่ออาจจะรวมตัวกันมากและกลายเป็นรอยไหม้ตื้นๆของเนื้อเยื่อบริเวณกว้างความชื้นที่มากในอากาศจะลดหรือป้องกันการเกิดรอยไหม้ในพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำแต่ไม่ได้ป้องกันอันตรายของพืชเนื่องจากอุณหภูมิต่ำไม่ให้เกิดขึ้น

4. การสุกที่ผิดปกติ อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้ผลไม้หลายชนิดสุกไม่เป็นปกติ ที่เห็นชัดคือ มะเขือเทศและทุเรียน ผลมะเขือเทศดิบเมื่อได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เวลาสุกสีแดงจะเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผล การอ่อนตัวของผลจะถูกขลอให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ผลทุเรียนที่ยังไม่สุกเมื่อได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เวลามาบ่มให้สุกจะมีรสชาติที่ผิดปกติ

ข. ฉนิฐศิริ (2526) กล่าวว่า การควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็นสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น โดยค่อยๆ ลดอุณหภูมิลง จะทำให้ลดความเสียหายลงไปมาก สำหรับพืชพวก ไคลแมคทอริกที่จะเก็บในห้องเย็น แต่พืชพวกที่ไม่ใช่ ไคลแมคทอริกจะไม่ตอบสนองต่อวิธีการนี้ การควบคุมความชื้นจะสามารถช่วยป้องกันความเสียหายเนื่องจากความเย็นได้ โดยความชื้นในระดับต่ำจะทำให้เกิดความเสียหายได้มากเช่น ถ้าเก็บรักษากล้วยหอมทองไว้ที่อุณหภูมิ 50 °F จะเกิดความเสียหายได้ แต่ถ้าเอากล้วยนั้นไปใส่ถุงพอลิเอทิลีนก่อนจะไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการใส่ถุงทำให้อุณหภูมิในถุงสูงขึ้นและความชื้นก็สูงกว่าด้วย นอกจากนี้การให้วิธีเก็บรักษาแบบ Controlled Atmosphere ก็จะช่วยป้องกันความเสียหายเนื่องจากความเย็นได้ โดยมีการควบคุม C_2 ให้มีความเข้มข้น 7 %

Eliabou (1986) กล่าวว่า ในการลดการเกิด Chilling Injury ของพืชตระกูลส้มที่เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิต่ำ จะสามารถทำได้โดยการนำเอาพืชตระกูลส้มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 7 วันพืชจะมีการปล่อยสารที่ระเหยได้ออกมาและเก็บสะสมไว้ แล้วจึงนำไปเก็บที่ 2 °C สารระเหยที่สะสมอยู่ในพืชจะเป็นตัวป้องกันการเกิด Chilling Injury ในขณะที่เก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งลักษณะของ Chilling Injury ในพืชตระกูลส้มจะมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาล ถ้ามีความเสียหายมากขึ้นจะทำให้เน่าเสียได้

2.4 คุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์สามารถอยู่ได้ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยของแข็งจะถูกเก็บอยู่ที่บรรยากาศปกติ โดยจะมีอุณหภูมิของตัวมันเองประมาณ -78 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะถูกเก็บอยู่ที่บรรยากาศที่มีความดันประมาณ 18 เท่าของบรรยากาศ โดยจะมีอุณหภูมิของตัวมันเองประมาณ -25 องศาเซลเซียส สำหรับแก๊สได้มาจากการเก็บของเหลวในภาชนะทนความดันที่ประมาณ 80 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนไดออกไซด์จะแสดงในตารางที่ 2.3 และการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างน้ำแข็งแห้ง (Solid Carbon Dioxide) กับ น้ำแข็ง (Ice) จะแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 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

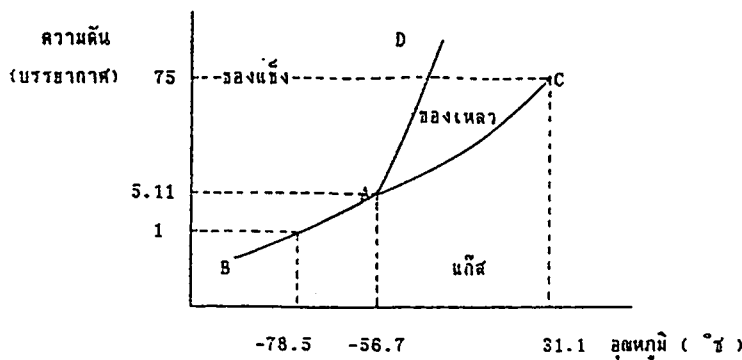
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ระหว่าง น้ำแข็งแห้ง กับ น้ำแข็ง

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 โดยของเหลวเกือบทุกชนิดจะมีการลดปริมาณลงเมื่อมีการเยือกแข็ง ที่ความดันต่ำกว่า 5.11 บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของแข็ง (น้ำแข็งแห้ง) จะระเหิดไปเป็นแก๊ส เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้อุ่นหรือร้อนขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติของสสารที่ใช้ประโยชน์ในการเป็นสารทำความเย็น



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงสมดุลวัฏภาคของระบบคาร์บอนไดออกไซด์ (จาก ศิริวรรณ, 2533)

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสัมผัสกับตัวคนจะ **ไม่เป็นอันตราย** แต่ควรระมัดระวังเรื่องการหายใจไม่ออกเนื่องจากขาดออกซิเจน อาจเกิดอาการเป็นลมหมดสติหากได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มาก แต่สำหรับน้ำแข็งแห้งไม่ควรจับต้องด้วยมือเปล่าเนื่องจากมีความเย็นจัดทำให้ความร้อนทั้งหมดในร่างกายจะวิ่งไปที่จุดจุดเดียวบนมือ เกิดความร้อนจัดทำให้ไหม้ (Burn) ได้ (Arora, 1989)

องค์การคุ้มครองเพื่อความปลอดภัยและสุขภาพของสหรัฐอเมริกา (U.S. Occupation Safety and Health Administration หรือ OSHA) ได้กำหนดขีดจำกัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศภายในโรงงานหรือสถานที่ปฏิบัติงานไว้ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 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 การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

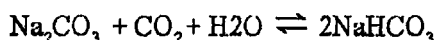
ถึงแม้ว่าแหล่งกำเนิดของคาร์บอนไดออกไซด์จะมีมากมายแต่จะมี 4 แหล่งที่สำคัญที่สุดในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ในเชิงพาณิชย์ดังนี้

- 1. สิ่งที่ได้จากการสังเคราะห์แก๊สในการผลิตแอมโมเนีย
- 2. สิ่งที่ได้จากผลพลอยได้ในการผลิต SNG
- 3. สิ่งที่ได้จากการผลิตเอทานอลโดยการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สิ่งที่ได้จากสิ่งที้ออกมาจากธรรมชาติ

ในระบบการดูดซับจะให้ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ และในทุกๆ วิธีจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ในทางปฏิบัติการทางเคมีหลายอย่างสำหรับการนำเอาสิ่งปนเปื้อนที่ไม่บริสุทธิ์หนึ่งในปฏิกิริยาสำหรับการทำความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์คือ



จากปฏิกิริยานี้จะเกิดมีผลกับทางขวา โดยการเพิ่มขึ้นของแรงดันของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการลดอุณหภูมิลง และจะมีผลกับทางด้านซ้ายโดยการให้ความร้อนของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต การดูดซับของคาร์บอนไดออกไซด์ 10-18 เปอร์เซ็นต์จะไม่ค่อยดี และส่วนอื่นๆ จะเกิดการย้อนกลับของสารละลายที่ร้อน ความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตและโมโนเอทานอลลาไมด์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในการทำงานของระบบบอยเลอร์ที่ต้องการไอน้ำในทางปฏิบัติในอุตสาหกรรมการผลิตจะแสดงถึงหลักการและวิธีการทำคาร์บอนไดออกไซด์ดังนี้ (Austin, 1986)

1. น้ำมัน แก๊สธรรมชาติหรือถ่านหิน ถูกให้ความร้อน ไอน้ำ 1380 kPa และให้มี คาร์บอนไดออกไซด์ที่ 345 องศาเซลเซียส 10-15 เปอร์เซ็นต์

2. ทำให้แก๊สเย็นและบริสุทธิ์ โดยผ่านไปที่ Water scrubber 2 ตัว

3. คาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำกลับไปดูดซับโดยผ่านเข้าไปในสารละลายเอทานอลลาไมด์

4. สารละลายคาร์บอนไดออกไซด์-เอทานอลลาไมด์ จะถูกปั๊มส่งไปที่ Steam heated reactivator

5. คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำจะถูกนำออกจาก Reactivator และผ่านไปยัง CO₂ cooler เพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นไอน้ำเข้มข้น แล้วนำกลับไปยังทาวเวอร์

6. คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 200 kPa จะถูกทำให้บริสุทธิ์จาก H₂S และ Amines ในเปอร์เมกานาตสคริบเบอร์ แล้วจะถูกทำให้แห้ง

7. คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเพิ่มแรงดันทำให้เย็น และทำให้เป็นของเหลว

สำหรับการผลิตน้ำแข็งแห้งนั้นจะผลิตโดยนำคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่มีความดัน 18 เท่าของบรรยากาศ และมีอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส มาให้ความดัน 2500 lb/in² โดยใช้แรงอัดไฮดรอลิกเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ความดันบรรยากาศปกติ คาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และผ่านเข้าเครื่องอัดให้รวมเป็นก้อน ซึ่งมีขนาด 20x20x10 นิ้ว น้ำหนัก 200 ปอนด์ (Mcketts, 1993) แล้วจะตัดแบ่งออกเป็นขนาด 10 ลูกบาศก์นิ้วเพื่อจำหน่ายต่อไป

โดยทั่วไปแล้วคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกแบ่งออกเป็น 3 เกรดตามความบริสุทธิ์ของคาร์บอนไดออกไซด์อันได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์เกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ที่เรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน ซึ่งการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดนี้จะขนส่งโดยใช้รถบรรทุก รถไฟ หรือส่งผ่านท่อส่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกรดนี้มีความบริสุทธิ์ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ใช้ไม่ได้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากในอุตสาหกรรมประเภทนี้อาจมีการปนเปื้อนเจือปนอยู่เพียง 1 ส่วนในล้านส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ ก็สามารถที่จะทำลายส่วนต่างๆ ของชิ้นส่วนได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีประสิทธิภาพตามต้องการ ดังนั้นงานประเภทนี้จึงต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์ความบริสุทธิ์สูง มีความบริสุทธิ์ถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ สามารถจะวัดปริมาณสิ่งเจือปนในหน่วย (ppb) จำนวนส่วนในพันล้านส่วนได้ เกรดสุดท้ายได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่จำกัดปริมาณสารปนเปื้อน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ ในขั้นตอนการขุดเจาะน้ำมันหลังจากพบชั้นหินที่เป็นแอ่งกักเก็บน้ำมัน แล้วจะทำการขุดเจาะและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อสูบน้ำมันขึ้นมาจากบ่อขุดเจาะนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกฉีดลงไปตามรอยแตกของชั้นหินที่บริเวณแหล่งน้ำมัน เป็นการเพิ่มปริมาณน้ำมันและแก๊สธรรมชาติที่ทำการขุดเจาะ (รวิวรรณ, 2537)

2.4.3 ประโยชน์ของคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ใช้ในการควบคุมความเป็นกรด่างในอุตสาหกรรมกระดาษเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในขบวนการอบรมควันเพื่อการฆ่าแมลง ใช้เป็นสารปรับพีเอชในน้ำทิ้งหรือน้ำที่ออกมาหลังจากการบำบัดแล้ว รวมทั้งใช้เป็นตัวส่งผ่านความเย็นในระบบทำความเย็น ซึ่งมีแนวโน้มสูงที่จะนำมาใช้แทนระบบทำความเย็นแบบเชิงกล (Mechanical Refrigeration)

- ขบวนการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการทำความสะอาดและขบวนการสกัดสารที่อุณหภูมิ 90 องศาฟาเรนไฮต์ ความดัน 1,100 psi จะอยู่ในสภาพวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีจึงถูกเรียกว่าของไหลซูเปอร์คริติคอล (Supercritical fluid) เป็นของไหลที่มีความหนืดและความหนาแน่นต่ำที่มีอัตราการแพร่กระจายสูงกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่เคยใช้ในกระบวนการสกัดซูเปอร์คริติคอล คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ในขบวนการสกัดเพื่อนำสารที่ต้องการออกมาหรือสกัดเพื่อกำจัดสารปนเปื้อน ซึ่งในแต่ละจุดประสงค์และชนิดของสารที่ใช้ต้องการสกัดออกมาจะมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมแตกต่างกันออกไป

ประโยชน์อย่างหนึ่งของซูเปอร์คริติคอลคาร์บอนไดออกไซด์ก็นำไปใช้ในขบวนการทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกปนเปื้อนออกจากชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งวิธีนี้ต้องทำในภาชนะปิด (Sealed vessel) ภายในชิ้นส่วนที่ต้องการทำความสะอาด

และใส่ฟลูเปอรฺคริตีคอลคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 1,100 psi หรือมากกว่าจนท่วมขึ้นส่วนอุปกรณ์เหล่านั้นเปิดวาล์วระบบคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาซึ่งถูกรวบรวมเพื่อทิ้งหรือทำลายต่อไป ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถส่งเข้าเครื่องแยกซึ่งจะเป็นเครื่องแยกชนิด ไนน์ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะประยุกต์ใช้ในขบวนการทำอะไร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกแยกออกมาสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (รวิวรรณ, 2537)

- คาร์บอนไดออกไซด์ควบคุมค่า pH

คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ในการปรับ pH ของน้ำทิ้งหรือน้ำหลังจากการบำบัดแล้วมีค่าอัลคาไลน์สูง (Alkaline Effluent Steam) ซึ่งน้ำมีค่าความเป็นเบสหรือค่าสูงหรือค่า pH อยู่ในช่วง 12-13 เมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนเนตไฮโดรเจนอออนอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรออกไซด์จึงเป็นการลด pH และไบคาร์บอเนตจะมีเหมือนสารละลายบัฟเฟอร์โดยธรรมชาติและทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลทำให้สารละลายไม่เกิดการตกตะกอนไปจนมีฤทธิ์กัดกร่อน

คาร์บอนไดออกไซด์มีประโยชน์มากในการควบคุม pH อีกทั้งยังมี

คุณสมบัติดีกว่าสารเคมีซึ่งเคยนิยมใช้กันมา เช่นกรดซัลฟูริก เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ปลอดภัยกว่าและมีราคาถูกกว่ากรดซัลฟูริก คาร์บอนไดออกไซด์สามารถใช้แทนกรดซัลฟูริกได้ในปริมาณที่เท่ากันกล่าวคือ ถ้าเดิมใช้กรดซัลฟูริก 1 ปอนด์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้คาร์บอนไดออกไซด์ราคาจะถูกกว่าและจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดทิ้งและการจัดเก็บ ส่วนกรดซัลฟูริกนั้นการกำจัดทิ้งและการจัดเก็บจะต้องมีความปลอดภัยมากกว่า ดังนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่านอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ยังถูกใช้ในการควบคุม pH และ Activated Sludge อีกด้วย เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Microorganism) ซึ่งจะจับกันเป็นตะกอนชั้นใหญ่ ๆ สีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า Sludge และคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่ทำลายหรือทำให้ตกตะกอนเหล่านั้นแตกออก ซึ่งแต่เดิมใช้กรดซัลฟูริกในการควบคุม pH แต่พบปัญหาการเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและการทำลายตะกอน

- คาร์บอนไดออกไซด์ใช้อบ-รมทวันฆ่าแมลง

คาร์บอนไดออกไซด์มีประโยชน์ในการใช้เป็นสารฆ่าแมลงเหมือนกับฟอสฟีน (Phosphin) หรือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) แมลงจะไม่สามารถพัฒนาระบบภายในตัวมันเพื่อดำเนินคาร์บอนไดออกไซด์ได้ อีกทั้งอากาศก็ไม่เป็นพิษและไม่จำเป็นที่จะต้องใช้การกำจัดแบบพิเศษ

ในระบบนี้คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเก็บไว้ในรูปของเหลวที่

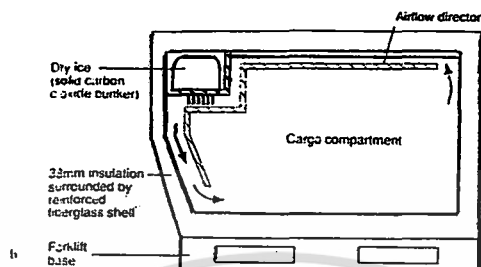
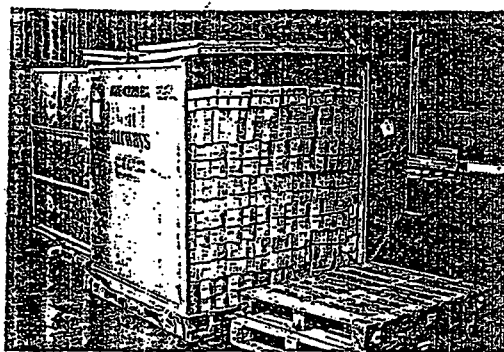
0 องศาฟาเรนไฮท์ และจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซโดยผ่านเครื่องระเหยทำให้เป็นไอ (Vaporizer) และจะถูกส่งผ่านไปยังตัวกรองและวาล์วควบคุมความดันโดยก๊าซจะถูกลดความดันลงประมาณ 10 psi ซึ่งพอเพียงที่จะเป็นแรงผลักดันให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมากทำให้มันสามารถซึมผ่านเข้าไปในส่วนต่างๆ ของถังเก็บเมล็ดพืช โดยที่ภายในถังมีปริมาณ

คาร์บอนไดออกไซด์เพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 4 วัน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.15 ถึง 0.20 ปอนด์ต่อ 8 แกลลอน ของเมล็ดพืช

- คาร์บอนไดออกไซด์ใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็น

การขนส่งอาหารเย็นและอาหารแช่แข็ง โดยใช้รถไฟหรือรถพ่วงที่ติดตั้งระบบทำความเย็น (In-transit Refrigeration) ซึ่งเรียกว่า รีเฟอร์ (Reefer) คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้แทนระบบทำความเย็นเชิงกล ที่ยังคงใช้สาร CFC และสาร HCFC ซึ่งข้อมาจากคำเตือนว่า Hydro chloro Fluoro Carbon เป็นสารทำความเย็นซึ่งระบบนี้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากก๊าซพิษซึ่งเป็นสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) จากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อให้พลังงานแก่ระบบ นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงอีกด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบขนส่งแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย สามารถควบคุมทำให้การลดอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการเร็วกว่าระบบเดิมทำให้ต้นทุนต่ำกว่าระบบเชิงกลมากกว่า 2 เท่า การใช้รถไฟในการขนส่งอาหารแช่แข็ง ความจุสูงสุดคือ 6.854 ลูกบาศก์ฟุต เมื่อเปรียบเทียบกับรถพ่วงที่ใช้รถไฟหรือที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบเก่าคือ แบบเชิงกลจากการทดลองขนส่งจากรัฐวอชิงตันถึงนิวยอร์กพบว่ารถไฟที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแช่แข็งสามารถประหยัดค่าขนส่งได้ประมาณ 2,200 ดอลลาร์ ในแต่ละเที่ยว อาหารแช่แข็งจะถูกฉีดเข้าไปในช่องว่างด้านบนหลังคา (Overhead Banker) ที่ความดัน 300 psi คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ถูกฉีดเข้าไปจะขยายตัวผสมกับอากาศภายในอยู่ในรูปของก๊าซผสม และจะพบคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของของแข็งที่เรียกว่าสโนว์ (Snow) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมทำให้เกิดความเย็นสำหรับการแช่แข็งได้มากกว่า 7 ถึง 20 วัน

ในการขนส่งทางอากาศ ผักและผลไม้สดจะถูกบรรจุลงในภาชนะบรรจุแล้วนำไปวางเรียงในตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งจะมีการทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง ในช่วงระหว่างขนส่ง โดยจะมีการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์เป็นลักษณะเฉพาะ (พัดลมเป่าผ่านน้ำแข็งแห้ง) แล้วจึงผ่านเข้าไปในบริเวณที่เก็บผลผลิต โดยน้ำแข็งแห้ง 57 กิโลกรัม จะอยู่คนละส่วนกับบริเวณที่เก็บผลผลิตจะไม่มีส่วนใดในการเคลื่อนที่ การทำความเย็นจะเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของอากาศที่หมุนเวียน (Thompson, 1996) ดังจะแสดงภาพของตู้คอนเทนเนอร์ใน รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 (a) แสดงตัวอย่างของตู้ Container, (b) ผังแสดงส่วนของการควบคุมสภาพบรรยากาศของตู้ Container แบบ Airfreight (จาก Thompson, 1996)

- การใช้คาร์บอน ไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแห้งในการลดอุณหภูมิล่วงหน้า

(Precooling) จะเป็นวิธีการทำให้เย็น โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกล (Cryogenics)

น้ำแข็งแห้งมีความร้อนแฝงในการระเหิดเป็นไอจำนวน 137 กิโลแคลอรี ต่อ 1 กิโลกรัมมีอุณหภูมิ -38.9°C คูณด้วยความร้อนไป มีพลังทำความเย็นคิดเป็น 1.9 เท่าของน้ำแข็งธรรมดา ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Liquid carbondioxide) มีความร้อนแฝงในการระเหย 155.2 กิโลแคลอรี ต่อ 1 กิโลกรัมที่ -31°C อาศัยพลังความเย็นจากก๊าซนี้โดยการควบคุมปริมาณที่ระเหยออก จะทำให้อุณหภูมิลดต่ำตามความต้องการ วิธีนี้ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญประกอบกับการใช้เครื่องมือบางส่วนในการควบคุมทำให้ก๊าซยังสูงอยู่ในปัจจุบันแต่ในอนาคตจะมีผลประโยชน์อย่างมาก (วิบูลย์เกียรติ, 2526)

2.5 บทบาทที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ

2.5.1 ชลออัตราการหายใจของพืชโดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักผลไม้สดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดของพืช การชลออัตราการหายใจอาจได้ผลน้อย เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไป ในขณะที่ความเข้มข้นสูงเกินไปอาจทำให้เซลล์พืชเป็นอันตรายอันเป็นเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น แอปเปิ้ลจะทนก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่าสโตรเบอร์ การเก็บรักษาแอปเปิลจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงร้อยละ 3-5 ในขณะที่ใช้ถึงร้อยละ 15-20 สำหรับสโตรเบอร์

2.5.2. ขบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น Bacteriostatic หรือ Fungistatic คือการยับยั้งการเจริญเติบโตเท่านั้นไม่ได้ทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจะต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นอย่างน้อยร้อยละ 20

ณ. สมดุลในบรรยากาศพบว่าผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เป็นประเภทเลือกเฉพาะ (Selective Effect) ดังนี้คือ

- แบคทีเรียที่ชอบอากาศและเชื้อราทั่วไป ไม่สามารถเจริญเติบโตในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆ

- แบคทีเรียที่ชอบอากาศน้อยๆ (Slightly aerobic bacteria) เช่น Lactobacillus ยังคงเจริญเติบโตได้ดีในสถานะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆ

- แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาพที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria) พบว่าที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงๆ มิได้ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตบางกรณียังช่วยเร่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล่านี้ด้วย

- แบคทีเรียที่ไม่ชอบอากาศ (Anaerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ในสภาพไร้ออกซิเจนแต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10-20 แต่ถ้าเพิ่มก๊าซออกซิเจนเพียงเล็กน้อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล่านี้ได้บางชนิด

- ยีสต์ก่อนข้างทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี จึงพบการเจริญเติบโตของยีสต์ในสถานะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี ก็ต่อเมื่อเชื้อจุลินทรีย์เหล่านั้นอยู่ในช่วงการเตรียมพร้อมเพื่อแบ่งตัว (Lag phase) โดยจะทำให้ช่วงเวลานี้เพิ่มขึ้นเป็นผลให้การแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เป็นได้ช้ายิ่งขึ้น

2.5.3 สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมันและการละลายนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจึงสามารถสังเกตได้จากกรวยตัวของภาชนะบรรจุ เนื่องจากความดันภายในต่ำกว่าความดันบรรยากาศ นอกจากนี้หากการละลายสูงมากพอจะทำให้เกิดกลิ่นรสของกรดในผลิตภัณฑ์อาหารได้ จึงต้องจำกัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักผลไม้บางชนิดทนทานได้

Maximum CO ₂ level tolerated (%)	Common
2	apple, (golden delicious), apricot < artichoke, celery, Chinese cabbage, grape, pear, pepper sweet potato, tomato
5	apple (most cultivars), avocado, banana, Brussels sprouts, cabbage, carrot, cauliflower, cranberry, kivi, mango, nectarine, orange, papaya, pea, peach, pepper (chilli), plum, radish
10	asparagus, broccoli, cucumber, grapefruit, green bean, lemon, parsley, pineapple, potato
15	blackberry, blueberry, cantaloupe, cherry, corn (sweet), mushroom, raspberry, spinach, strawberry

ถึงแม้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีบทบาทที่สำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ก็ยังมิพละทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพบางลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าสถานะและระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เหมาะสม Holcroft et al. (1998) กล่าวว่า เมื่อเก็บรักษา Pomegranate ไว้ในสภาพบรรยากาศที่เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า Arils จากผล Pomegranates ที่เก็บไว้ในสภาพบรรยากาศที่เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPa จะมีระดับความเข้มข้นของ Anthocyanin ต่ำกว่าที่เก็บไว้ในสภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งระดับความเข้มข้นของ Anthocyanin จะมีความสัมพันธ์กับสีของ Arils ระดับความเข้มข้นของ Anthocyanin ที่ลดลงเกิดจากการยับยั้งปฏิกิริยา Biosynthesis ของ Anthocyanin ซึ่งเกี่ยวข้องกับความไวของเอนไซม์ Phenylalanine ammonia lyase ที่ถูกยับยั้งโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Holcroft et al. (1996) กล่าวว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อความเสถียรของ Anthocyanins ของสตอเบอรี่สดที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อเมมเบรนของพืชอีกด้วย Frenkel and Patterson (1974) กล่าวว่า การเก็บรักษา ถั่วพันธุ์ Barlett ที่อุณหภูมิ 0 °C โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 % จะทำให้ระบบการทำงานของเมมเบรนเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เสื่อมลงและทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัส

2.6 วัตถุประสงค์ของการใช้ก๊าซบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ

2.6.1 ชลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร

ปฏิกิริยาเคมีในอาหารที่สำคัญคือปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งเกิดขึ้นกับไขมันจะทำให้อาหารเหม็นหืน เมื่อเกิดกับวิตามินจะทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง หรือสีของอาหารลดลง หรือสีของอาหารซีดจางลงเป็นต้น การชลอหรือป้องกันการปฏิกิริยานี้จะต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนภายในบรรยากาศล้อมรอบอาหารออกไป

2.6.2 ชลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการสูญเสียคุณภาพอาหาร

สภาพบรรยากาศที่ไร้ออกซิเจนและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากจะช่วยชลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยทั่วไปใช้ได้ผลดีกับแบคทีเรียที่ชอบอากาศ (Aerobic Bacteria) และเชื้อรา (Mould) ส่วนยีสต์ (Yeast) นั้นไม่ค่อยเห็นผลเด่นชัด

2.6.3 ชลออัตราการหายใจของพืช

พืชจะหายใจช้าลงเมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศลดลง หรือความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้น เมื่อพืชหายใจช้าลงการเสื่อมเสียคุณภาพก็จะช้าลงด้วยโดยทั่วไปความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 1-3 มิฉะนั้นจะเกิดการหมัก (Fermentation) ทำให้พืชเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถ้าสูงเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อเซลล์พืชได้อัตราส่วนความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

2.6.4 ชลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตและการฟักไข่ของหนอน แมลงต่างๆที่อาจติดอยู่ในอาหาร ในสภาพไร้ก๊าซออกซิเจน หนอน ไข่หนอน และแมลงต่างๆไม่สามารถเจริญเติบโตได้

2.7 เทอร์โมสตัท

ในระบบการทำงานของระบบการทำความเย็นโดยอัตโนมัติตลอดเวลาที่ใช้งาน และควบคุมอุณหภูมิในการทำความเย็นตามระดับที่กำหนด วิธีควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการจึงมีการใช้เทอร์โมสตัท ซึ่งเป็นเครื่องมือควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ชนิดหนึ่ง ดังนั้นเครื่องนี้จึงมีตัวควบคุมที่เปลี่ยนไปจากอุณหภูมิที่ต้องการและส่งผลต่างๆไปยังเครื่องอีกตัวหนึ่งที่จะช่วยเปลี่ยนให้อุณหภูมิของตัวกลางเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการ เครื่องควบคุมที่เปลี่ยนไปอาจเป็นท่อบรรจุด้วยของเหลวแถบโลหะ 2 ชนิดประกบกัน หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยหลักการของเทอร์โมสตัทจะใช้หลักการที่ว่า ของเหลวทุกชนิดจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (เกษรา, 2525)

2.7.1 ประเภทของเทอร์โมสตัท

เทอร์โมสตัทที่ใช้ในระบบการทำความเย็นสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานมีอยู่ 3 ระบบคือ (ประจักษ์, 2533)

2.7.1.1 แบบกระเปาะ (Bulb bellow type) มีการทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของของเหลวหรือแก๊ส ทั้งแก๊สและของเหลวที่บรรจุอยู่ในกระเปาะซึ่งจะขยายตัวเมื่อถูกความร้อนและหดตัวเมื่อได้รับความเย็น ขณะที่สารที่บรรจุอยู่ในกระเปาะขยายตัวจะไหลผ่านท่อเล็กๆที่ต้องเข้าไปในเบลโล ทำให้ความดันในเบลโลเพิ่มขึ้นและขีดตัวออก เป็นผลให้หน้าสัมผัสของเทอร์โมสแตทต่อกัน และเมื่ออุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศต่ำลง สารซึ่งบรรจุภายในกระเปาะจะหดตัวลง เป็นผลให้ความดันในเบลโลลดลงและหดตัวทำให้หน้าสัมผัสของเทอร์โมสแตทแยกจากกัน

ในการควบคุมอุณหภูมินั้นจะมีปุ่มปรับจากภายนอก ภายในปุ่มควบคุมอุณหภูมิจะมีลักษณะเป็นลูกเบี้ยว ถ้าหมุนปรับทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นการเพิ่มแรงดันสปริงซึ่งต่อต้านกับแรงดันของแก๊สในเบลโล การเพิ่มแรงดันสปริงเท่ากับเป็นการเพิ่มความดันในเบลโลให้สูงขึ้นจะทำให้หน้าสัมผัสแยกออกซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิจุดตัดสูงขึ้นนั่นเอง ถ้าหมุนปรับตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการลดแรงดันสปริง ซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิจุดตัดให้ต่ำลงเป็นการปรับอุณหภูมิภายในให้เย็นจัด

2.7.1.2 แบบการขยายตัวของโลหะ 2 ชนิด (Bimetal type) เทอร์โมสแตทแบบนี้อาศัยหลักการที่ว่าโลหะทุกชนิดเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวและถ้าได้รับความเย็นจะเกิดการหดตัว สัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน เมื่อนำโลหะต่างชนิดมาติดกันแน่น ถ้าได้รับความร้อนโลหะที่ขยายตัวได้มากกว่าจะงอตัวไปยังด้านที่ขยายตัวน้อยกว่า

ในทางตรงกันข้ามถ้าได้รับความเย็น โลหะที่ขยายตัวได้น้อยกว่าจะงอตัวไปทางด้านที่หดตัวได้มากกว่า การงอตัวของโลหะต่างชนิดกันนี้ จะไปดันหน้าสัมผัสให้ปิดหรือเปิดการทำงานของเครื่อง สำหรับเทอร์โมสแตทแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีท่อเล็กๆและกระเปาะยื่นออกมา แต่ใช้ตัวของโลหะเองทำการตัด-ต่อหน้าสัมผัสของเทอร์โมสแตทโดยตรง สำหรับโลหะ 2 ชนิดนี้ ชนิดหนึ่งจะเรียกว่า อินวาร์ (Invar) ซึ่งเป็นโลหะผสมนิเกิลและเหล็กนิเกิลผสม 36% โลหะชนิดนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำมาก ส่วนอีกชนิดหนึ่งนั้นจะเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง, โครเมียม และเหล็กซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูง การที่แผ่นโลหะ 2 ชนิดนี้จะโค้งได้เร็วเท่าไหร่นั้นขึ้นกับความยาวที่เอามาประกบกัน และสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะผสมทั้ง 2 ชนิด สำหรับเทอร์โมสแตทแบบไบเมทอลสามารถแบ่งตามลักษณะได้ 3 แบบคือ (สมศักดิ์, 2533)

(a) แบบไบเมทอลชนิด (Spiral bimetal type) แผ่นไบเมทอลจะมีลักษณะเป็นขด เมื่ออุณหภูมิรอบๆเปลี่ยนก้านของหน้าสัมผัสจะเคลื่อนปิดหรือเปิดหน้าสัมผัส โดยการปรับคันโยกแรงดึงในขดไบเมทอลจะเปลี่ยน ยิ่งปรับให้อุณหภูมิสูงขึ้นแรงดึงจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่ออุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่ปรับตั้งเอาไว้ ขดไบเมทอลก็จะออกแรงดึงตามที่ปรับตั้งเอาไว้ด้วย เนื่องจากขดไบเมทอลโค้งอย่างซ้ำๆจึงมีประกายไฟเกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสให้หน้า



สัมผัสใหม่ได้ เพื่อให้หน้าสัมผัสเปิดและปิดอย่างทันทีจึงติดตั้งแม่เหล็กถาวรไว้หลังหน้าสัมผัส การปรับตั้งอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการปรับคันโยกสำหรับอุณหภูมิให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

(b) แบบแผ่นจาน (Disk type) ไบเมทัลแบบแผ่นจานมีไบเมทัลลักษณะเป็นแผ่นกลม เมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนไบเมทัลแบบนี้จะเปิดหรือปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับร็อบเปิดหรือปิด ไบเมทัลแบบจานถูกออกแบบให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และเมื่อแผ่นจานเปลี่ยนรูปหน้าสัมผัสจะเปิดและปิดอย่างทันทีทันใด การปรับตั้งอาจทำได้โดยการปรับสลักเกลียวซึ่งจะถูกปรับตั้งและทากาวยึดไว้กับที่ก่อนส่งออกจากโรงงาน

(c) แบบแผ่น (Plate type) แบบแผ่นเรียบเป็นแบบที่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน เป็นแบบที่ใช้ไบเมทัลลักษณะพื้นฐานมีลวดขดอยู่ในกล่องที่ปิดสนิท มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันขดลวดมอเตอร์เพื่อว่าเมื่อมอเตอร์ร้อนขึ้นลวดขดนี้เนื่องจากการทำงานเกินกำลังจะหยุดมอเตอร์ก่อนที่มอเตอร์จะไหม้

2.7.1.3 แบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือเทอร์มิสเตอร์ (Electronic type or thermistor) เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ ๆ ได้นำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้งานสำหรับการควบคุมหลายอย่าง โดยเฉพาะการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้เทอร์มิสเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์หรือเทอร์มิสเตอร์ ซึ่งจะอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์นี้เปลี่ยนแปลง

เทอร์มิสเตอร์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเป็นลบ (Negative resistance) เนื่องจากเทอร์มิสเตอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดีมาก จึงใช้เป็นตัวรับสัญญาณอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เทอร์มิสเตอร์จะรับสัญญาณได้ไวกว่าเทอร์มิสเตอร์แบบกระเปาะ สัญญาณที่รับได้นี้จะถูกส่งต่อเข้าภาคขยาย (Amplifier) ซึ่งจะเป็นวงจรควบคุมการตัดต่อหน้าสัมผัสของเทอร์มิสเตอร์แบบนี้ (ไพบูลย์, 2538)

2.7.2 การควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิทั้งของเหลวและอากาศมีใช้กันมากมายในโรงงานอุตสาหกรรมและในงานทั่วไป ห้องอบความร้อน ถังน้ำอุ่นหรือถังน้ำเย็น เป็นต้น

การควบคุมอุณหภูมินี้จะหมายถึงการควบคุมให้อุณหภูมิของของเหลวหรืออากาศที่อยู่ภายในภาชนะนั้นให้อุณหภูมิคงที่ๆ ค่าใดค่าหนึ่ง ไม่ว่าสภาวะภายนอกของภาชนะที่ใส่ที่ต้องการให้ควบคุมอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม (เกชา, 2525)

เทคนิคหรือการควบคุมอุณหภูมิที่พบบ่อยในอุตสาหกรรมไม่ว่าเป็นห้องอบความร้อนหรือถังใส่ของเหลว สามารถแบ่งได้กว้างๆ 2 วิธีคือ การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-off) และการควบคุมสม่ำเสมอแบบเป็นสัดส่วน (Proportional) ทั้ง 2 วิธีนี้อาศัยการป้อนกลับ (Feedback) ของ

สัญญาณมาควบคุมแต่วิธีการของแต่ละแบบนี้จะแตกต่างกันออกไปตามความแม่นยำของอุณหภูมิที่ใช้ควบคุม

2.7.2.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด หมายถึงการควบคุมให้อุณหภูมิที่จะควบคุมอยู่ใน “ช่วงใดช่วงหนึ่ง” เช่นเมื่ออุณหภูมิขึ้นถึงค่าสูงสุดที่ตั้งไว้ เครื่องทำความร้อนก็จะหยุดทำงาน ทำให้อุณหภูมิของของเหลวหรืออากาศที่จะควบคุมลดลงและเมื่ออุณหภูมิต่ำลงถึงอุณหภูมิต่ำสุดเครื่องก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง

2.7.2.2 การควบคุมสม่ำเสมอแบบเป็นสัดส่วน หมายถึงการควบคุมเครื่องให้ทำงานแปรผันไปตามอุณหภูมิของของเหลวหรืออากาศที่จะควบคุมอย่างสม่ำเสมอ เช่น ถ้าอุณหภูมิของห้องควบคุมความร้อนห้องหนึ่งลดจากที่ต้องการเรือยตัวทำความร้อนจะร้อนขึ้นเรื่อยๆ เหมือนกัน จนทำให้อุณหภูมิของห้องสูงขึ้นจนถึงที่ตั้งเอาไว้ใหม่ และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ต่อไป การควบคุมโดยวิธีนี้สามารถทำให้อุณหภูมิที่จะควบคุมใกล้เคียงกับที่ต้องการได้มาก

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่าการควบคุมอุณหภูมินั้นหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ค่าใดค่าหนึ่งอุณหภูมินี้ขึ้นโดยตรงกับงานที่จะให้ควบคุมอุณหภูมิ เช่น ถ้าต้องการน้ำให้มีอุณหภูมิเหลือ 10°C อุณหภูมิที่จะควบคุมก็จะอยู่ที่ 10°C หรือต้องการควบคุมอุณหภูมิห้องอบไข่อยู่ที่ 37.7°C อุณหภูมิที่จะควบคุมก็จะอยู่ที่ 37.7°C เป็นต้น ถ้ามองดูอย่างผิวเผินจะเห็นว่าตัวอย่างทั้ง 2 อย่างนี้เป็นการควบคุมอุณหภูมิเหมือนกัน แต่ถ้ามองให้ละเอียดลงไปอีกนิดก็จะเห็นว่าวิธีการทั้งสองอย่างนี้จะแตกต่างกันที่เครื่องและเครื่องมือที่จะนำมาทำการควบคุม แบบแรกจำเป็นต้องใช้เครื่องทำความเย็นเข้ามาทำให้น้ำเย็นตัวลง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่จะควบคุมอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ แต่แบบที่สอง จำเป็นต้องใช้ตัวทำความร้อนแทนทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่จะควบคุมอยู่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่า การควบคุมอุณหภูมิมียู่ 2 แบบคือ การควบคุมอุณหภูมิที่ร้อน และการควบคุมอุณหภูมิที่เย็น

2.8 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิคือเทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์แต่ละชนิดมีความละเอียดและลักษณะของการใช้งานที่แตกต่างกัน เซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$; Celcius, $^{\circ}\text{C}$) และฟาเรนไฮท์ ($^{\circ}\text{F}$; Fahrenheit, $^{\circ}\text{F}$) เป็นหน่วยที่ใช้วัดอุณหภูมิในทางวิทยาศาสตร์และในทางการค้าของผักและผลไม้ หน่วยเซลเซียสมีหลักการคืออาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของน้ำ อุณหภูมิที่ทำให้น้ำแข็งตัวคือ 0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทำให้น้ำเดือดคือ 100 องศาเซลเซียส (ที่ความดันปกติ) ฟาเรนไฮท์บันทึกอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 32 องศาฟาเรนไฮท์ และบันทึกอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำที่ 212 องศาฟาเรนไฮท์

2.8.1 ประเภทของเทอร์โมมิเตอร์

2.8.1.1 Liquid-in-glass-thermometer เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ใช้กันมากที่สุด มีหลักการโดยอาศัยการขยายตัวของของเหลวเมื่อถูกความร้อนและหดตัวเมื่อถูกความเย็น การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเหลวจะอ่านเป็นองศาของอุณหภูมิบนสเกลของเทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูก ใช้งานง่ายและอ่านง่าย แต่แตกง่าย จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการใช้ ของเหลวที่อยู่ในกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์คือปรอทและไวน์แอลกอฮอล์ (Vinyl alcohol) ซึ่งทำให้มีสีแดงเพื่อง่ายต่อการอ่าน เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้จะใช้วัดอุณหภูมิได้ไม่ถูกต้อง ถ้ามีการสร้างหรือการใช้ไม่ถูกต้อง เทอร์โมมิเตอร์ทุกอันที่ได้สร้างขึ้นจะต้องได้รับการตรวจสอบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิโดยการจุ่มลงไปในของเหลวหรือวางไว้ในอากาศที่ต้องการจะวัดอุณหภูมิ หลังจากที่ได้จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงไปของเหลวหรือวางเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในอากาศแล้ว ทหารจะต้องรอสักครู่หนึ่ง เพื่อให้เทอร์โมมิเตอร์เกิดความสมดุล แล้วจึงค่อยอ่านเทอร์โมมิเตอร์

2.8.1.2 Bourdon tube thermometer เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้สามารถวัดอุณหภูมิไกลออกไปได้ 2-3 เมตร ดังนั้นจึงใช้อ่านได้จากภายนอก เช่น ห้องเย็น เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยกระเปาะซึ่งเป็นตัวที่สัมผัสกับอุณหภูมิที่ต้องการจะวัดต่อเข้ากับ Bourdon tube โดยหลอดแก้วภายในกระเปาะและหลอดแก้วบรรจุด้วยของเหลว แก๊ส หรือไอที่อิ่มตัว ความดันของเหลวหรือแก๊สในกระเปาะและหลอดแก้วจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สัมผัส ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ Bourdon tube ซึ่งเชื่อมติดต่อกับเข็มที่เป็นตัวชี้อุณหภูมิ กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้สร้างด้วยวัสดุที่มีความร้อนเฉพาะต่ำและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี เช่น ทองแดง การตอบสนองของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะช้ากว่า Liquid-in-glass-thermometer เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ควรจะอ่านเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานทุกๆ ปี

2.8.1.3 Bimetallic thermometer เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยโลหะแผ่นบางๆ 2 ชนิด คือโลหะที่มีประสิทธิภาพการขยายตัวต่ำและสูง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นโลหะบางๆ นี้เนื่องจากการขยายตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การขยายตัวของแผ่นโลหะทั้งสองนี้จะส่งผลไปยังตัวชี้อุณหภูมิบนหน้าปัทม์ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้เปลี่ยนแปลงช้าต่อการตอบสนองอุณหภูมิ แต่มีความแข็งแรงและมีความสะดวกในการวัดอุณหภูมิภายในของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของเนื้อสัตว์ในเตาอบก็เป็นชนิดนี้เหมือนกัน วิธีใช้คือเสียบปลายเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในเนื้อของผักและผลไม้ เพื่อลดความผิดพลาดในการอ่านเนื่องจากการนำความร้อนของโลหะที่เป็นส่วนประกอบของเทอร์โมมิเตอร์ ควรจะเสียบปลายเทอร์โมมิเตอร์ให้ลึกเข้าไปในเนื้อของผักและผลไม้เป็น 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านเทอร์โมมิเตอร์

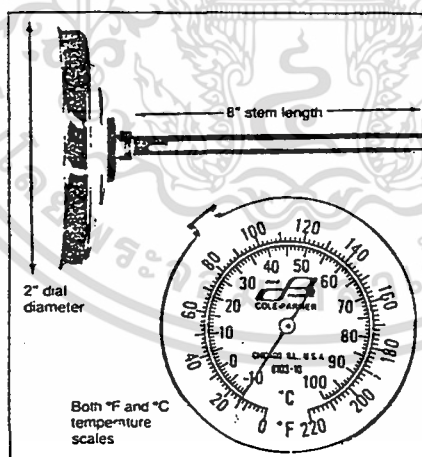
2.8.1.4 Thermocouple เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้มีความไวต่ออุณหภูมิมาก ประกอบด้วยแถบโลหะ 2 ชนิด ปลายข้างหนึ่งของแถบโลหะแต่ละชนิดต่อเข้าด้วยกัน โลหะทั้ง 2 ชนิดนี้ส่วน

มากใช้ทองแดงและ Constantan (ทองแดง 60 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 40 เปอร์เซ็นต์) รอยต่อของโลหะถูกทำให้มีอุณหภูมิระดับต่างๆ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, emf) จะเกิดขึ้นในโลหะทั้ง 2 ชนิดนี้ emf ขึ้นอยู่กับโลหะและความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อปลายของแถบโลหะ 2 ชนิดต่อเข้ากับ Galvanometer หรือ Potentiometer เพื่อวัด emf ถ้าปลายแถบโลหะที่ต่อกันข้างหนึ่งมีอุณหภูมิคงที่ โดยปกติแล้วคือที่ 0 องศาเซลเซียส ในน้ำแข็งที่ละลาย และปลายอีกข้างหนึ่งเป็นที่ใช้วัดอุณหภูมิในที่ต้องการจะวัด ค่าของ emf จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิประมาณ

39 microvolts ต่อ องศาเซลเซียส

ประโยชน์ของ Thermocouple คือสามารถใช้วัดอุณหภูมิและอ่านอุณหภูมิได้ไกลๆ จากสิ่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิ อุณหภูมิที่อ่านได้มีความใกล้เคียงกับความจริงมาก ส่วนที่เป็นตัววัดอุณหภูมิ (Probe) เล็กมากและไวต่อการตอบสนองของอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิสามารถอ่านได้จากเครื่องบันทึกอัตโนมัติหรือจากหน้าปัทมธรรมดา (รูปที่ 2.6) มักนิยมใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้บันทึกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องเย็นหรือรถบรรทุกห้องเย็น

2.8.1.5 Resistance thermometer (Thermister) เป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่มีประโยชน์หลายอย่าง คล้ายกับ Thermocouple สามารถใช้วัดและอ่านอุณหภูมิจากที่ไกลๆ อ่านได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริงและไม่ต้องมีส่วนของโลหะที่ต้องทำให้เย็นเหมือนกับ Thermocouple ส่วนที่ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิโดยตรง คือโลหะที่มีความไวต่ออุณหภูมิ โดยปกติใช้ Platinum เป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่แข็งแรงและทนทาน สามารถวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงแค่ 0.002 องศาเซลเซียส ได้



รูปที่ 2.6 เทอร์โมมิเตอร์ประเภท Thermocouple พร้อมด้วย Probe (จาก สายชล, 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.6 Thermograph เป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิและบันทึกไว้ได้หลายๆ วัน การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นโลหะบางๆ หรือขดลวดในการตอบสนองต่ออุณหภูมิจะถูกบันทึกลงไว้ตลอดเวลาบนแผ่นกระดาษ ซึ่งทำให้เคลื่อนที่โดยนาฬิกา มักนิยมใช้เทอร์โมมิเตอร์ประเภทนี้กับอุตสาหกรรมห้องเย็น Growth chamber หรือ Phytotron เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้จะต้องได้รับการตรวจสอบอยู่เป็นประจำ พร้อมทั้งการอ่านเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและการปรับตั้งเวลาและอุณหภูมิ

2.9 ฉนวนความร้อน

ฉนวนความร้อนเป็นวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยสะดวก ฉนวนความร้อนส่วนมากจะอาศัยหลักการที่ว่า อากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ดังนั้นฉนวนส่วนใหญ่จะมีอากาศแทรกอยู่มากมายในเนื้อวัสดุ อากาศเหล่านี้เกิดขึ้นได้โดยการอัดเส้นใยหรือเม็ดวัสดุเล็กๆ เข้าด้วยกันหรือเป็นช่องว่างเล็กๆ (Cell) ซึ่งเกิดจากเนื้อของวัสดุเองช่องว่างเหล่านี้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะต้านทานการไหลของอากาศภายในทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนโดยวิธีการพาผลลง การสูญเสียโดยการนำความร้อนของเนื้อวัสดุฉนวนน้อยลงเมื่อเนื้อฉนวนมีขนาดเล็ก หรือผนังช่องว่างบางๆ ทำให้มีระยะทางยาว และวกวนไปมาในเนื้อฉนวนมากขึ้น นอกจากนี้เนื้อวัสดุของฉนวนเองต้องมีการนำความร้อนต่ำ และมีสีทึบหรือสะท้อนแสง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสี

2.9.1 การเลือกชนิดของฉนวนให้เหมาะกับการใช้งาน

การเลือกชนิดของฉนวน ให้เหมาะสมกับการใช้งานและขั้นตอนการติดตั้งมีความสำคัญมากฉนวนชนิดที่อากาศแทรกซึมได้ทั่วฉนวนเมื่อนำไปหุ้มห่อหน้าความร้อนแล้ว ควรหาสารกันความชื้นป้องกันการผุกร่อนของห่อหน้าความร้อนมากเป็นพิเศษจำเป็นต้องใช้วัสดุกันความชื้นของฉนวน เป็นชนิดที่ทนต่อความชื้นได้ดี และต้องรัดแน่นกับเนื้อฉนวนตลอดจนการติดตั้งต้องระวังไม่ให้เกิดช่องว่างขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดความควบแน่นของความชื้นจะทำให้เกิดหยดน้ำและจะเกิดบนผิวฉนวนห่อหน้าความร้อนเป็นบริเวณแรกเมื่ออากาศมีความชื้นสูงขึ้น ถ้าใช้ฉนวนเซลล์ปิด ก็ควรคำนึงถึงลักษณะผิวฉนวน ต้องมีผิวที่หนาทั้งด้านในและด้านนอก วัสดุที่ใช้ทำฉนวนต้องมีความยืดหยุ่นพอควรเพื่อป้องกันการแตกหรือการหักขาดของผนังเซลล์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขณะที่ใช้งานรวมทั้งชนิดของก๊าซที่อยู่ภายในช่องว่างเล็กๆ ของฉนวน ถ้าเป็นก๊าซที่มีจุดเดือด หรือความดันไอต่ำอยู่ในช่วงของอุณหภูมิของน้ำเย็นกับสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซฟรอน ก๊าซที่มีจุดเดือดอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะเกิดการกลั่นตัวขึ้นทำให้ความดันของไอก๊าซในช่องว่างลดลง อากาศและความชื้นจากภายนอกจะแทรกซึมเข้าได้มากกว่าปกติ และที่ความหนาของฉนวนระดับหนึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของก๊าซทำให้เกิดการพาความร้อนเข้าสู่ห่อหน้าเย็นให้เร็วขึ้น ฉนวนที่ใช้ก๊าซเหล่านี้มักนิยมใช้กับห่อหน้า

ความร้อนที่อุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก (50-150 °C) เป็นส่วนใหญ่เพราะไม่มีผลต่อความดันไอของก๊าซในอุณหภูมิดังกล่าว ฉนวนเซลปิดที่ใช้กับท่อทำความเย็นในปัจจุบันใช้ฉนวนที่มีก๊าซอากาศแห้ง อาทิเช่น ก๊าซไนโตรเจน และการบอบไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แม้ว่ามีก๊าซหลายประเภทที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าอากาศแห้งก็ตาม แต่มีความดันไอต่ำหรือมีจุดเดือดอยู่ในช่วงใช้งาน (-40 – 30 °C) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น นอกจากนี้แล้วผนังของช่องว่างต้องมีความหนาที่เหมาะสม(โดยปกติความหนาอยู่ในช่วง 2 – 6 ไมครอน) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของฉนวนนั้น (ความหนาแน่นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4 – 6 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต) ความหนาแน่นที่ต่ำเกินไปผนังจะบางมากการซึมของความชื้นสูงตลอดจนการนิยกว่ายของผนังเซลล์ทำให้ค่าความเป็นฉนวนลดต่ำลง

2.9.2 โฟม

โฟม คือ วัตถุที่มีน้ำหนักเบาภายในเนื้อมีรูฟองในอากาศเต็มไปหมดลักษณะทั่วไปคล้ายกับฟองน้ำธรรมชาติ พลาสติกที่ใช้ทำโฟมมีทั้งเทอร์โมเซตติงและเทอร์โมพลาสติก เช่น สไตรีน ยูเรเทน ไวนิล อีพอกซี โพลีเอทิลีน ซิลิโคน เซลลูโลซิก เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ สไตรีน และ ยูรีเทน การผลิตวัตถุดิบพลาสติก โฟมทำได้ 2 วิธี

2.9.2.1 ทางกายภาพ คือ ใช้แก๊สอัดหรือผสมผสานสารเคมีทำให้เกิดแก๊ส (Volatile liquid) เข้าไปในเนื้อวัตถุดิบพลาสติกขณะทำการผลิต เมื่อนำวัตถุดิบนี้ไปผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้กับความร้อน แก๊สซึ่งอยู่ภายในจะขยายตัวทำให้เนื้อพลาสติกพองขึ้นเป็นโฟมเช่น โพลีสไตรีนโฟม (Expandable Polystyrene)

2.9.2.2 ทางเคมี คือ ใช้ปฏิกิริยาของสารเคมีสองชนิดทำให้เกิดโฟม วัตถุดิบที่ใช้มักประกอบด้วยของเหลวสองชนิดหรือมากกว่า ชนิดหนึ่งเป็นพลาสติกเหลว (Resin) อีกชนิดหนึ่งเป็นส่วนผสมของวัสดุตกผลึก หรือตัวทำให้แข็ง (Catalyst) และสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกเหลวให้เกิดแก๊สขึ้น (Foaming Agent หรือ Blowing Agent) เมื่อของเหลวทั้งสองชนิดแยกกันอยู่จะไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆ ทั้งสิ้น เช่น พลาสติกพอลิยูเรเทนโฟม

2.9.3 อะคริลิก (Acrylics) หรือ (Polymethylmethacrylate)

รู้จักกันดีในชื่อทางการค้าว่า เพลคซิกลาส, ลูโซท์, โพลีกลาส ถูกนำมาใช้เมื่อปี 1936 ถูกนำไปผสมกับพลาสติกชนิดอื่น เช่น methylmethacrylate – styrene เป็นต้น

2.9.2.1 คุณสมบัติ เป็นพลาสติกที่ใสที่สุดชนิดหนึ่งแข็งแรงพอสมควรเป็นรอยขีดข่วนง่าย ทนแสงอุลตราไวโอเลตได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ทนสารเคมีได้ดีพอสมควร ไม่ควรให้ถูกน้ำมันเบนซิน, อาซิโตน, คลอโรฟอร์ม, สเปรย์น้ำหอม และกรดอ็อกซิดาซิงชนิดเข้มข้น

2.9.2.2 การใช้ประโยชน์ นิยมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น ป้ายร้านค้า, ป้ายโฆษณา, โคมหลังคา, กระงะแว่นตา Acrylic plastic จัดอยู่ในประเภท Thermoplastic สามารถนำไปตัดเป็นรูปต่างๆ ได้เมื่อได้รับความร้อนเผาอีกครั้งหนึ่งประมาณ 140-160 องศาเซลเซียส จะมี

สภาพอ่อนนุ่มเมื่อนำไปกดลงในแม่แบบสำเร็จรูปที่ต้องการก็จะได้รูปตามนั้น และเมื่อเย็นตัวแล้วจะรักษารูปแบบตามแม่พิมพ์ตลอดไป

2.10 กล้องควบคุมอุณหภูมิ

จากการทำปัญหาพิเศษเรื่อง กล้องควบคุมอุณหภูมิของ เชิดศักดิ์และสมพงษ์ (2540) กล่าวว่าในการทดลองศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของกล้องกับอุณหภูมิ จะใช้โพลีที่มี ความหนา 2 นิ้วสร้างเป็นกล้อง 3 ขนาดคือ 0.08, 0.06 และ 0.03 ลบ.เมตรเมื่อพิจารณาจากกราฟ อุณหภูมิที่ได้ ประโยชน์การใช้สอย และพื้นที่ในการบรรจุผักแล้ว ได้เลือกใช้ปริมาตรของกล้องที่ มีความจุ 0.08 ลบ.เมตร ซึ่งยังสามารถรักษาช่วงอุณหภูมิที่ต้องการได้ประมาณ 4-20 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งศึกษาการควบคุมความเย็นให้ได้ช่วงอุณหภูมิที่นานพอที่จะถนอมผักและผลไม้ในการ ขนส่ง โดยการทดลองใช้โพลีที่มีความหนา 2, 1.5 และ 1 นิ้วและการใช้น้ำแข็งแห้งที่ 1, 2 และ 3 กิโลกรัม จากผลการทดลองที่ได้โพลีที่มีความหนา 2 นิ้วและน้ำแข็งแห้งที่ 2 กิโลกรัมสามารถให้ ช่วงอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ต้องการมากที่สุดรวมทั้งความสม่ำเสมอของอุณหภูมิและในด้านต้นทุน เพราะว่าน้ำแข็งแห้งที่ 1 กิโลกรัมให้ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการน้อยเกินไป และน้ำแข็งแห้งที่ 3 กิโลกรัม ให้ช่วงอุณหภูมิที่ควบคุมที่มากเกินไป

ในการศึกษาหาตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งภายในกล้องได้มีการทดลองวางตำแหน่ง ของน้ำแข็งแห้งที่แตกต่างกันออกไปเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ จากการ ทดลองจะมีการวางน้ำแข็งแห้งตรงบริเวณด้านบน ด้านล่างตรงกลางกล้อง และด้านข้างตรงกลาง กล้อง จะเห็นได้ว่าการวางน้ำแข็งแห้งบริเวณด้านข้างตรงกลางกล้องจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ

จากการทดลองใช้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น โดยการทดลองวาง ไว้บริเวณด้านข้างกล้อง จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในกล้องจะมีอัตราเพิ่มขึ้นจนถึง อุณหภูมิห้องใช้เวลาเร็วมากดังนั้นจึง ไม่เลือกใช้คาร์บอน ไดออกไซด์เหลวในการใช้เป็นสารให้ความ เย็น โดยจะใช้น้ำแข็งแห้งเป็นสารให้ความเย็นแทนและเมื่อนำกล้องต้นแบบมาทดลองในสภาวะงาน จริงในการเก็บรักษาผักและผลไม้ โดยการทดลองกับผัก 4 ตัวอย่างคือ ข้าวโพดอ่อน สตอเบอร์รี่ ชมพู และ ถั่วฝักยาว และก่อนทำการบรรจุลงในกล้องต้นแบบจะมีการเก็บผักและผลไม้ลงในถุง พลาสติก 2 ชนิดคือ Polyethylene และ Polypropylene แล้วทำการปิดผนึกถุง จากการทดลองการเก็บ ในกล้องต้นแบบในระยะเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง ผักและผลไม้ที่บรรจุในถุง Polyethylene จะมีคุณภาพที่ดีกว่า

เมื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของผักและผลไม้ ทางด้านความเป็นกรด ค่า pH ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จะพบว่า ผักและผลไม้ที่ผ่านการเก็บในกล่องต้นแบบจะมีค่า pH และ % Brix จะลดลงเมื่อเทียบกับผักและผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการเก็บที่กล่องต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 Thermocouple
- 3.1.2 Thermostat รุ่น KS0-P1127-001
- 3.1.3 พัดลมขนาด 12 โวลต์
- 3.1.4 แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์
- 3.1.5 Polystyrene foam ความหนา 2 นิ้ว, ความหนาแน่น 16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 3.1.6 แผ่น Acrylic ความหนา 5 มิลลิเมตร
- 3.1.7 ขอบยางประตูดัชนีแบบมีแผ่นแม่เหล็ก
- 3.1.8 ถังพลาสติก ถัง Polyethylene ขนาด 12 × 28 ตารางนิ้ว, ความหนา 0.01 มิลลิเมตร
- 3.1.9 สายยาง
- 3.1.10 วัสดุที่ทำให้ความเย็น น้ำแข็งแห้ง (Dry ice)

3.2 ตัวอย่างผักและผลไม้ที่ทดลอง

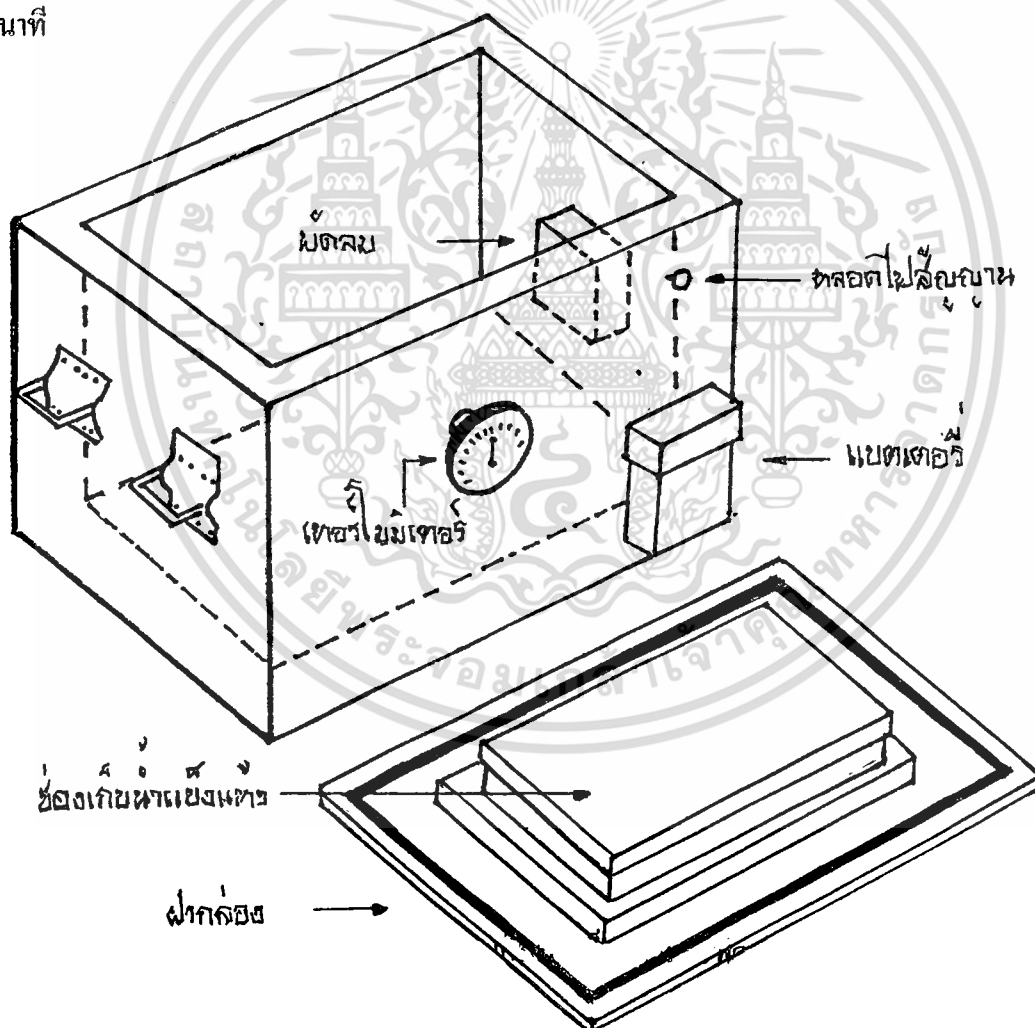
- 3.2.1 ข้าวโพดฝักอ่อน
- 3.2.2 ชมพู
- 3.2.3 คื่นหี

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการวางน้ำแข็งแห้งและเปรียบเทียบกับการเปิด-ปิด พัฒนในการใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัม

จากการออกแบบการวางน้ำแข็งแห้งในกล่องควบคุมอุณหภูมิของการทดลองในครั้งก่อน จะมีการวางของน้ำแข็งแห้งตรงบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ข้างของกล่อง ซึ่งอาจทำให้เกิดการกีดขวางในการเก็บรักษาผัก ผลไม้ลงในกล่อง และไม่สะดวกในการใส่น้ำแข็งแห้งเมื่อมีผักและผลไม้บรรจุอยู่ในกล่อง จึงมีการออกแบบตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งโดยให้มีการวางไว้บริเวณด้านบนของกล่องเพื่อประโยชน์ทางด้านเนื้อที่และปริมาตรภายในกล่อง พร้อมทั้งการติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยในการหมุนเวียนอากาศ และเป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของกล่องให้คงที่ โดยในการทดลองจะเลือกใช้น้ำหนักของน้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัมและให้มีการเปิด-ปิดพัฒน์เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการวางตำแหน่งของน้ำแข็งแห้งทางด้านข้างและด้านบน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการเปิด-ปิดพัฒน์ มีการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ

15 นาที



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงตำแหน่งของช่องเก็บน้ำแข็งแห้งและพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกัน

จากการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งจากบริเวณด้านข้างของกล่อง มาเป็นการวางทางด้านบนของกล่อง จำเป็นต้องศึกษาการใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณน้ำหนักของน้ำแข็งแห้งต่ออุณหภูมิภายในกล่อง ในการทดลองจะใช้น้ำแข็งแห้งหนัก 1 , 2 , 3 และ 4 กิโลกรัม วางในกล่องที่ใช้บรรจุน้ำแข็งแห้งที่อยู่บริเวณฝากล่อง โดยจะมีการเปิดพัดลมอยู่ตลอดเวลา มีการบันทึกอุณหภูมิทุก 15 นาที และใช้เทอร์โมสแตทควบคุมการทำงานของพัดลม

3.3.3 ทดลองหาวิธีในการควบคุมอุณหภูมิ

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

3.3.4 ทดลองใช้กล่องในการบรรจุผักและผลไม้ เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเมื่อมีการใช้ผักและผลไม้ที่มีน้ำหนักต่างกัน

โดยจะมีการทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเมื่อมีการใช้ผักที่มีน้ำหนักต่างกัน เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏคือ สี, ความสด 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

3.3.5 เปรียบเทียบการเก็บรักษาในสถานะที่ต่างกัน

โดยจะมีการเปรียบเทียบลักษณะของผักที่ใช้ในการทดลองระหว่างอุณหภูมิห้อง กล่องควบคุมอุณหภูมิและในตู้เย็น เพื่อศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องและลักษณะปรากฏของผักที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะเก็บผักที่ใช้ในการทดลองไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ และตู้เย็น เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยจะใช้ผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลองดังนี้ ข้าวโพดอ่อน หอมหัว ผักคะน้า โดยจะมีการบันทึกลักษณะปรากฏที่ 12 , 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ

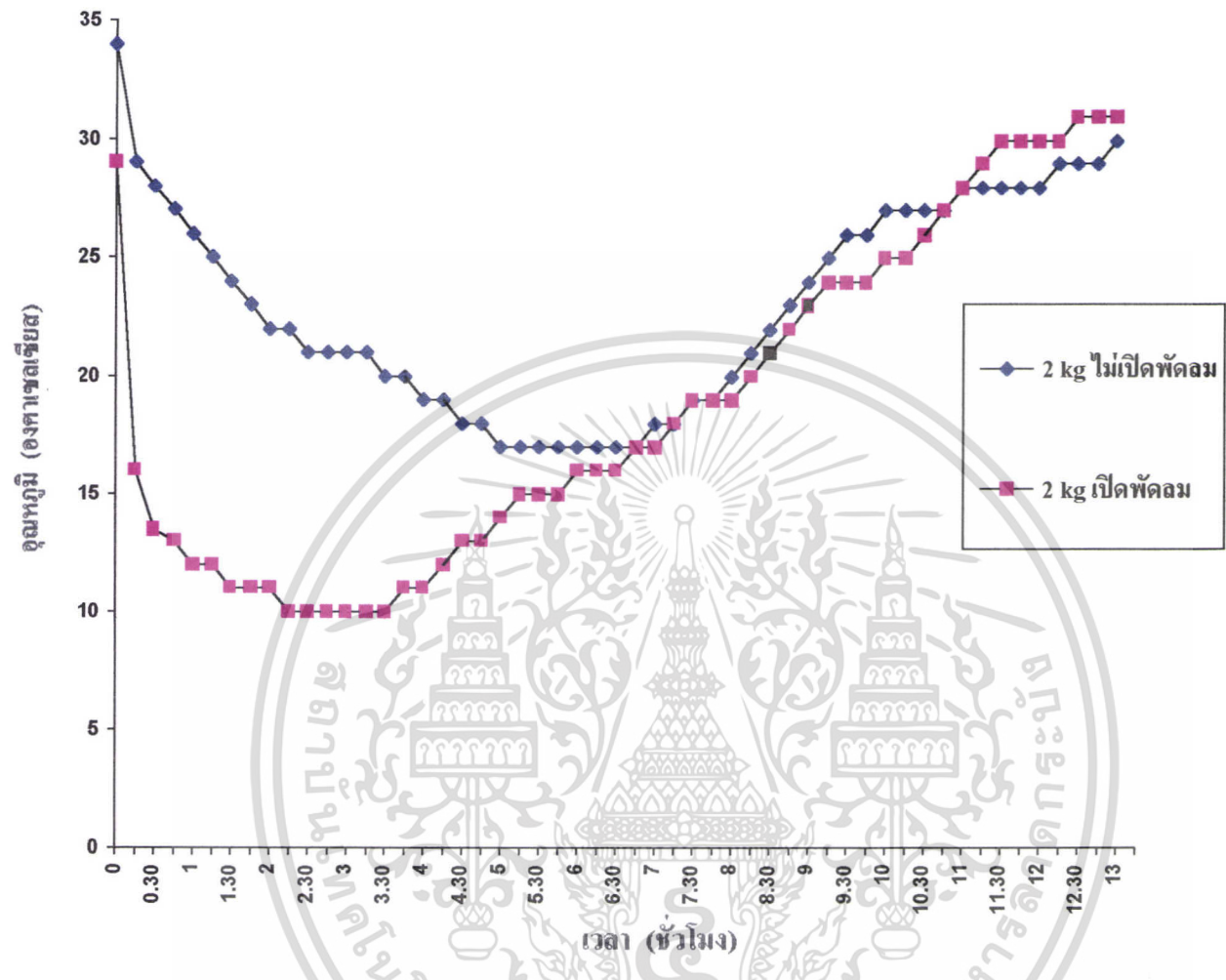
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนตำแหน่งการวางน้ำแข็งแห้ง

ผลจากการวางน้ำแข็งแห้งไว้ในช่องว่างใต้ฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ และทดลองการเปิดพัลลมที่ติดตั้งไว้ภายในกล่อง พบว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 2 กิโลกรัมวางใส่ในช่องใต้ฝากล่องและเปิดพัลลมจะมีการลดลงของอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องการคือ 20 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 นาที และคงอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสไว้ได้ 8 ชั่วโมง และการทดลองลักษณะเดียวกันแต่ปิดพัลลมพบว่าอุณหภูมิจะลดลงอย่างช้าๆ ใช้เวลาทำให้อุณหภูมิตกลงถึง 20 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที และคงอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ไว้ได้ 4 ชั่วโมง 45 นาที จะเห็นได้ว่าแบบไม่เปิดพัลลมจะใช้เวลานานกว่าการเปิดพัลลม จึงเลือกใช้วิธีการเปิดพัลลมในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากสามารถประหยัดเวลาในการลดอุณหภูมิตกลงได้มาก ซึ่งจะเป็นผลดีในการใช้งานจริง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการเปิด-ปิดพัลลมแสดงไว้ในรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการเปิดและปิดพัดลม โดยใช้ น้ำ แข็งแห้ง 2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของอุณหภูมิเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งที่มีน้ำหนักต่างกัน

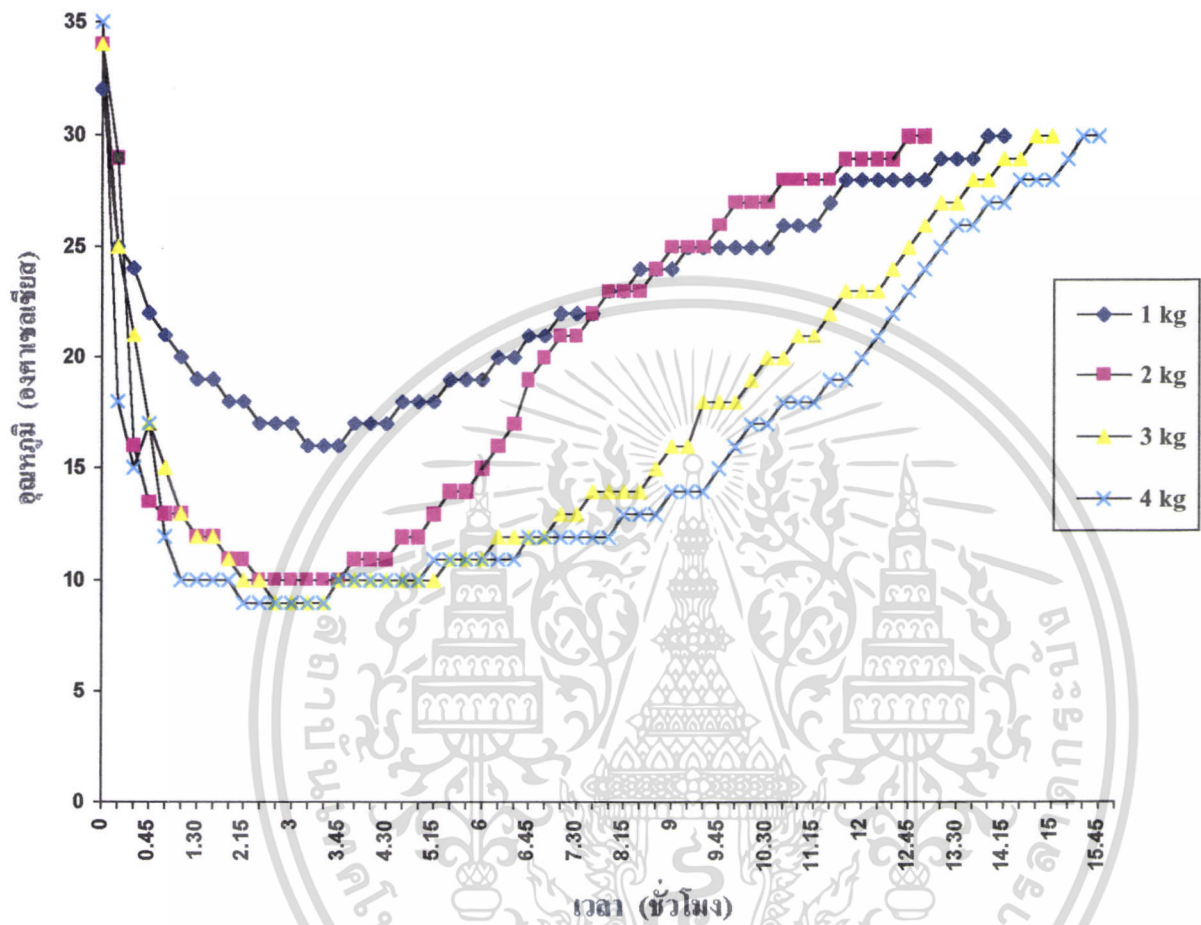
ผลการทดลองเมื่อใช้น้ำแข็งแห้งน้ำหนักต่างกัน คือ 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม เป็นแหล่งให้ความเย็นโดยเปิดพัดลมช่วยในการลดอุณหภูมิ พบว่าน้ำแข็งแห้ง 3 และ 4 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดที่เท่ากันคือ 9 องศาเซลเซียส แต่น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมจะมีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า

20 องศาเซลเซียสคือ 11 ชั่วโมง 45 นาที ส่วนน้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมจะมีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า

20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง 45 นาที สำหรับน้ำแข็งแห้ง 1 และ 2 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดคือ 16 และ 10 องศาเซลเซียสตามลำดับและน้ำแข็งแห้งที่ใช้ทดลองมีระยะเวลาของการลดอุณหภูมิต่างกัน ยกเว้นน้ำแข็งแห้ง 1 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิที่ได้จึงเลือกใช้

น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมในการทดลองขั้นต่อไปเพราะให้ช่วงอุณหภูมิในระดับที่ต้องการใกล้เคียงกับน้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมแต่ค่าใช้จ่ายถูกกว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม แสดงในรูปที่ 4.2





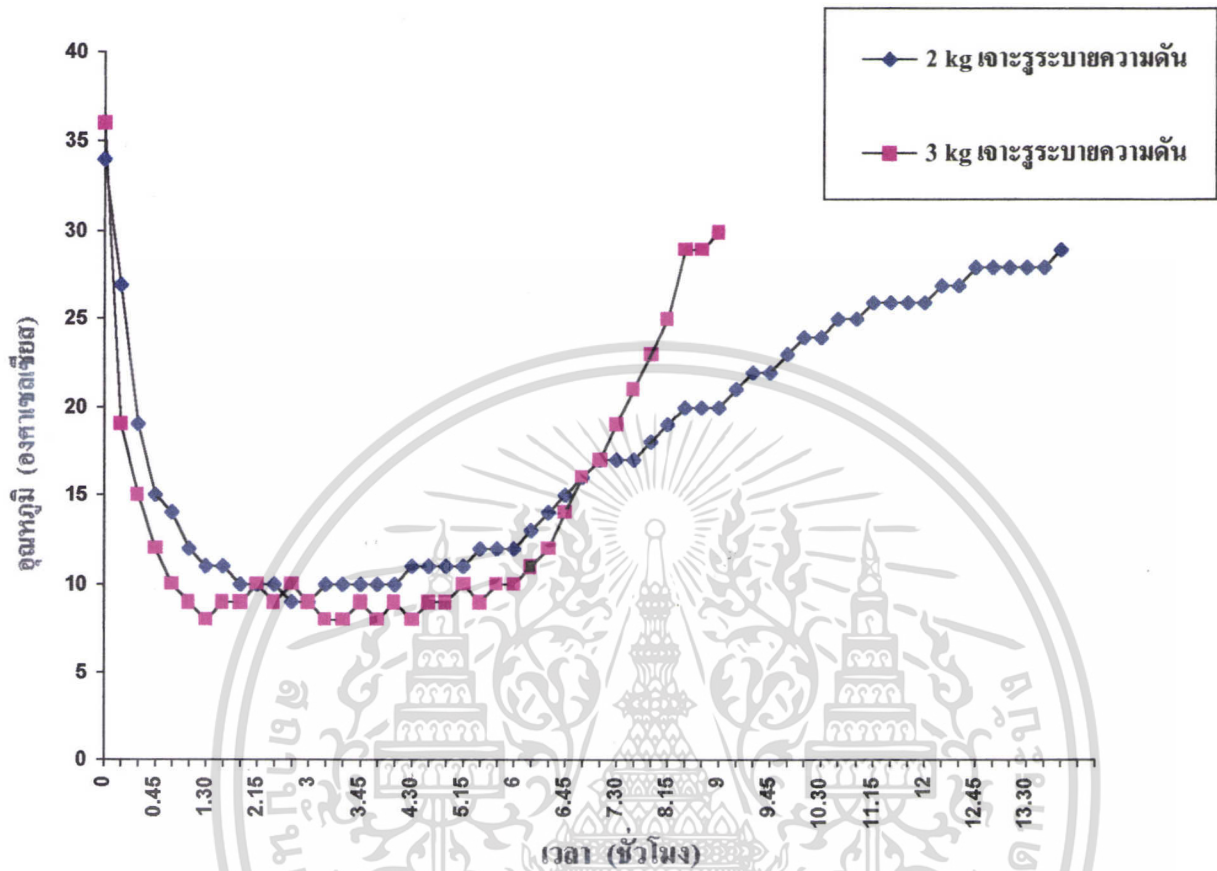
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 1, 2, 3 และ 4 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีควบคุมอุณหภูมิ

จากการที่อุณหภูมิภายในกล่องลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิที่ลดลงถึงจุดต่ำสุดจะคงที่ อยู่ได้ไม่นานแล้วอุณหภูมิจะค่อยๆสูงขึ้นจนเกินอุณหภูมิที่ต้องการ สันนิฐานว่ามีสาเหตุจากการ สะสมความดันภายในกล่อง ซึ่งมีสภาพปิดไม่มีการรั่วซึมและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณ มากจนทำให้เกิดการสะสมความร้อน จึงทำการทดลองเจาะรูเพื่อระบายความดัน พบว่าการเจาะรู ระบายความดันออก 30 วินาทีทุกๆ 1 ชั่วโมงจะสามารถช่วยยืดระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิต่ำสุดภายในกล่องลงไปได้ในระดับที่น่าพอใจ และการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยการใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัว ควบคุมการทำงานของพัดลมทำให้พัดลมหยุดทำงานและจะมีผลทำให้อุณหภูมิซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วจากการหมุนของพัดลมซึ่งพัดลมจะเป็นตัวเร่งอัตราการลดลงของอุณหภูมิ เมื่อพัดลมหยุดหมุน อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงตามอัตราการระเหยของน้ำแข็งแห้งและซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูง ขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เทอร์โมสตัทก็จะทำงานโดยทำให้พัดลมหมุนก็จะเร่งให้ อัตราการระเหยของน้ำแข็งแห้งเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ของน้ำแข็งแห้ง 2 และ 3 กิโลกรัมเมื่อมีการปล่อยความดัน แสดงในรูปที่ 4.3





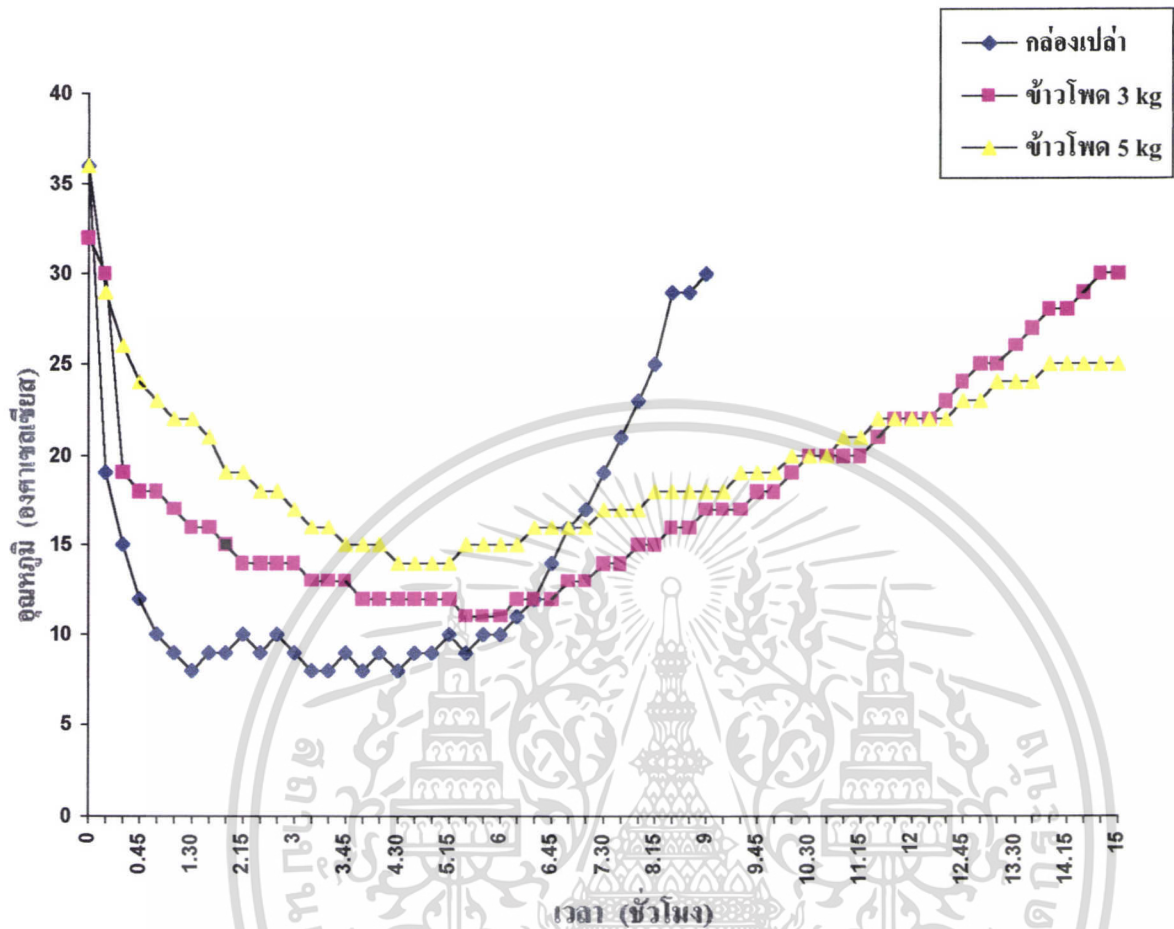
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำแข็งแห้ง 2 และ 3 กิโลกรัม เมื่อมีการปล่อยความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เปรียบเทียบน้ำหนักผักที่บรรจุในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

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





รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวโพดฝักอ่อน น้ำหนัก 3 และ 5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 3 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	เหี่ยวเล็กน้อย	มีสีเหลืองน้ำตาล	นุ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นุ่มเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 5 กิโลกรัมเมื่อเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

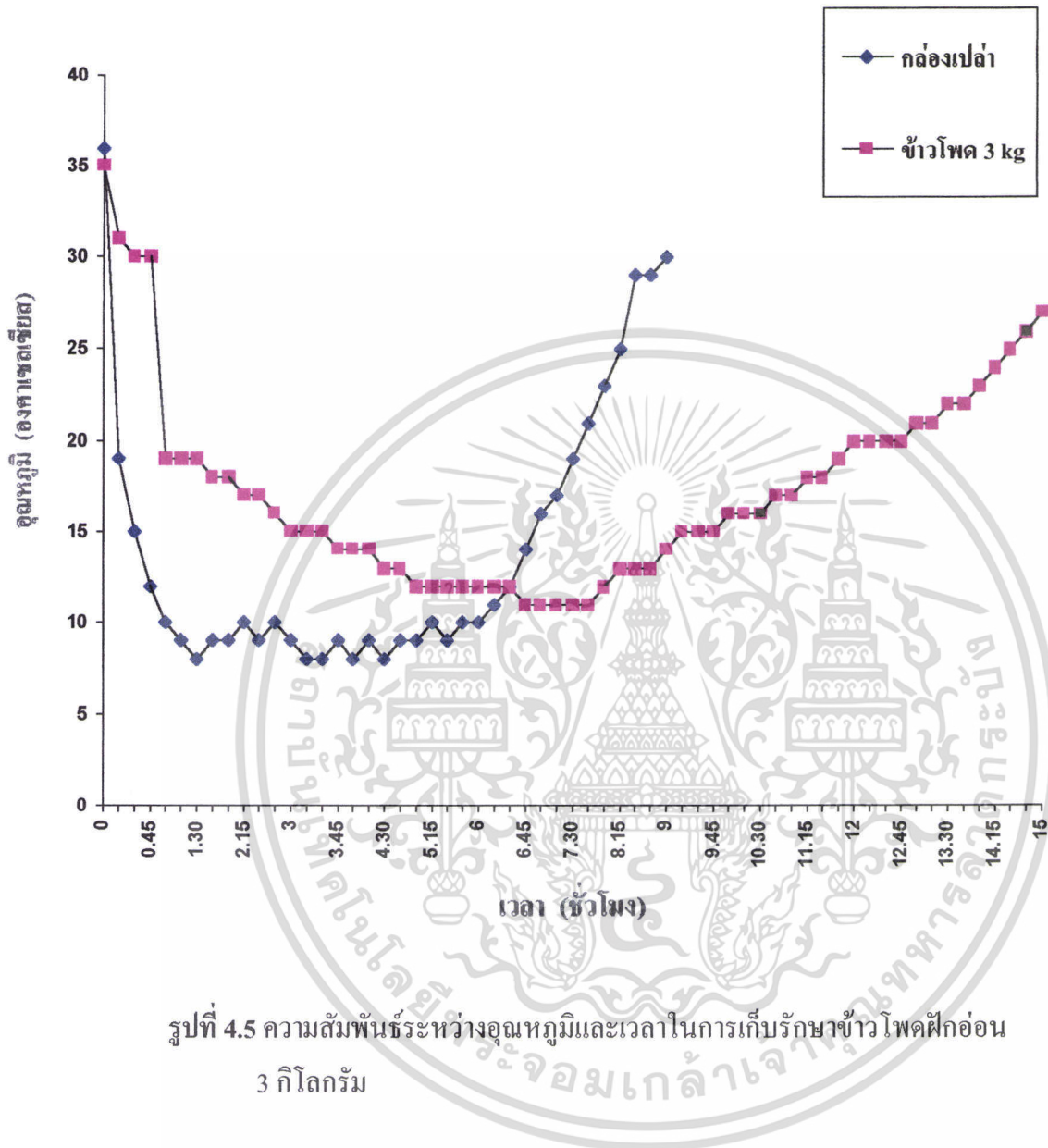
ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นุ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นุ่มเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเก็บรักษาในสภาวะที่ต่างกัน

จากผลการเปรียบเทียบคุณภาพของตัวอย่างผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในสภาพที่ต่างกัน คือ เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ตู้เย็น และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู และคะน้า พบว่า การเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิต่ำและในตู้เย็นจะสามารถรักษาคุณภาพทางด้านสี สภาพความสด และเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าการเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง แต่คุณภาพของผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะด้อยกว่าคุณภาพของผักและผลไม้ที่เก็บไว้ในตู้เย็นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ลักษณะคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ตู้เย็น และอุณหภูมิในกล่องควบคุมอุณหภูมิแสดงไว้ในตาราง 4.3, 4.4 และ 4.5 ลักษณะคุณภาพของชมพูที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ในตู้เย็น และในกล่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงไว้ในตาราง 4.6, 4.7 และ 4.8 สำหรับลักษณะคุณภาพของคะน้าที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, ในตู้เย็น และในกล่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงไว้ในตาราง 4.9, 4.10 และ 4.11 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน ชมพู และคะน้า แสดงไว้ในรูป 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8





รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง

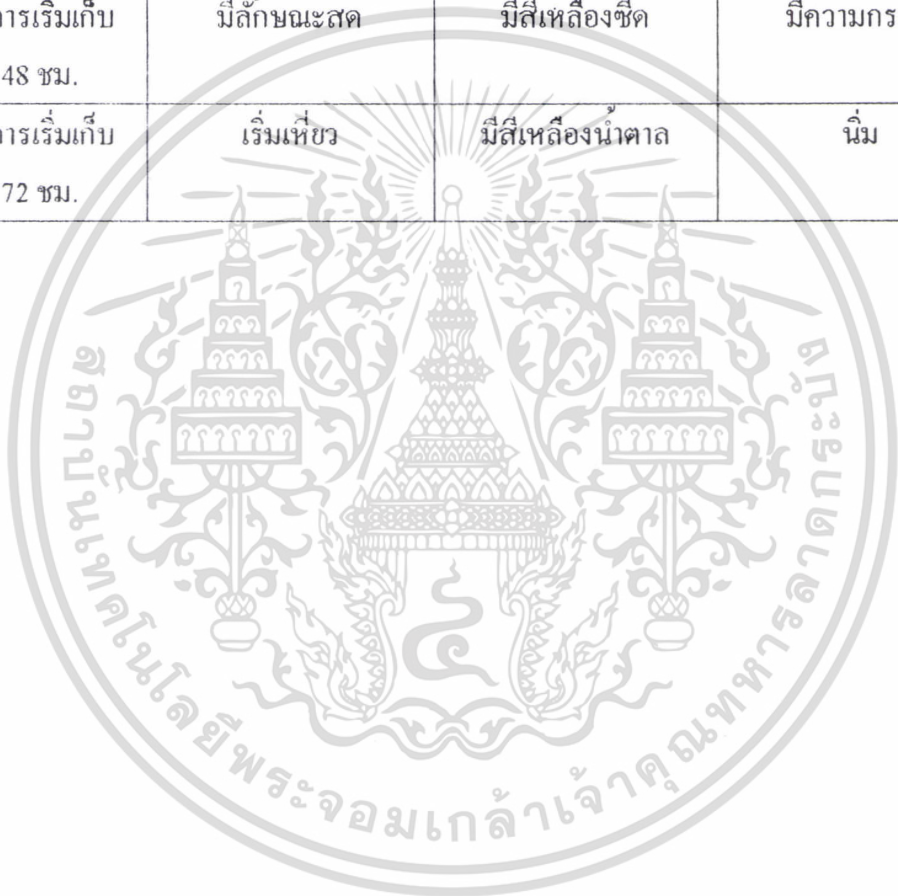
ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
12 ชม.	เริ่มเหี่ยว	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
24 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม
48 ชม.	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม
72 ชม.	เน่าเล็กน้อย	มีสีน้ำตาลอ่อน	นิ่ม

ตารางที่ 4.4 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

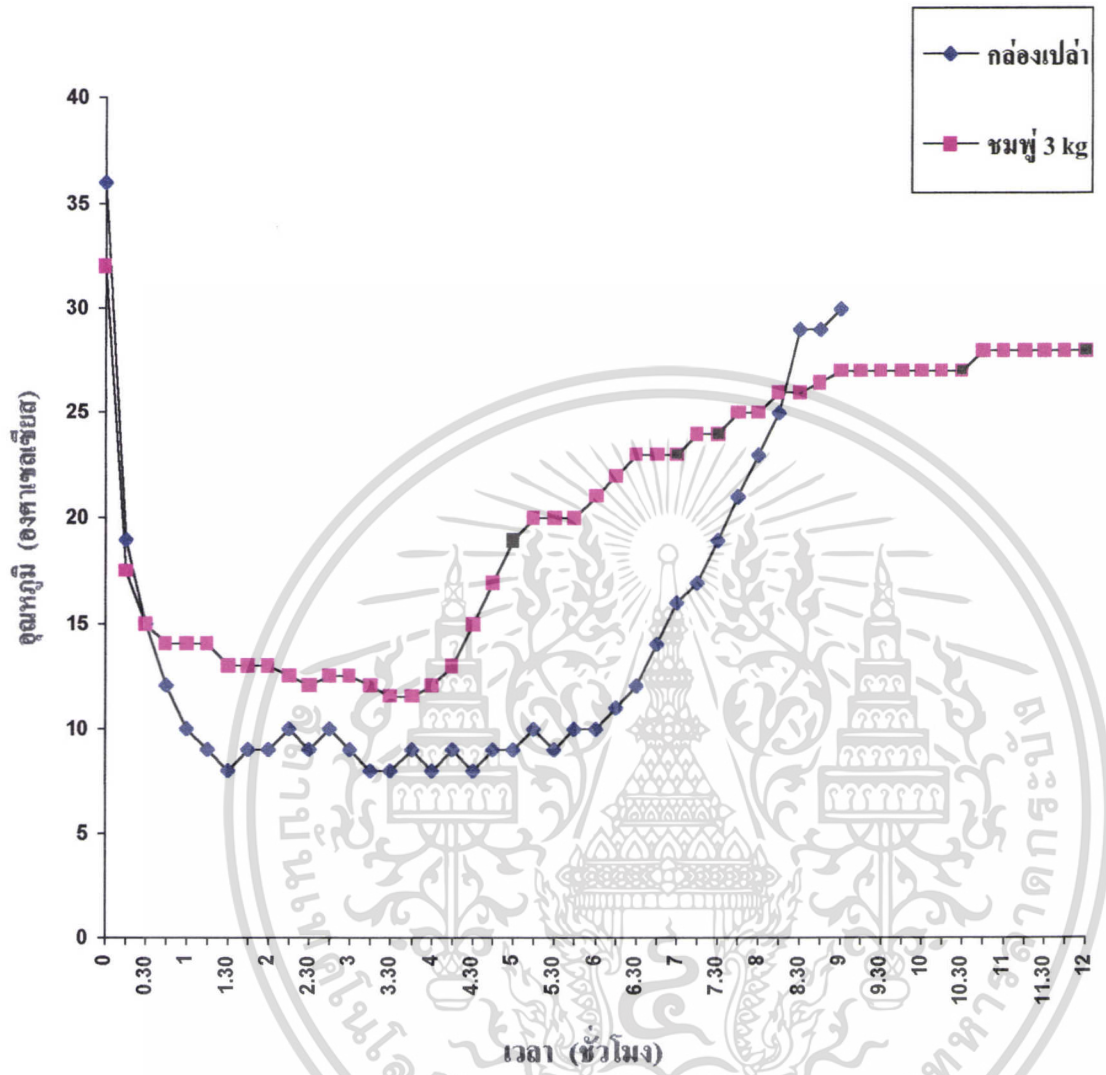
ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บ ในกล่อง 12 ชั่วโมง	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชั่วโมง	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชั่วโมง	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชั่วโมง	เหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นิ่ม

ตารางที่ 4.5 คุณภาพข้าวโพดฝักอ่อนเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองนวล	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเหลืองซีด	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	เริ่มเหี่ยว	มีสีเหลืองน้ำตาล	นุ่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาชมพู 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 4.6 คุณภาพของชมพูเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
12 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบ
24 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวปานกลาง	นุ่มเล็กน้อย
48 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวปานกลาง	นุ่ม
72 ชม.	มีลักษณะเน่า	มีสีน้ำตาลอ่อน	เละ

ตารางที่ 4.7 คุณภาพของชมพูเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียวซีดปนขาว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวซีดปนขาว	นุ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวซีดปนขาว	นุ่ม

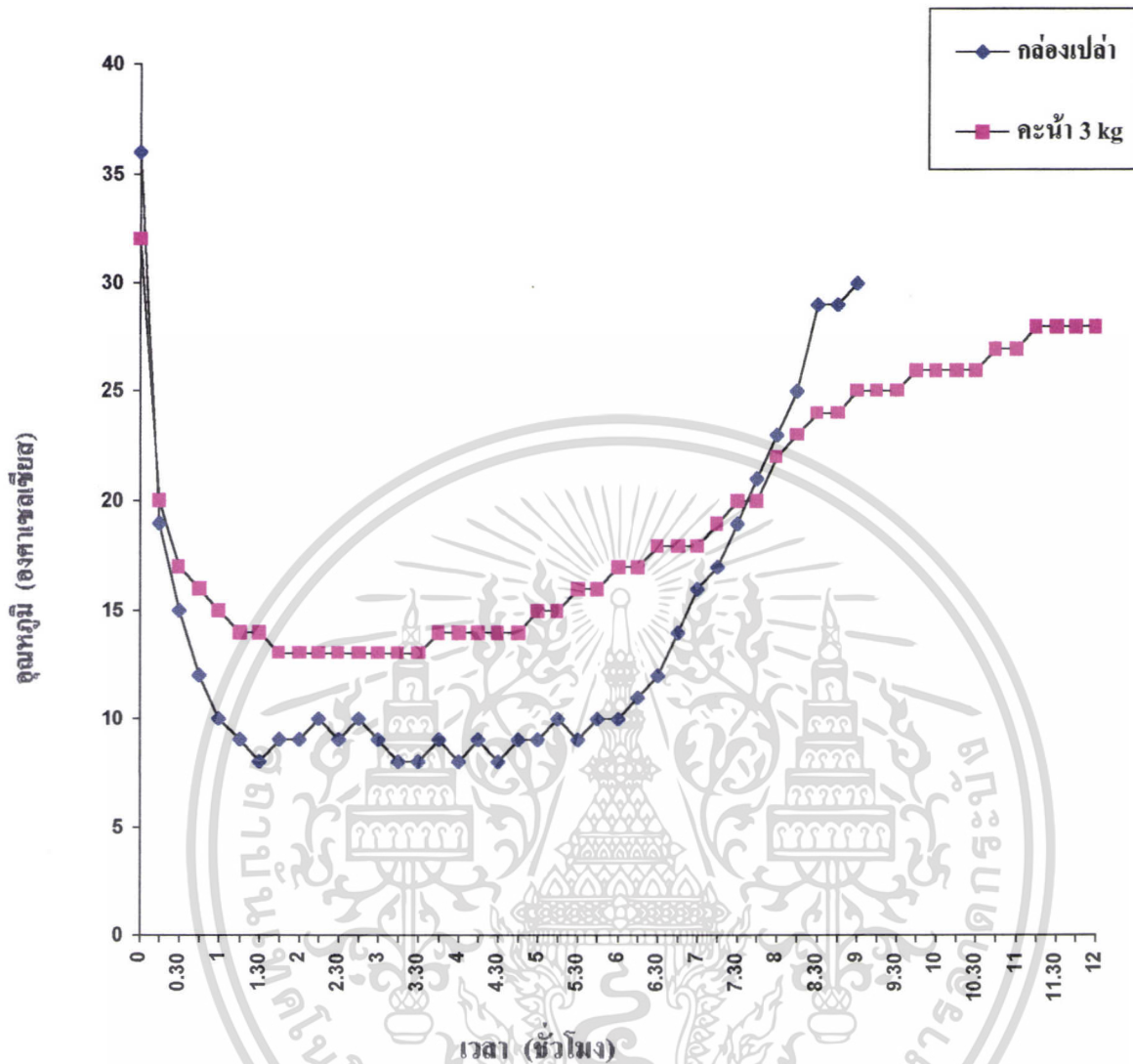
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 คุณภาพของชมพูเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวอ่อน	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียวซีดปนขาว	นิ่มเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียวซีดปนขาว	นิ่มเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษากระน้ำ 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คุณภาพของกระน้ำเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	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 คุณภาพของกระน้ำเก็บในกล่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 12 ชม.

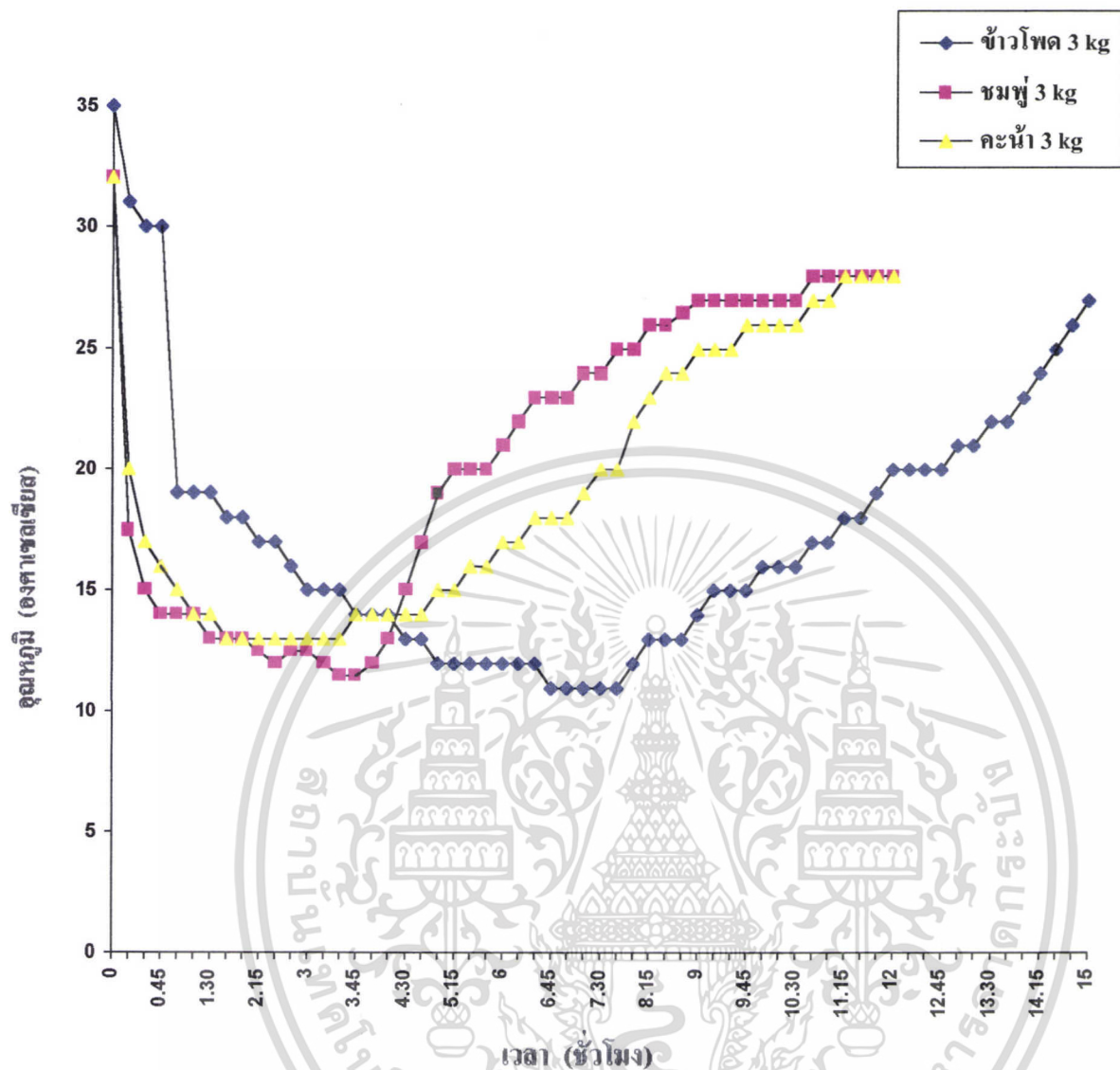
ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	มีลักษณะสดปานกลาง	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	มีลักษณะเน่าเล็กน้อย	มีสีเขียวปนเหลือง	เหี่ยวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 คุณภาพของคะแนนเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชม.

ระยะเวลาตรวจสอบ คุณภาพ	ลักษณะปรากฏ		
	สภาพความสด	สี	เนื้อสัมผัส
ก่อนการเก็บรักษา	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังการเก็บในกล่อง 12 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียวเข้ม	มีความกรอบมาก
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 24 ชม.	มีลักษณะสดมาก	มีสีเขียว	มีความกรอบ
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 48 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย
หลังจากการเริ่มเก็บ รักษา 72 ชม.	มีลักษณะสด	มีสีเขียว	เหี่ยวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน, ข้าวโพด และ ข้าวโพด 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการนำกล่องควบคุมอุณหภูมิที่ซึ่งมีขนาดภายใน 40x50x40 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตร 0.08 ลูกบาศก์เมตรมาพัฒนาประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการโดยใช้ ลักษณะ โครงสร้างของกล่องควบคุมอุณหภูมิที่ออกแบบมาแล้วคือ ใช้โฟมหนา 2 นิ้วและอะคริลิก หนา 5 มิลลิเมตรเป็นฉนวนความเย็นและใช้ถังเกสลิ้นเพื่อทำให้กล่องมีความแข็งแรง โดยมีการ เปลี่ยนตำแหน่งในการวางน้ำแข็งแห้งจากด้านข้างของกล่องมาเป็นด้านบนบริเวณใต้ฝากล่องพร้อม ทั้งติดตั้งพัดลมขนาดเล็กไว้ในกล่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกล่องระหว่างการเปิดพัดลมเพื่อหมุนเวียน อากาศกับการไม่เปิดพัดลม สรุปได้ว่า การเปิดพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศจะช่วยทำให้อุณหภูมิภายในกล่องลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอากาศมีการเคลื่อนไหวทำให้การพาความร้อนจากการระเหย ของน้ำแข็งแห้งมีประสิทธิภาพดีขึ้น และมีช่วงอุณหภูมิตามที่ต้องการเป็นระยะเวลานานกว่าไม่เปิด พัดลม โดยการลดอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการคือ 20 องศาเซลเซียสใช้เวลา 15 นาทีและมีช่วงอุณหภูมิที่ต้องการคือ ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงจึงเลือกใช้ วิธีเปิดพัดลมเพื่อให้อากาศหมุนเวียนเพราะนอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องลงอย่างรวดเร็ว จะยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาให้มากขึ้นอีก เนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศภายใน กล่องจะทำให้ความเย็นกระจายตัวทั่วทั้งกล่อง ลดการสะสมความร้อนในบริเวณที่อยู่ห่างจากช่อง เก็บน้ำแข็งแห้งได้

น้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากันคือ 9 องศาเซลเซียสแต่ น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัมจะให้ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสนานกว่าเพียง 45 นาทีสำหรับ น้ำแข็งแห้ง 1 และ 2 กิโลกรัมจะให้อุณหภูมิต่ำสุดคือ 16 และ 10 องศาเซลเซียสตามลำดับ จึงเลือก ใช้ น้ำแข็งแห้งหนัก 3 กิโลกรัมเป็นสารให้ความเย็นในการทดลองขั้นต่อไป เพราะระยะเวลาของช่วง อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสมีนานพอที่จะใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ระหว่างการขนส่ง ได้ และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้น้ำแข็งแห้ง 4 กิโลกรัม

จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงระดับหนึ่งแล้ว อุณหภูมิจะคงที่ได้ไม่นานและ จะค่อยๆสูงขึ้นจนเกินระดับที่ต้องการ สันนิษฐานว่าจากการที่น้ำแข็งแห้งมีการระเหยอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรกของการทดลอง ทำให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความดันภายในกล่องสูงขึ้น อย่างรวดเร็วจนกระทั่งน้ำแข็งแห้งระเหิดออกหมด ซึ่งจากคุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อ

น้ำแข็งแห้งระเหิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะปล่อยความร้อนและความดันขึ้น ซึ่งมีความดันสูงขึ้นก็มีการสะสมความร้อนมากขึ้นจึงทดลองเจาะรูเพื่อระบายความดัน โดยจะปล่อยความดันออกเป็นเวลา 30 วินาที ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าการปล่อยความดันสามารถยืดระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิต่ำสุด คือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสออกไปได้ โดยมีระยะเวลา 5 ชั่วโมง นอกจากนี้การปล่อยความดันยังเป็นการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปด้วยและจะมีการควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องด้วยพัดลม โดยใช้เทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมการทำงานของพัดลมและพัดลมจะหยุดทำงานที่ 8 องศาเซลเซียสและจะทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องจะทำให้สามารถรักษาคุณภาพของผัก ผลไม้ ได้ดีและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ได้นานขึ้น

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 ชมพู และคะน้า ก่อนการทดลองเก็บรักษาจะบรรจุตัวอย่างผักในถุงโพลีเอทิลีนเพื่อช่วยในการรักษาคุณภาพของตัวอย่างผัก ผลจากกราฟของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า การใช้ น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัมเป็นสารให้ความเย็น พร้อมทั้งการเปิดพัดลมและการระบายความดัน จะสามารถเก็บรักษาตัวอย่างผักไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งพอเพียงสำหรับการเก็บรักษาระหว่างการขนส่งจากแหล่งเพาะปลูกมาสู่ตลาดเพื่อจำหน่าย และจากการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างผัก ด้าน สี สภาพความสด และเนื้อสัมผัส หลังจากเก็บรักษาในกล่องควบคุมและเก็บไว้ในตู้เย็น 12 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างผักทุกชนิดที่เก็บไว้ในตู้เย็นจะมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาดำสุด คุณภาพของตัวอย่างผักที่เก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะมีลักษณะที่ดีเหมือนกับตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้เย็นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกแต่เมื่อผ่านไป 48 ชั่วโมง คุณภาพของตัวอย่างผักที่เก็บไว้ในตู้เย็นจะดีกว่าเล็กน้อย ซึ่งจะชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การเก็บรักษาในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ 1 วันส่วนการเก็บรักษาในตู้เย็นจะยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ 2 วัน เนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้เย็นมีระดับที่ต่ำกว่าและมีความสม่ำเสมอว่าอุณหภูมิภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิ ซึ่งสามารถประหยัดเวลาในช่วงที่ลดอุณหภูมิเริ่มต้นจนกระทั่งถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการได้มาก และมีระยะเวลาของช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 8-20 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอต่อเวลาในการขนส่ง แต่การทดลองนี้ยังมีจุดด้อยในบางด้านซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างกล่องค่อนข้างสูง จึงควรหาวัสดุที่จะใช้เป็นฉนวนความเย็น ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอะคริลิกมาใช้แทน และเพื่อให้กล่องควบคุมอุณหภูมิสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะต้องปรับปรุงทิศทางการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่อง ซึ่งจากการทดสอบการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่องทำให้ทราบว่าภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิจะมีการหมุนเวียนของอากาศอย่างทั่วถึงทั้งกล่อง แต่เป็นการหมุนเวียนที่ไม่เป็นระบบจึงควรปรับทิศทางการหมุนเวียนของอากาศภายในกล่องให้มีทิศทางที่แน่นอน และเพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นที่เกิดขึ้นควรหาวัสดุมากันไม่ให้ น้ำแข็งแข็งสัมผัสกับฝาของเก็บน้ำแข็งแข็งซึ่งเป็นสังกะสีซึ่งจะช่วยลดการระเหยของน้ำแข็งแข็งและป้องกันการสูญเสียความเย็นได้

สำหรับการใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อเก็บรักษาผลิตผลระหว่างการขนส่งควรจะต้องพิจารณาปัจจัยหลายๆด้านเพื่อความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน เช่น ควรจะใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิเก็บรักษาผลิตผลที่มีราคาสูง ควรจะขยายขนาดของกล่องเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้มากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้คุ้มค่ากับการลงทุน และควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น ความร้อนที่จะผ่านผนังเข้ามา ผลของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

ตัวอย่าง การคำนวณหาปริมาณน้ำแข็งแข็งที่จะใช้ ในกรณีที่เพิ่มน้ำหนักรักษา

จากการทดลองเราได้ใช้วัตถุดิบน้ำหนัก 1 กิโลกรัม และใช้น้ำแข็งแข็ง 1 กิโลกรัม ใช้เวลาในการทดลองลดอุณหภูมิของวัตถุดิบให้เป็น 10°C (283°K) โดยใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง แต่น้ำแข็งแข็งน้ำหนัก 1 กิโลกรัม อาจจะสามารถทำให้ผักและผลไม้มีอุณหภูมิลดลงเท่ากับ 10°C (283°K) ได้มากกว่า 1 กิโลกรัม ดังนั้นเราควรคำนวณหาปริมาณน้ำแข็งแข็งที่เหมาะสมกับปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ เช่น

สมมติให้อุณหภูมิของวัตถุดิบเริ่มต้น มีค่า $25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$

ต้องการลดอุณหภูมิให้เหลือ $10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K}$

ความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้ประมาณ $3.81 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{K}$ (รุ่นภา 2535) ดัดแปลงจาก

¹Heldman และ Singh (1981)

²Reidy (1968)

หาค่าความจุความร้อนของผักและผลไม้ 1 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} Q &= mc\Delta T \\ &= 1 \text{ kg} \times 3.81 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K} \times (298 ^\circ\text{K} - 283 ^\circ\text{K}) \\ &= 57.15 \text{ kJ} \end{aligned}$$

หาค่าความจุความร้อนของน้ำแข็งแห้ง 1 กิโลกรัม

$$Q = mc\Delta T$$

Specific heat ของน้ำแข็งแห้ง = 0.201 Btu/lb $^\circ\text{F}$

(ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ คาร์บอนไดออกไซด์)

$$\begin{aligned} \text{จาก } 1 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F} &= 4.1865 \text{ J/g } ^\circ\text{K} \\ &= 0.8415 \text{ J/g } ^\circ\text{K} \\ &= 0.8415 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

เมื่ออุณหภูมิของน้ำแข็งแห้งเท่ากับ $-78 ^\circ\text{C}$ เท่ากับ $195 ^\circ\text{K}$

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ kg} \times 0.842 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K} \times (283 ^\circ\text{K} - 195 ^\circ\text{K}) \\ &= 74.1 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำแข็งแห้ง 1 กิโลกรัม จะแช่ผักและผลไม้ได้

ผักและผลไม้มี Q เท่ากับ 57.15 kJ โดยมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

ถ้า น้ำแข็งแห้งมี Q เท่ากับ 74.1 kJ จะใช้ลดอุณหภูมิวัตถุดิบได้

$$\begin{aligned} &= \frac{74.1 \text{ kJ}}{57.15 \text{ kJ}} \times 1 \text{ kg} \\ &= 1.296 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำแข็งแห้ง 1 kg สามารถแช่ผักและผลไม้เท่ากับ 1.30 kg ในเวลา 7 ชั่วโมง

ผักและผลไม้ 1 กิโลกรัม มีค่าความจุความร้อน(Q) เท่ากับ 57.18 kJ

ถ้า ผักและผลไม้ 50 กิโลกรัม มีค่าความจุความร้อน(Q) เท่ากับ 2,859 kJ

ค่าความจุความร้อน(Q) 74.052 ใช้ น้ำแข็งแห้ง 1 กิโลกรัม

ค่าความจุความร้อน(Q) ที่ต้องการ 2,859 ใช้ น้ำแข็งแห้ง

$$\begin{aligned} &= \frac{2,859}{74.052} \\ &= 38.61 \text{ kg} \end{aligned}$$

ฉะนั้นจึงเลือกใช้น้ำแข็งแห้งน้ำหนัก 39 กิโลกรัม ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ 50 กิโลกรัม

ตัวอย่างการคำนวณนี้ จะใช้เป็นแนวทางเพื่อศึกษาหาน้ำหนักของผักและผลไม้และหา น้ำหนักของแข็งแห้งที่จะใช้เก็บรักษา ในระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด แต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณความ ร้อนที่พืชคายออกมาเนื่องจากการหายใจซึ่งจะแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับสภาพของ กล้องว่าสามารถเก็บความชื้นได้ดีเพียงไรด้วย

กำหนดหาต้นทุนของการใช้กล้องควบคุมอุณหภูมิในการแช่ผักและผลไม้ 50 กิโลกรัม น้ำแข็งแห้งราคากิโลกรัมละ 25 บาท ใช้น้ำแข็งแห้ง 3 กิโลกรัม จะต้องซื้อน้ำแข็งแห้ง 39 กิโลกรัม เป็นเงิน 975 บาท ตัวอย่างในการคำนวณหาผลกำไรในการนำกล้องควบคุมอุณหภูมิไปใช้งานจริง การคำนวณหาผลกำไรในการจำหน่ายชมพู่ จากต้นทุนชมพู่ กิโลกรัมละ 30 บาท จะต้องเก็บชมพู่ เพื่อรอการจำหน่ายเป็นจำนวน 50 กิโลกรัม เท่ากับ 1,500 บาท ฉะนั้นต้นทุน 2,475 บาท

ต้องการกำไร 10 % จากต้นทุน = $\frac{2,475 \times 10}{100}$

= 247.50 บาท

∴ ราคาชมพู่ 50 กิโลกรัม = 2,475 + 247.50

= 2,722.50 บาท

∴ ราคาชมพู่ 1 กิโลกรัม = $\frac{2,722.50}{50}$

= 54.45 บาท

5.3 ค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer จากผลการทดลอง

จากผลการทดลอง อุณหภูมิที่วัดได้จาก Thermometer มีความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิที่วัดโดย Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN เช่น Thermometer วัดอุณหภูมิได้ 27 °C แต่ Recorder วัดได้ 22 °C มีค่าความผิดพลาดไป 5 °C จึงได้มีการแก้ไขหาค่าผิดพลาดของอุณหภูมิ เพื่อใช้แก้ไขอุณหภูมิของผลการทดลองให้ถูกต้อง โดยค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขของแต่ละช่วงอุณหภูมิแสดงไว้ในตารางที่ 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 และ 5.7

ตารางที่ 5.1 ค่าแก้ไขอุณหภูมิ ของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN

Range Temperature (°C)	Thermometer (°C)	Recorder (°C)	Correction (°C)
35-30	30	28	-2
30-25	27	22	-5
25-20	23	15	-8
20-15	18	10	-8
15-10	13	5	-8
10-5	8	0	-8

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 35-30 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	31	26.8	-2
2	30	27.6	
3	30	29	
4	30	29.3	
5	30	29.2	
เฉลี่ย	30.2	28.38	

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 30-25 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	29	22.1	-5
2	26	21.2	
3	26	22.1	
4	26.5	22.7	
5	27.5	24.4	
เฉลี่ย	27	22.5	

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 25-20 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	24	16.7	-8
2	23	14.3	
3	22	13.6	
4	22.5	14.25	
5	24	17.5	
เฉลี่ย	23.1	15.27	

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 20-15 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	20	11.8	-8
2	19	10.4	
3	19.5	11.1	
4	18	9.6	
5	17	8.8	
เฉลี่ย	18.7	10.34	

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 15-10 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	14	6.1	-8
2	13	5.1	
3	13.5	5.4	
4	13.5	5.4	
5	13	5	
เฉลี่ย	13.4	5.4	

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลค่าแก้ไขอุณหภูมิของ Thermometer กับ Recorder มาตรฐาน รุ่น BL 160-NDN
ในช่วงอุณหภูมิ 10-5 °C

ครั้งที่	Working Thermometer (°C)	Working Recorder (°C)	Correction (°C)
1	9	0.9	-8
2	8	0.3	
3	8	0.3	
4	8	0.2	
5	9.5	1.1	
เฉลี่ย	8.5	0.56	

บรรณานุกรม

- การประชุมเชิงปฏิบัติการ. 2530. เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่องอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 273 หน้า
- เกชา ชีระโกเมน. 2525. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 159 หน้า
- ช.ณัฐศิริ สุขสุวรรณ. 2526. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร(ผักและผลไม้). กรุงเทพมหานคร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 134 หน้า
- จิรา ณ หนองคาย. 2534. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้และดอกไม้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ แมส พับลิชชิง, 272 หน้า
- ประจักษ์ ภักดีรัตน์. 2533. เทคนิคเครื่องเย็นและปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์นิคมวิทยา. 442 หน้า
- ไพบุลย์ หังสพฤกษ์ และ เฮลิโซ ไชโต. 2538. การปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด . 174 หน้า
- ภวัฒน์ วิฑูรปกรณ์ และ ชำนาญ วิฑูรกรณ์. โครงสร้างของฉนวนความร้อนกับความเหมาะสมในการใช้งาน. เทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม. : 77-82
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารชนิดต่างๆ. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์. 271 หน้า
- ระวีวรรณ คงคาน้อย. 2537. บทบาทของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานอุตสาหกรรม. วิศวกรรมการผลิต. : 52-57
- รามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 170 หน้า
- วิบูลย์เกียรติ โมฬีรัตนนท์. 2526. สาขานการทำความเย็น. ใน ประพันธ์ บุญกลั่นขจร (บรรณาธิการ), เอกสารประกอบการอบรมเรื่องการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้สด. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 331 หน้า
- ศิริวรรณ ศรีสรณ์. 2533. สมดุลวิทยา. กรุงเทพมหานคร:ปริดาการพิมพ์. 134 หน้า
- สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2533. เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 441 หน้า
- สาขชล 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 : McGraw-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 Handbook. 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.



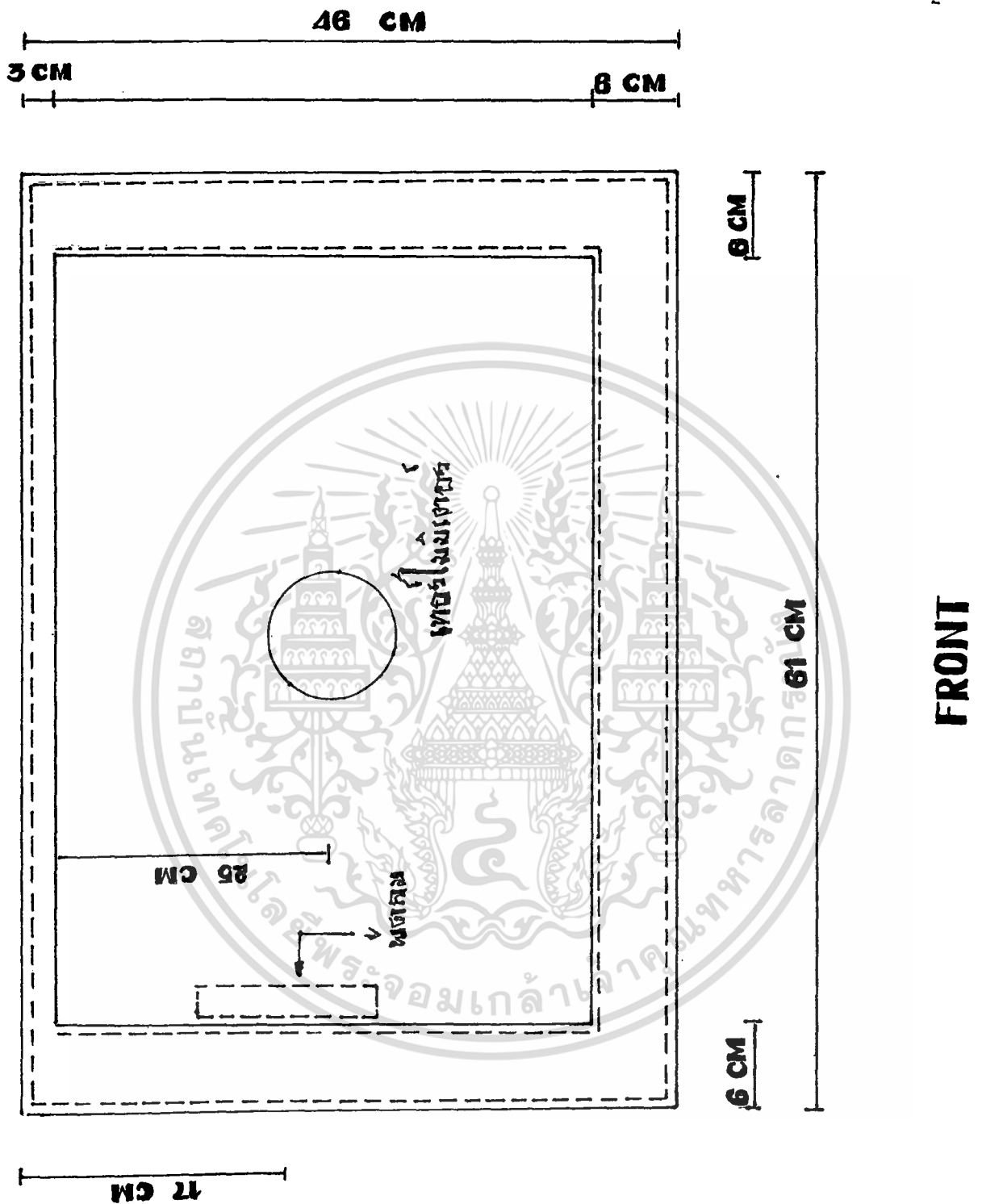
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาพแสดงรายละเอียดและสัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิ

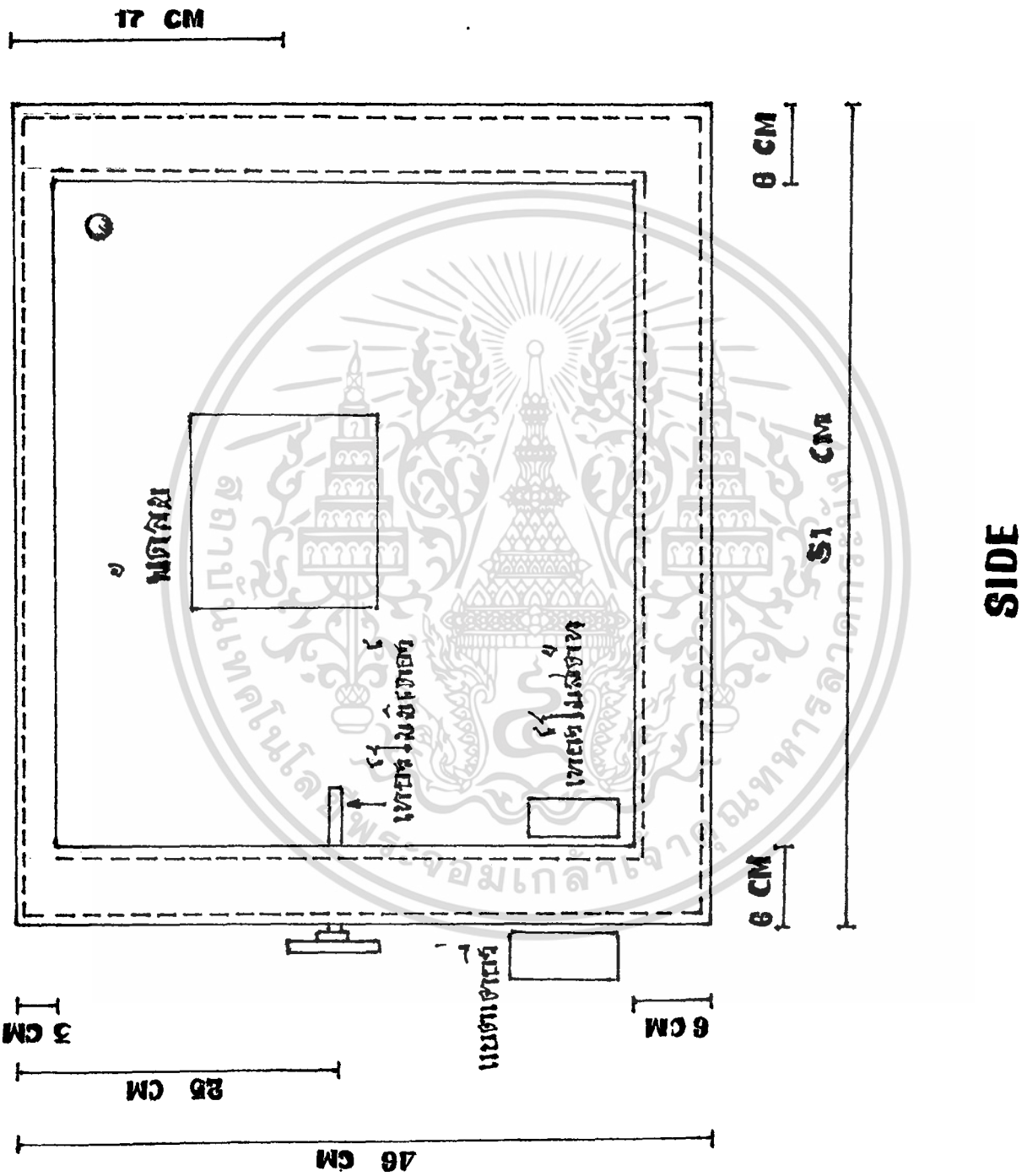


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



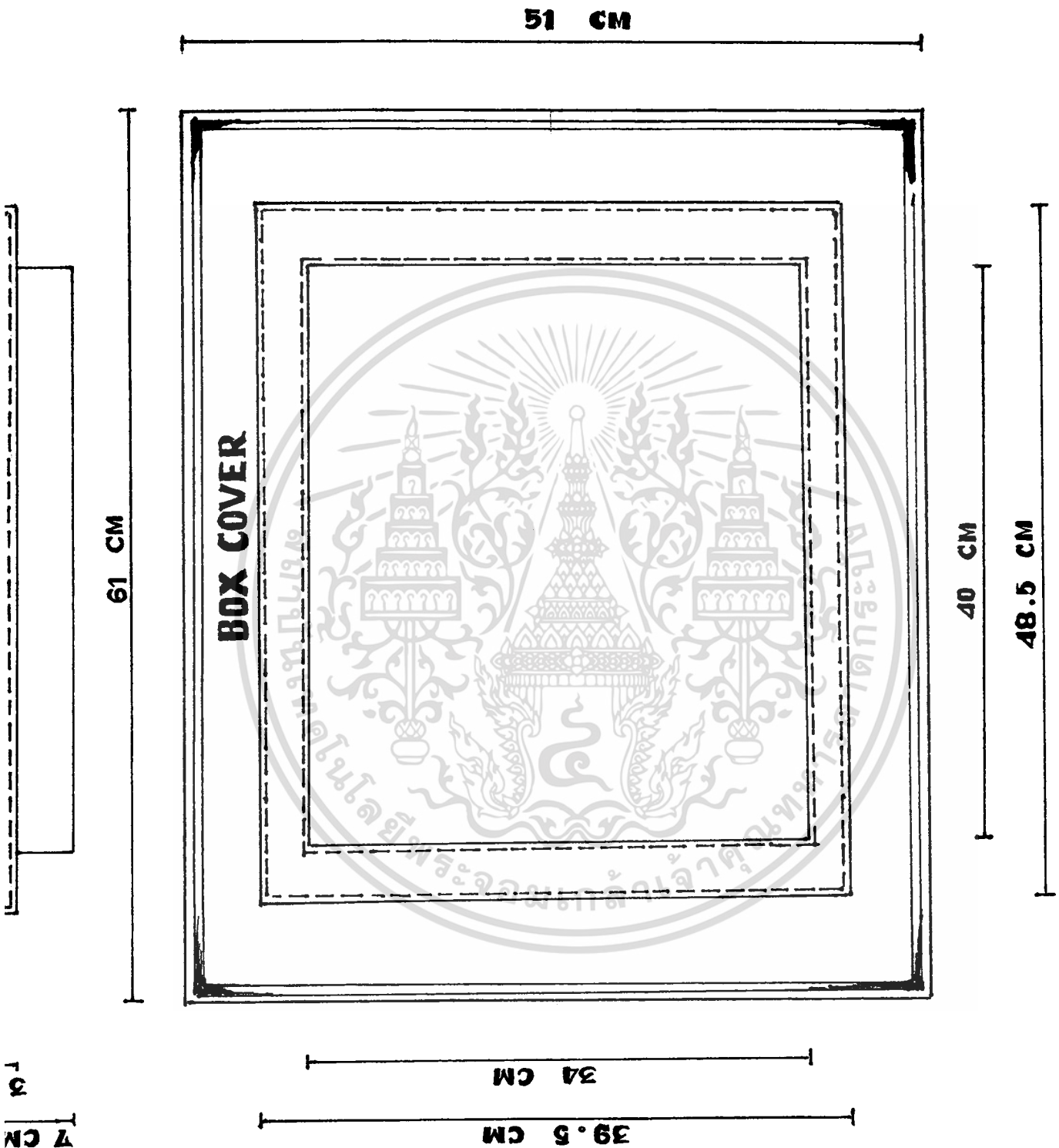
ภาพที่ ก.1 แสดงรายละเอียดและตัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.2 แสดงรายละเอียดและสัดส่วนกล่องควบคุมอุณหภูมิด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.3 แสดงรายละเอียดและสัดส่วนฝากล่องควบคุมอุณหภูมิ

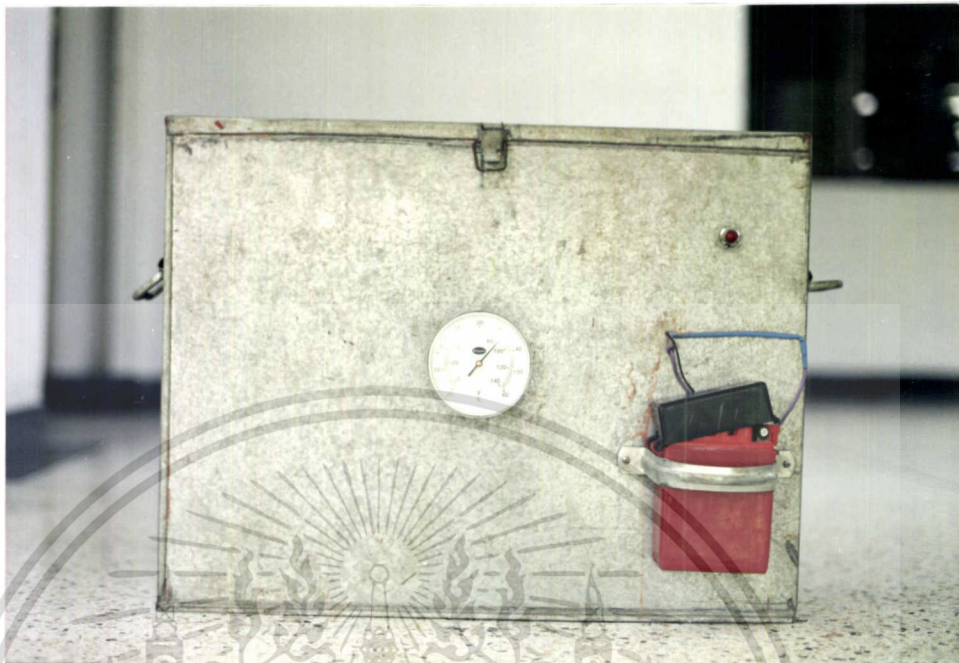
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กถ่องควบควมอุนหภูมิตำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

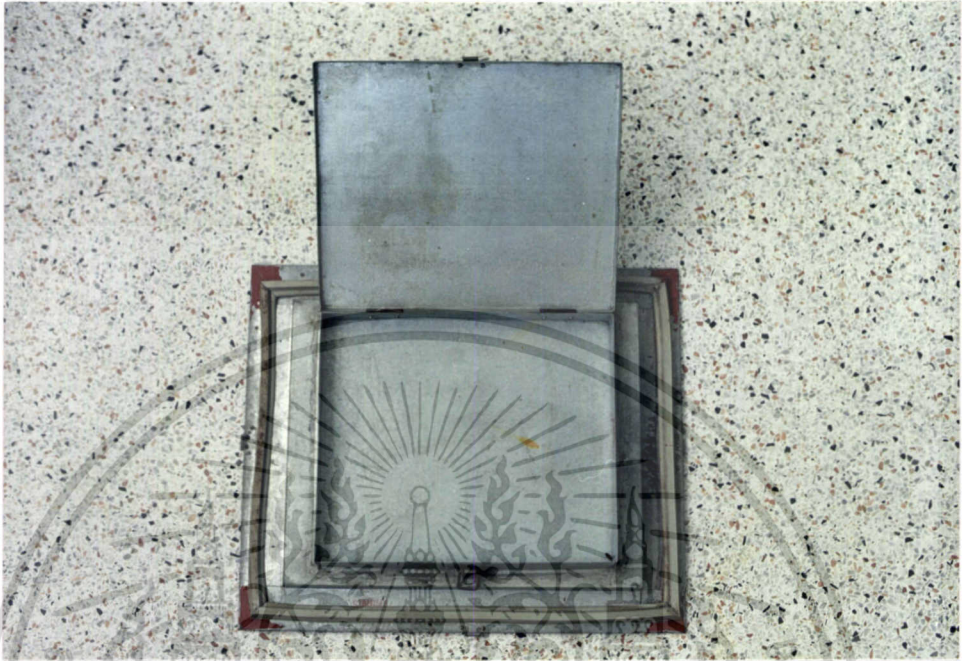


ภาพที่ ข.1 ฉากภายนอกกล่องควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ ข.2 ฉากภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.3 ช่องเก็บน้ำแข็งแห้งใต้ถ้ำถ่องควบลุมเขื่อนหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ลักษณะผิด ผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง

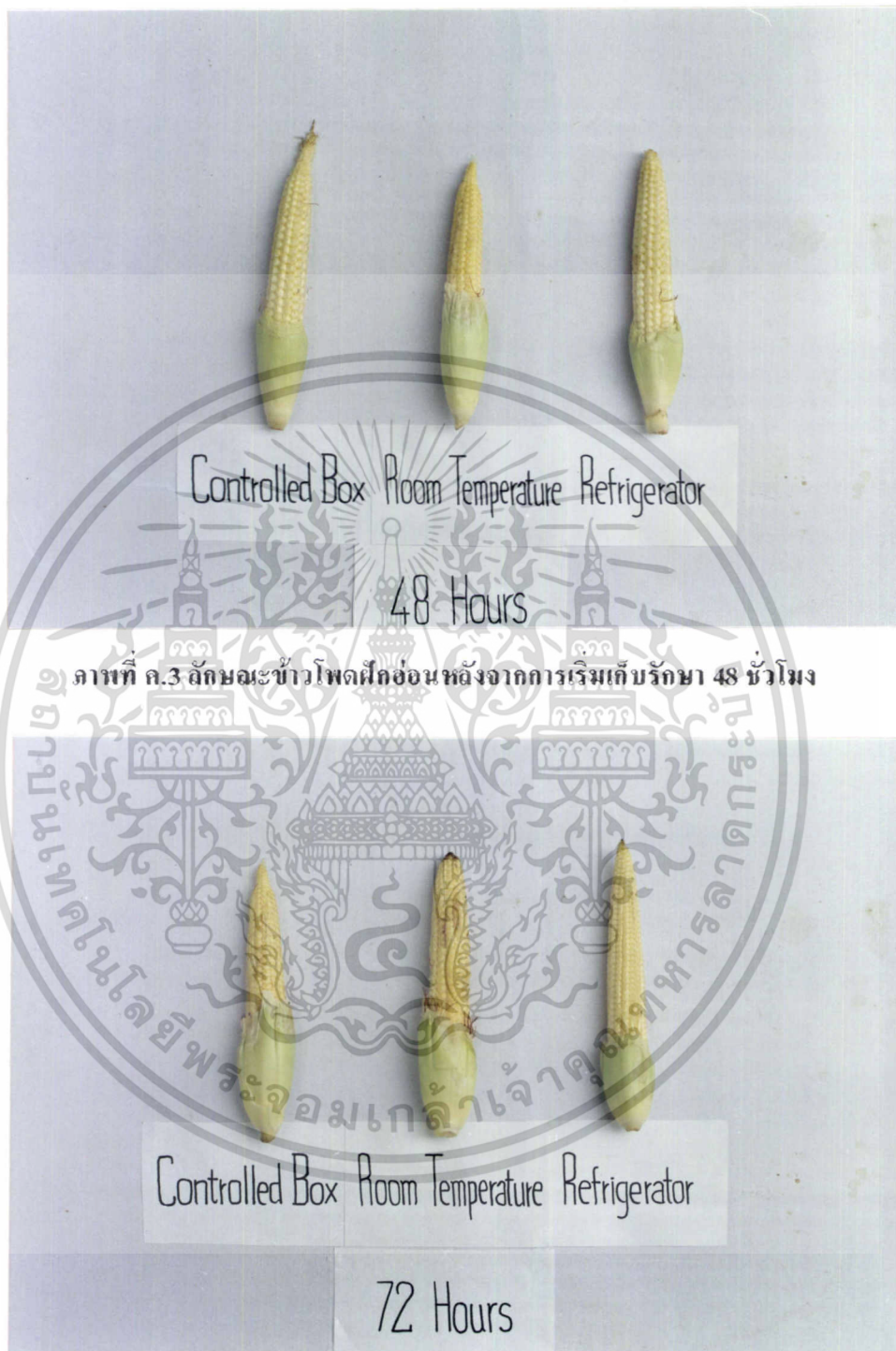


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.2 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.4 ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Controlled Box Room Temperature Refrigerator

0 Hour

ภาพที่ ก.5 ลักษณะชมพู่ก่อนการเก็บรักษา

Controlled Box Room Temperature Refrigerator

12 Hours

ภาพที่ ก.6 ลักษณะชมพู่หลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.8 ลักษณะชมพูหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.10 ลักษณะคะน้าก่อนการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.12 ลักษณะคะน้าหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.13 ลักษณะคะน้าหลังจากการเริ่มเก็บรักษา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายพรหมประสิทธิ์ วัฒนอมตระกูลชัย เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2517 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวช.แผนกช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี จังหวัดสระบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2536 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. แผนกเทคนิคอุตสาหกรรม จากวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี จังหวัดสระบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2538 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2542

นายมนตรี อินทรพรหม เกิดเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียน ท่าม่วงราษฎร์บำรุง จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวช.แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง จากโรงเรียน กองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ชส.ทบ. เมื่อปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. แผนกเทคนิคอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ เมื่อปี พ.ศ. 2539 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2542

นายวิศรุต ศุภศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน พินายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. สาขาเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา เมื่อปี พ.ศ. 2539 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้