บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ *Lycopersicon esculentum* Mill.

นายกิติพงศ์ อัศตรกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING AND METHYL JASMONATE TO REDUCE CHILLING INJURY AND EXTEND SHELF-LIFE OF TOMATO *Lycopersicon esculentum* Mill.

Mr. Kitipong Assatarakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ *Lycopersicon esculentum* Mill.
โดย	นายกิติพงศ์ อัศตรกุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิติพงศ์ อัศตรกุล : บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ *Lycopersicon esculentum* Mill. (MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING AND METHYL JASMONATE TO REDUCE CHILLING INJURY AND EXTEND SHELF-LIFE OF TOMATO *Lycopersicon esculentum* Mill.) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, 89 หน้า.

การศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนต (methyl jasmonate) และบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) ต่อการลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บของมะเขือเทศ ทำโดยบรรจุมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อจากจังหวัดเชียงใหม่ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (FRESHPAC™) เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% แบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมในการลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศ โดยรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M (MJ 10^{-4} M) และ 10^{-5} M (MJ 10^{-5} M) เปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการรมควัน (control) และบรรจุใน FRESHPAC™ ภายใต้บรรยากาศปกติ จากการทดลองพบว่า MJ 10^{-4} M สามารถรักษาคุณภาพด้านความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ค่า a*/b* และคะแนนด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ การเกิดอาการสะท้านหนาว การเกิดตำหนิ การยอมรับด้านสี และการยอมรับโดยรวม ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control มีอายุการเก็บประมาณ 6 4 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ ขั้นตอนถัดมาเป็นการศึกษาผลของการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการลดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ โดยดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นภายในบรรจุภัณฑ์ 4 อัตราส่วนคือ $2.5\%O_2/2.5\%CO_2/95\%N_2$ (MAP1), $5\%O_2/5\%CO_2/90\%N_2$ (MAP2), $7.5\%O_2/0\%CO_2/92.5\%N_2$ (MAP3), $2\%O_2/80\%CO_2/18\%N_2$ (MAP4) และ control ผลการทดลองพบว่า MAP2 สามารถรักษาคุณภาพด้านต่างๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนแรกได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา MAP1 MAP3 MAP4 และ control มีอายุการเก็บประมาณ 4 สัปดาห์ ในขณะที่ MAP 2 สามารถยืดอายุการเก็บได้ถึงประมาณ 6 สัปดาห์ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาผลของการใช้เมทิลจัสโมเนต (MJ 10^{-4} M) ร่วมกับบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศ (MAP2) (MJ+MAP) ต่อการลดการเกิดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศเปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่ผ่าน heat treatment (HT), control และมะเขือเทศที่ไม่ใช้บรรจุภัณฑ์ (no pack) จากการทดลองพบว่า MJ+MAP สามารถรักษาคุณภาพด้านต่างๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนแรกได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ MJ+MAP ยังสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอบิก ปริมาณไลโคพีน และลดการผลิตก๊าซเอทิลีนของมะเขือเทศได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่า HT, control และ no pack มีอายุการเก็บประมาณ 6 4 และน้อยกว่า 4 สัปดาห์ ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP สามารถเก็บได้นานถึง 8 สัปดาห์

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2549.....

4872222723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING / METHYL JASMONATE / TOMATO

KITIPONG ASSATARAKUL : MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING AND METHYL JASMONATE TO REDUCE CHILLING INJURY AND EXTEND SHELF-LIFE OF TOMATO *Lycopersicon esculentum* Mill. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. UBONRAT SIRIPATRAWAN, Ph.D., 89 pp.

The effect of methyl jasmonate (MJ) and modified atmosphere packaging (MAP) on the reduction of chilling injury and the extension of shelf-life of mature green tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) were investigated. This study was separated into 3 parts including (1) determination of the optimum concentration of MJ (2) determination of the optimum modified atmospheric condition and (3) utilization of the optimum MJ combined with the optimum MAP to reduce chilling injury and extend shelf-life of tomato. Firmness, total soluble solid, pH, titratable acidity, weight loss, color and sensory evaluation (degree of chilling injury, defect, color and overall acceptance) were used to indicate the qualities of tomato and were monitored throughout the storage in all experiments. The optimum concentration of MJ was determined by vaporizing tomatoes with 10^{-4} M (MJ 10^{-4} M) and 10^{-5} M (MJ 10^{-5} M) before packaged in 8 x 11 in^2 FRESHPAC™ bags under atmospheric condition and stored at 5 °C and 50% relative humidity (RH). Tomatoes without MJ treat were used as control. MJ 10^{-4} M showed significantly higher ($p \leq 0.05$) qualities and less ($p \leq 0.05$) chilling injury scores than MJ 10^{-5} M and control. Control, MJ 10^{-5} M and MJ 10^{-4} M could be stored for about 4, 4 and 6 weeks, respectively. To determine the optimum MAP, tomatoes were packaged under atmospheric air (control), 2.5%O_2/2.5%CO_2/95%N_2 (MAP1), 5%O_2/5%CO_2/90%N_2 (MAP2), 7.5%O_2/0%CO_2/92.5%N_2 (MAP3) and 2%O_2/80%CO_2/18%N_2 (MAP4) and stored at 5 °C and 50% RH. The qualities of tomatoes in MAP2 were significantly better ($p \leq 0.05$) and less ($p \leq 0.05$) chilling injury scores than other treatments. The results showed that tomatoes in MAP1, MAP3, MAP4 and control had shelf-life of about 4 weeks, while MAP2 can be kept for up to 6 weeks. In the final experiment, optimum MJ combined with MAP2, MJ+MAP, was used to reduce chilling injury and extend shelf-life of tomatoes and was compared with heat treatment (HT), control and no packed tomato (no pack). Tomatoes in MJ+MAP showed better qualities and less ($p \leq 0.05$) chilling injury scores than those in HT, control and no pack. Moreover, MJ+MAP could maintain ascorbic acid and lycopene content as well as reduce ($p \leq 0.05$) ethylene production better than other treatments. Control, HT and no pack could be stored for about 4, 6 and less than 4 weeks, respectively, while MJ+MAP could be stored up to 8 weeks.

Department.....Food Technology.... Student's signature.....

Field of study.....Food Technology... Advisor's signature.....

Academic year.....2006.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และได้คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำอันมีประโยชน์ทั้งด้านวิชาการและอื่นๆ อย่างดียิ่งเสมอมา

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.รมณี สงวนดีกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และอาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ กลั่นกรองและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณ ดร. อนวัช สุวรรณกุล รองผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ระดับปริญญาโท และน้องๆ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ และน้ำใจที่มีให้ และผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือที่มิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณตา คุณยาย ขอขอบคุณพี่ชาย น้องสาว และญาติทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในทุกด้านแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... 2

2.1 การเจริญของผลิตผล..... 2

2.2 มะเขือเทศ..... 4

2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว.. 7

2.4 การเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศดัดแปร..... 12

2.5 Heat treatment เพื่อควบคุมการเสื่อมเสียของผักและผลไม้..... 16

2.6 เมทิลจัสโมเนต..... 17

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย..... 20

3.1 วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ..... 21

3.2 ศึกษาลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับคุณภาพของมะเขือเทศ..... 22

3.3 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการใช้เมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้านหนาว..... 22

3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมในการลดอาการสะท้านหนาวและรักษาคุณภาพของมะเขือเทศ..... 23

3.5 ศึกษาผลของภาวะที่เหมาะสมของการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ..... 24

3.6 ศึกษาการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นและเมทิลจัสโมเนตต่อลดการเกิดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ..... 25

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 27

4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ..... 27

หน้า

4.2 ลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับคุณภาพของมะเขือเทศ..... 27
4.3 ผลของวิธีการจุ่มมะเขือเทศและวิธีการรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตต่อการลดอาการสะท้านหนาว..... 32
4.4 ผลของความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมต่อการลดการเกิดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ..... 33
4.5 ผลของการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นต่อการลดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ..... 43
4.6 ผลของบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตต่อการลดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ..... 54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 70
รายการอ้างอิง..... 72
ภาคผนวก..... 80
ภาคผนวก ก..... 81
ภาคผนวก ข..... 84
ภาคผนวก ค..... 86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศสด..... 5
3.1 ความหนาและค่าการซึมผ่านของถุง FRESHPAC™..... 21
4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศ..... 27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เวลากับการเจริญ (development) ช่วงต่างๆ ของพืช (หรือส่วนของพืช)..... 2

2.2 การสังเคราะห์จัสโมเนตที่ตอบสนองต่อกระบวนการพัฒนาของพืชและสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ..... 17

2.3 กระบวนการสังเคราะห์จัสโมเนตและเมทิลจัสโมเนต..... 18

4.1 ตัวอย่างอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศ (ที่คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 4)..... 28

4.2 การเกิดอาการสะท้านหนาวที่คะแนนต่างๆ..... 29

4.3 การเกิดตำหนิที่คะแนนต่างๆ..... 30

4.4 การยอมรับสีที่คะแนนต่างๆ..... 31

4.5 ความแน่นเนื้อของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 34

4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 35

4.7 ค่า pH ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 36

4.8 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C 37

4.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 38

4.10 ค่า a*/b* ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 39

4.11 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 40

4.12 คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 41

4.13 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C... 42

4.14 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 43

4.15 ความแน่นเนื้อของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C..... 44

รูปที่ **หน้า**

4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 45

4.17 ค่า pH ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 46

4.18 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 47

4.19 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 48

4.20 ค่า a*/b* ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 49

4.21 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 50

4.22 คะแนนการเกิดตำหนิของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 51

4.23 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 52

4.24 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C..... 53

4.25 ความแน่นเนื้อของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 55

4.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 56

4.27 ค่า pH ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 57

4.28 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 58

4.29 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 59

4.30 ค่า a*/b* ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 60

4.31 ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP, HT และ control เก็บที่ 5 °C..... 61

4.32 เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP, HT, และ control เก็บที่ 5 °C..... 62

รูปที่ **หน้า**

4.33 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP, HT และ control เก็บที่ 5 °C..... 62
4.34 ปริมาณกรดแอสคอบิกของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C.. 63
4.35 ปริมาณไลโคพีนของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 64
4.36 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 65
4.37 คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C.... 66
4.38 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 67
4.39 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C..... 69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตผลจำพวกผักและผลไม้ซึ่งถือเป็นรายได้หลักของประเทศ โดยสามารถนำเงินตราเข้าประเทศได้เป็นจำนวนมากปีละไม่น้อยกว่า 7 หมื่นล้านบาท (พิบูลย์ เจียมอนุกูลกิจ, 2542) แสดงให้เห็นว่าตลาดต่างประเทศนิยมผักและผลไม้ไทยอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามคุณภาพของผักและผลไม้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี เช่น กระบวนการสุก (ripening process) กระบวนการหายใจ (respiration) ทางด้านกายภาพ เช่น การช้ำจากการตกหล่น และทางด้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้ผักและผลไม้บางชนิดอาจมีคุณภาพลดลงจากการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากการเก็บผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง ดังนั้นควรมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดีร่วมกับการบรรจุผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพ ลดปริมาณการสูญเสียของผลิตผล และยืดอายุการเก็บผักและผลไม้ ซึ่งการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

มะเขือเทศเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากผลของมะเขือเทศสามารถบริโภคสดและแปรรูปได้หลากหลายและมะเขือเทศที่ส่งออกไปต่างประเทศส่วนใหญ่มักเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำซึ่งทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวส่งผลให้คุณภาพของมะเขือเทศลดลง

การใช้สารฆ่าเชื้อรา (fungicide) เช่น ไทอะเบนดาโซล (thiabendazole) และ heat treatment เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการลดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลบางชนิดแต่มีข้อเสียคือเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลและอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นควรมีการพัฒนาหาวิธีอื่นในการลดอาการสะท้านหนาว จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเมทิลจัสโมเนต (methyl jasmonate) ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่ได้จากพืชตระกูล jasminum มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ยับยั้งการงอกของราก และลดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลบางชนิด นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดแทนสารเคมีเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตผลซึ่งมีประสิทธิภาพสูงแม้ใช้ในปริมาณน้อย

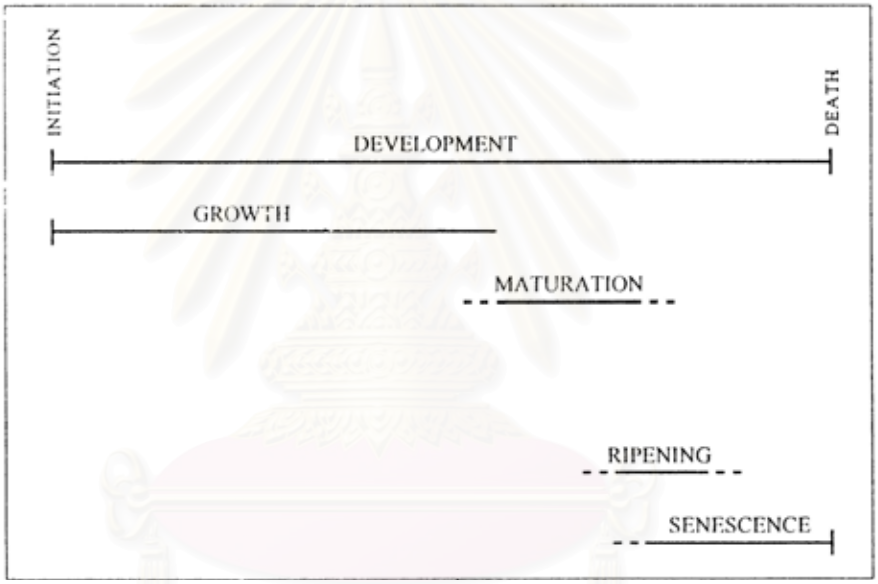
งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บของมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ โดยการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศร่วมกับเมทิลจัสโมเนต

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 การเจริญของผลิตผล

ผลิตผลจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ตลอดระยะเวลาการเจริญ ตั้งแต่เริ่มแรกจนกระทั่งตาย ในช่วงระยะเวลาที่มีการเจริญจะเกิดขั้นตอนการพัฒนาต่างๆ ได้แก่ การเติบโต การบริบูรณ์การสุก และการชราภาพ ตามลำดับ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 เวลากับการเจริญ (development) ช่วงต่างๆ ของพืช (หรือส่วนของพืช)
ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2541)

นักวิชาการทางสรีรวิทยาของพืชผลหลังเก็บเกี่ยวได้กำหนดนิยามเพื่อสื่อให้เข้าใจตรงกัน ในปี 1985 ว่า

การเจริญ (Development) คือกระบวนการทั้งหลายในพืชหรือส่วนของพืชที่เกิดขึ้นตามลำดับ ตั้งแต่เริ่มแรกของการเจริญเติบโตจนกระทั่งตาย

การเติบโต (Growth) คือการเพิ่มขึ้นอย่างไม่กลับคืนของลักษณะทางกายภาพของพืชหรือส่วนของพืช

การบริบูรณ์ (Maturation) คือ ขั้นตอนหนึ่งของการเจริญซึ่งนำไปสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยาหรือความบริบูรณ์ทางพืชสวน

การสุก (Ripening) คือกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นร่วมกันในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตจนถึงช่วงแรกของการชราภาพและส่งผลให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะและมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รส เป็นต้น

การชราภาพ (Senescence) คือกระบวนการต่างๆ ในพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชที่เกิดขึ้นหลังจากการบริบูรณ์ทางสรีรวิทยาหรือทางพืชสวนและนำไปสู่การตายของพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชนั้นๆ

ขั้นตอนของการพัฒนาต่างๆ เหล่านี้อาจเหลื่อมล้ำกันได้ ในการเจริญนั้นผลิตผลต้องใช้พลังงานจากกระบวนการหายใจซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนอาหารให้อยู่ในรูปของพลังงาน โดยทั่วไปแล้วผลไม้สามารถแบ่งประเภทตามอัตราการหายใจได้เป็น 2 ประเภท คือ climacteric กับ non-climacteric ผลไม้ประเภท climacteric คือผลิตผลที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นในระหว่างการสุก

การสุกของผลไม้นั้นสามารถเกิดได้หลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้นและสามารถเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้ด้วยเอทิลีน นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและทางกายภาพต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) เช่น

- การหายใจเพิ่มมากขึ้นแล้วลดลง
- ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและการผลิตเอทิลีนมากขึ้น
- ตอบสนองต่อเอทิลีนได้ง่าย
- องค์ประกอบของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเปลี่ยนแปลงสารประกอบเพกตินทำให้ผลไม้อ่อนตัว
- การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ลดน้อยลง
- โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ถูกสร้างขึ้น
- คลอโรฟิลล์สลายตัว
- แอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้น
- โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล หรือน้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง
- กรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไป
- สารระเหยที่ให้กลิ่นและรสถูกสร้างขึ้น
- สารพวกแทนนินรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ทำให้ความฝาดลดลง
- เกิดการสะสมของไขบนผิวของผล

- เมล็ดพัฒนาเข้าสู่ความเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์
- เกิดการหลุดร่วง (abscission)

2.2 มะเขือเทศ

มะเขือเทศมีมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. และชื่อสามัญว่า tomato อยู่ในตระกูล Solanaceae มะเขือเทศจัดได้ว่าเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเนื่องจากผลของมะเขือเทศสามารถใช้บริโภคสดและนำไปแปรรูปได้หลายอย่าง เช่น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ เป็นต้น รัฐบาลได้เห็นความสำคัญของมะเขือเทศจึงเน้นในเรื่องการปรับปรุงพันธุ์ และให้ความสำคัญในการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยในปี 2547 ได้มีการส่งออกมะเขือเทศสดและแช่เย็นรวมมูลค่าประมาณ 41 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2548) อย่างไรก็ตามมะเขือเทศจัดเป็นพืชประเภท climacteric มักเกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 $^{\circ}$C นานกว่า 2 สัปดาห์ หรือเก็บที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C นานกว่า 8 วัน (Cantwell and Suslow, 2000)

มะเขือเทศเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นของมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะเบตาแคโรทีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอและวิตามินซี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศสด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่พบ (ต่อน้ำหนักที่กินได้ 100 g)
พลังงาน (Calories)	19
โปรตีน (g)	0.7
ไขมัน (g)	0
คาร์โบไฮเดรต (g)	14.0
แคลเซียม (mg)	12.0
ฟอสฟอรัส (mg)	24.0
เหล็ก (mg)	0.4
โพแทสเซียม (mg)	222.0
วิตามินเอ (I.U.)	822.0
ไทอามีน (mg)	0.05
ไรโบฟลาวิน (mg)	0.04
ไนอาซีน (mg)	0.7
วิตามินซี (mg)	21

ที่มา : เกียรติเกษตร และคณะ (2531)

2.2.1 **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเขือเทศ**

เมล็ด มีลักษณะแบน รูปไข่ มีขนละเอียดสั้นๆ สีน้ำตาลอ่อนอยู่บนเปลือกที่หุ้มเมล็ด เมล็ดมีความยาว 3-5 mm จำนวนเมล็ดในผลขึ้นกับขนาดของผล

ราก รากเริ่มปรากฏเมื่อเมล็ดเริ่มงอก รากจะเป็นเส้นเล็กๆ สีขาว โผล่ออกจากเปลือกหุ้มเมล็ด รากของมะเขือเทศเป็นระบบรากแก้ว มีความแข็งแรงและเจริญเติบโตเร็ว มะเขือเทศสามารถสร้างรากขนอ่อนและรากแขนงเมื่อรากแก้วถูกทำลาย

ลำต้นและกิ่งก้าน ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ลำต้นจะมีลักษณะกลมและอ่อนเปราะ และจะแข็งแรงมากขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น กิ่งก้านสาขาจะมีการแตกแขนงออกจากลำต้นเรื่อยๆ ระหว่างการเจริญเติบโต

ดอก มีสีเหลืองและมีขนาดเล็ก ประกอบด้วยกลีบเลี้ยงและกลีบดอกชั้นในอย่างละ 5 กลีบ ดอกจะเกิดตามข้อของลำต้นมีลักษณะเป็นช่อๆ ช่อหนึ่งจะมีดอกประมาณ 4-5 ดอก แต่จำนวนดอกในหนึ่งช่อนั้นขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อมต่างๆ ด้วย

ผล รูปร่างของผลมีลักษณะกลมและรี รูปร่าง สี และขนาดขึ้นกับพันธุ์ โดยผลจะมีสีเหลืองหรือเหลืองเข้ม ขนาดจะมีทั้งเล็กและใหญ่

2.2.2 **พันธุ์มะเขือเทศ**

มะเขือเทศที่ปลูกในประเทศเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ แต่ละพันธุ์จะมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ขนาด รูปร่าง สี และการเจริญเติบโต เป็นต้น มะเขือเทศที่มีการปลูกมากในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกัน สามารถจำแนกตามการนำไปใช้ได้ดังนี้ (เกียรติเกษตร และคณะ, 2531)

1 พันธุ์ที่ใช้รับประทานสด เช่น

1.1 พันธุ์นามาปาล เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศได้ดี การเจริญเติบโตของลำต้นจะเป็นแบบทอดยอด ผลมีรูปทรงกลม ผลน้ำหนักประมาณ 170 g อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 80 วัน

1.2 พันธุ์ฟลอราเดล ลำต้นมีลักษณะทอดยอด มีใบปกคลุมหนา ผลมีรูปทรงกลมแบน ผลมีน้ำหนักประมาณ 170 g อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 78 วัน

1.3 พันธุ์มาร์โกลบ เกษตรกรไทยนิยมปลูกพันธุ์นี้กันมานานแล้ว เป็นพันธุ์ที่มีผลดก ผลมีรูปทรงแป้น ผลมีน้ำหนักประมาณ 170 g อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 75 วัน

1.4 พันธุ์มาสเตอร์เบอร์ 2 สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดี ปลูกง่าย ลำต้นมีลักษณะทอดยอด ผลมีน้ำหนักประมาณ 250 g อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 75 วัน

2. **พันธุ์ที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม** เช่น

2.1 พันธุ์วีเอฟ 134-1-2 หรือพันธุ์ลูกท้อ การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด มีใบปกคลุมมาก ผลมีขนาดเล็ก ผลมีน้ำหนักประมาณ 57 g ผลมีเนื้อหนาและแน่น เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศได้ดี อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 70 วัน

2.2 พันธุ์โรมา การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด การเจริญของกิ่งก้านแข็งแรงดี ลำต้นมีใบปกคลุมหนาแน่น อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 75 วัน

2.3 พันธุ์คาลเจ การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด ลำต้นมีใบปกคลุมมาก ผลมีขนาดเล็ก ผลมีน้ำหนักประมาณ 57 g และผลมีเนื้อแน่น อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 75 วัน

2.4 พันธุ์วีเอฟ 145 บี 7899 การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ผลมีน้ำหนักประมาณ 113 g สามารถทนสภาพแห้งแล้งได้ อายุการเก็บเกี่ยวผลหลังจากย้ายกล้า คือประมาณ 72 วัน

2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว

อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (chilling temperature) สามารถทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำถือว่าเป็นการผิดปกติทางสรีรวิทยาอย่างหนึ่ง ผลิตผลอาจเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว พืชที่มักเกิดอันตรายได้ง่ายเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งส่วนใหญ่มักเป็นพืชเขตร้อนหรือกึ่งร้อน เช่น มะเขือต่างๆ มะเขือเทศ พริกต่างๆ ถั่วแขก ถั่วฝักยาว กล้วย เงาะ ฝรั่ง มะม่วง อะโวกาโด เป็นต้น (สายชล เกตุษา, 2528)

2.3.1 อาการสะท้านหนาว (Chilling Injury)

ผักและผลไม้หลายชนิดมีอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง พืชเมืองหนาวมักเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0-2 °C สำหรับพืชเมืองร้อนส่วนใหญ่ จะเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 °C อาการผิดปกติที่เกิดขึ้นมีหลายลักษณะ เช่น ผิวของผลิตผลเกิดรอยแผลสีน้ำตาลหรือดำ และอาจเกิดรอยบุ๋ม (pitting) เนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป ผลอาจจะไม่สุกแต่ไม่แสดงอาการอื่นๆ ให้เห็น และอาจมีการสะสมแอลกอฮอล์และอะซีทอลดีไฮด์ขึ้นภายในเนื้อผลไม้ ทำให้รสชาติของผลิตผลผิดปกติไป (Morris, 1982)

2.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอันตรายของพืชเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง

มีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 3 ปัจจัย ซึ่งควบคุมความรุนแรงของอันตรายที่เกิดขึ้นกับพืชเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่สัมผัสอุณหภูมิต่ำ และชนิดของพืช อุณหภูมิสูงสุดที่ชักนำให้เกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งกับพืชทั่วไปคือ

ประมาณ 10 °C พืชบางชนิดอาจเกิดความเสียหายที่อุณหภูมิ 13 °C และพืชบางชนิดอาจเกิดความเสียหายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.5 °C อุณหภูมิยิ่งต่ำเท่าไร ความเสียหายก็ยิ่งเกิดได้มากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น มันเทศเกิดความเสียหายภายใน 1 วัน ที่อุณหภูมิ 0 °C แต่ถ้าที่อุณหภูมิ 7 °C มันเทศจะเกิดความเสียหายเมื่อเก็บที่อุณหภูมินี้นานถึง 4 วัน (Nelson and Johnson, 1974)

2.3.3 อาการของพืชที่เกิดขึ้นเมื่อสัมผัสอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง

พืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งมักไม่ค่อยแสดงอาการให้เห็นชัดขณะที่พืชอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ แต่พืชจะแสดงอาการให้เห็นชัดเจนขึ้นเมื่อย้ายไปเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า อาการของพืชที่รับอันตรายและปรากฏให้เห็นอาจจะเป็นเพียงอย่างเดียวหรือหลายอย่างรวมกัน อาการเหล่านี้ได้แก่ การเน่าเสีย มีสีผิดปกติ รอยบุ๋ม และการสุกที่ผิดปกติ พืชแต่ละชนิดจะแสดงอาการที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งแตกต่างกันดังนี้

1. การเน่าเสีย ผลิตผลที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งจะเน่าเสียอย่างรวดเร็ว เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำจะลดความต้านทานของเซลล์พืชที่ทนต่อเชื้อโรค และป้องกันการสมานรอยบาดแผลในพืชหัวบางชนิดทำให้มีโอกาสเกิดการเน่ามากขึ้น การเน่าของพืชจากสาเหตุนี้จะลามไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้อง เพราะเชื้อโรคเจริญเติบโตได้ดีบนเนื้อเยื่อที่ตายหรือกำลังจะตาย (Nelson and Johnson, 1974)

2. สีผิดปกติ เนื้อเยื่อของพืชมักมีสีผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นภายนอก เช่น ถั่ว กล้วย เงาะ หรือเกิดขึ้นภายใน เช่น มะเขือยักษ์ จุดหรือบริเวณของเนื้อเยื่อพืชที่มีสีผิดปกติอาจจะเป็นสีน้ำตาล สีดำ หรือสีคล้ำลงกว่าสีเดิม เนื้อเยื่อของพืชที่มีสีผิดปกติจะเห็นได้เด่นชัดเมื่อพืชอยู่ที่อุณหภูมิต่ำหรือเคลื่อนย้ายจากอุณหภูมิต่ำไปยังอุณหภูมิที่สูงขึ้น ขึ้นกับความรุนแรงของอันตรายที่พืชได้รับเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Morris, 1982)

3. รอยบุ๋ม รอยบุ๋มลึกลงไปจากผิวของเนื้อเยื่อ (pitting) เป็นอาการที่พบทั่วๆ ไปของพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง และมักจะเป็นอาการแรกของพืชที่แสดงออกให้เห็น ความรุนแรงของการเกิดรอยบุ๋มของเนื้อเยื่อพืชขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิต่ำและความชื้นในบรรยากาศ รอยบุ๋มจะเกิดขึ้นรุนแรงในสภาพที่มีความชื้นต่ำกว่าสภาพที่มีความชื้นมาก เนื่องจากในสภาพที่มีความชื้นต่ำ เซลล์ของพืชจะสูญเสียความชื้น เซลล์ของพืชที่ขาดน้ำจะแห้งและทำให้สูญเสียลักษณะของโครงสร้างเดิม และทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นเกิดรอยบุ๋ม เมื่อพืชได้รับอันตรายมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ รอยบุ๋มของเนื้อเยื่อพืชอาจจะรวมตัวกัน

และกลายเป็นรอยบุ๋มตื้นๆ ของเนื้อเยื่อเป็นบริเวณกว้าง ความชื้นที่มีมากในอากาศจะช่วยลดหรือป้องกันการเกิดรอยบุ๋มในพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Morris, 1982)

4. การสุกที่ผิดปกติ อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้ผลไม้หลายชนิดสุกไม่เป็นปกติ ที่เห็นได้ชัดเจนคือ มะเขือเทศและทุเรียน ผลมะเขือเทศดิบเมื่อได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ทำให้เมื่อสุกผลจะมีสีแดงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผล และผลทุเรียน เวลานำมาบ่มให้สุกจะมีรสชาติที่ผิดปกติ (Smock, 1970)

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงทางสรีระเมื่อพืชได้รับผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง

พืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระหลายอย่างเกิดขึ้น เช่น

1. การเคลื่อนที่ของโปรโตพลาสซึม (protoplasmic streaming) การไหลหรือการเคลื่อนที่ของโปรโตพลาสซึมในรากขน (root hair) ของแตงกวาและมะเขือเทศจะหยุดที่อุณหภูมิ 10-12 °C แต่การเคลื่อนที่ของโปรโตพลาสซึมในพืชที่ทนต่ออันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำยังดำเนินต่อไปจนกระทั่งใกล้ 0 °C การเคลื่อนที่ของโปรโตพลาสซึมต้องการพลังงานและยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของโปรโตพลาสซึมและผนังของส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ (subcellular membrane) การสร้างอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) จะลดลงมากในพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำและทำให้ไลโพโปรตีน (lipoprotein) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่ยืดหยุ่นไปเป็นลักษณะที่แข็งตัว (Lyons *et al*., 1979)

2. การหายใจ พืชมีการหายใจที่ผิดปกติระหว่างหรือหลังจากเก็บพืชที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง โดยพืชแต่ละชนิดมีอัตราการหายใจที่ผิดปกติแตกต่างกัน มะเขือเทศจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นขณะที่พืชถูกเก็บที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่พืชจะแสดงอาการภายนอกปรากฏให้เห็น (Lewis, 1956) อัตราการหายใจของพืชที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-15 °C เมื่อแสดงโดยวิธี Arrhenius plot แต่พืชที่ทนต่ออันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งไม่แสดงลักษณะดังกล่าวในช่วงอุณหภูมิเดียวกันนี้ ส่วนพืชที่มีถิ่นกำเนิดจากเขตหนาวมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับอัตราการหายใจที่อุณหภูมิต่ำกว่าคือประมาณ 0-5 °C (Spencer, 1965)

3. การเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสารบางอย่าง Ezell และ Wilcox (1952 และ 1962) รายงานว่ามันเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเกิดการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้น

และมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าสับปะรดและกล้วยที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะมีการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้นเช่นเดียวกับมันเทศ แทนนินซึ่งมีอยู่มากในกล้วยจะถูกออกซิไดซ์และทำให้ผิวของกล้วยเกิดสีดำที่เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity) หลายชนิดในเนื้อเยื่อของพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Pantastico, 1975)

4. การรั่วไหลของสารต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ มันเทศที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง จะมีไอออน (ion) รั่วไหลออกมาจากหัวมันเทศมากกว่า 5 เท่าของหัวมันเทศที่ไม่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เมื่อนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C และการรั่วไหลของไอออนจากมันเทศที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถยับยั้งได้โดยการจุ่มหัวมันเทศก่อนการเก็บรักษาในสารละลายของแมกนีเซียมหรือแคลเซียม (Nelson and Johnson, 1974)

2.3.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของผลิตผลเมื่อเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

1. คาร์โบไฮเดรต ผลไม้ชนิด climacteric ส่วนใหญ่จะมีน้ำตาลเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บและหลังจากนั้นจะลดลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา การสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งสลายตัวได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกลูโคสอาจเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตสส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น การเก็บรักษาผลไม้ชนิดนี้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจะทำให้น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดลดลง ในขณะที่ผลไม้ชนิด non-climacteric มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลเพียงเล็กน้อยและเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Biale, 1960a)

ระยะความแก่ของผลิตผลและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจะเป็นตัวกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง เช่น มะเขือเทศผลอ่อนที่มีขนาดเล็กจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงมากกว่ามะเขือเทศผลอ่อนที่มีขนาดใหญ่กว่า และมะเขือเทศผลแก่ที่มีสีเขียวจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงไม่เปลี่ยนแปลง แต่มะเขือเทศที่กำลังสุกเมื่อนำไปเก็บรักษาจะมีปริมาณน้ำตาลลดลง (Pantastico, 1975)

2. กรดอินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษานั้นจะขึ้นกับระยะความแก่และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น ผลมะเขือเทศอ่อนจะมีปริมาณกรดอินทรีย์มากกว่าผลแก่ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณกรดแอสคอร์บิก ผลมะเขือเทศสุกขณะยังอยู่บนต้นจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่ามะเขือเทศที่สุกภายหลังจากเด็ดออกจากต้นแล้ว

นอกจากนี้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกนั้นจะสูญเสียเร็วเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (Pantastico, 1975)

3. Pantastico (1975) รายงานว่า มะเขือเทศมีการเปลี่ยนแปลงของฟอสโฟ-ไลพิดและกรดไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C คือมีปริมาณฟอสโฟไลพิดลดลง ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น กรดลิโนเลนิก กรดลิโนเลอิก และกรดโอเลอิก จะถูกเผาผลาญอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา ทำให้ได้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสะสมอยู่ภายใน ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติเมื่อนำมันฝรั่งไป แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (Schwartz *et al*., 1968)

4. รงควัตถุหรือสารสี ผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงในระหว่างการเก็บ ในขณะที่สารสีชนิดอื่นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความแก่ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น มันเทศพันธุ์ Nancy Hall จะมีปริมาณแคโรทีนและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนมะเขือเทศที่ยังไม่แก่และมีผลขนาดเล็กจะเปลี่ยนแปลงสีเหลืองช้ากว่ามะเขือเทศผลใหญ่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 °C (Ezell and Wilcox, 1952)

5. สารประกอบเพกติน ในระหว่างการเก็บรักษาความแน่นเนื้อของผลิตผลจะลดลงเนื่องจากสารโพรโตเพกตินซึ่งไม่ละลายน้ำจะสลายตัวได้เป็นกรดเพกติกและเพกตินที่ละลายน้ำได้ สารประกอบเพกตินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากถ้าระหว่างการเก็บรักษาไม่มีกระบวนการสุกเกิดขึ้น เช่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างโพรโตเพกตินและเพกตินที่ละลายน้ำได้เมื่อเก็บเกรฟฟรุตไว้นาน 6 สัปดาห์ ที่ 13 °C (Rygg and Harvey, 1938)

6. เอนไซม์ ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและระยะความแก่ของผลิตผล ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดโดยทั่วไปความสามารถในการทำงานของ เอนไซม์คะตะเลส เพกตินเอสเตอเรส เซลลูเลส และอะมัยเลส จะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดสจะลดลง ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์คะตะเลสและเพกตินเอสเตอเรสของผลิตผลที่แก่จัดตามธรรมชาติจะสูงกว่าผลิตผลที่เก็บเกี่ยวขณะยังไม่แก่ (Ezell and Gerhardt, 1942) Maris-McArthur-Hespe (1956) รายงานว่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์อะมัยเลสของผลลูกแพรจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ที่ 0 °C

2.4 การเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศดัดแปร

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาผลิตผล เมื่อเก็บรักษาผลิตผลภายใต้อุณหภูมิต่ำ กระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงส่งผลให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณออกซิเจนในอากาศซึ่งส่งผลต่ออัตราการหายใจ การสร้างก๊าซเอทิลีน และกระบวนการออกซิเดชัน ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีปริมาณมากสามารถยับยั้งขั้นตอนบางขั้นตอนในกระบวนการหายใจ มีผลชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติป้องกันการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีนของผลิตผลด้วยเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จับกับบริเวณเร่งปฏิกิริยา (active site) ของเอทิลีน ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจนน้อยและ/หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติเรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere, MA) (นิธิยา รัตนาปนนท์ และดนัย บุญยเกียรติ, 2548)

ปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ในการเก็บรักษาภายใต้ภาวะบรรยากาศดัดแปรนี้ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ เนื่องจากในระหว่างการเก็บผลิตผลจะมีการหายใจและเกิดกระบวนการต่างๆ ภายในผลิตผลซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ อายุการเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา และความเครียดต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทอากาศระหว่างสถานที่เก็บรักษากับบรรยากาศข้างนอกด้วย ถ้าการถ่ายเทอากาศดีความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในสถานที่เก็บจะใกล้เคียงกับสภาพบรรยากาศปกติ แต่ถ้าการถ่ายเทไม่ดีความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ก็จะต่างไปจากปกติ ทั้งนี้รวมถึงก๊าซเอทิลีนที่ผลิตผลสร้างขึ้นมาด้วย อาจมีปริมาณมากขึ้นจนมีผลทำให้การสุกหรือการชราภาพเกิดขึ้นเร็วกว่าปกติ ดังนั้นถ้าต้องการเก็บรักษาผลิตผลให้อยู่ได้นานจำเป็นต้องมีการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ ให้คงที่อยู่ในระดับที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผลให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ

การควบคุมปริมาณก๊าซต่างๆ ภายในสถานที่เก็บรักษาให้คงที่อาจทำได้หลายทาง เช่น โดยการระบายอากาศด้วยการเติมก๊าซหรือระบายก๊าซบางชนิดออกจากที่เก็บรักษา ในภาวะการเก็บรักษาที่สามารถควบคุมปริมาณขององค์ประกอบของบรรยากาศให้คงที่ได้เรียกว่าการเก็บรักษาในภาวะบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere) ซึ่งโดยปกติจะรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ด้วยเช่นกัน การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมจึงเป็นการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปรอย่างหนึ่ง การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปรจะต้องคำนึงถึง

1. ชนิดของผลิตผล ผลิตผลต่างชนิดกันมีอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจน การสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนไม่เท่ากัน

ส่งผลต่อสภาพบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลภายในภาชนะบรรจุ นอกจากนั้นคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซชนิดต่างๆ ภายในผลิตผลผ่านเข้าออกทางผิวหรือเปลือกไปสู่อากาศย่อมส่งผลถึงความเข้มข้นของก๊าซภายในผลิตผลเองด้วย (Biale, 1960b)

2. วัยและความบริบูรณ์ของผลิตผล ผลิตผลที่มีวัยต่างกันอัตราการหายใจ การสร้างเอทิลีนและเมทาบอลิซึมต่างๆ แตกต่างกัน ผลิตผลที่ยังอ่อนอยู่มักมีอัตราต่างๆ ดังกล่าวต่ำกว่าผลไม้ที่กำลังสุก ส่งผลให้บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาแตกต่างกันทั้งๆ ที่การบรรจุและการเก็บรักษาเหมือนกัน (Biale, 1960b)

3. อุณหภูมิในการเก็บรักษา อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ สูงขึ้นส่งผลต่อการใช้และการผลิตก๊าซต่างๆ ของผลิตผล (Smock, 1970)

4. ปริมาณของผลิตผลในภาชนะบรรจุ ในปริมาตรที่เท่ากัน การบรรจุผลิตผลจำนวนมากทำให้ผลิตผลใช้ออกซิเจนมากกว่าและเกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการบรรจุผลิตผลจำนวนน้อย (Biale, 1964)

5. คุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกของภาชนะบรรจุ (gas transmission rate) ภาชนะบรรจุที่ยอมให้ก๊าซต่างๆ ผ่านเข้าออกได้มากส่งผลให้องค์ประกอบของก๊าซภายในภาชนะบรรจุใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติมากกว่าภาชนะบรรจุที่ยอมให้ก๊าซต่างๆ ผ่านได้น้อย (Marston, 1995)

2.4.1 **ข้อดีของการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผล**

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปรนอกจากมีประโยชน์ด้านการชะลอกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ภายในผลผลิต ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลแล้ว ยังมีข้อดีในด้านอื่นๆ ดังนี้

1. ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากขึ้น ผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากมักเก็บรักษาไม่ได้นาน และขนส่งได้ไม่ไกล แต่มีรสชาติและคุณภาพในการบริโภคดีกว่าผลิตผลที่มีความบริบูรณ์น้อย ดังนั้นการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปรสามารถแก้ปัญหานี้ได้ (Eskin *et al*., 1971)

2. ลดความว่องไว (sensitivity) ของผลิตผลต่อเอทิลีน ทำให้การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่กระตุ้นโดยเอทิลีนเกิดขึ้นช้าลง ทั้งนี้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเอทิลีน สามารถไปจับที่บริเวณเร่งปฏิกิริยา (active site) ของเอทิลีนได้ (Yang, 1980)

3. ลดการเกิดออกซิเดชัน การเกิดออกซิเดชันเกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์สามารถลดการเกิด

ออกซิเดชันของผลิตผลที่มีไขมันมากได้ เช่น มะม่วงหิมพานต์และเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ เป็นต้น (Kader *et al*., 1989)

4. ลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น อาการสะท้านหนาว เพราะเมื่อเกิดการบาดเจ็บระยะแรก (primary injury) ขึ้นในเซลล์แล้ว องค์ประกอบต่างๆ ที่เคยอยู่ในคอมพาร์ตเมนต์ (compartment) ต่างๆ จะแพร่ผ่านออกมา โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติสีน้ำตาลขึ้น (Nguyen *et al*., 2003)

5. ลดการเจริญของจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศที่มีการลดปริมาณออกซิเจนสามารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน (aerobic microorganism) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เจริญบนผักและผลไม้ (El-Goorani and Sommer, 1981)

6. เพิ่มคุณภาพของผลิตผล ผลิตผลบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น หน่อไม้ฝรั่งจะมีปริมาณเส้นใยสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สภาพบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการสร้างเส้นใยในหน่อไม้ฝรั่งได้ (Hardenburg, 1971)

2.4.2 ข้อเสียของการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผล

การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้สภาพบรรยากาศควบคุมที่ได้รับการทดสอบแล้วมักปลอดภัยต่อผลิตผล สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศดัดแปรที่ไม่ได้ควบคุมองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ ให้เหมาะสม อาจทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากก๊าซแต่ละชนิดมีความเข้มข้นสูงหรือต่ำเกินไป

อาการผิดปกติของผลิตผลเมื่อเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรมีหลายรูปแบบด้วยกัน ลักษณะที่พบมากได้แก่ ผิวของผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ายถูกน้ำร้อนลวก มีรสชาติและกลิ่นผิดปกติ และสำหรับผลไม้มักมีกระบวนการสุกผิดปกติหรือไม่สุก

นอกจากอาการผิดปกติที่แตกต่างกันแล้ว ผลิตผลแต่ละชนิดยังทนต่อสภาพบรรยากาศดัดแปรได้แตกต่างกัน สาเหตุของความแตกต่างยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สันนิษฐานกันว่าเนื่องจากคุณสมบัติของผิวผลิตผลที่ยอมให้มีการถ่ายเทก๊าซต่างๆ แตกต่างกัน และความหนาแน่นของเนื้อผลิตผล ผลิตผลที่มีความหนาแน่นสูง การถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้ออกซิเจนภายในลดต่ำเกินไป หรือคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ภายในมากเกินไป จึงทำให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ดนัย บุญยเกียรติ, 2548)

Nguyen, Ketsa และ Doorn (2003) ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศในการเก็บกล้วยโดยปรับบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเข้มข้นของออกซิเจนประมาณ 12% และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 4% ร่วมกับ ethylene absorber และ CO_2 scrubber พบว่าสามารถลดอาการสะท้านหนาวในกล้วยที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ และทำให้ polyphenol oxidase (PPO) activity และ phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity ลดลง ซึ่งส่งผลให้ลดการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกกล้วยที่เก็บในภาวะอุณหภูมิต่ำ

Artés และคณะ (1999) ศึกษาผลของการล้างมะเขือเทศด้วยแคลเซียมคลอไรด์ passive modified packaging และ active modified packaging ในการเก็บมะเขือเทศชิ้น โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.09 mM และ active modified packaging โดยปรับอัตราส่วนก๊าซเริ่มต้นเป็น 7.5%O_2/0%CO_2/92.5%N_2 บรรจุในกล่องพลาสติกและหุ้มด้วย perforated film เก็บที่ 2 °C เป็นเวลา 10 วัน พบว่า active modified packaging สามารถรักษาคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (visual quality) กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และคุณภาพด้านลักษณะปรากฏโดยรวม (overall visual quality) ได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.001$) ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง passive modified packaging และ active modified packaging พบว่า active modified packaging สามารถรักษาคุณภาพด้านความแน่นเนื้อได้ดีกว่า passive modified packaging อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.001$)

Klieber และคณะ (1996) ได้ศึกษาผลของการลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีต่อสรีรวิทยาของมะเขือเทศพันธุ์ Bermuda ระยะ breaker โดยปรับภาวะบรรยากาศเป็น 4 ทรีตเมนต์ดังนี้ 1. 0.5%O_2/99.5%N_2 2. 1.0%O_2/99.0%N_2 3. 80%O_2/20% อากาศ และ 4. ไม่มีการดัดแปรบรรยากาศ (ตัวอย่างควบคุม) เก็บมะเขือเทศในทรีตเมนต์ต่างๆ เป็นเวลา 1 3 5 และ 7 วัน ที่ 22 °C จากนั้นนำมาเก็บที่ภาวะบรรยากาศ (22 °C) ผลการทดลองพบว่ามะเขือเทศที่เก็บใน 80%O_2 และ 20% อากาศ จะเกิดการเสียหายจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury) 35% ของมะเขือเทศทั้งหมดหลังจากเก็บเป็นเวลา 5 วัน ในขณะที่การเก็บมะเขือเทศใน 0.5O_2%/99.5%N_2 และ 1.0%O_2/99.0%N_2 เป็นเวลา 3 วัน จะเกิดบาดแผลที่ผิว 95% และ 50% ของมะเขือเทศทั้งหมด ตามลำดับ

2.5 Heat treatment เพื่อควบคุมการเสื่อมเสียของผักและผลไม้

การใช้ heat treatment เป็นวิธีที่นิยมใช้ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้เพื่อควบคุมการเสื่อมเสียของผักและผลไม้จากจุลินทรีย์ ป้องกันแมลง และเพื่อลดการใช้สารเคมีในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และแมลง โดยรายงานการใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1922 เพื่อควบคุมการเสื่อมเสียของส้ม (Fallik, 2004) นอกจากนี้ heat treatment ยังสามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลิตผลบางชนิดได้ด้วย (Paull and Chen, 2000) วิธีการใช้ heat treatment สามารถใช้ได้หลายวิธีคือ การจุ่ม (dip or immersion) และการล้าง (rinsing) ผักและผลไม้ในน้ำร้อนหรือไอน้ำ

Schirra และคณะ (1998) ศึกษาผลของการใช้น้ำร้อนและไทอะเบนดาโซล (thiabendazole, TBZ) ในการลดอาการสะท้านหนาวของส้มพันธุ์ Obsek โดยมี 4 ทรีตเมนต์คือ 1. การจุ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 19 °C 2. การจุ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C 3. การจุ่มในสารละลาย TBZ ความเข้มข้น 1200 ppm อุณหภูมิ 19 °C และ 4. การจุ่มในสารละลาย TBZ ความเข้มข้น 200 ppm อุณหภูมิ 50 °C ทุกทรีตเมนต์จุ่มเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นซับให้แห้ง เก็บที่อุณหภูมิ 3 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% ผลการทดลองพบว่าทรีตเมนต์ที่ 4 สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือทรีตเมนต์ที่ 2 ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการจุ่มน้ำอุณหภูมิ 50 °C ไม่ทำให้เปลือกส้มเกิดความเสียหาย

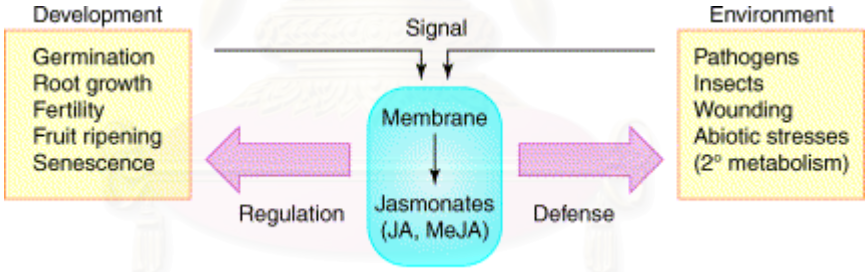
Schirra และคณะ (2000) ศึกษาการใช้สารละลาย TBZ และอิมาซาลิล (imazalil, IMZ) อุณหภูมิ 20 °C และ 50 °C ในการลดอาการสะท้านหนาวของเกรฟฟรุตพันธุ์ Ruby โดยมี 6 ทรีตเมนต์คือ 1. จุ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C 2. จุ่มในสารละลาย IMZ ความเข้มข้น 1200 mg/L ที่อุณหภูมิ 20 °C 3. จุ่มในสารละลาย TBZ ความเข้มข้น 1200 mg/L ที่อุณหภูมิ 20 °C 4. จุ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C 5. จุ่มในสารละลาย IMZ ความเข้มข้น 200 mg/L ที่อุณหภูมิ 50 °C และ 6. จุ่มในสารละลาย TBZ ความเข้มข้น 200 mg/L ที่อุณหภูมิ 50 °C ทุกทรีตเมนต์เก็บที่อุณหภูมิ 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% ผลการทดลองพบว่าทรีตเมนต์ที่ 6 มีดัชนีอาการสะท้านหนาวน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Henríquez และคณะ (2005) ศึกษาผลของ heat treatment ต่อการลดอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศพันธุ์ Dominique โดยแปรอุณหภูมิน้ำที่ใช้และเวลาดังนี้ 40 °C 15 นาที, 48 °C 2 นาที และ 50 °C 2 นาที เก็บที่อุณหภูมิ 2 °C เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใช้น้ำอุณหภูมิ 50 °C 2 นาที สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2.6 เมทิลจัสโมเนต

พืชจะปลดปล่อยสารต่างๆ หลายชนิดจากดอก ผล และเนื้อเยื่อต่างๆ การปลดปล่อยนี้จะช่วยให้พืชสามารถสื่อสารกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ ช่วยดึงดูดให้สัตว์มาผสมเกสร และป้องกันแมลงที่เป็นอันตราย (Pichersky and Gershenzon, 2002) การสร้างสารระเหย (volatile) สามารถถูกเหนี่ยวนำโดยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น จุลินทรีย์ สัตว์กินพืช และสภาพภูมิอากาศ (Paré and Tumlinson, 1999) เมทิลจัสโมเนตเป็นสารระเหยอีกชนิดหนึ่งที่มีกลิ่นหอมและสกัดได้จากพืชตระกูล *Jasminum grandiflorum* และพบได้เฉพาะในพืชเท่านั้น ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $(O=)C_5H_6(CH_2CH=CHC_2H_5)CH_2CO_2CH_3$ ($C_{13}H_{20}O_3$) และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 224.30

เมทิลจัสโมเนตและกรดจัสโมนิกมักถูกเรียกว่าจัสโมเนต สารเหล่านี้เป็นสารควบคุมที่มีความสำคัญระดับเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เช่น การงอกของเมล็ด การเจริญของราก กระบวนการสุกและกระบวนการชราภาพ (Wasternack and Hause, 2002) (รูปที่ 2.2) นอกจากนี้เมทิลจัสโมเนตจะกระตุ้นพืชให้เกิดกระบวนการต่างๆ ที่จะตอบสนองต่อการเกิดบาดแผลจากแมลง จุลินทรีย์ และความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความแห้งแล้งและอุณหภูมิต่ำ เป็นต้น

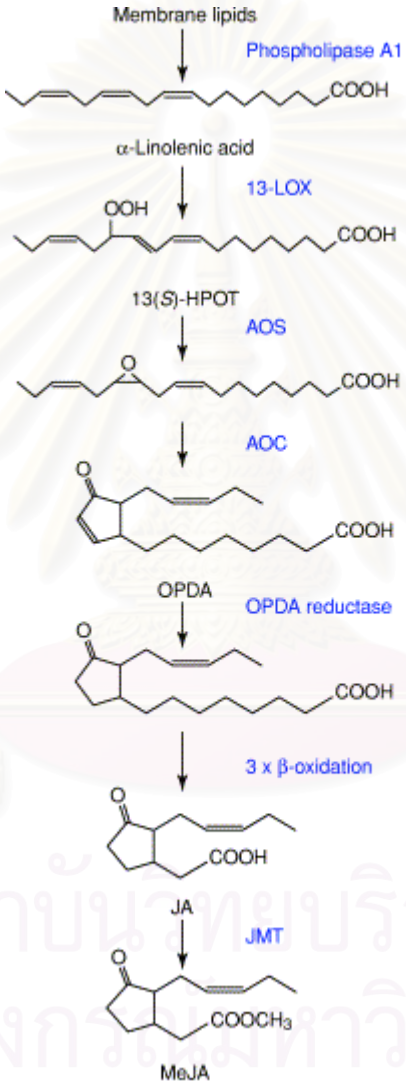


รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์จัสโมเนตที่ตอบสนองต่อการเจริญของพืชและสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ

ที่มา : Cheong และ Choi (2003)

พืชสังเคราะห์จัสโมเนตโดยผ่าน octadecanoid pathway (Paré and Tumlinson, 1999) (รูปที่ 2.3) เริ่มจากการกระตุ้นฟอสโฟไลเปส (phospholipase) ให้ปลดปล่อยกรดไลโนเลนิก (α-linolenic acid, 18:3) จากเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนที่เป็นไขมัน จากนั้นจะเกิดการเติมออกซิเจน (oxygenated) ให้กับกรดไลโนเลนิก โดยไลพอกซีจีเนส ได้ 13-ไฮดรอกซีไลโนเลนิก (13-hydroxy

linolenic acid, 13-HPOT) จากนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็น 12 ออกโซไฟโตไดอีนโนอิกแอซิด (12-oxo-phytodienoic acid ,OPDA) โดยแอลลีนออกไซด์ซินเทส (allene oxide synthase, AOS) และแอลลีนออกไซด์ไซเคลส (allene oxide cyclase, AOC) กรดจัสโมนิกสังเคราะห์ได้จาก OPDA โดยกระบวนการรีดักชันและเบตาออกซิเดชัน 3 ครั้ง หลังจากนี้จะถูก catabolize ด้วยจัสโมเนตแอซิดคาร์บอกซิลเมทิลทรานส์เฟอเรส (JA carboxyl methyltransferase, JMT) ได้เมทิลจัสโมเนต (Seo *et al*., 2001)



รูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์จัสโมเนตและเมทิลจัสโมเนตในพืช
ที่มา : Cheong และ Choi (2003)

Seo และคณะ (2001) รายงานว่าพืชตระกูล *Arabidopsis* ที่มีการตัดแต่งยีนโดยตัดแต่งยีนให้มีการสร้าง JMT ให้มากขึ้น และมีความต้านทานต่อเชื้อรามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่

มีการตัดแต่งยีน เช่น มันฝรั่งที่มีการตัดแต่งยีนทำให้มีการสร้าง AOS มากขึ้น จะมีความเข้มข้นของจัสโมเนตเพิ่มขึ้น แต่การถอดรหัสของยีนที่ตอบสนองต่อจัสโมเนตจะไม่เพิ่มขึ้นในพืชชนิดนี้ (Harms *et al*., 1995)

การแสดงออกของ JMT จะตรวจไม่พบในเมล็ดอ่อน แต่จะตรวจพบในพืชที่เริ่มมีการสร้างดอกไม้ (Seo *et al*., 2001) การแสดงออกของยีนสามารถถูกเหนี่ยวนำได้ทั้งปัจจัยภายในและภายนอก เช่น การเกิดบาดแผล และการได้รับสารเมทิลจัสโมเนตจากภายนอก เป็นต้น

Gonzalez-Aguilar และคณะ (2000) ศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการลดอาการสะท้านหนาวและรักษาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins โดยรมควันมะม่วงด้วยเมทิลจัส-โมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ 25 °C จากนั้นเก็บที่ 7 °C เป็นเวลา 21 วัน และเก็บต่อที่ 20 °C ต่ออีก 5 วัน พบว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถลดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงได้ โดยลดการรั่วไหลของไอออนในเนื้อเยื่อ และรักษาคุณภาพของมะม่วงได้ดีกว่าที่ไม่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนต

Gonzalez-Aguilar และคณะ (2003) ศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตในการลดอาการสะท้านหนาวในฝรั่ง โดยรมฝรั่งด้วยเมทิลจัสโมเนต พบว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถลดอาการสะท้านหนาว เพิ่มปริมาณน้ำตาลในฝรั่ง และเพิ่ม phenylalanine (PAL) activity และ lipoxigenase (LOX) activity นอกจากนี้เมทิลจัสโมเนตยังไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์ และสารฟีนอลิกในฝรั่งด้วย และสามารถเก็บฝรั่งได้นาน 15 วัน ในขณะที่ฝรั่งที่ไม่ได้รมด้วยเมทิลจัสโมเนตสามารถเก็บได้ 9 วัน ที่ 5 °C

Buta และ Moline (1998) ศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้น 10^{-4} M และ 10^{-5} M ต่อการยืดอายุการเก็บและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ของพริกไทยและขึ้นฉ่ายโดยเก็บที่ 10 °C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าการรมควันขึ้นฉ่ายด้วยเมทิลจัสโมเนตเข้มข้น 10^{-4} M และ 10^{-5} M สามารถชะลอการเน่าเสียของขึ้นฉ่ายได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการรมควัน ในขณะที่พริกไทยที่ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่าการจุ่มในสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-5} M และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Shimin และคณะ (1996) ศึกษาผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการลดอาการสะท้านหนาวของอะโวกาโด เกรฟฟรุต และพริกหวาน โดยจุ่มอะโวกาโด เกรฟฟรุต และพริกหวานในสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 2.5 μM 10 μM และ 25 μM เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเก็บที่ 2 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลิตผลดังกล่าวได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ผลิตผลที่ไม่ผ่านการจุ่มด้วยเมทิลจัสโมเนต)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

สารเคมี

สารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M และ 10^{-5} M (Sigma Aldrich, USA.)
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N (A.R. grade)
สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 300 ppm (A.R. grade)
สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้นร้อยละ 1 (A.R. grade)
สารละลาย 2,6 ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล (2,6 dichlorophenolindophenol) (A.R. grade)
สารละลายกรดแอสคอบิก (A.R. grade)
สารละลายเฮกเซนบริสุทธิ์ (A.R. grade)
สารละลายบิวทิลเลตเตดไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytolune, BHT) (A.R. grade)
สารละลายอะซีโตน (A.R. grade)
สารละลายแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (A.R. grade)

เครื่องมือ

เครื่อง MULTIVAC (Multivac A 300/16, Germany)
เครื่อง Gas mixture (WITT-GASETTECHNIK KM 100-3M, Germany)
เครื่อง Chroma Meter (Minolta, Model CR-300 Series, Japan) ระบบ CIELAB
เครื่อง Texture Analyzer (LLYOD Food Texture Analyzer, model TA 500, England)
เครื่อง pH meter (Inolab, TetraCon® 325, Germany)
เครื่องชั่ง (Satorius, E5500 S, Germany)
เครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu, GC-9A, Japan)
เครื่อง Juice Extractor (Moulinex, 753, Spain)
เครื่อง Digital Abbe Refractometer (ATAGO, DR-A1, USA.)
เครื่อง Vortex shaker (Labnet, VX100, USA.)
เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Biomate, Biomate5, England)

การเตรียมผลิตผล

ใช้มะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อในการทดลอง โดยใช้มะเขือเทศที่มีความสม่ำเสมอด้านสี ไม่มีตำหนิ และระยะแก่จัด (mature green) มีน้ำหนักเฉลี่ย 78.84 ± 6.78 g ต่อผล จากสวนอำเภอ อมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ขนส่งโดยการบรรจุในกล่องโฟม ภายใต้บรรยากาศปกติ ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่งประมาณ 25 °C มาที่ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จากนั้นทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) ความเข้มข้น 300 ppm ล้างด้วยน้ำประปา ซับให้แห้ง แล้วเด็ดขั้วออก เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟ (active packaging รุ่น I5-2) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า FRESHPAC™ ขนาด 8 นิ้ว x 11 นิ้ว ผลิตและจำหน่ายโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) มีความหนาและค่าการซึมผ่านต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความหนาและค่าการซึมผ่านของถุง FRESHPAC™

ความหนา (μm)	การซึมผ่านก๊าซออกซิเจน ($cc/cm^2.day$)	การซึมผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($cc/cm^2.day$)
31.8	11.66	27.97

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

3.1.1 วัดสี ด้วยเครื่อง Chroma Meter (Minolta, Model CR-300 Series, Japan) ระบบ CIELAB และบันทึกค่า a* value (redness) และ b* value (yellowness)

3.1.2 ความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง LLYOD Food Texture Analyzer (model TA 500, England)

3.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วย Digital Refractometer (ATAGO, DR-A1, U.S.A.)

3.1.4 ค่า pH โดยใช้เครื่อง Inolab (TetraCon® 325, Germany)

3.1.5 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก โดยการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 N (AOAC, 1995)

3.2 ศึกษาลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับคุณภาพของมะเขือเทศ

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้มะเขือเทศที่ใช้ในการทดลองเกิดอาการสะท้านหนาวคือต่ำกว่า 10 °C ดังนั้นจึงเก็บมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อให้มั่นใจว่าจะเกิดอาการสะท้านหนาว โดยสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์ เพื่อติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น สี และลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาว ได้แก่ การเกิดรอยบุ๋มที่ผิว (surface pitting) และการเกิดตำหนิของมะเขือเทศ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคะแนนการยอมรับด้านสีและการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศตลอดการทดลอง

3.3 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการใช้เมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้านหนาว

เปรียบเทียบการใช้เมทิลจัสโมเนตด้วยวิธีจุ่มและรมควันรวมทั้งเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่มีการใช้เมทิลจัสโมเนต การรมควันทำโดยเตรียมมะเขือเทศจำนวน 180 ผล นำไปบรรจุในถังขนาด 25 L นำกระดาษกรองที่มีการหยดเมทิลจัสโมเนตให้ทั่วกระดาษกรองที่มีความเข้มข้นเมทิลจัสโมเนต 10^{-4} M วางบนมะเขือเทศ ปิดภาชนะบรรจุให้สนิท รมควันที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเพื่อระบายอากาศ ประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษา ส่วนการจุ่มทำโดยเตรียมมะเขือเทศ จำนวน 180 ผล จุ่มในสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M เป็นเวลา 3 นาที แล้วซับและผึ่งให้แห้งประมาณ 10 นาที และใช้มะเขือเทศจำนวน 180 ผล ที่ไม่ผ่านการใช้เมทิลจัสโมเนตเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากวิธีการจุ่ม วิธีรมควันและตัวอย่างควบคุม มาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บใน FRESHPAC™ บรรจุถุงละ 3 ผล ปิดผนึกถุงด้วยความร้อน (impulse sealer) รอยปิดผนึกอยู่ที่ 1.5 cm แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% สุ่มตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 วัน จนมะเขือเทศเกิดการเสื่อมเสีย ติดตามการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศดังนี้

- วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพตามข้อ 3.1.1-3.1.5
- การสูญเสียน้ำหนัก

- การทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ อาการสะท้านหนาว โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2

เลือกวิธีที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมในการลดอาการสะท้านหนาวและรักษาคุณภาพของมะเขือเทศ

นำวิธีที่เหมาะสมจากข้อ 3.3 มาใช้ และศึกษาหาความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมในการลดอาการสะท้านหนาวและรักษาคุณภาพของมะเขือเทศ โดยเตรียมมะเขือเทศจำนวน 180 ผล นำไปบรรจุในถังขนาด 25 L นำกระดาษกรองที่มีการหยดเมทิลจัสโมเนตที่มีการแปรความเข้มข้นเมทิลจัสโมเนต 2 ระดับคือ 10^{-4} และ 10^{-5} M (MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M) ปิดภาชนะบรรจุให้สนิท รมควันที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเพื่อระบายอากาศ ประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมคือมะเขือเทศ จำนวน 180 ผล ที่ไม่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนต จากนั้นสุ่มมะเขือเทศแต่ละวิธี มาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บในถุง FRESHPAC^{TM} บรรจุถุงละ 3 ผล ปิดผนึกถุงด้วยความร้อน แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% สุ่มตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 วัน จนมะเขือเทศเกิดการเสื่อมเสีย ติดตามการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศดังนี้

- วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพตามข้อ 3.1.1-3.1.5
- การสูญเสียน้ำหนัก
- การทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ อาการสะท้านหนาว การเกิดตำหนิ การยอมรับด้านสี และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2

โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะทดสอบในสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 หรือจนกว่ามะเขือเทศจะเกิดการเสื่อมเสียจนไม่สามารถทดสอบค่าต่างๆ ได้ โดยสุ่มตัวอย่างจากทุกทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 5 ชั่วโมง วางมะเขือเทศแต่ละผลลงในกล่องพลาสติกที่มีการติดรหัสการทดสอบไว้แล้ว แล้วให้ผู้ทดสอบแบบฝึกฝนจำนวน 6 คน ทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่าง

การทดสอบทางเคมี ทางกายภาพ และการสูญเสียน้ำหนักออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ความแน่นเนื้อและวัดสี ทำการทดลอง 9 ซ้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก และการสูญเสียน้ำหนักทำการทดลอง 3 ซ้ำ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสออกแบบการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) ใช้แบบทดสอบแบบ Acceptance test และใช้สเกลแบบ

scoring ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001)

เลือกความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5 ศึกษาภาวะการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ

เตรียมมะเขือเทศจำนวน 180 ผล สุ่มมะเขือเทศทีละผลมาชั่งน้ำหนัก แล้วบรรจุในถุง FRESHPAC™ ถุงละ 3 ผล แล้วดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นภายในถุงด้วยเครื่อง MULTIVAC (Multivac A 300/16, Germany) ซึ่งต่อกับ Gas mixture (WITT-GASETTECHNIK KM 100-3M, Germany) ปรับอัตราส่วนก๊าซเริ่มต้น ปริมาตรก๊าซที่ใส่ในแต่ละถุงคือ 650 mL รอยปิดผนึกอยู่ที่ 1.5 cm โดยปรับให้มีอัตราส่วนต่างๆ กัน 5 ทรีตเมนต์ ดังนี้

- ทรีตเมนต์ 1 (MAP1) คือ การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซออกซิเจน 2.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5% และก๊าซไนโตรเจน 95%
- ทรีตเมนต์ 2 (MAP2) คือ การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซออกซิเจน 5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% และก๊าซไนโตรเจน 90%
- ทรีตเมนต์ 3 (MAP3) คือ การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซออกซิเจน 7.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และก๊าซไนโตรเจน 92.5%
- ทรีตเมนต์ 4 (MAP4) คือ การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซออกซิเจน 2% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% และก๊าซไนโตรเจน 18%
- ทรีตเมนต์ 5 (ตัวอย่างควบคุม) คือไม่มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้น

เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และสุ่มตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 วัน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศดังนี้

- วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพตามข้อ 3.1.1-3.1.5
- การสูญเสียน้ำหนัก
- การทดสอบทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 3.4

การทดสอบทางเคมี ทางกายภาพ และการสูญเสียน้ำหนักออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ความแน่นเนื้อและวัดสี ทำการทดลอง 9 ซ้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก และการสูญเสียน้ำหนัก

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสออกแบบการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) ใช้แบบทดสอบแบบ Acceptance test และใช้สเกลแบบ scoring ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001)

เลือกภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.6 ศึกษาการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นร่วมกับเมทิลจัสโมเนตต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ

เตรียมและแบ่งมะเขือเทศทั้งหมดออกเป็น 4 ทรีตเมนต์ ดังนี้

- ทรีตเมนต์ 1 (MJ+MAP) ใช้มะเขือเทศจำนวน 180 ผล บรรจุในถังขนาด 25 L นำกระดาษกรองที่มีการหยดเมทิลจัสโมเนตให้ทั่วกระดาษกรองที่มีเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสมจากข้อ 3.4 ปิดภาชนะบรรจุให้สนิท รมควันที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเพื่อระบายอากาศ ประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษา สุ่มมะเขือเทศทีละผลมาชั่งน้ำหนัก แล้วบรรจุในถุง FRESHPAC™ ถุงละ 3 ผล แล้วดัดแปรบรรยากาศที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.5 ด้วยเครื่อง MULTIVAC ปริมาตรก๊าซที่ใส่ในแต่ละถุงคือ 650 mL
- ทรีตเมนต์ 2 (heat Treatment, HT) ใช้มะเขือเทศจำนวน 180 ผล จุ่มในน้ำอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 นาที แล้วซับและผึ่งให้แห้งประมาณ 10 นาที สุ่มมะเขือเทศทีละผลมาชั่งน้ำหนัก แล้วบรรจุในถุง FRESHPAC™ ถุงละ 3 ผล แล้วปิดผนึกด้วยความร้อน
- ทรีตเมนต์ 3 (ตัวอย่างควบคุม, control) ใช้มะเขือเทศจำนวน 180 ผล สุ่มมะเขือเทศทีละผลมาชั่งน้ำหนัก แล้วบรรจุในถุง FRESHPAC™ ถุงละ 3 ผล แล้วปิดผนึกด้วยความร้อน
- ทรีตเมนต์ 4 (no pack) ใช้มะเขือเทศจำนวน 180 ผล ที่ไม่ผ่านการใช้เมทิลจัสโมเนตและไม่ใช้บรรจุภัณฑ์ วางบนกล่องกระดาษ

ทุกทรีตเมนต์เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และสุ่มตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 วัน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศดังนี้

- วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพตามข้อ 3.1.1-3.1.5
- การสูญเสียน้ำหนัก
- ปริมาณกรดแอสคอบิก โดยไตเตรตกับสารละลาย 2,6 dichlorophenolindophenol (AOAC, 1990)
- ปริมาณไลโคพีน โดยวิธี Spectrophotometry (Fish *et al*., 2002)

- อัตราส่วนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu GC-9A, Japan)
- ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu GC-9A, Japan)
- การทดสอบทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 3.4

การทดสอบทางเคมี ทางกายภาพ การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดแอสคอบิก ปริมาณไลโคพีน อัตราส่วนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ความแน่นเนื้อและวัดสี ทำการทดลอง 9 ซ้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก และการสูญเสียน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปริมาณกรดแอสคอบิก ปริมาณไลโคพีน เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ ทดลอง 3 ซ้ำ ปริมาณเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ ทดลอง 4 ซ้ำ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสออกแบบการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) ใช้แบบทดสอบแบบ Acceptance test และใช้สเกลแบบ scoring ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA.) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

วัดสมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของมะเขือเทศเมื่อเริ่มการทดลองทุกๆ การทดลองโดยมะเขือเทศมีค่าเฉลี่ยสมบัติทางเคมีและกายภาพดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศ

สมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของมะเขือเทศ	ผลการทดลอง
น้ำหนักต่อผล	78.84 ± 6.78 g
ความแน่นเนื้อ	229.04 ± 7.79 N
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	4.77 ± 0.06
pH	4.22 ± 0.02
ค่า a*/b*	-0.48 ± 0.03
ร้อยละปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก	0.48 ± 0.01

4.2 ลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับคุณภาพของมะเขือเทศ

เมื่อเก็บมะเขือเทศที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเมื่อมะเขือเทศเกิดอาการสะท้านหนาวจะมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.1 คือเกิดรอยบุ๋มขนาดเล็กๆ ตามผิวและมีสีน้ำตาลคล้ำ และเมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30 °C เพื่อให้เกิดกระบวนการสุก พบว่ามะเขือเทศเกิดกระบวนการสุกไม่สมบูรณ์ โดยสีผิวจะไม่เปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด และไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงกำหนดเกณฑ์คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว การเกิดตำหนิ ดังนี้

1. การเกิดอาการสะท้านหนาว กำหนดคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเป็น 0-4 คะแนน (รูปที่ 4.2) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

0 คือ ไม่เกิดรอยบุ๋ม

1 คือ เกิดรอยบุ๋มเล็กน้อย (< 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)

2 คือ เกิดรอยบุ๋มประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ

3 คือ เกิดรอยบุ๋ม > 5% แต่ < 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ

4 คือ เกิดรอยบุ๋ม > 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ

โดยจะไม่ยอมรับมะเขือเทศที่มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวตั้งแต่ 3.5 ขึ้นไป

2. การเกิดตำหนิ กำหนดคะแนนการเกิดตำหนิเป็น 1-5 คะแนน (รูปที่ 4.3) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5 คือ เกิดตำหนิมากที่สุด (> 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)

4 คือ เกิดตำหนิมาก (> 5% แต่ < 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)

3 คือ เกิดตำหนิปานกลาง ประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ

2 คือ เกิดตำหนิเล็กน้อย (< 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)

1 คือ ไม่มีตำหนิ

โดยจะไม่ยอมรับมะเขือเทศที่มีคะแนนการเกิดตำหนิตั้งแต่ 4 ขึ้นไป

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศ (ที่คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 4)

รูปที่ 4.2 การเกิดอาการสะท้านหนาวที่คะแนนต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 การเกิดตำหนิที่คะแนนต่างๆ

จากการกำหนดเกณฑ์คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวและคะแนนการเกิดตำหนิ จึงกำหนดคะแนนการยอมรับด้านสีและการยอมรับโดยรวม ดังนี้

ผู้ทดสอบแบบฝึกฝนจะให้คะแนนการยอมรับด้านสี และการยอมรับโดยรวม 1-9 โดย

9 คือ ยอมรับมากที่สุด
8 คือ ยอมรับมาก
7 คือ ยอมรับปานกลาง
6 คือ ยอมรับเล็กน้อย
5 คือ ยอมรับได้
4 คือ ไม่ยอมรับเล็กน้อย
3 คือ ไม่ยอมรับปานกลาง
2 คือ ไม่ยอมรับมาก
1 คือ ไม่ยอมรับมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การยอมรับด้านสี ผู้ทดสอบแบบฝึกฝนจะให้คะแนนการยอมรับด้านสี 1-9 ดังรูป 4.4

รูปที่ 4.4 การยอมรับด้านสีที่คะแนนต่างๆ

2. การยอมรับโดยรวม กำหนดระดับคะแนนด้านการยอมรับโดยรวมเป็น 1-9 ระดับ ดังนี้

คะแนน 9 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีแดงสด (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 9) และไม่มีตำหนิ (คะแนนการเกิดตำหนิ = 1)

คะแนน 8 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีแดงสด (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 9) และมีตำหนิเล็กน้อย (คะแนนการเกิดตำหนิ = 2) หรือหมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้มอมแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 8) และไม่มีตำหนิ (คะแนนการเกิดตำหนิ = 1)

คะแนน 7 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้มอมแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 8) และมีตำหนิเล็กน้อย (คะแนนการเกิดตำหนิ = 2) หรือหมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้มอมแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 7) และไม่มีตำหนิ (คะแนนการเกิดตำหนิ = 1)

คะแนน 6 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้มอมแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 7) และมีตำหนิเล็กน้อย (คะแนนการเกิดตำหนิ = 2) หรือหมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 5 และ 6) และไม่มีตำหนิ (คะแนนการเกิดตำหนิ = 1)

คะแนน 5 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้ม ส้มอมแดง และแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 7 8 และ 9) และมีตำหนิปานกลาง (คะแนนการเกิดตำหนิ = 3) หรือหมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 5 และ 6) และมีตำหนิเล็กน้อย (คะแนนการเกิดตำหนิ = 2) หรือหมายถึงมะเขือเทศที่มีเขียวหรือเขียวอมส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 1 2 3 และ 4) และไม่มีตำหนิ (คะแนนการเกิดตำหนิ = 1)

คะแนน 4 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 5 และ 6) และมีตำหนิปานกลาง (คะแนนการเกิดตำหนิ = 3) หรือมะเขือเทศที่มีสีเขียวหรือเขียวอมส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 1 2 3 และ 4) และมีตำหนิเล็กน้อย (คะแนนการเกิดตำหนิ = 2)

คะแนน 3 หมายถึงมะเขือเทศที่มีสีส้ม ส้มอมแดง และแดง (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 7 8 และ 9) และมีตำหนิมาก (คะแนนการเกิดตำหนิ = 4) หรือมะเขือเทศที่มีสีเขียวหรือเขียวอมส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 1 2 3 และ 4) และมีตำหนิปานกลาง (คะแนนการเกิดตำหนิ = 3)

คะแนน 2 หมายถึงมะเขือเทศที่มีเขียวและเขียวอมส้ม (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 1 2 3 4 5 และ 6) และมีตำหนิมาก (คะแนนการเกิดตำหนิ = 4)

คะแนน 1 หมายถึงมะเขือเทศจะมีเขียว เขียวอมส้ม ส้ม ส้มอมแดง หรือแดงสด (มีระดับคะแนนการยอมรับด้านสี = 1 2 3 4 5 6 7 8 และ 9) และมีตำหนิมากที่สุด (คะแนนการเกิดตำหนิ = 5)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยจะไม่ยอมรับมะเขือเทศที่มีคะแนนการยอมรับด้านสีหรือคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อยกว่า 5

4.3 ผลของวิธีการจุ่มและการรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตต่อการลดอาการสะท้านหนาว

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเมื่อเก็บมะเขือเทศที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% มะเขือเทศที่ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M (dip 10^{-4} M) มีความแน่นเนื้อลดลงเร็วกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงสีที่ผิวจากสีเขียวไปเป็นสีแดงเร็วกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการ

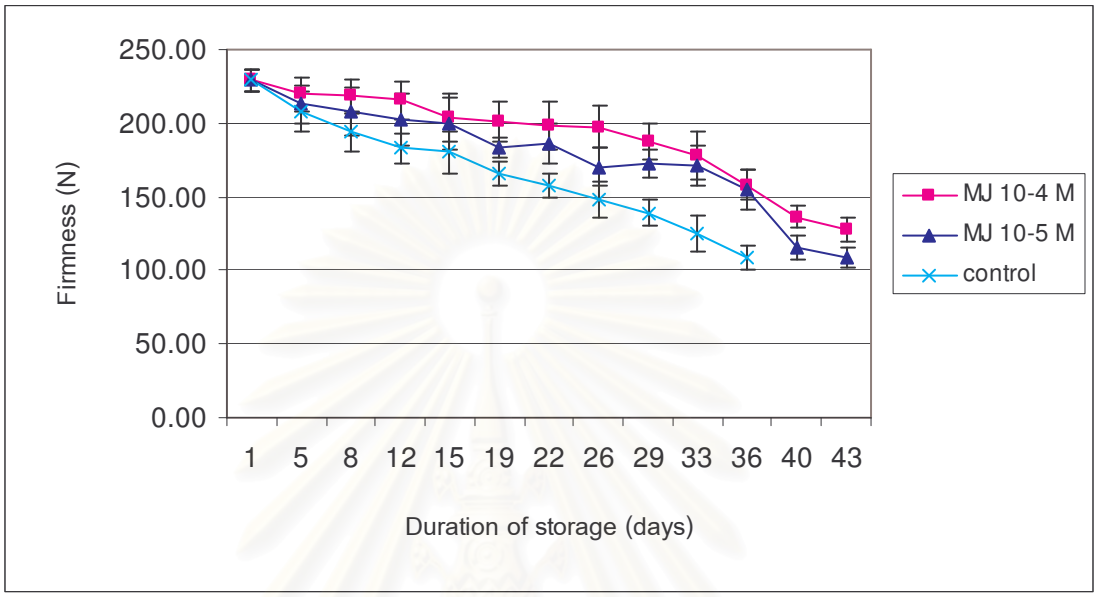
รมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตเข้มข้น 10^{-4} M (MJ 10^{-4} M) และ 10^{-6} M (MJ 10^{-6} M) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศที่ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลจัสโมเนตชะลอกระบวนการสุกได้น้อยกว่าการรมควันแบบ MJ 10^{-4} M และ 10^{-6} M ตามลำดับ เนื่องจากการจุ่มอาจใช้เวลาน้อยเกินไปที่เมทิลจัสโมเนตจะสัมผัสกับมะเขือเทศ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างวิธีการจุ่มกับการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตจะพบว่าการจุ่มใช้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการรมควัน ในการศึกษาเบื้องต้นนี้ไม่ได้ศึกษาเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นมากกว่า 10^{-4} M เนื่องจากเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นมากเกินไปจะกระตุ้นให้ผลิตผลเกิดกระบวนการสุกและกระบวนการชราภาพเร็วขึ้น (Pena-Corte´s *et al*., 2005) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-6} M พบว่า MJ 10^{-6} M จะเกิดการเน่าเสียเร็วกว่า MJ 10^{-4} M ประมาณ 2 สัปดาห์ เนื่องจากความเข้มข้นเมทิลจัสโมเนต 10^{-6} M อาจน้อยเกินไปที่จะรักษาคุณภาพของมะเขือเทศระหว่างการเก็บที่ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังนั้นจึงเลือกวิธีการรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.4 ผลของความเข้มข้นของเมทิลจัสโมเนตต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ

มะเขือเทศมีความแน่นเนื้อเริ่มต้นเท่ากับ 229.04 $\pm$ 7.79 N และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นความแน่นเนื้อของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.5) โดยตัวอย่างควบคุม (control) มีแนวโน้มของความแน่นเนื้อลดลงเร็วกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิล-จัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M และ 10^{-5} M (MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M) ตั้งแต่วันที่ 8 ของการเก็บจนสิ้นสุดการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 36 วัน control มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 108.18 $\pm$ 8.24 N ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M พบว่า MJ 10^{-4} M มีแนวโน้มการลดลงของความแน่นเนื้อช้ากว่า MJ 10^{-5} M ตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ยกเว้นวันที่ 19 26 และ 29 ของการเก็บ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 43 วัน MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 127.77 $\pm$ 8.74 N และ 108.61 $\pm$ 6.61 N ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 พบว่าความแน่นเนื้อของ control มีค่าถึงวันที่ 36 เนื่องจากหลังจากนี้มะเขือเทศเกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบความแน่นเนื้อได้

การที่ความแน่นเนื้อของมะเขือเทศทรีตเมนต์ MJ 10^{-4} M และ 10^{-5} M ตลอดระยะเวลาการเก็บมีแนวโน้มสูงกว่า control อาจเนื่องจากการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตสามารถยับยั้งการสร้างก๊าซเอทิลีน โดยยับยั้งการถอดรหัสของเอนไซม์อะมิโนไซโคลโพเพนคาร์บอกซิลิกแอซิดซิน-

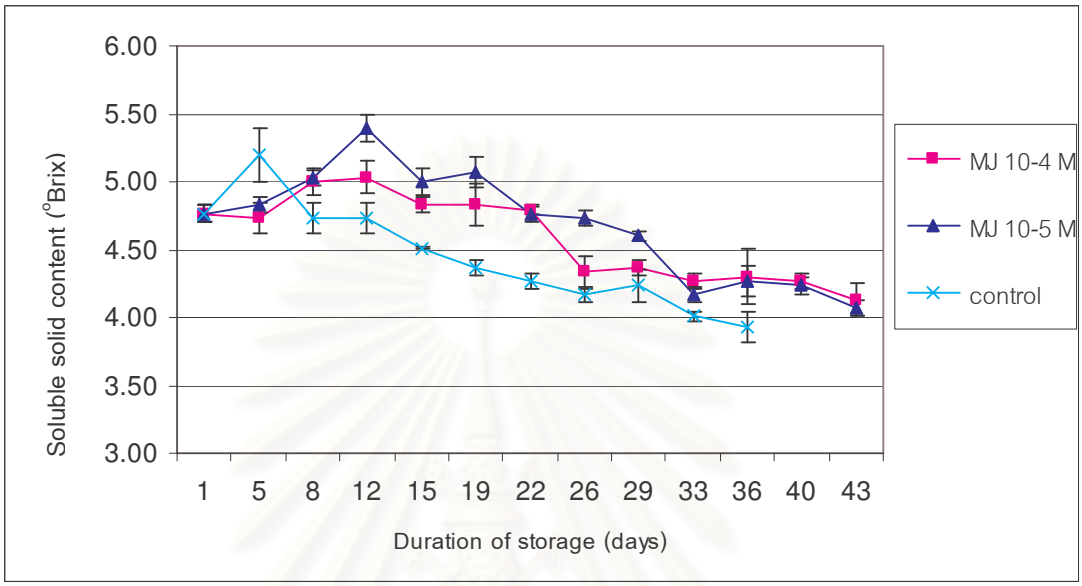
เทส (aminocyclopropane carboxylic acid synthase, ACC synthase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญต่อการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน ทำให้กระบวนการสุกเกิดได้ช้าลงจึงส่งผลให้มะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตมีความแน่นเนื้อสูงกว่า control (Cheong and Choi, 2003)



รูปที่ 4.5 ความแน่นเนื้อของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C

มะเขือเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นเท่ากับ 4.77 $\pm$ 0.06 ^{o}Brix มะเขือเทศในทุกทรีตเมนต์มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บและหลังจากนั้นมีค่าลดลงตลอดการเก็บ (รูปที่ 4.6) control มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5 ของการเก็บ control มีอัตราการหายใจสูงกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่า เนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถควบคุมกระบวนการสุกโดยยับยั้งการเปลี่ยนสารอะมิโนไซโคลโพเพนคาร์บอกซิลิก-แอซิด (aminocyclopropane carboxylic acid, ACC) ไปเป็นก๊าซเอทิลีน ลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างก๊าซเอทิลีน (ethylene forming enzyme, EFE) (Bailly, Corbineau and Come, 1992) และชะลอการเข้าสู่ระยะชราภาพของผลิตผลให้ช้าลง (Cheong and Choi, 2003) แต่หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ control จะลดลงเร็วกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จนสิ้นสุดการเก็บ ยกเว้นวันที่ 29 ของการเก็บซึ่ง MJ 10^{-4} M และ control มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ยกเว้นวันที่ 12 15 19 และ 26 ของ

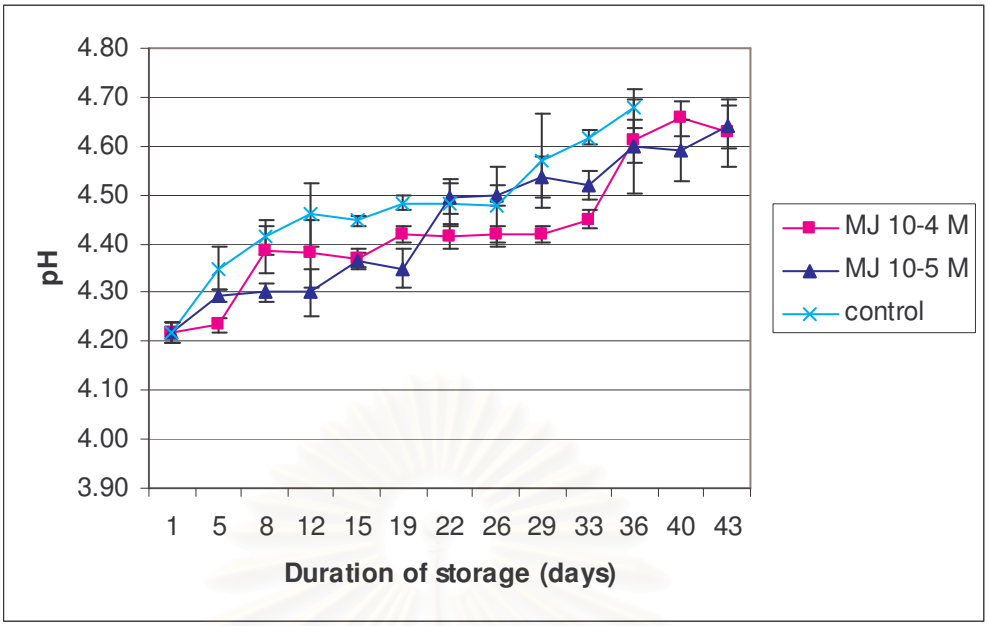
การเก็บ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 4.13 ± 0.12 °Brix 4.07 ± 0.06 °Brix ที่ 43 วัน และ 3.92 ± 0.12 °Brix ที่ 36 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 °C

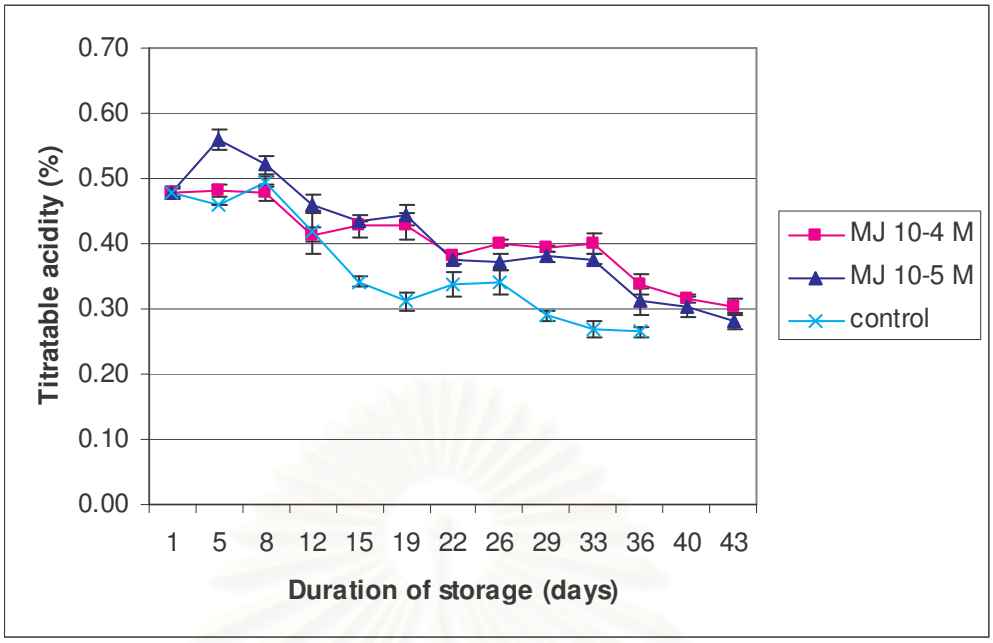
มะเขือเทศมีค่า pH เริ่มต้นที่ 4.22 ± 0.02 ทุกทรีตเมนต์มีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา และแต่ละทรีตเมนต์มีค่า pH ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control มีค่า pH เท่ากับ 4.63 ± 0.07 และ 4.64 ± 0.04 ที่ 43 วัน และ 4.68 ± 0.04 ที่ 36 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.7)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



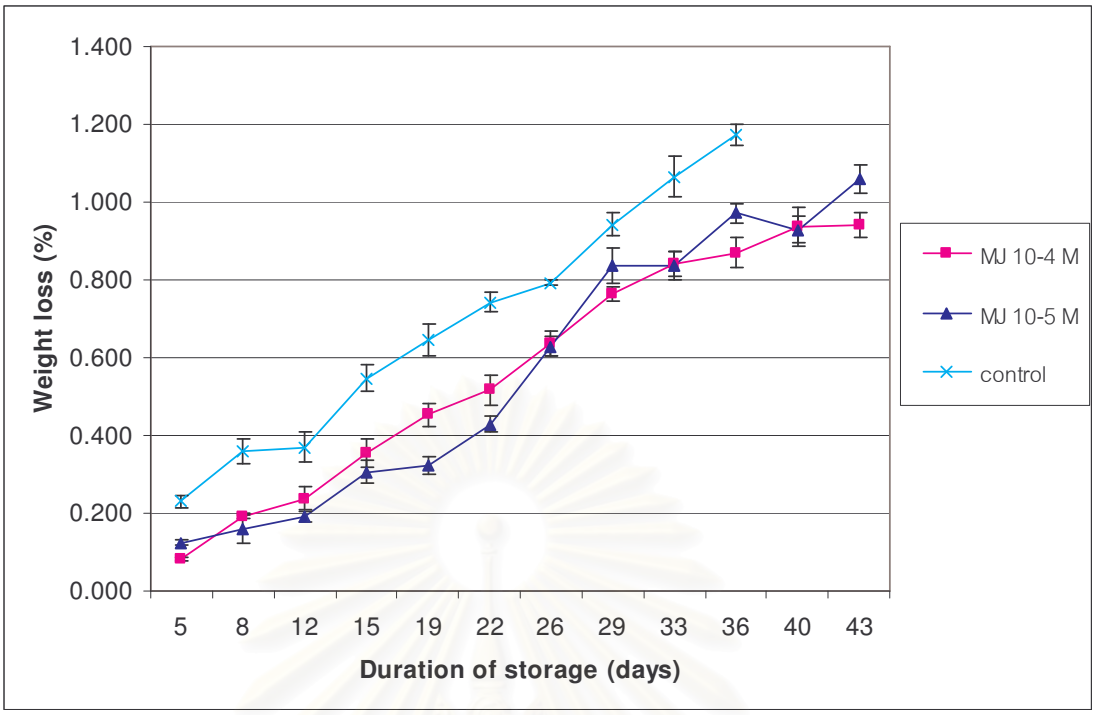
รูปที่ 4.7 ค่า pH ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 0.48 ± 0.01 control และ MJ 10^{-5} M มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บ ในขณะที่ MJ 10^{-4} M มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกคงที่ใน 8 วันแรกของการเก็บ หลังจากนั้นทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.7) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ถูกนำไปใช้ในขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) control มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกน้อยกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 15 ของการเก็บจนสิ้นสุดการเก็บ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ control สามารถเก็บได้ไม่เกิน 36 วัน เนื่องจากเกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกได้ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บ control มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเท่ากับร้อยละ 0.26 ± 0.01 ในขณะที่ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 43 วัน เท่ากับร้อยละ 0.30 ± 0.02 และ 0.28 ± 0.01 ตามลำดับ (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 °C

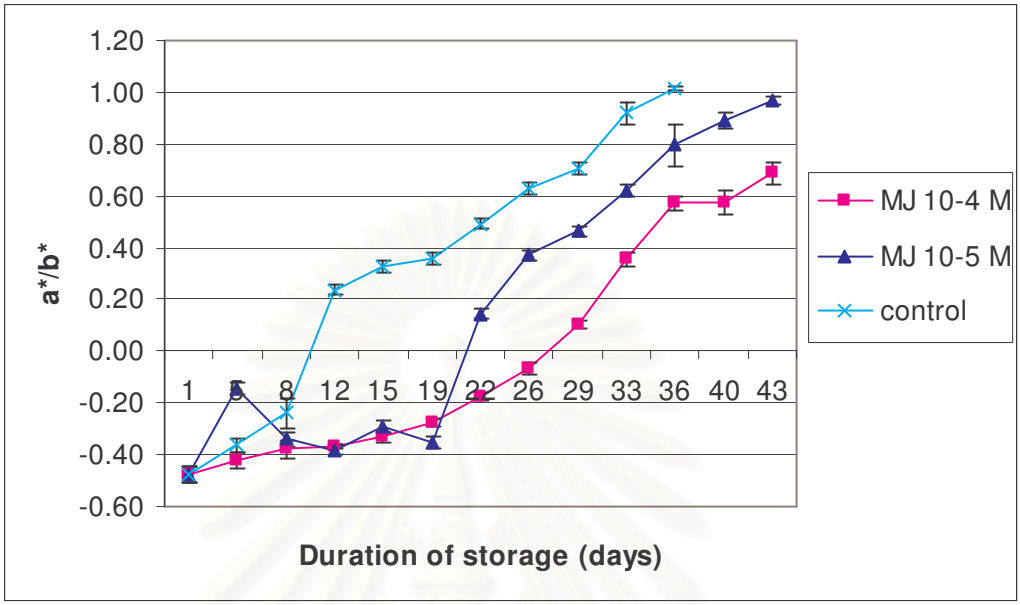
เมื่อเก็บมะเขือเทศทรีตเมนต์ต่างๆ ที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.9) โดยในวันที่ 5 ของการเก็บ control มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.244 ± 0.017 ซึ่งสูงกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.083 ± 0.004 และ 0.125 ± 0.006 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บ control มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตสามารถชะลอกระบวนการสุกได้ (Cheong and Choi, 2003) ส่งผลให้อัตราการหายใจของมะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตต่ำกว่า control โดย control สามารถเก็บได้ไม่เกิน 36 วัน เนื่องจากเกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.134 ± 0.027 ในขณะที่ MJ 10^{-4} M ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นาน 43 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.941 ± 0.032 ซึ่งน้อยกว่า MJ 10^{-5} M ที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.061 ± 0.036 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C

มะเขือเทศมีค่า a*/b* เริ่มต้นเท่ากับ -0.48 $\pm$ 0.03 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บในทุกทรีตเมนต์ (รูปที่ 4.10) ค่า a* หมายถึงค่าสีแดง (ค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียวและค่าบวกหมายถึงสีแดง) เพราะฉะนั้น ค่า a*/b* มีค่าเป็นลบ หมายถึงมะเขือเทศยังคงมีสีเขียวอยู่ (ยังไม่สุกเต็มที่) ค่า a*/b* ของ MJ 10^{-5} M มีค่าสูงกว่า control และ MJ 10^{-4} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5 ของการเก็บ แต่หลังจากนี้ ค่า a*/b* ของ control จะมีค่าสูงกว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ control มีค่า a*/b* มากกว่า 0 ในวันที่ 8 ของการเก็บ ซึ่งหมายถึงมะเขือเทศเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวกลายเป็นสีแดง ในขณะที่ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวกลายเป็นสีแดงในวันที่ 29 และ 22 ตามลำดับ control สามารถเก็บได้ไม่เกิน 36 วัน เนื่องจากเกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบค่า a*/b* และเมื่อสิ้นสุดการเก็บจะมีค่า a*/b* เท่ากับ 1.02 $\pm$ 0.01 (ค่า a*/b* ของมะเขือเทศ > 1 หมายถึงมะเขือเทศเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์) (Ali *et al.*, 2004) ในขณะที่ MJ 10^{-5} M มีค่า a*/b* มากกว่า MJ 10^{-4} M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 22 ของการเก็บจนสิ้นสุดการเก็บ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M มีค่า a*/b* เท่ากับ 0.69 $\pm$ 0.04 และ 0.97 $\pm$ 0.01 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ 10^{-4} M จะมีค่า a*/b* น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงมะเขือเทศไม่เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์

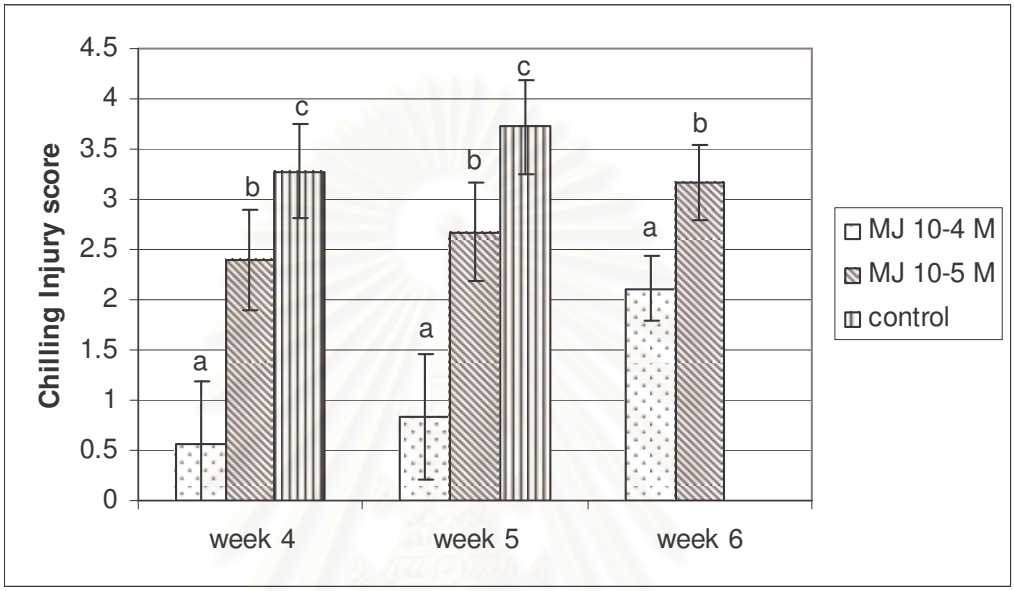
อาจแก้ไขโดยนำมะเขือเทศออกจากบรรจุภัณฑ์แล้วมาเก็บที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.10 ค่า a*/b* ของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของทุกๆ ทรีตเมนต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.11) เมื่อเก็บทุกทรีตเมนต์ที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control มีค่าเท่ากับ 0.56 $\pm$ 0.62 2.39 $\pm$ 0.5 และ 3.28 $\pm$ 0.46 ตามลำดับ คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ 10^{-4} M มีค่าน้อยกว่าคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ 10^{-5} M และ control อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถยับยั้งการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศได้ อาจเกิดเนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถเหนี่ยวนำให้ผลิตผลสร้าง heat shock proteins (HSPs) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการ folding ของโปรตีนและทำลายโปรตีนที่ผิดปกติโดยการจับกับโปรตีนนั้นแล้วปลดปล่อยออกนอกเซลล์ นอกจากนี้ HSPs ยังป้องกันการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาว (Ding *et al*., 2001) จากรูปที่ 4.11 พบว่า MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M สามารถเก็บได้ถึงสัปดาห์ที่ 6 ในขณะที่ control เกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 2.11 $\pm$ 0.32 และ 3.17 $\pm$ 0.38 ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์การไม่ยอมรับ

(reject)ไว้ที่คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 จากรูปที่ 4.11 พบว่า control มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 3.72 ± 0.46 ในสัปดาห์ที่ 5 ดังนั้นจึงสามารถประมาณอายุการเก็บของ control ที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ได้คือประมาณ 4 สัปดาห์

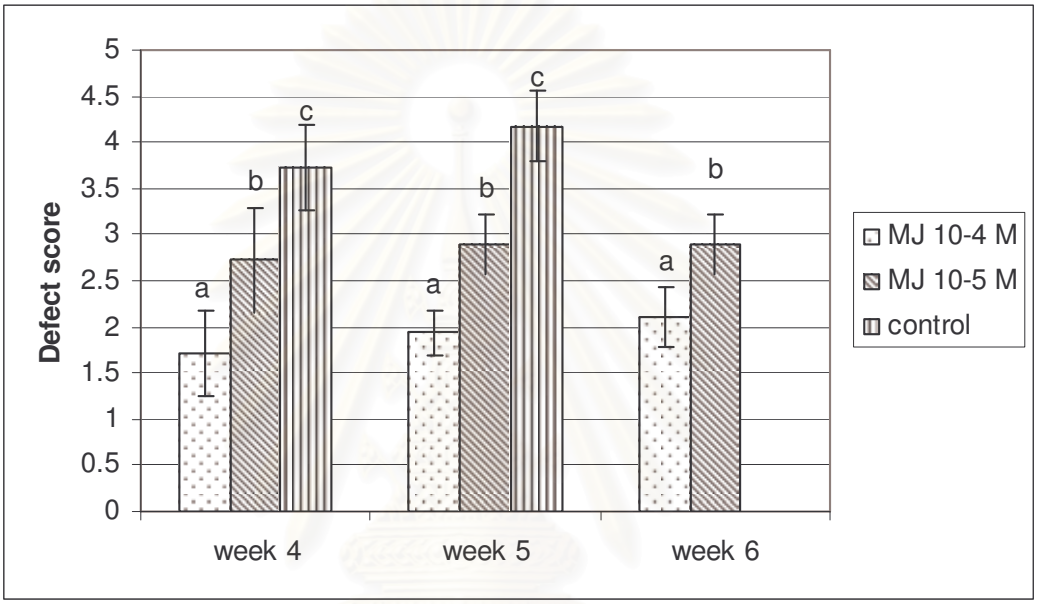


a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.11 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่า 1.72 ± 0.46 2.72 ± 0.57 และ 3.72 ± 0.46 ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนการเกิดตำหนิของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคะแนนการเกิดตำหนิของ MJ 10^{-4} M มีค่าน้อยกว่า MJ 10^{-5} M และ control ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเมทิลจัสโมเนตสามารถยับยั้งการเกิดตำหนิของมะเขือเทศที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C และเมื่อสิ้นสุดการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C (6 สัปดาห์) คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M มีค่าเท่ากับ 2.11 ± 0.32 และ 2.89 ± 0.32 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ งานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์การไม่ยอมรับเมื่อมะเขือเทศมีคะแนนการเกิดตำหนิมากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 โดยพบว่า control มีคะแนนการเกิดตำหนิมากกว่า 3.5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว ดังนั้นจึงสามารถประมาณอายุการเก็บของ control ที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

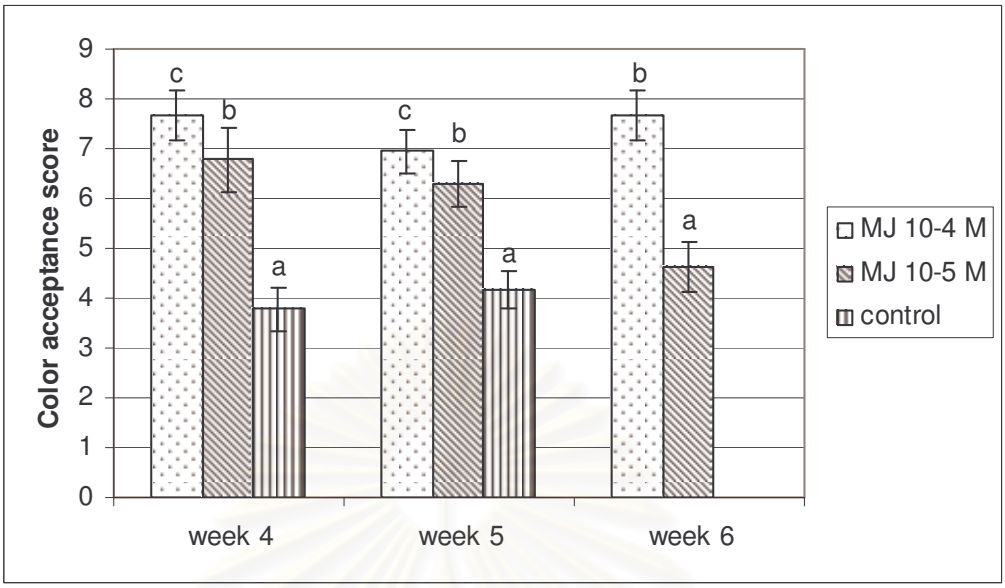
ได้คือประมาณ 4 สัปดาห์ มะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตจะเกิดตำหนิน้อยกว่า control เนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Alternaria brassicicol* และ *Botrytis cinerea* (Thomma *et al*., 2000) โดยเมทิลจัสโมเนตสามารถเหนี่ยวนำให้ผลิตผลสร้างเอนไซม์ไคติเนส (chitinase) และเอนไซม์ เบตา-1,3 กลูคาเนส (β-1,3 glucanase) ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองสามารถย่อยสลายไคติน (chitin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์รา (Ding *et al*., 2002)



a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.12 คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C

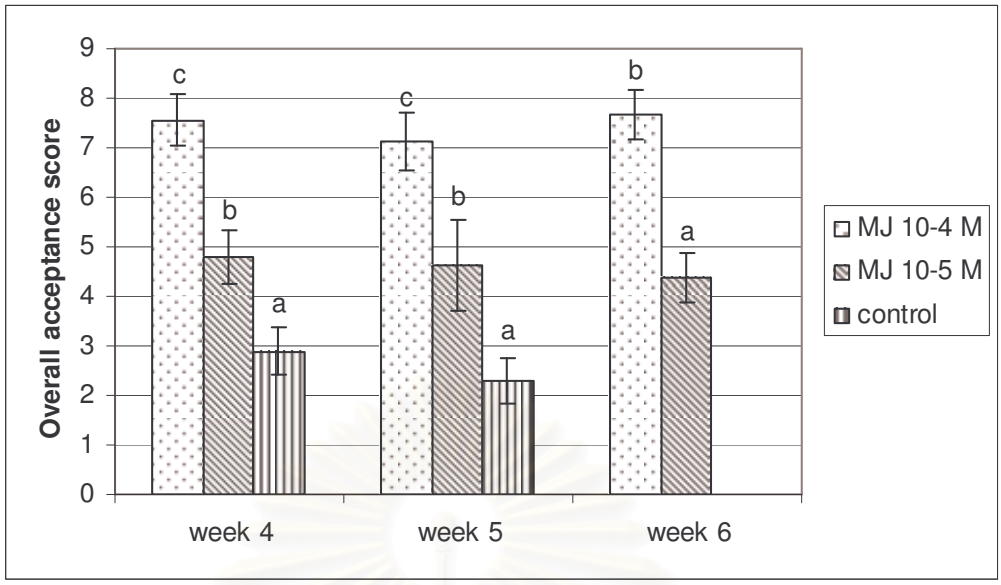
คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่า 7.67 $\pm$ 0.49 6.78 $\pm$ 0.65 และ 3.78 $\pm$ 0.43 ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับด้านสีมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ ทรีตเมนต์ ยกเว้น MJ 10^{-4} M ที่เก็บเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีคะแนนการยอมรับด้านสีไม่ต่างจากเก็บเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-4} M มีค่ามากกว่าคะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-5} M และ control อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บคะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-4} M และ MJ 10^{-5} M ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C (6 สัปดาห์) มีค่า 7.67 $\pm$ 0.49 4.61 $\pm$ 0.50 ตามลำดับ โดยไม่ยอมรับมะเขือเทศเมื่อมีคะแนนการยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5 จากรูปที่ 4.13 พบว่า control และ MJ 10^{-5} M มีคะแนนการยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และ 6 ตามลำดับ



a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.13 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 $^{\circ}$C

คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่า 7.56 $\pm$ 0.51 4.78 $\pm$ 0.55 และ 2.89 $\pm$ 0.47 ตามลำดับ (รูปที่ 4.14) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-5} M และ control มีค่าลดลง โดยไม่ยอมรับมะเขือเทศเมื่อมีคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อยกว่า 5 โดยพบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-5} M และ control ในทุกสัปดาห์ มีค่าต่ำกว่า 5 ซึ่งหมายถึงว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสามารถเก็บ MJ 10^{-5} M และ control ที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C ได้ไม่เกิน 4 สัปดาห์ ในขณะที่คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-4} M ตลอดระยะเวลาการเก็บมีค่ามากกว่า 7 ซึ่งเป็นคะแนนที่ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าการเก็บ MJ 10^{-4} M ที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C สามารถเก็บได้ประมาณ 5-6 สัปดาห์ การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M สามารถชะลอกระบวนการสุก ยับยั้งการเกิดอาการสะท้านหนาว และยับยั้งการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ (Wang and Buta, 1994) จึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-4} M มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ



a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

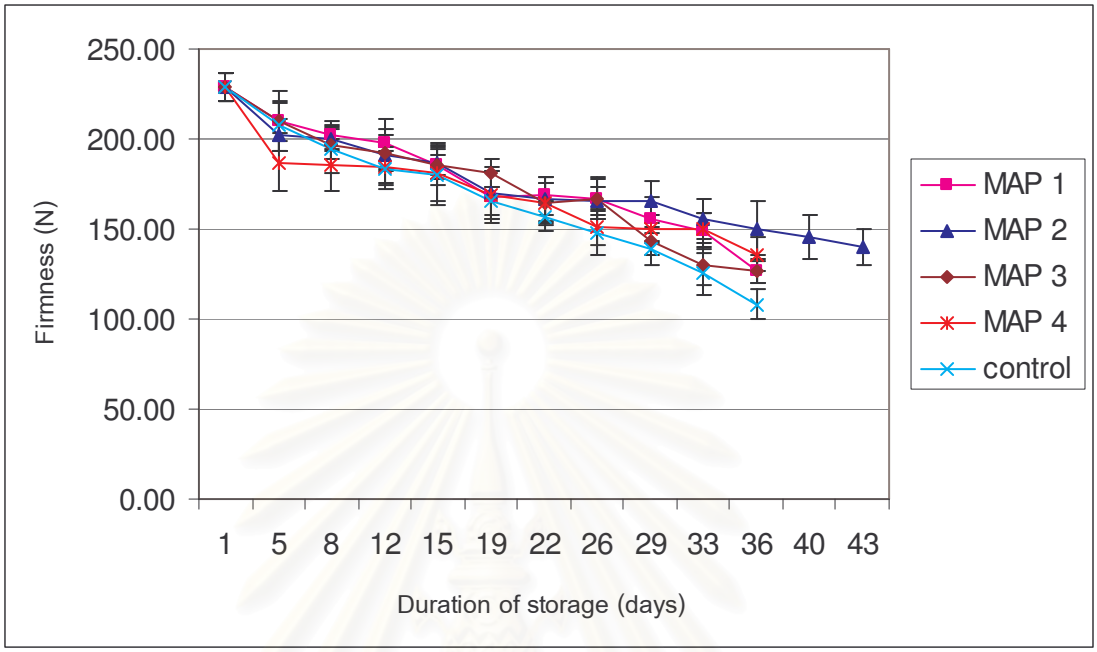
รูปที่ 4.14 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ 10^{-4} M, MJ 10^{-5} M และ control เก็บที่ 5 ^{o}C

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M สามารถรักษาคุณภาพมะเขือเทศได้ดีที่สุด ไม่ว่าจะเป็นทางด้านความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก การสูญเสียน้ำหนัก คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว คะแนนการเกิดตำหนิ คะแนนการยอมรับด้านสี และคะแนนการยอมรับโดยรวม ดังนั้นจึงเลือกเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.5 ผลของการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นต่ออาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ

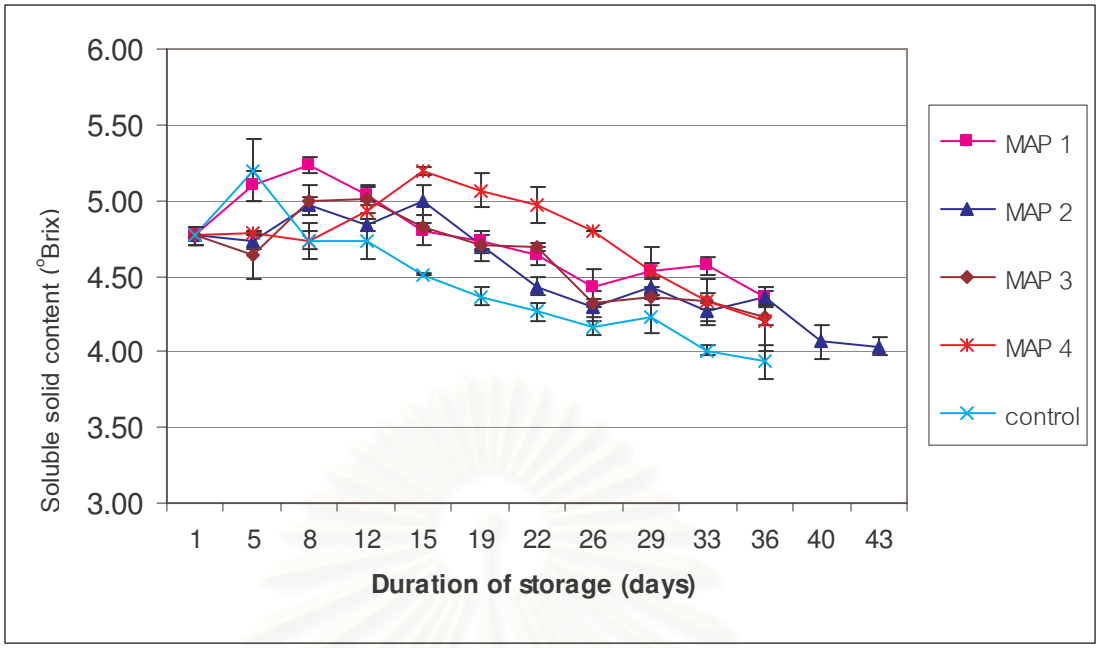
มะเขือเทศมีความแน่นเนื้อเริ่มต้นเท่ากับ 229.04 $\pm$ 7.79 N และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นความแน่นเนื้อของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.15) ตลอดระยะเวลาการเก็บมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์ยกเว้น control มีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) มะเขือเทศที่ผ่านการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นแบบ MAP 1, MAP 3, MAP 4 (MAP 1, MAP 3, MAP 4) และ control สามารถเก็บได้ไม่เกิน 36 วัน เนื่องจากหลังจากนี้เกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถทดสอบความแน่นเนื้อได้ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บที่ 36 วัน มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 126.55 $\pm$ 6.84 N 126.13 $\pm$ 6.33 N 135.74 $\pm$ 9.50 N และ 108.18 $\pm$ 8.24 N ตามลำดับ

ในขณะที่มะเขือเทศที่ผ่านการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นแบบ MAP 2 (MAP 2) สามารถเก็บได้ถึงวันที่ 43 และเมื่อสิ้นสุดการเก็บจะมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 140.07 ± 10.00 N



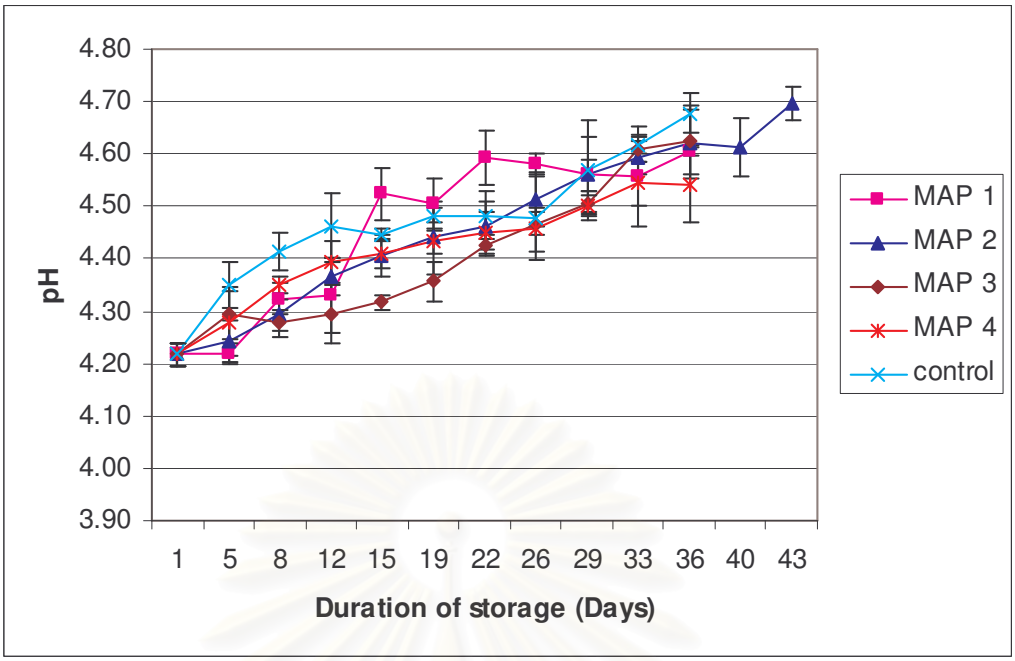
รูปที่ 4.15 ความแน่นเนื้อของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นเท่ากับ 4.77 ± 0.06 °Brix มะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บและหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตลอดการเก็บ (รูปที่ 4.16) control มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ยกเว้น MAP 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5 ของการเก็บ เนื่องจาก control ไม่มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนและเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีอัตราการหายใจที่สูงกว่า แต่หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ control จะลดลงเร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 36 ของการเก็บ ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บของ MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control มะเขือเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 4.37 ± 0.06 °Brix 4.23 ± 0.06 °Brix 4.20 ± 0.20 °Brix และ 3.93 ± 0.12 °Brix ตามลำดับ ในขณะที่ MAP 2 มีอายุการเก็บได้นานถึง 43 วัน ซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 4.03 ± 0.06 °Brix



รูปที่ 4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

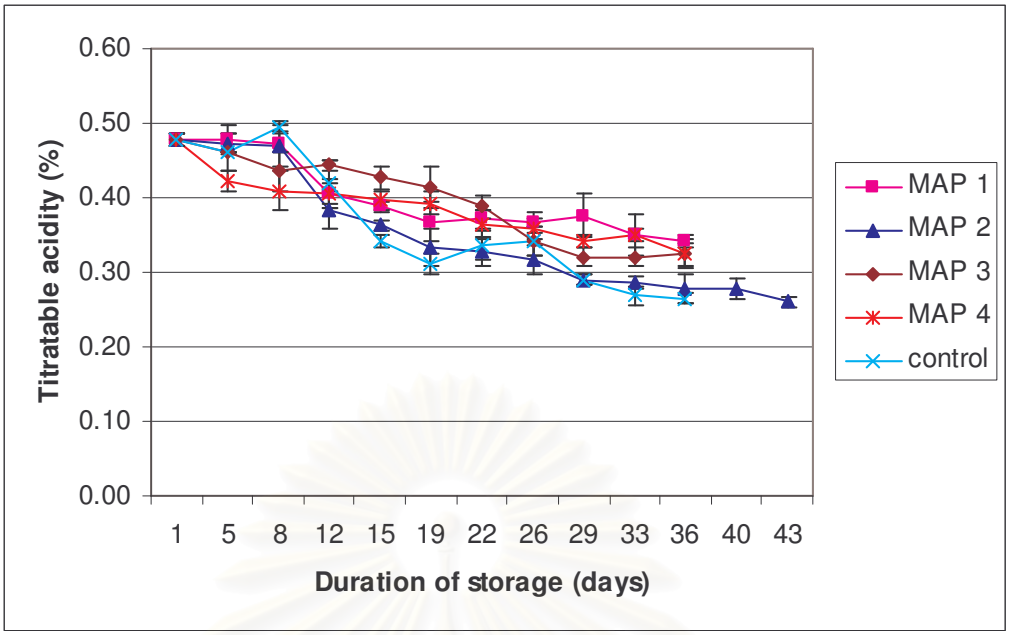
มะเขือเทศมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4.22 ± 0.02 และค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บในทุกทรีตเมนต์ (รูปที่ 4.17) โดยใน 12 วันแรกของการเก็บ ค่า pH ของ control จะมีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ภายหลังการเก็บรักษาไว้นาน 36 วัน ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บของ MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control มะเขือเทศมีค่า pH เท่ากับ 4.61 ± 0.01 4.63 ± 0.07 4.54 ± 0.07 และ 4.68 ± 0.04 ตามลำดับ ในขณะที่ MAP 2 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บนาน 43 วัน มีค่า pH เท่ากับ 4.70 ± 0.03 โดยเมื่อสิ้นสุดการเก็บ MAP 4 มีค่า pH ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ เนื่องจาก MAP 4 ซึ่งเป็นการดัดแปรบรรยากาศให้มีก๊าซคาร์บอนด์ออกไซด์ 80% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของมะเขือเทศได้จึงทำให้ค่า pH ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ (Batu และ Thompson, 1998)



รูปที่ 4.17 ค่า pH ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

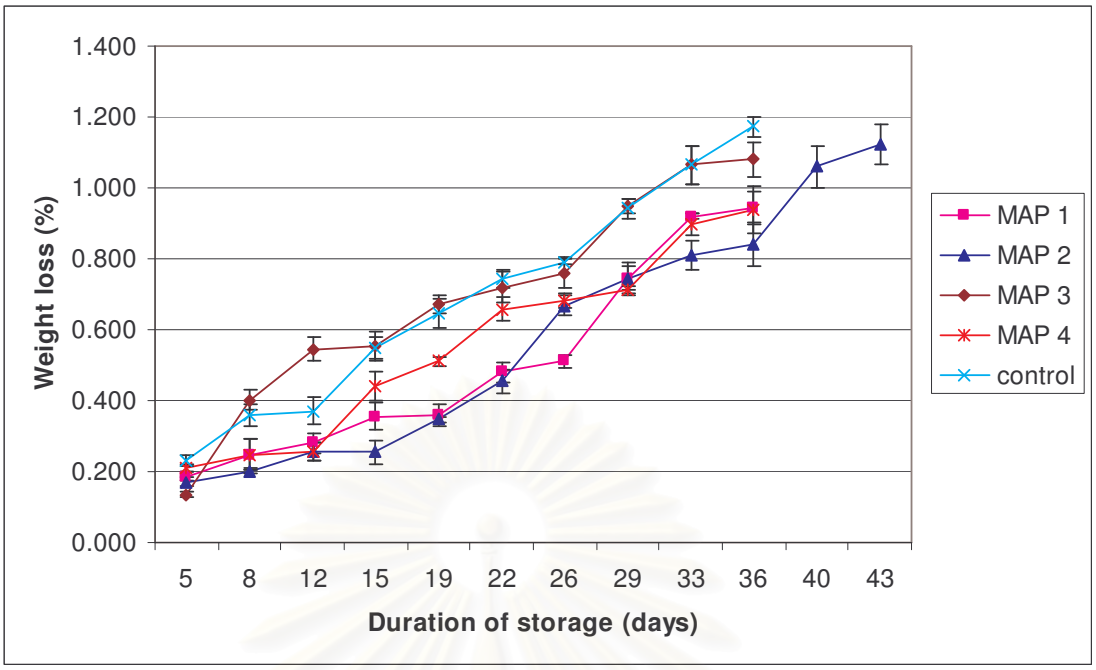
มะเขือเทศมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 0.48 ± 0.01 มะเขือเทศในทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.17) control และ MAP 2 มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 36 วัน MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.34 ± 0.01 0.32 ± 0.01 0.32 ± 0.02 และ 0.26 ± 0.01 ตามลำดับ ในขณะที่ MAP 2 สามารถเก็บได้นานกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเท่ากับ 0.26 ± 0.01 เมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 43 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



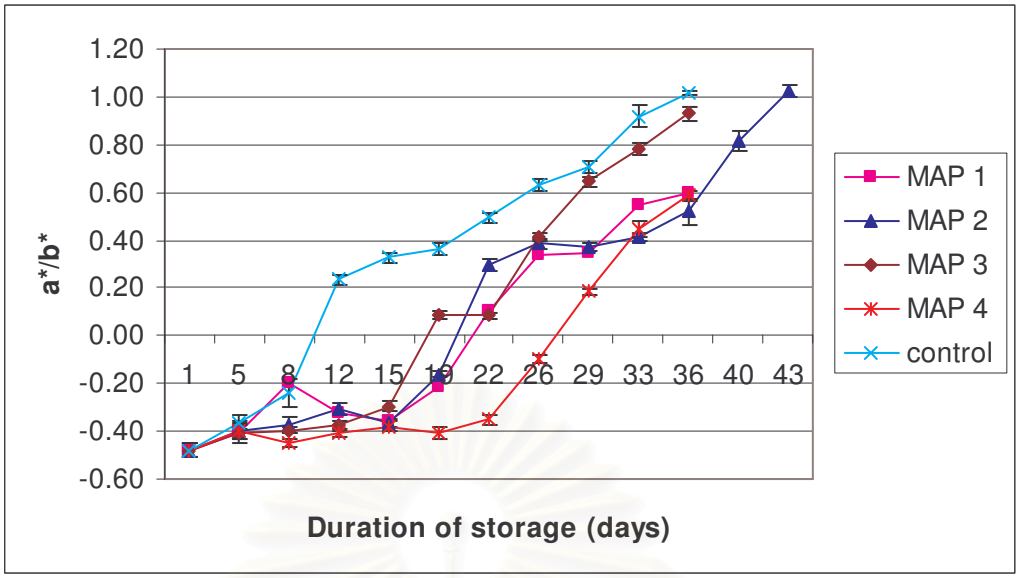
รูปที่ 4.18 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

เมื่อเก็บทรีตเมนต์ต่างๆ ที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.19) โดยในวันที่ 8 และ 12 ของการเก็บ MAP 3 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.401 ± 0.029 และ 0.545 ± 0.034 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นผลมาจาก MAP 3 มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนด์ออกไซด์ 0% ก๊าซออกซิเจน 7.5% และก๊าซไนโตรเจน 92.5% มีอัตราการหายใจที่สูง เนื่องจากไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยชะลออัตราการหายใจ (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ดนัย บุญยเกียรติ, 2548) control มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่า MAP 1, MAP 2, และ MAP 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากในการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นของ MAP 1, MAP 2, และ MAP 4 มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ในวันที่ 36 ของการเก็บรักษาซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บ control, MAP 1, MAP 3, และ MAP 4 พบว่า control มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.173 ± 0.028 ซึ่งสูงกว่า MAP 1 และ MAP 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.943 ± 0.046 และ 0.938 ± 0.065 ตามลำดับ และสูงกว่า MAP 3 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.081 ± 0.048 และในวันนี้ MAP 2 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการเก็บที่ 43 วัน MAP 2 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.123 ± 0.058



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีค่า a*/b* เริ่มต้นเท่ากับ -0.48 ± 0.03 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บในทุกทรีตเมนต์ (รูปที่ 4.20) ค่า a* หมายถึงค่าสีแดง (ค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียวและค่าบวกหมายถึงสีแดง) ค่า a*/b* ที่มีค่าเป็นลบ หมายถึง ค่า a* มีค่าเป็นลบซึ่งก็คือมะเขือเทศยังคงมีสีเขียวอยู่ (มะเขือเทศยังไม่สุกเต็มที่) หลังจากวันที่ 12 ของการเก็บ control จะมีค่า a*/b* สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยพบว่า MAP 4 จะมีค่า a*/b* ค่อนข้างคงที่ใน 22 วันแรกของการเก็บ การที่ค่า a*/b* คงที่อาจเกิดจาก MAP 4 มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% ก๊าซออกซิเจน 2% และก๊าซไนโตรเจน 18% ทำให้มีอัตราการหายใจที่ต่ำเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง (Chakraverty and Paul, 2001) control และ MAP 2 เท่านั้นที่มีค่า a*/b* มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ในวันที่ 36 และ 43 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงมะเขือเทศเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ control และ MAP 2 จะเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ ก็ควรต้องพิจารณาถึงคุณภาพด้านการยอมรับโดยรวมด้วย เมื่อสิ้นสุดการเก็บที่ 36 วัน ค่า a*/b* ของ MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control มีค่า 0.59 ± 0.03 0.93 ± 0.03 0.59 ± 0.02 และ 1.02 ± 0.01 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อสิ้นสุดการเก็บที่ 43 วัน MAP 2 มีค่า a*/b* เท่ากับ 1.02 ± 0.02

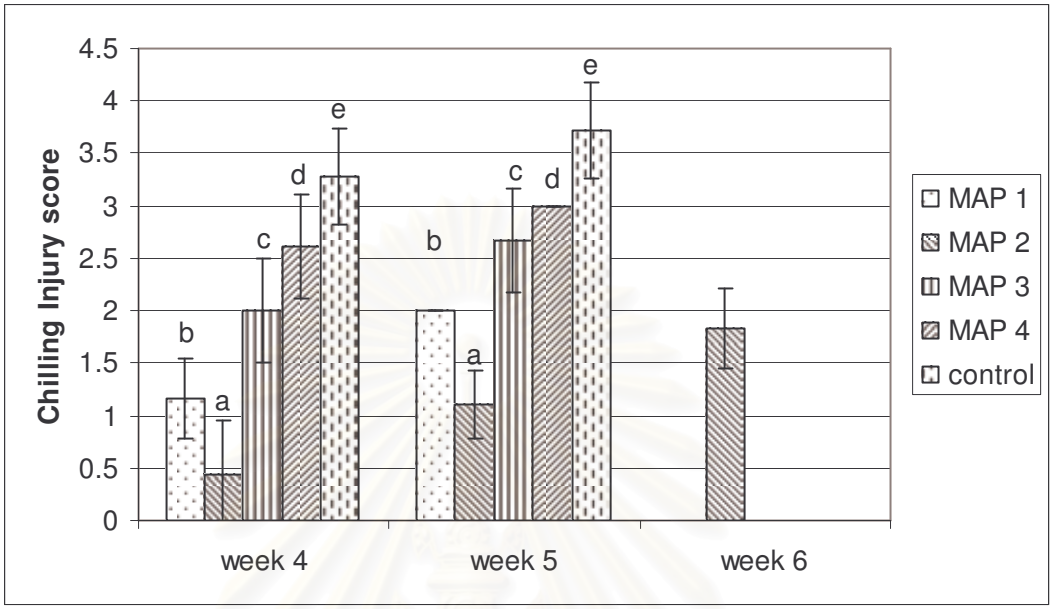


รูปที่ 4.20 ค่า a*/b* ของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของทุกๆ ทรีตเมนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.21) เมื่อเก็บมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control มีค่าเท่ากับ 1.17 ± 0.38 0.44 ± 0.51 2.00 ± 0.49 2.61 ± 0.50 และ 3.28 ± 0.46 ตามลำดับ ในแต่ละสัปดาห์ทุกทรีตเมนต์จะมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) MAP 2 มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำสุดในทุกๆ สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ แสดงให้เห็นว่าการการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ก๊าซออกซิเจน 5% และก๊าซไนโตรเจน 90% ช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ

การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นทุกทรีตเมนต์ช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเทียบกับ control ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากอาการสะท้านหนาวเป็นอาการที่เกิดหลังจากเกิดการบาดเจ็บระยะแรก (primary injury) ขึ้นในเซลล์ ทำให้องค์ประกอบต่างๆที่เคยอยู่ในคอมพาร์ตเมนต์ (compartment) ต่างๆ แพร่ผ่านออกมา โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน และทำให้เกิดอาการผิดปกติสีน้ำตาลขึ้น (Nguyen *et al.*, 2003) และทำให้เกิดการสะสมเอทานอลและอะซีทอลดีไฮด์ ดังนั้นการลดก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จึงสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในมะเขือเทศได้ เกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวคือมากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ control มีค่ามากกว่า 3.5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ในขณะที่ MAP 1, MAP 2, MAP 3 และ MAP 4 มีคะแนนการ

เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่า 3.5 ตลอดระยะเวลาการเก็บที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% แต่เสียเนื่องจากการเสื่อมเสียทางด้านจุลินทรีย์

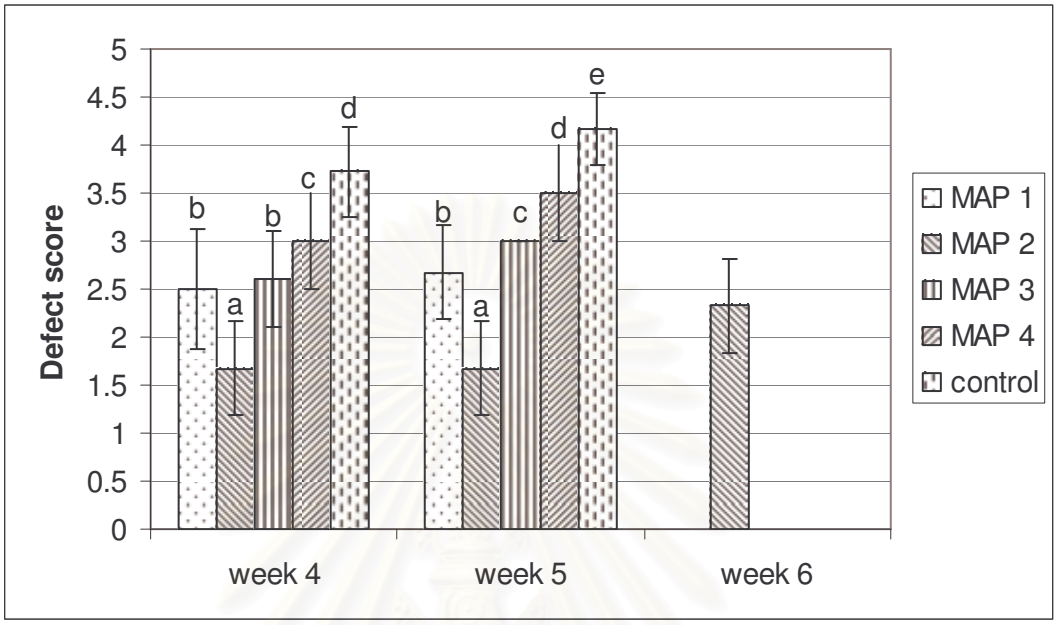


a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.21 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดตำหนิของมะเขือเทศในทุกๆ ทรีตเมนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.22) MAP 2 มีคะแนนการเกิดตำหนิน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คะแนนการเกิดตำหนิของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เมื่อเก็บนาน 4 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับที่ 2.5 $\pm$ 0.62 1.67 $\pm$ 0.49 2.61 $\pm$ 0.5 3 $\pm$ 0.49 และ 3.72 $\pm$ 0.46 ตามลำดับ โดยพบว่า control มีคะแนนการเกิดตำหนิสูงที่สุดและแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นช่วยลดการเกิดตำหนิของมะเขือเทศ เนื่องจากการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนและเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เจริญโดยใช้ออกซิเจน (aerobic microorganism) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เจริญบนผักและผลไม้ ดังนั้นการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นจึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ (El-Goorani and Sommer, 1981) เกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการเกิดตำหนิคือมากกว่า 3.5 ผู้ทดสอบจะไม่ยอมรับ control และ MAP 4 ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วน MAP 2 เป็นทรีตเมนต์เดียวเท่านั้นที่สามารถเก็บได้นานถึง 6 สัปดาห์ และมีคะแนนการเกิดตำหนิเท่ากับ

2.33 ± 0.49 ซึ่งหมายถึงเกิดตำหนิปานกลางประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวของมะเขือเทศ ซึ่งคะแนนระดับนี้ผู้ทดสอบยังสามารถยอมรับได้



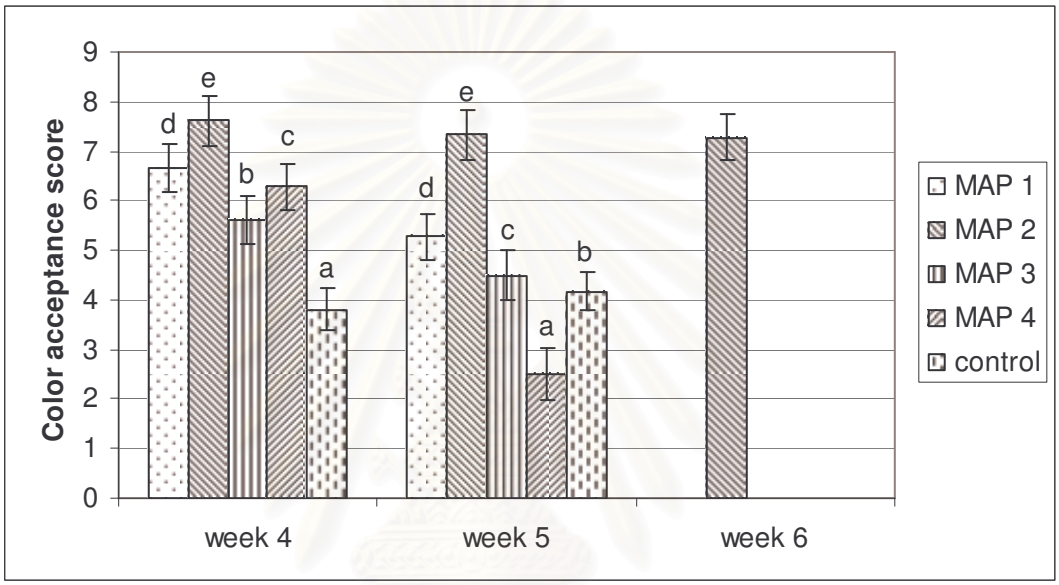
a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.22 คะแนนการเกิดตำหนิของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่า 6.67 ± 0.49 7.61 ± 0.5 และ 5.61 ± 0.5 และ 3.8 ± 0.43 ตามลำดับ (รูปที่ 4.23) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับด้านสีมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ ทรีตเมนต์ ยกเว้น control ที่เก็บเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ที่มีค่าคะแนนการยอมรับด้านสีสูงกว่า control ที่เก็บเป็นเวลา 4 สัปดาห์เล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP 2 มีค่ามากกว่าคะแนนการยอมรับด้านสีของทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ อาจเกิดเนื่องจากการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ก๊าซออกซิเจน 5% และก๊าซไนโตรเจน 90% สามารถชะลอการสุก ยับยั้งการเกิดอาการสะท้านหนาว และยับยั้งการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของมะเขือเทศได้นานกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บ คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP 2 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C (6 สัปดาห์) มีค่า 7.28 ± 0.46 ในการทดลองนี้กำหนดเกณฑ์การไม่ยอมรับไว้ที่ระดับคะแนนต่ำกว่า 5 โดยพบว่า control มีคะแนนการยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 MAP 3 และ MAP 4 มีคะแนน

การยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ในขณะที่ MAP 1 และ MAP 2 มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่า 5 ตลอดระยะเวลาการเก็บ อย่างไรก็ตามมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์ยกเว้น MAP 2 สามารถเก็บได้ไม่เกิน 5 สัปดาห์ เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย

การที่คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP1, MAP3 และ MAP4 มีค่าลดลงตลอดการเก็บทั้งๆ ที่ควรจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่เกิดการสุกมากขึ้น อาจเนื่องจากทั้ง 3 ทรีตเมนต์เกิดอาการสะท้านหนาวและเกิดตำหนิค่อนข้างมากทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของสีผิวมะเขือเทศ

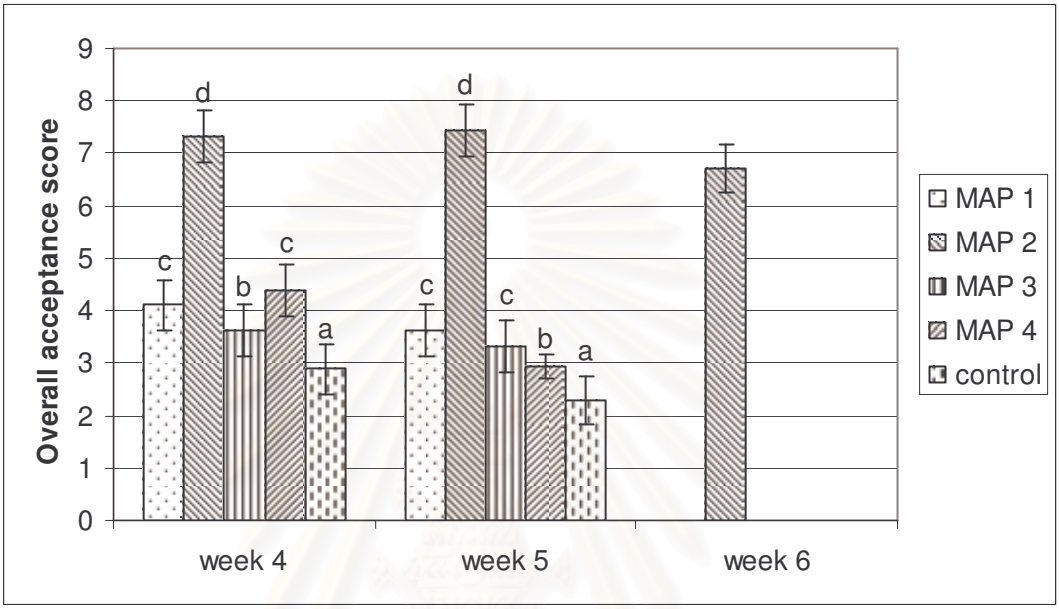


a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.23 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 $^{\circ}$C

คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่า 4.11 $\pm$ 0.47 7.33 $\pm$ 0.49 3.61 $\pm$ 0.5 4.39 0.5 และ 2.89 $\pm$ 0.47 ตามลำดับ (รูปที่ 4.24) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีค่าลดลง เกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการยอมรับโดยรวมคือน้อยกว่า 5 ซึ่งคะแนนการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศทุกๆ ทรีตเมนต์ ยกเว้น MAP 2 มีค่าต่ำกว่า 5 เมื่อเก็บไว้นาน 4 สัปดาห์ขึ้นไป ดังนั้นจึงอาจสามารถประมาณอายุการเก็บของ MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control ได้คือประมาณ 4 สัปดาห์ ในขณะที่คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MAP 2 ตลอดระยะเวลาการเก็บมีค่ามากกว่า 7 ยกเว้นสัปดาห์ที่ 6 ที่มีค่าต่ำกว่า 7 เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเก็บมะเขือเทศที่มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ก๊าซ

ออกซิเจน 5% และก๊าซไนโตรเจน 90% เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% สามารถเก็บได้นานถึง 6 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการเก็บมะเขือเทศทรีตเมนต์ MAP 2 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 6.72 ± 0.46 และเมื่อเก็บ MAP 2 ต่อพบว่า MAP 2 เกิดการเน่าเสียดังนั้นจึงแสดงค่าถึงสัปดาห์ที่ 6



a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

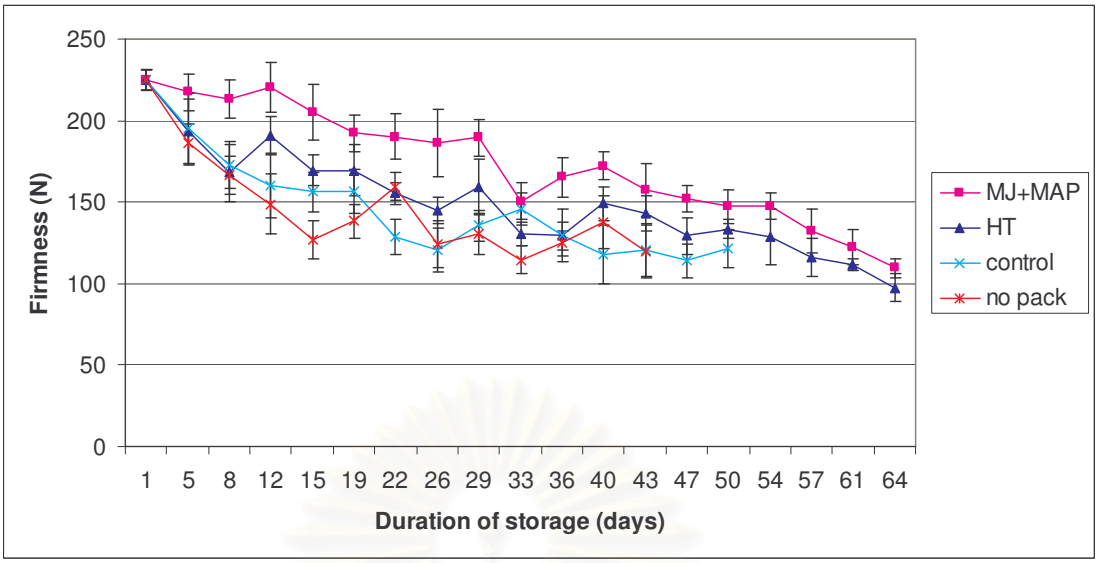
รูปที่ 4.24 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4 และ control เก็บที่ 5 °C

จากผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมี กายภาพ และด้านประสาทสัมผัส พบว่า MAP 2 หรือการเก็บมะเขือเทศโดยการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ก๊าซออกซิเจน 5% และก๊าซไนโตรเจน 90% สามารถรักษาคุณภาพมะเขือเทศได้ดีที่สุด ไม่ว่าจะเป็นทางด้านความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก การสูญเสียน้ำหนัก คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว คะแนนการเกิดตำหนิ คะแนนการยอมรับด้านสี และคะแนนการยอมรับโดยรวม ดังนั้นจึงเลือกการเก็บมะเขือเทศโดยการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ก๊าซออกซิเจน 5% และก๊าซไนโตรเจน 90% ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.6 ผลของบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตต่ออาการสะท้านหนาวและคุณภาพของมะเขือเทศ

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เมทิลจัสโมเนตความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการลดอาการสะท้านหนาวที่ได้จากข้อ 4.4 ร่วมกับการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพของมะเขือเทศที่ได้จากข้อ 4.5 (MJ+MAP) เปรียบเทียบกับ heat treatment (HT) และการเก็บมะเขือเทศแบบไม่ใช้บรรจุภัณฑ์ (no pack) โดยมีมะเขือเทศที่เก็บในถุง FRESHPAC™ เป็นตัวอย่างควบคุม (control)

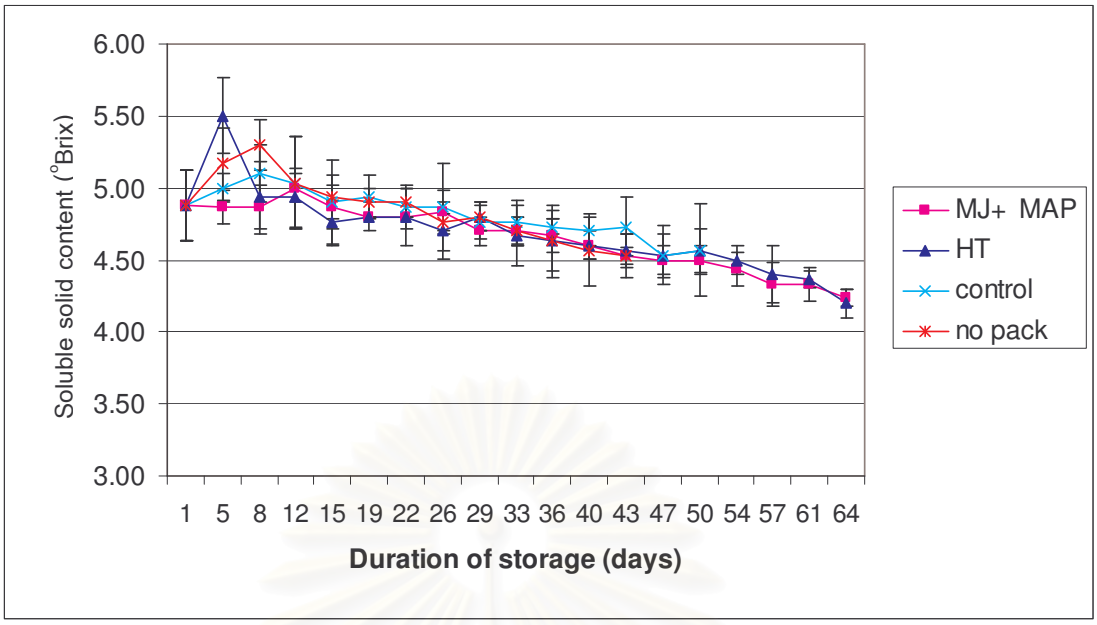
มะเขือเทศมีความแน่นเนื้อเริ่มต้นเท่ากับ 225.09 $\pm$ 6.12 N และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นความแน่นเนื้อของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.25) MJ+MAP มีความแน่นเนื้อมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ โดย HT, control และ no pack มีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วและมากกว่า MJ+MAP ใน 15 วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากไม่มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นทำให้มีอัตราการหายใจที่สูง ส่งผลให้ความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว no pack และ control สามารถเก็บได้ไม่เกิน 43 และ 50 วัน เนื่องจากเกิดการเน่าเสียและเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างมากจนไม่สามารถทดสอบความแน่นเนื้อได้ โดยเฉพาะ no pack จะเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างมาก และเมื่อสิ้นสุดการเก็บมะเขือเทศทั้ง 2 ทรีตเมนต์นี้มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 121.60 $\pm$ 11.53 N และ 120.03 $\pm$ 16.22 N ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP และ HT สามารถเก็บได้นานถึง 64 วัน และเมื่อสิ้นสุดการเก็บจะมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 109.36 $\pm$ 6.06 N และ 97.00 $\pm$ 8.51 N ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์โพลีกาแลกตูโลเนส (polygalacturonase) และเอนไซม์เพกตินเมททิลเอสเตอเรส (pectin methylesterase) เป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่ส่งผลต่อความแน่นเนื้อ โดยเอนไซม์ทั้ง 2 จะเปลี่ยนกรดโพลีกาแลกตูโรนิกไปเป็นสารประกอบเพกตินระหว่างกระบวนการสุกของผลิตผล (Themman, Tucker and Grierson, 1982) ส่งผลให้ความแน่นเนื้อลดลง กิจกรรมของเอนไซม์โพลีกาแลกตูโลเนสจะเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการบริบูรณ์ (maturation) และการสร้างเอนไซม์โพลีกาแลกตูโลเนสจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีก๊าซเอทิลีน (Grierson and Tucker, 1983) การเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์สามารถป้องกันการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการสร้างก๊าซเอทิลีนส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีกาแลตูโลเนสลดลง



รูปที่ 4.25 ความแน่นเนื้อของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นเท่ากับ 4.88 ± 0.25 °Brix มะเขือเทศในทุกทรีตเมนต์จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บและหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตลอดการเก็บ (รูปที่ 4.26) HT มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ในวันที่ 5 ของการเก็บ อาจเนื่องจาก HT มีอัตราการหายใจที่สูงกว่า ส่วน no pack มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่า control และ MJ+MAP ในวันที่ 5 และ 8 ตามลำดับ แต่หลังจากนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศทุกๆ ทรีตเมนต์จะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บ no pack และ control ซึ่งเก็บได้เพียง 43 และ 50 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บเท่ากับ 4.53 ± 0.15 °Brix และ 4.57 ± 0.15 °Brix ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP และ HT สามารถเก็บได้นานถึง 64 วัน มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 4.23 ± 0.06 °Brix และ 4.20 ± 0.10 °Brix ตามลำดับ

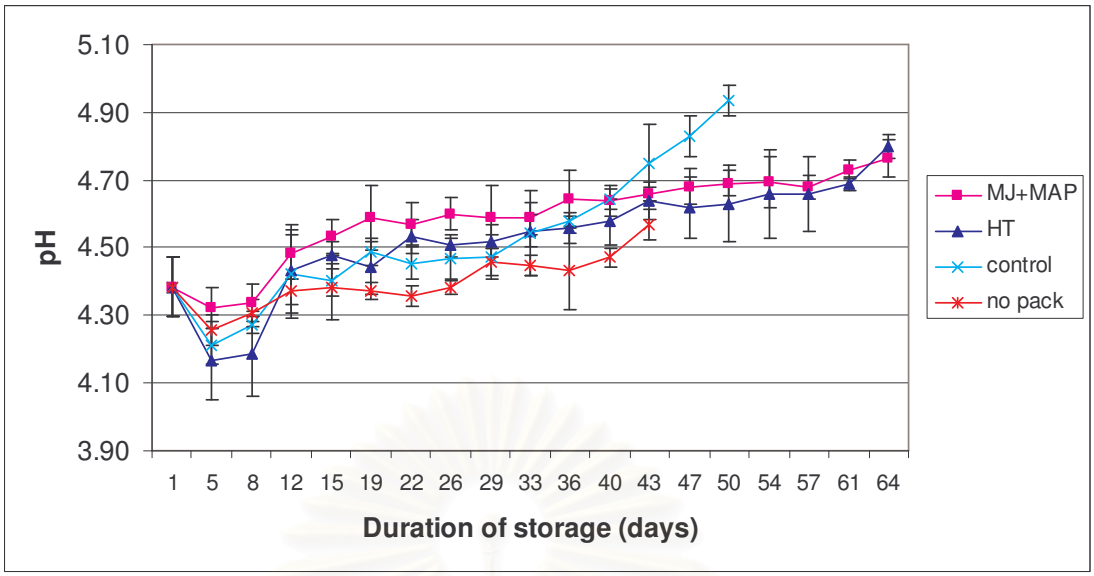
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีค่า pH เริ่มต้นที่ 4.38 ± 0.09 โดยค่า pH ของมะเขือเทศในทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.27) โดย no pack มีค่า pH ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ เนื่องจากการเก็บมะเขือเทศแบบไม่มีบรรจุภัณฑ์จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงค่า pH ผิดปกติ หลังจากวันที่ 43 จนถึงสิ้นสุดการเก็บ control มีค่า pH สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจทำให้ control มีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อค่า pH สูงขึ้น จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีกว่าที่ pH ต่ำกว่า เมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ+MAP, HT, control และ no pack มีค่า pH เท่ากับ 4.76 ± 0.06 4.80 ± 0.04 4.94 ± 0.05 และ 4.57 ± 0.05 ตามลำดับ

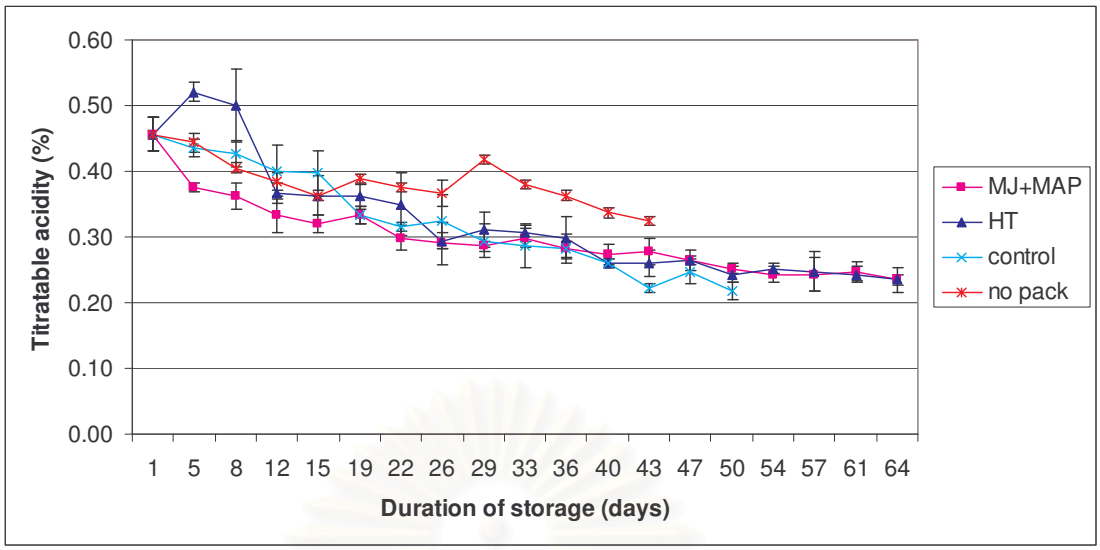
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 ค่า pH ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

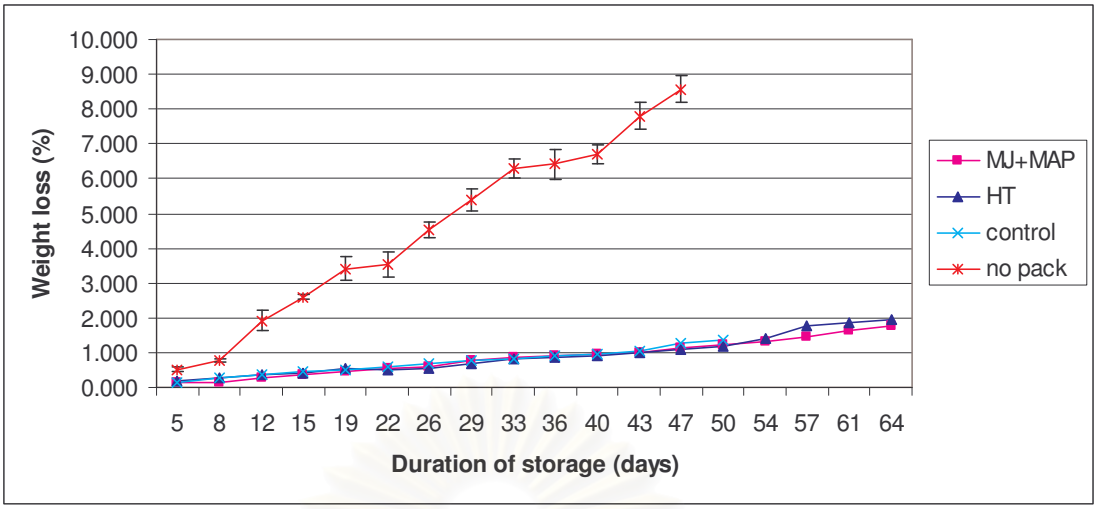
มะเขือเทศมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 0.46 ± 0.03 มะเขือเทศทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.28) หลังจากวันที่ 19 ของการเก็บจนถึงสิ้นสุดการเก็บ no pack มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกอยู่ในระดับที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ของ no pack ซึ่งมีค่า pH อยู่ในระดับที่ต่ำ (รูปที่ 4.27) หลังจากวันที่ 16 จนสิ้นสุดการเก็บ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ+MAP, HT และ control มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lurie และ Klein (1991) ซึ่งกล่าวว่า heat treatment จะไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก เมื่อสิ้นสุดการเก็บ MJ+MAP, HT, control และ no pack มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกเท่ากับร้อยละ 0.23 ± 0.01 0.23 ± 0.02 0.22 ± 0.01 และ 0.32 ± 0.01 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริกของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของทุกๆ ทรีตเมนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.29) no pack มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยในวันที่ 19 ของการเก็บ no pack มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่า 3 ซึ่งสูงในระดับที่จะทำให้มะเขือเทศเกิดการหดตัว ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บมะเขือเทศแบบไม่มีบรรจุภัณฑ์ ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่นๆ ซึ่งมีการดัดแปรบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนและเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยชะลอระยะเวลาการสุก และช่วยลดอัตราการหายใจของมะเขือเทศ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเปลี่ยนสาร ACC ไปเป็นก๊าซเอทิลีน (Chakraverty and Paul, 2001) จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MJ+MAP, HT และ control มีค่าต่ำกว่า no pack เมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 64 วัน MJ+MAP, HT มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.426 ± 0.071 และ 1.771 ± 0.094 ตามลำดับ ในขณะที่ control มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.397 ± 0.038 เมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 50 วัน และ no pack มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 8.558 ± 0.381 เมื่อสิ้นสุดการเก็บนาน 43 วัน

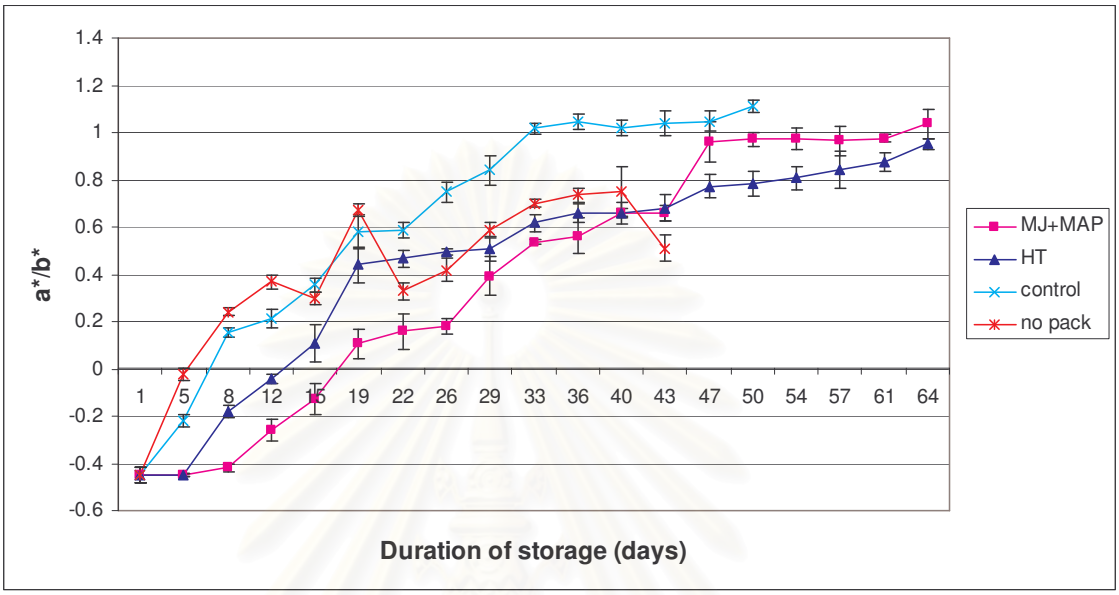


รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

มะเขือเทศมีค่า a*/b* เริ่มต้นเท่ากับ -0.45 ± 0.03 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บในทุกทรีตเมนต์ (รูปที่ 4.30) ใน 12 วันแรกของการเก็บ no pack มีค่า a*/b* สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อเก็บผลิตผลในที่อุณหภูมิต่ำใกล้จุดเยือกแข็งจะทำให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นและผิดปกติ (Lyons, 1973) MJ+MAP, HT control และ no pack มีค่า a*/b* มากกว่าศูนย์ ในวันที่ 19 15 8 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งค่า a*/b* ที่มากกว่าศูนย์นี้แสดงถึงมะเขือเทศเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวเป็นสีแดง ในช่วง 36 วันแรกของการเก็บ MJ+MAP มีค่า a*/b* ต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นร่วมกับการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตช่วยลดอัตราการหายใจ ส่งผลให้ชะลอระยะเวลาในการสุก ตลอดระยะเวลาการเก็บ no pack มีค่า a*/b* ต่ำกว่า 1 ซึ่งหมายถึงมะเขือเทศไม่เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการเก็บมะเขือเทศที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งทำให้มะเขือเทศเกิดกระบวนการสุกที่ผิดปกติ (Lyons, 1973) หลังจากวันที่ 22 ของการเก็บพบว่า control มีค่า a*/b* มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จนสิ้นสุดการเก็บ เนื่องจาก control มีอัตราการหายใจที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซเอทิลีน (รูปที่ 4.31) ภายในบรรจุภัณฑ์ของ control ที่มีค่าสูงกว่า MJ+MAP และ HT อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นวันแรกของการเก็บที่ control มีปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ต่ำกว่า HT

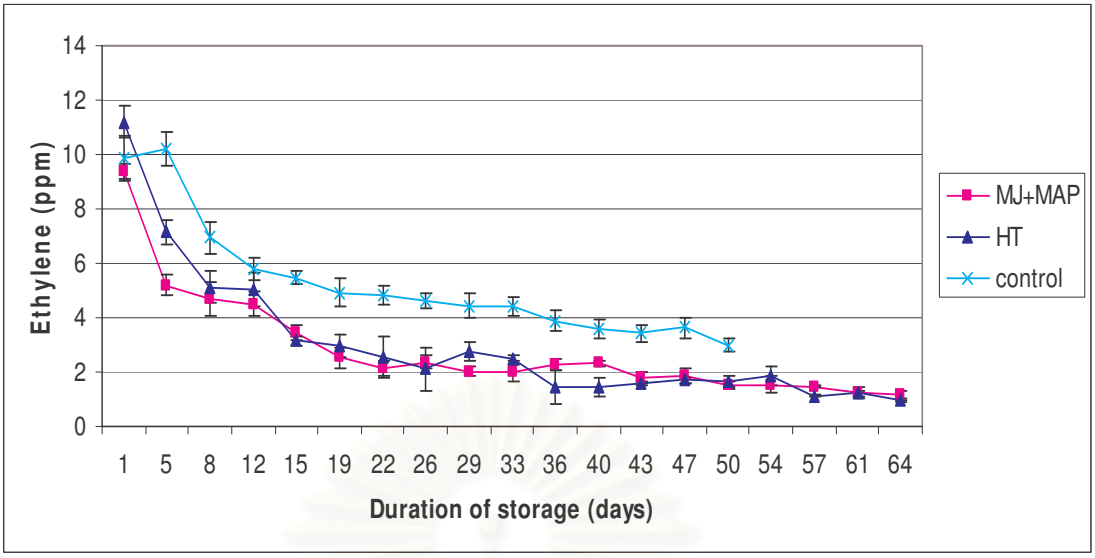
control และ MJ+MAP มีค่า a*/b* มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ในวันที่ 36 และ 64 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงมะเขือเทศเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดการเก็บ ค่า a*/b* ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack มีค่าเท่ากับ 1.04 ± 0.06 0.95 ± 0.02 1.11 ± 0.03 และ 0.51 ± 0.06

ตามลำดับ HT มีค่า a*/b* ต่ำกว่า 1 เล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการเก็บ แสดงให้เห็นว่า มะเขือเทศเกิดการสุกที่ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามก็ควรพิจารณาถึงการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบแบบฝึกฝนด้วยเช่นกัน



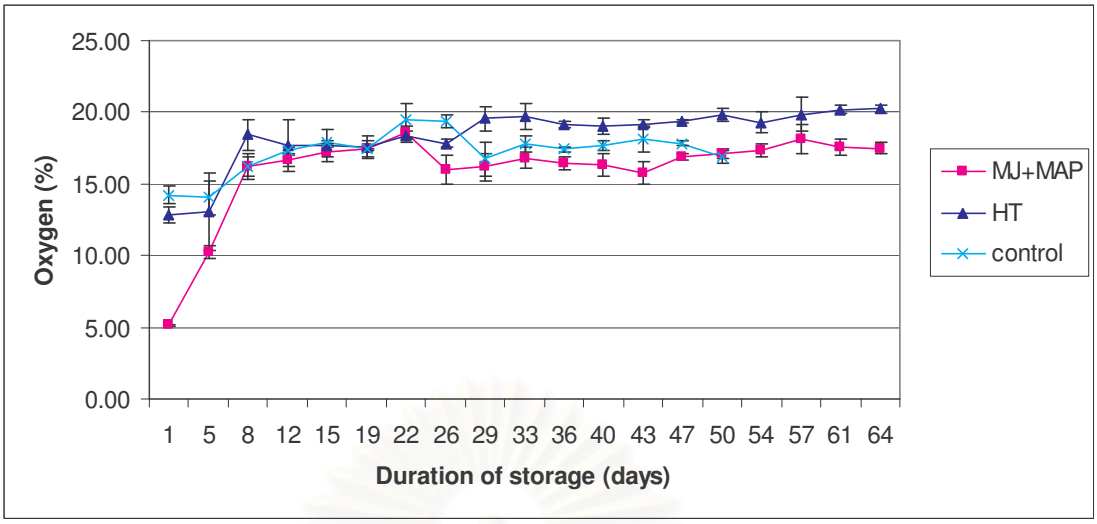
รูปที่ 4.30 ค่า a*/b* ของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ในวันแรกของการเก็บของ MJ+MAP, HT และ control มีค่าเท่ากับ 9.26 ± 0.26 ppm 11.20 ± 0.57 ppm และ 9.88 ± 0.83 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 4.31) ปริมาณก๊าซเอทิลีนของ control มีค่าสูงกว่า MJ+MAP และ HT อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นวันแรกของการเก็บรักษาที่ HT มีปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์สูงกว่า control ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ MJ+MAP และ HT มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในช่วงหลังของการเก็บ มะเขือเทศในทุกๆ ทรีตเมนต์จะมีปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ลดต่ำลงมาก เนื่องจากมะเขือเทศเริ่มเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) มีอัตราการหายใจต่ำส่งผลให้การผลิตก๊าซเอทิลีนลดลง (รูปที่ 4.31) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงสามารถยับยั้งการผลิตก๊าซเอทิลีนของมะเขือเทศระหว่างกระบวนการสุกได้ (Buta and Thompson, 1998) ส่วน heat treatment สามารถชะลอกระบวนการสุกได้โดยยับยั้งการสร้างก๊าซเอทิลีน (Fallik *et al.*, 1999) ซึ่งที่อุณหภูมิ 35-38 °C ทำให้เกิดการสะสมของ ACC ในเนื้อเยื่อของแอปเปิ้ลและมะเขือเทศส่งผลให้การผลิตเอทิลีนลดลง (Biggs *et al.*,1988) นอกจากนี้ Yang และคณะ (1990) รายงานว่า heat treatment สามารถส่งผลให้ผลิตผลไม่ตอบสนองต่อก๊าซเอทิลีนภายนอกด้วย

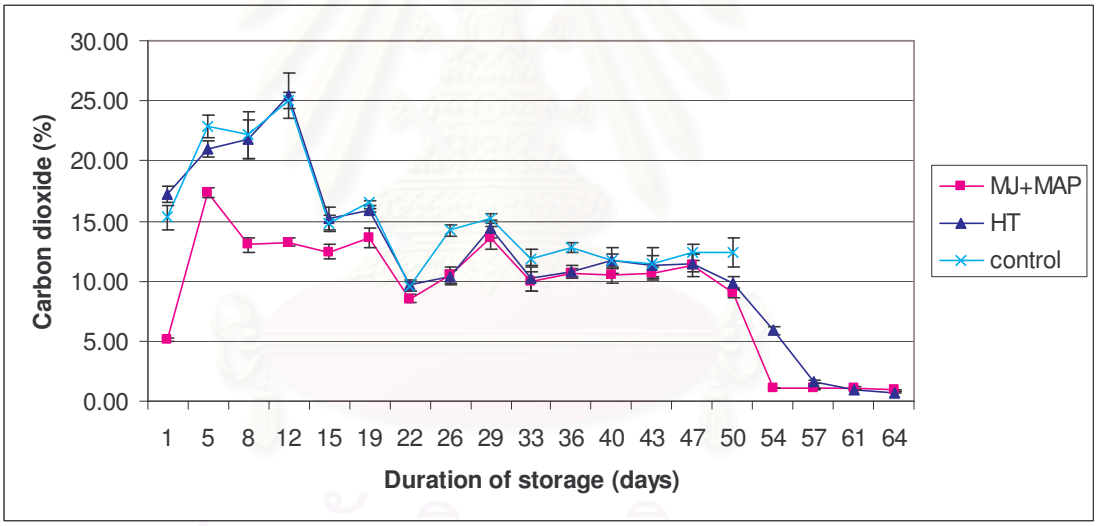


รูปที่ 4.31 ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ของมะเขือเทศทรีตเมนต์ MJ+MAP, HT และ control เก็บที่ 5 °C

เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นของ MJ+MAP, HT และ control มีค่าเท่ากับ 5.17 ± 0.06 12.87 ± 0.55 และ 14.23 ± 0.60 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 8 วันแรกของการเก็บ และหลังจากนี้มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.32) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์สามารถให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ผ่านได้ เพื่อป้องกันการหายใจแบบไม่ใช้อากาศของมะเขือเทศ เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP มีค่าต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นของ MJ+MAP, HT และ control มีค่าเท่ากับ 5.13 ± 0.15 17.20 ± 0.70 และ 15.30 ± 0.98 ตามลำดับ (รูปที่ 4.33) ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเก็บ และมีแนวโน้มลดลงในช่วงหลังของการเก็บ จากรูปที่ 4.33 พบว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของ HT จะสูงกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันแรกของการเก็บ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ที่สูงกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมะเขือเทศที่มีก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์สูงจะมีอัตราการหายใจที่สูงส่งผลให้มีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงตาม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลได้โดยควบคุมกิจกรรมของไมโตคอนเดรีย ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่า 40% สามารถยับยั้ง NAD-cytochrome oxidase (Kubo *et al.*, 1985) และสามารถยับยั้งการสลายของสารประกอบเพกตินได้อีกด้วย (Wills *et al.*, 1989)



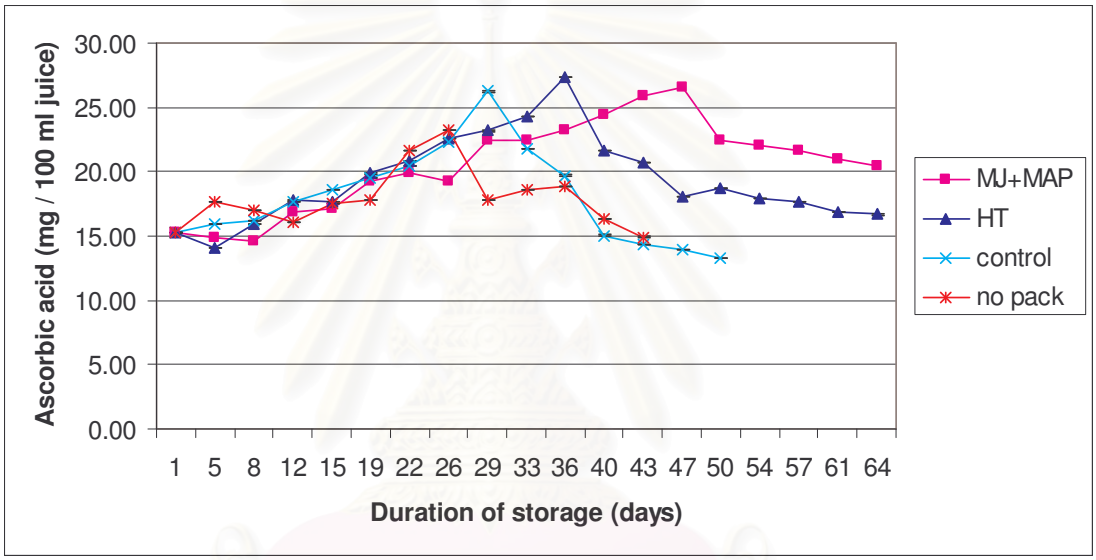
รูปที่ 4.32 เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP, HT และ control เก็บที่ 5 °C



รูปที่ 4.33 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของ MJ+MAP, HT และ control เก็บที่ 5 °C

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บในทุกๆ ทรีตเมนต์ (รูปที่ 4.34) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fryer และคณะ (1954) ที่กล่าวว่ามะเขือเทศจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นเมื่อมะเขือเทศเริ่มเปลี่ยนสีผิวจากเขียวไปเป็นแดง ปริมาณกรดแอสคอร์บิกจะเพิ่มขึ้นสูงสุดจากนั้นจะลดลงพร้อมๆ กับกระบวนการสุก (Malewski and Markakis, 1971) MJ+MAP, HT, control และ no pack จะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงสุดในวันที่ 47 36 29 และ

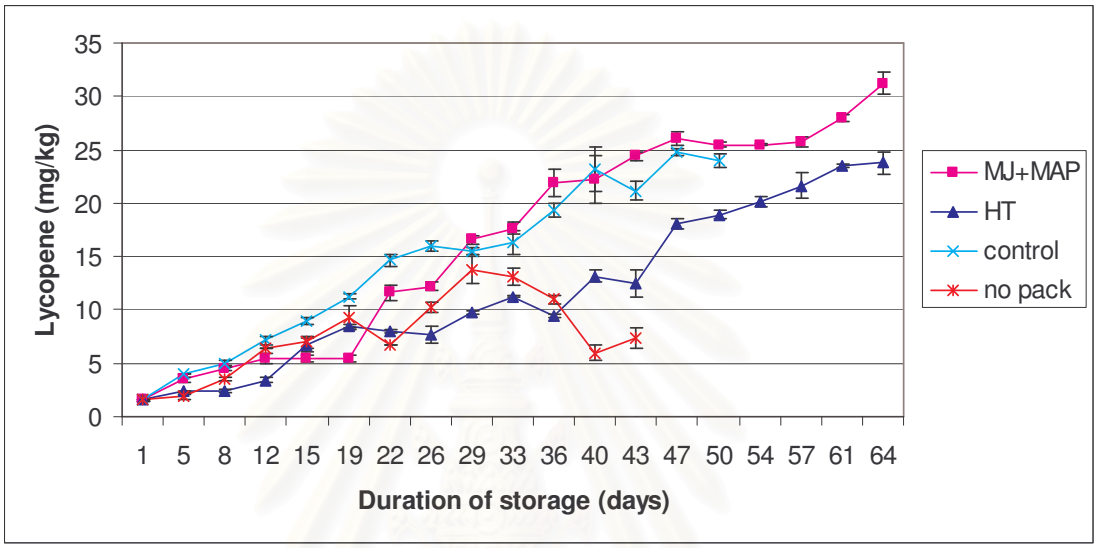
26 ของการเก็บตามลำดับ และหลังจากนี้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกจะลดลงจนสิ้นสุดการเก็บ เนื่องจากทรีตเมนต์แต่ละทรีตเมนต์เกิดกระบวนการสุกที่เวลาต่างกัน มะเขือเทศที่เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ก่อนก็จะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงสุดก่อน ซึ่งสอดคล้องกับค่า a*/b* โดยพบว่า control มีค่า a*/b* เท่ากับหรือมากกว่า 1 เร็วกว่า MJ+MAP และ HT ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง MJ+MAP และ HT ที่เก็บหลังวันที่ 40 พบว่า MJ+MAP มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่า HT อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จนสิ้นสุดการเก็บ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตร่วมกับการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นนอกจากช่วยชะลอการสุกแล้วยังสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกได้ดีกว่า HT อีกด้วย



รูปที่ 4.34 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

ไลโคพีนเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีแดงในผักและผลไม้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมะเขือเทศเกิดกระบวนการสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวเป็นสีแดง (Nguyen and Schwartz,1999) ปริมาณไลโคพีนเริ่มต้นของมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์เท่ากับ 1.5198 $\pm$ 0.0932 mg/kg และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.35) ปริมาณไลโคพีนของ control จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ สอดคล้องกับค่า a*/b* ของ control ที่เพิ่มขึ้นเร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ยกเว้น no pack ใน 26 วันแรกของการเก็บ control มีปริมาณไลโคพีนมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่หลังจากนี้ MJ+MAP มีปริมาณไลโคพีนมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) HT มีปริมาณไลโคพีนน้อยกว่า MJ+MAP และ control ตลอดระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นวันที่ 15 19 และ 40 ของการเก็บรักษา อาจเกิดเนื่องจาก

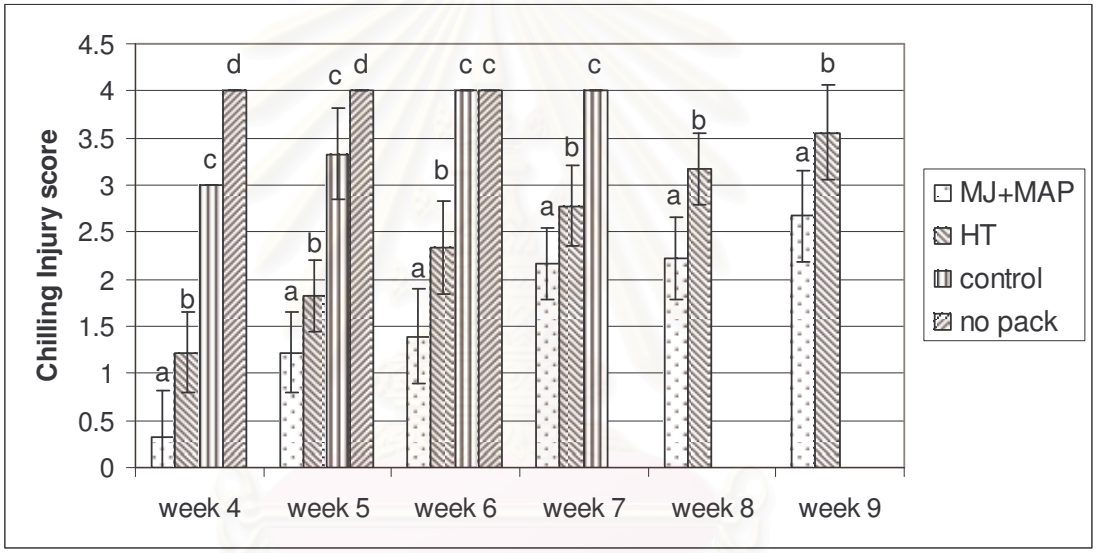
ความร้อนสามารถยับยั้งการถอดรหัสของ m-RNA สำหรับไลโคพีนซินเทส (lycopene synthase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ไลโคพีน (Cheng *et al.*, 1988) ปริมาณไลโคพีนของ no pack มีค่าสูงสุดในวันที่ 29 ของการเก็บ และหลังจากนี้จะลดลงจนสิ้นสุดการเก็บ อาจเนื่องจากมะเขือเทศเกิดการสุกที่ผิดปกติส่งผลให้การสังเคราะห์ไลโคพีนผิดปกติด้วย (Hamauzu and Chachin, 1995)



รูปที่ 4.35 ปริมาณไลโคพีนของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของทุกๆ ทรีตเมนต์ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บที่ 5 °C เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.36) โดย no pack มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 4 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนสิ้นสุดการเก็บ MJ+MAP มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากมะเขือเทศทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บ คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ+MAP และ HT เมื่อสิ้นสุดการเก็บมีค่าเท่ากับ 2.67 $\pm$ 0.49 และ 3.56 $\pm$ 0.51 ตามลำดับ เกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวคือมากกว่า 3.5 จากรูปที่ 4.36 พบว่า no pack มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 3.5 ตลอดระยะเวลาการเก็บ control มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 3.5 ในสัปดาห์ที่ 6 ในขณะที่ MJ+MAP และ HT มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่า 3.5 ตลอดระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นสัปดาห์ที่ 9 ที่ HT จะมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 3.5

เมทิลจัสโมเนตและ heat treatment สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ control และ no pack อาจเกิดเนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถเหนี่ยวนำให้ผลิตผลผลิต heat shock proteins (HSPs) ซึ่ง HSPs จะทำหน้าที่ควบคุมการ folding ของโปรตีนและทำลายโปรตีนที่ผิดปกติโดยการจับกับโปรตีนนั้นแล้วปลดปล่อยออกนอกเซลล์ นอกจากนี้ HSPs ยังป้องกันการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาว (Ding *et al*., 2001) ในขณะที่ heat treatment สามารถรักษาระดับอัตราส่วนไขมันไม่อิ่มตัวต่อไขมันอิ่มตัวซึ่งช่วยควบคุมการเข้าออกของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และลดการเกิดการรั่วไหลของไอออน (electrolyte leakage) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอาการสะท้านหนาว

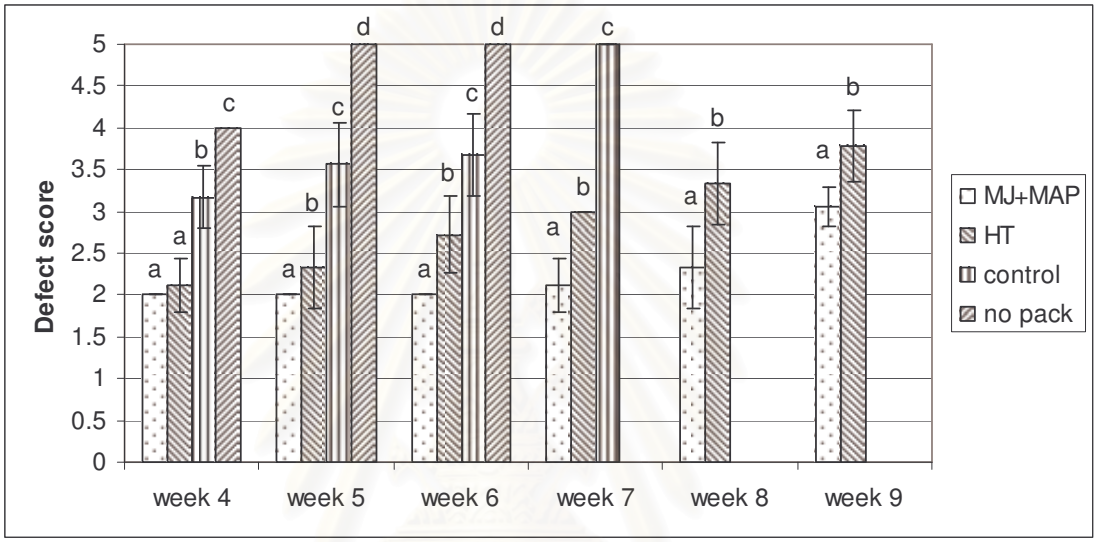


a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.36 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

คะแนนการเกิดตำหนิของมะเขือเทศทุกๆ ทรีตเมนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.37) ในสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 มะเขือเทศทุกๆ ทรีตเมนต์มีคะแนนการเกิดตำหนิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นคะแนนการเกิดตำหนิของ MJ+MAP และ HT ในสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งมีคะแนนการเกิดตำหนิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) MJ+MAP มีคะแนนการเกิดตำหนิน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากเมทิลจัสโมเนตสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราและอาการสะท้านหนาวได้ (Wang and Buta, 1994) MJ+MAP มีคะแนนการเกิดตำหนิคงที่ระหว่างการเก็บในช่วง 4-6 สัปดาห์ ซึ่งมี

ค่าเท่ากับ 2 แสดงให้เห็นว่าการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตร่วมกับการใช้การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นช่วยลดการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ ในการทดลองนี้ได้กำหนดเกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการเกิดตำหนิคือมากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 โดยพบว่า no pack และ control มีคะแนนการเกิดตำหนิมากกว่า 3.5 ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP และ HT มีคะแนนการเกิดตำหนิน้อยกว่า 3.5 ตลอดระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นสัปดาห์ที่ 9 ที่ HT มีคะแนนการเกิดตำหนิมากกว่า 3.5

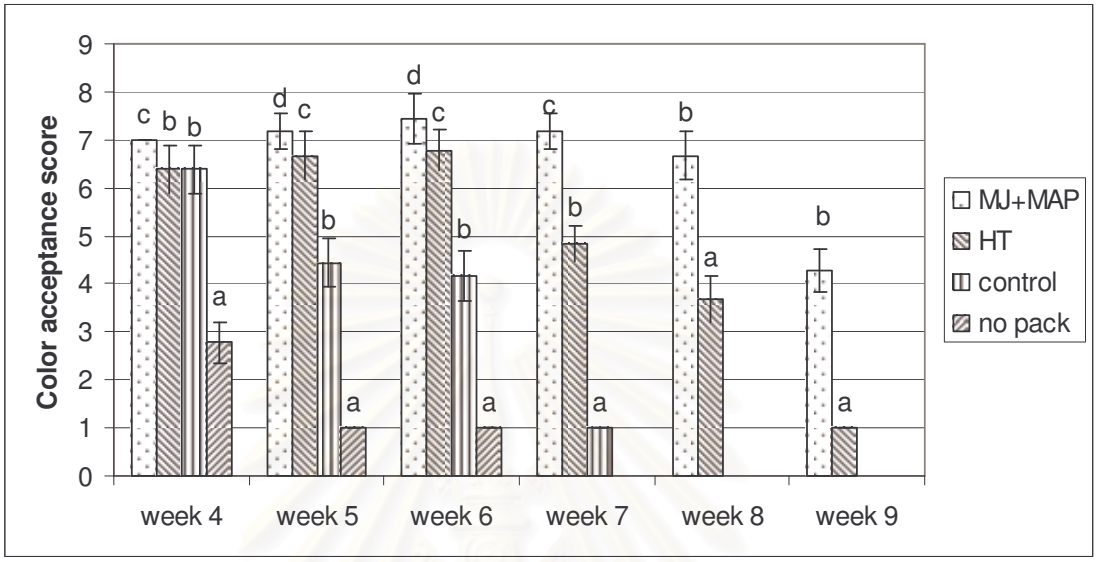


a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.37 คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 ^{o}C

MJ+MAP และ HT มีคะแนนการยอมรับด้านสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 โดยมีคะแนนสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 และมีคะแนนลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 7 (รูปที่ 4.38) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสัปดาห์ที่ 4 นั้น MJ+MAP และ HT ยังไม่เกิดกระบวนการสุกที่สมบูรณ์ ดังนั้นผู้ทดสอบจึงให้คะแนนน้อย แต่เมื่อทดสอบการยอมรับด้านสีในสัปดาห์ที่ 6 ของ MJ+MAP และ HT จะมีคะแนนการยอมรับด้านสีสูงสุด อาจเนื่องมาจากมะเขือเทศทั้งสองทรีตเมนต์เริ่มเกิดกระบวนการสุกอย่างสมบูรณ์ซึ่งสอดคล้องกับค่า a*/b* ของมะเขือเทศทั้งสองทรีตเมนต์ที่มีค่าใกล้เคียง 1 ในวันที่ 47 และ 54 ตามลำดับ (รูปที่ 4.30) อย่างไรก็ตามก็ต้องพิจารณาคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวและคะแนนการเกิดตำหนิของมะเขือเทศควบคู่ไปด้วย no pack มีคะแนนการยอมรับด้านสีต่ำกว่า 3 ตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากมะเขือเทศเกิดกระบวนการสุก การเปลี่ยนแปลงสีที่ผิดปกติและเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างมาก ซึ่งมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 4 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 (รูปที่ 4.36) ในการทดลองนี้ได้กำหนดเกณฑ์การไม่ยอมรับเมื่อคะแนนการยอมรับ

ด้านสีน้อยกว่า 5 โดยพบว่า HT, control และ no pack มีคะแนนการยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 7 5 และ 4 ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่า 5 ตลอดระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นสัปดาห์ที่ 9 ซึ่งมีคะแนนการยอมรับด้านสีน้อยกว่า 5



a,b... กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.38 คะแนนการยอมรับด้านสีของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

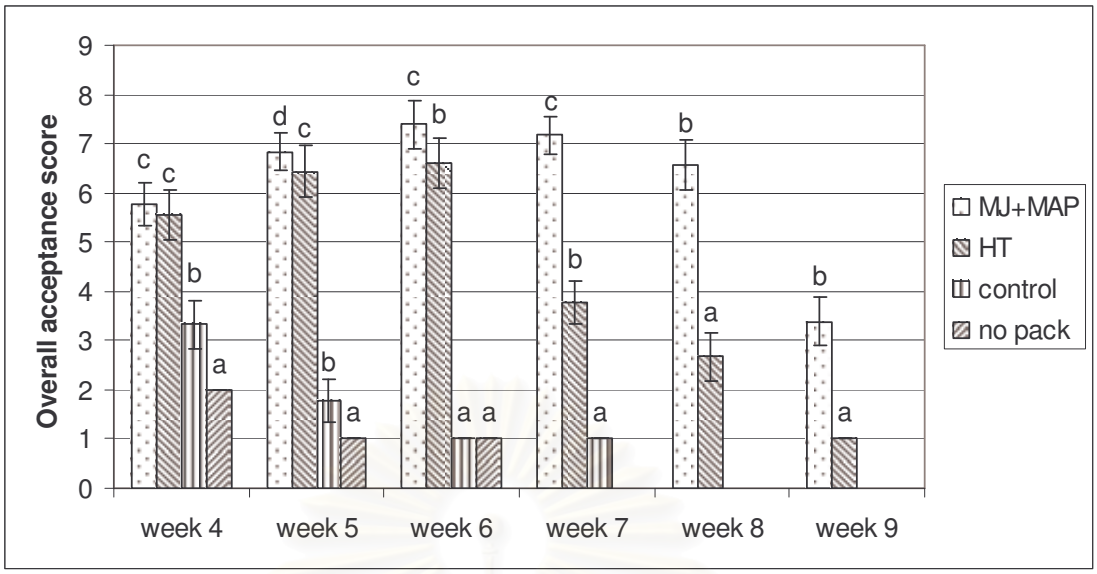
คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ+MAP และ HT จะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และมีค่าลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 6 (รูปที่ 4.39) ซึ่งคะแนนการยอมรับโดยรวมจะสอดคล้องกับคะแนนการยอมรับด้านสี เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านสีและคะแนนการยอมรับโดยรวมในรูปที่ 4.38 และ 4.39 ตามลำดับ พบว่าเมื่อคะแนนการยอมรับด้านสีเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับโดยรวมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย control และ no pack มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำกว่า 4 ตลอดระยะเวลาการเก็บ ซึ่งเป็นคะแนนที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ จึงสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า control และ no pack สามารถเก็บที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ได้ไม่เกิน 4 สัปดาห์ คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ+MAP และ HT มีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.39 $\pm$ 0.5 และ 6.61 $\pm$ 0.5 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบยอมรับมะเขือเทศที่มีการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตร่วมกับการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นและมะเขือเทศที่ผ่าน heat treatment ที่เก็บที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บที่สัปดาห์อื่นๆ เนื่องจากสัปดาห์ที่ 6 MJ+MAP และ HT เริ่มเกิดกระบวนการสุกและเกิดการ

เปลี่ยนแปลงสีอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับค่า a*/b* ที่มีค่าใกล้ 1 ในวันที่ในวันที่ 47 และ 54 ตามลำดับ (รูปที่ 4.30)

เมื่อพิจารณาคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวและคะแนนการเกิดตำหนิของ MJ+MAP ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของ MJ+MAP มีค่าเท่ากับ 1.39 $\pm$ 0.5 ซึ่งสูงกว่าในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 แต่คะแนน 1.39 หมายถึงมะเขือเทศเกิดอาการสะท้านหนาวไม่เกิน 5% ซึ่งผู้ทดสอบสามารถยอบรับได้ ในขณะที่คะแนนการเกิดตำหนิของ MJ+MAP มีคะแนนเท่ากันในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 โดยมีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งหมายถึงเกิดตำหนิเล็กน้อย ดังนั้นจึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับโดยรวมมีคะแนนที่สูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 แต่หลังจากนี้คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ+MAP มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวและคะแนนการเกิดตำหนิที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับโดยรวมของ control และ no pack จะมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยมีค่าน้อยกว่า 2 ตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากเกิดอาการสะท้านหนาวและเกิดตำหนิค่อนข้างมาก (รูปที่ 4.36 และ 4.37)

เกณฑ์การไม่ยอมรับของคะแนนการยอมรับโดยรวมคือน้อยกว่า 5 โดยพบว่า HT control, และ no pack มีคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อยกว่า 5 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 7 4 และ 4 ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่า 5 ตลอดระยะเวลาการเก็บจนกระทั่งสัปดาห์ที่ 9 จากผลการทดลองสามารถประมาณอายุการเก็บของมะเขือเทศทรีตเมนต์ต่างๆ ได้ดังนี้ HT, control และ no pack มีอายุการเก็บประมาณ 6 4 และไม่เกิน 4 สัปดาห์ตามลำดับ ที่ 5 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ในขณะที่ MJ+MAP มีอายุการเก็บประมาณ 8 สัปดาห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a,b… กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.39 คะแนนการยอมรับโดยรวมของ MJ+MAP, HT, control และ no pack เก็บที่ 5 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตสามารถสามารถยืดอายุการเก็บ ลดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการจุ่มมะเขือเทศในเมทิลจัสโมเนตที่ความเข้มข้นเท่ากัน

2. การรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M เป็นวิธีที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพ ยืดอายุการเก็บ ลดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-5} M โดยมะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ได้ประมาณ 6 สัปดาห์ ในขณะที่มะเขือเทศที่ผ่านการรมควันด้วยกับเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-5} M และ control สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 4 สัปดาห์

3. การดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นเป็น 5%O_2/5%CO_2/90%N_2 (MAP 2) สามารถรักษาคุณภาพ ยืดอายุการเก็บ ลดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิของมะเขือเทศได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 2.5%O_2/2.5%CO_2/95%N_2 (MAP 1), 7.5%O_2/0%CO_2/92.5%N_2 (MAP 3), 2%O_2/80%CO_2/18%N_2 (MAP 4) และ control โดยสามารถเก็บรักษา MAP 1, MAP 3, MAP 4 และ control ที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ได้ไม่เกิน 4 สัปดาห์ ในขณะที่ MAP 2 สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 6 สัปดาห์

4. การรมควันมะเขือเทศด้วยเมทิลจัสโมเนตความเข้มข้น 10^{-4} M ร่วมกับการดัดแปรบรรยากาศเริ่มต้นแบบ MAP 2 (MJ+MAP) สามารถรักษาคุณภาพ ยืดอายุการเก็บ ลดการผลิตก๊าซเอทิลีน ลดอาการสะท้านหนาว และการเกิดตำหนิของมะเขือเทศ ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ heat treatment (HT), control และมะเขือเทศที่เก็บแบบไม่มีบรรจุภัณฑ์ (no pack) โดย HT, control และ no pack สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ได้ประมาณ 6 4 และน้อยกว่า 4 สัปดาห์ตามลำดับ ในขณะที่ MJ+MAP สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 8 สัปดาห์

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ จึงควรนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมการส่งออกผักและผลไม้ และควรนำเมทิลจัสโมเนตไปประยุกต์ใช้กับผักและผลไม้อื่นเพื่อลดอาการสะท้านหนาวและยืดอายุการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมศุลกากร. 2548. มะเขือเทศสดและแช่เย็น [online]. สถิติการนำเข้า-ส่งออก กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง. Available from: http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp [2005, November 12].

เกียรติเกษตร กาณจนพิสุทธิ์ มโนธรรม สัจจ์ถาวร อดุลย์ พงศ์สุวรรณ บรรณ บูรณะ และ ลิขิต เอียดแก้ว 2531. มะเขือเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สหมิตร ออฟเซ็ท.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ดนัย บุญยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติการภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

พิบูลย์ เจียมอนุกูลกิจ. 2542. วารสารข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. ปีที่ 45 ฉบับที่ 511 (มิถุนายน 2542): 2-4

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th edition. Association of Official Analitical Chemists. Arlington.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th edition. Association of Official Analitical Chemists. Washington D.C.

Ali, M. S., Nakano, K. and Maezawa, S. 2004. Combined effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the color development of cherry tomato. Postharvest Biology and Technology 34: 113-116.

Artés, F., Conesa, M. A., Hernández, S. and Gil, M. I. 1999. Keeping quality of fresh-cut tomato. Postharvest Biology and Technology 17: 153-162.

ASTM.1983. Annual Book of ASTM Standards. Section 6. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.

Bailly, C. Corbineau, F. and Come, D. 1992. The effects of abscisic acid and methyl jasmonate on 1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid conversion to ethylene in hypocotyl segments of sunflower seedlings, and their control by calcium and calmodulin Plant Growth Regulation 11: 349-355.

Biale, J. B. 1960a. The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. Advanced Food Research 10: 293-354.

Biale, J. B. 1960b. Respiration of fruit.. Handbook. Pflanzenphys., Berlin: Springer-Verlag.

Biale, J. B. 1964. Growth, maturation and senesence in fruits. Food Science 146: 880-888.

Biggs, M. S., Woodson, W. R. and Handa, A. K., 1988. Biochemical basis of high temperature inhibition of ethylene biosynthesis in ripening tomato fruits. Physiologia Plantarum 72: 572–578.

Birkett, M. A. and *et al*., 2000. New roles for *cis*-jasmone as an insect semiochemical and in plant defense. Proceedings of the National Academy of SciencesOf the United States of America 97: 9329–9334.

Buta, A., and Thompson, A. K. 1996. Effects of Short Term High Carbon Dioxide Treatment on Tomato Ripening. Journal of Agricultural and Forestry 22: 405-410.

Buta, A. and Thompson, A. K. 1998. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Post Harvest Qualities of Pink Tomatoes. Journal of Agricultural and Forestry 22: 365-372.

Buta, J. G. and Moline, H. E. 1998. Methyl Jasmonate Extends Shelf Life and Reduces Microbial Contamination of Fresh-Cut Celery and Peppers. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 1253-1256.

Cantwell, M., and Suslow, T. V. 2000. Produce Facts . [online]. Tomato. University of California, Davis. Available from: http://www.ethylenecontrol.com/technical/uc801.html [2005, September 2].

Chakraverty, A. and Paul, S. R. 2001. Postharvest Technology Cereal, Puises, Fruits and Vegetables. India: Science Publishers, Inc.

Cheng, T. S., Floros, J. D., Shewfelt, R. L. and Chang, C. J. 1988. The effect of high temperature stress on ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*).

Journal of Plant Physiology 132: 459–464.

Cheong, J. J., and Choi, Y. D. 2003. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. Trends in Genetics 19: 409-413.

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C. and Smith, D. L. 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. Plant Science 161: 1153-1159.

Ding, C. K., Wang, C., Gross, K. C. and Smith, D. L. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. Planta 214: 895-901.

El-Goorani, M. A. and Sommer, N. F. 1981. Effects of modified atmospheres on postharvest pathogen of fruits and vegetables. Horticultural Science 3: 412-461.

Eskin, N. A. M., Henderson, H. M. and Townsend, R. J. 1971. Postharvest changes in fruits and vegetables. Biochemistry of Food. New York: Academic Press.

Ezell, B. D. and Gerhardt, F. 1942. Respiration and oxidase and catalase activity of apples in relation to maturity and storage. Journal of Agricultural Research 65: 453-470.

Ezell, B. D. and Wilcox, M. S. 1952. Influence of storage temperature on carotene, total carotenoids and ascorbic content of sweet potatoes. Plant Physiology 27: 81-94.

Ezell, B. D. and Wilcox, M. S. 1962. Loss of carotene in fresh vegetable as related to wilting and temperature. Food Chemistry 10: 124-126.

Fallik, E., Grinberg, S., Alkalai, S., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H. and Bar-Lev, E. 1999. A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. Postharvest Biology and Technology 15: 25–32.

Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing) Postharvest Biology and Technology 32: 125–134.

Feussner, I. and Wasternack, C. 2002. The lipoxygenase pathway. Plant Molecular Biology 53: 275–279.

Filder, J. C. 1968. Low temperature injury to fruits and vegetables. Journal of Food Science 4: 271-283.

Fryer, H. C., Ascham, L., Cardwell, A. B., Frazier, J. C. and Willis, W. W. 1954. Relation between stage of maturity and ascorbic acid content of tomatoes. American Society for Horticultural Science 64: 365–371.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R. and Wang, C. Y. 2000. Methyl Jasmonate Reduces Chilling Injury and Maintains Postharvest Quality of Mango Fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 515-519.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Buta, J. G. and Wang, C. Y. 2002. Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya "Sunrise". Postharvest Biology and Technology 28: 361-370.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Trinado-Hernandez, M. E., Zavaleta-Gatica, R. and Maritinez-Tellez, M. A. 2003. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. Biochemical and Biophysical Research Communication 313: 694-701.

Grierson, D. and Tucker, G. A. 1983. Timing of Ethylene and Polygalacturonase Synthesis in Relation to the Control of Tomato Fruit Ripening. Plantarum 157: 174-179.

Hamauza, Y. and Chachin, K. 1995. Effect of high temperature on postharvest of carotene and α-tocoferol in tomato fruit. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 63: 879–886.

Hardenburg, R. E. 1971. Effect of in-package environment on keeping quality of fruits and vegetables. Horticultural Science 6: 198-201.

Harms, K. and *et al.* 1995. Expression of a flax allene oxide synthase cDNA leads to increased endogenous jasmonic acid (JA) levels in transgenic potato plants but not to a corresponding activation of JA-responding genes. Plant Cell 7: 1645–1654.

Henríquez, C., González, R. and Krarup, C. 2005. Heat Treatments and Progression of Chilling Injury and Pigmentationof Tomatoes during Postharvest. Ciencia e Investigación Agraria 32: 92-100.

Kader, A. A. 1986. Biochemical and Physiological Basis for Effects of Controlled and Modified Atmospheres on Fruits and Vegetables. Food Technology 40: 99-104.

Kader, A. A., Zagory, D., and Kerbel, E. L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Food Science and Nutrition 28: 1-30.

Klieber, A., Ratanachinakorn, B. and Simons, D. H. 1996. Effects of low oxygen and high carbon dioxide on tomato cultivar 'Bermuda' fruit physiology and composition. Scientia Horticulturae 65: 251-261.

Kubo, Y., Inaba, A. and Nakamura , R. 1985. Effects of high CO_2 on respiration in various horticultural crops. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 58: 731-736.

Lewis, D. A. 1956. Physiological studies of tomato fruits injured by holding at chilling temperatures. Doctoral Disseration. University of California Davis.

Lyons, J. M., 1973. Chilling injury in plants. Plant Physiology 24: 445–466.

Lyons, J. M., Raison, J. K. and Graham, D. 1979. Low Temperature Stress in Crop Plants: The Role of the Membrane. New York: Acadamic Press.

Nguyen, M. L. and Schwartz, S. J. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. Food Technology 53: 2.

Maclinn, W. A., Fellers, C. R. and Buck, R. E. 1936. Tomato variety and strain differences in ascorbic acid (vitamin C) content. American Society for Horticultural Science 34: 543–552.

Malewski, W. and Markakis, P. 1971. Ascorbic acid content of developing tomato fruit. Journal of Food Science 36: 537.

Maris-McArthur-Hespe, G. W. F. 1956. The activity of starch-hydrolyzing enzymes in pears during development and cold storage. Acta Botany Neerl 5: 200-207

Markley, K. S. and Sando, C. E. 1931. Progressive changes in the waxlike coating on the surface of the apple during growth and storage. Journal of Agricultural Research 42: 705-722.

Marston, E. V. 1995. Suitability of films for MAP of fresh produce. Produce Technology Monitor 6: 3-4.

Martin, J. T. and Juniper, B. E. 1970. The Cuticles of Plants. New York : St. Martin's Press, Inc.

Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Serrano, M. and Valero, D. 2006. Reduction of pomegranate

chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. Postharvest Biology and Technology 44: 19-25.

Montogery, D. C. 2001. Design and analysis of experiments. 5th ed. New York: John Wiley&Sons.

Morris, L. L. 1982. Chilling injury of horticultural crops. Horticultural Science 17: 161-162.

Nelson, L. W., and Johnson, J. T. 1974. Postharvest temperature effects on wound healing and surface rot in sweet potato. Phytopathology 64: 967-970.

Nguyen, T. B. T., Ketsa, S., and Doorn, W. G. 2003. Ralationship between browning and activities of phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology 30: 187-193.

Paré, P. W. and Tumlinson, J. H. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. Plant Physiology. 121: 325–331.

Pantastico, ER. B. 1975. POSTHARVEST PHYSIOLOGY, HANDLING AND UTILIZATION OF TROPICAL AND SUBTROPICAL FRUITS AND VEGETABLES. Westport, Connecticut : The AVI Publishing Company, Inc.

Paull, R. E. and Chen, N. J. 2000. Heat treatment and fruit ripening. Postharvest Biology and Technology 21: 21-37

Pen˜ a-Corte´s, H., Barrios, P., Dorta, F., Polanco, V., Sa´nchez, C., Sa´nchez, E. and Ramı´rez, I. 2005. Involvement of Jasmonic Acid and Derivatives in Plant Responses to Pathogens and Insects and in Fruit Ripening. Journal of Plant Growth Regulation 23: 246-260.

Pichersky, E., and Gershenzon, J. 2002. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. Current Opinion in Plant Biology 5: 237–243.

Rygg, G. L. and Harvey, L. M. 1938. Behavior of pectic substances and naringin in grapefruit in the field and storage. Plant Physiology 13: 571-586.

Schirra, M., D'hallewin, G., Cabras P., Angioni, A. and Garau, V. L. 1998. Seasonal Susceptibility of Tarocco Oranges to Chilling Injury As Affected by Hot Water and Thiabendazole Postharvest Dip Treatments. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 1178-1180.

Schirra, M., D'hallewin, G., Cabras, P., Angioni, A., Ben-Yehoshua, S. and Lurie, S. 2000. Chilling injury and residue uptake in cold-stored 'Star Ruby' grapefruit following thiabendazole and imazalil dip treatments at 20 and 50°C. Postharvest Biology and Technology 20: 91-98.

Schwartz, J. H., Lade, R. E. and Porter, W. L. 1968. Changes in polyunsaturated fatty acid content of tomato tubes during growth, maturation and storage. USDA, ARS Bull.

Seo, H.S. and *et al.*, 2001. Jasmonic acid carboxyl methyltransferase: a key enzyme for jasmonate-regulated plant responses. Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America 98: 4788–4793.

Shimon, M., Sonia, P H., Susan, L., Samir, D., Miriam, A., Giora, Z., Boris, S., Eliahou, C. and Yoram, F. 1996. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. Canadian Journal of Botany 74: 870-874.

Smock, R. M. 1970. Environmental factors affecting ripening of fruits Horticultural Science 5: 37-39. Spencer, M. 1965. Fruit ripening In Plant Biochemistry. Borner, J. and Varner, J. E. (eds). New York: Academic Press.

Spencer, M. 1965. Fruit ripening In Plant Biochemistry. Borner, J. and Varner, J. E. (eds). New York: Academic Press.

Themman, A. P. N., Tucker, G. and Grierson, D. 1982. Degradation of Isolated Tomato Cell Walls by Purified Polygalacturonase in Vitro. Plant Physiology 69: 122-124.

Thomma, B. P. H. J., Eggermont, K., Broekaert, W.F. and Cammue, B. P. A. 2000. Disease development of several fungi on Arabidopsis can be reduced by treatment with methyl jasmonate Plant Physiology and Biochemistry 38: 421-427.

Wang, C. Y. and Buta, J. G. 1994. Methyl jasmonate reduces chilling injury in *Cucurbit pepo* through its regulation of abscisic acid and polyamine levels. Environmental and Experimental Botany 34: 427-432.

Wasternack, C. and Hause, B. 2002. Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development. Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology 72: 165–221.

Wills, R. B. H., McGlasson, W. B., Graham, D., Lee, T. H. and Hall, E. G. 1989. Physiology and biochemistry of fruit and vegetable In Postharvest and Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables.

Yang, S. F. 1980. Regulation of ethylene biosynthesis. Horticultural Science 15: 238-243.

Yang, R. F., Cheng, T. S. and Shewfelt, R. L. 1990. The effect of high temperature and ethylene treatment on the ripening of tomatoes. Journal of Plant Physiololgy 136: 368–372.

Wild, P. J., Balk, P. A., Fernandes, C. A. and Peppelenbos, H. W. 2005. The action site of carbon dioxide in relation to inhibition of ethylene production in tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 36: 273-280.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 สีผิวมะเขือเทศ

วัดสีด้วยเครื่อง Chroma Meter (Model CR-300 Series, Minolta, Japan) ระบบ CIELAB และบันทึกค่า a* value (redness) และ b* value (yellowness) สุ่มถุง FRESHPAC™ แต่ละทรีตเมนต์มาทรีตเมนต์ละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล ในแต่ละ 1 ผล วัดสี 9 ซ้ำ

- ค่า a* แสดง ค่าสีแดงและสีเขียว ค่า a* เป็นบวกแสดง หมายถึง มีสีแดง และ ค่า a* เป็นลบ หมายถึง มีสีเขียว

- ค่า b* แสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่า b* เป็นบวก หมายถึง มีสีเหลือง และ ค่า b* เป็นลบ หมายถึง มีสีน้ำเงิน

ก.2 ความแน่นเนื้อ

วัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง LLYOD Food Texture Analyzer model TA 500 (England) หัวกดขนาด P4 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm กดลึกลงไปในเนื้อมะเขือเทศ 5 mm ความเร็วในการกด 1 mL/s โดยสุ่มถุง FRESHPAC™ แต่ละทรีตเมนต์มาอย่างละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล ในแต่ละ 1 ผล วัดความแน่นเนื้อ 4 ซ้ำ ดังนั้นจะได้ความแน่นเนื้อ 12 ค่า เลือกมา 9 ค่า โดยตัดค่ามากสุก 2 ค่า และค่าน้อยสุด 1 ค่าออก

ก.3 ค่า pH

วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (Inolab รุ่น TetraCon® 325, StirrOx G, TA 197 Oxi, Germany) โดยสุ่มถุง FRESHPAC™ แต่ละทรีตเมนต์มาอย่างละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล ในแต่ละ 1 ผล ปั่นด้วยเครื่อง Moulinex Juice Extractor รุ่น 753 (Spain) ตั้งน้ำคั้นที่แยกกากแล้วให้แยกชั้น นำน้ำคั้นที่ได้มาวัดด้วยเครื่อง pH meter

ก.4 การสูญเสียน้ำหนัก

บันทึกน้ำหนักของมะเขือเทศทุกๆ ทรีตเมนต์ก่อนการบรรจุลงในถุง FRESHPAC™ แล้วชั่งน้ำหนักหลังจากการเก็บ สัปดาห์ละ 2 วัน โดยสุ่มถุง FRESHPAC™ แต่ละทรีตเมนต์มาทรีตเมนต์ละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง (Satorius E5500 S, Germany) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

$$\text{ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ก.5 อัตราส่วนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์

สุ่มทรีตเมนต์แต่ละทรีตเมนต์มา 3 ถุง ใช้เข็มฉีดยาขนาด 1 mL ดูดบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มาถุงละ 1 เข็ม ฉีดในเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu GC-9A, Japan) ซึ่งมีภาวะในการทดลองดังนี้

Column temperature	:	55 °C
Flow rate	:	20 mL/min
Carrier gas	:	Helium
Detector	:	Thermal conductivity detector (TCD)
Detector temperature	:	150 °C

ก.6 ก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์

สุ่มทรีตเมนต์แต่ละทรีตเมนต์มา 3 ถุง ใช้เข็มฉีดยาขนาด 1 mL ดูดบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มาถุงละ 2 เข็ม ฉีดในเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu GC-9A, Japan) ได้ 6 ค่า ตัดค่ามากสุดและน้อยสุดออก เหลือ 4 ค่า ซึ่งมีภาวะในการทดลองดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Column	:	Activated alumina pack column
Column temperature	:	60 ^{o}C
Flow rate	:	40 mL/min
Carrier gas	:	Hydrogen
Detector	:	Flame ionization detector (FID)
Injection temperature	:	100 ^{o}C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

สุ่มถุง FRESHPAC™ แต่ละทรีตเมนต์มาอย่างละ 3 ถุง จากนั้นสุ่มมะเขือเทศจากถุง ถุงละ 1 ผล ในแต่ละ 1 ผล ปั่นด้วยเครื่อง Moulinex Juice Extractor รุ่น 753 (Spain) ตั้งน้ำคั้นที่แยกกากแล้วให้แยกชั้น วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยนำน้ำคั้นส่วนใสซึ่งอยู่ด้านล่าง มา 2-3 หยด มาวัดความเข้มข้น soluble solid ใช้ Digital Abbe Refractometer (ATAGO รุ่น DR-A1, USA.) ค่าที่ได้แสดงในรูปองศาบริกซ์ (^{o}Brix)

ข.2 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปกรดซิตริก (AOAC,1990)

ปิเปตน้ำคั้นส่วนใสจากข้อ ข.1 ซึ่งอยู่ด้านล่างมา 5 mL ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL เพื่อดูจุดยุติให้ชัดเจนขึ้น ทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N ใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ไตเตรทจนถึงจุดยุติ คือสารละลายจะมีสีชมพูอ่อนอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกตามสมการ

$$\% \text{ Titratable acidity} = \frac{(\text{mL NaOH}) \times (\text{N NaOH}) \times (\text{meq. wt. citric acid}) \times 100}{\text{weight of sample}}$$

Milliequivalent weight (meq. wt.) citric acid = 0.064

ข.3 ปริมาณกรดแอสคอบิก (AOAC,1995)

ปิเปตน้ำคั้นส่วนใสจากข้อ ข.1 ซึ่งอยู่ด้านล่างมา 5 mL ใสในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL เติมสารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้นร้อยละ 1 จนถึงขีดปริมาตร จากนั้นปิเปตมา 5 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมน้ำกลั่น 100 mL เพื่อดูจุดยุติให้ชัดเจนขึ้น ทำการไตเตรตด้วยสารละลาย 2,6 dichlorophenolindophenol ที่ calibrate ด้วยสารละลายกรด

แอสคอบิกมาตรฐาน (ชั่งกรดแอสคอบิก 0.0506 g. แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 500 mL) การหาปริมาณกรดแอสคอบิกต้องทำทันทีหลังจากการคั้นน้ำมะเขือเทศ

ข.4 ปริมาณไลโคพีน (ดัดแปลงจากวิธีของ Fish *et al*., 2002)

1. บดมะเขือเทศให้ละเอียด เก็บทรีตเมนต์ไว้ให้ปราศจากแสงและแช่เยือกแข็งไว้จนกระทั่งจะหาปริมาณไลโคพีน

2 ชั่งทรีตเมนต์มาประมาณ 1 g. (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในหลอดทดลองที่มีการห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสง

3 เตรียมสารละลายที่ใช้ในการสกัดไลโคพีน ซึ่งประกอบด้วย สารละลายเฮกเซนบริสุทธิ์ 10 mL สารละลาย butylated hydroxytolune (BHT) ในอะซีโตน 5 mL และสารละลายแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 5 mL

4 เติมสารละลายที่ใช้ในการสกัดไลโคพีนใส่ในหลอดทดลอง

5 เขย่าหลอดทดลองด้วยเครื่อง Vortex shaker (Labnet VX100) เวลา 2 นาที

6 เติมน้ำกลั่นเย็นลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด 2 mL

7 ตั้งหลอดทดลองทิ้งไว้ 10 นาที ที่อุณหภูมิมิห้อง

8 นำส่วนที่เป็น supernatant ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Biomate5, England) ความยาวคลื่น 503 nm โดยใช้เฮกเซนบริสุทธิ์ (Absolute hexane) เป็น blank

9 คำนวณปริมาณไลโคพีนตามสมการ

$$\text{Lycopene (mg/kg)} = (X / Y) \times A_{503} \times 3.12$$

X = ปริมาณเฮกเซน (mL)

Y = น้ำหนักของทรีตเมนต์ (g.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การประเมินทางประสาทสัมผัส

ค.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ของมะเขือเทศ

เพศ □ ชาย □ หญิง อายุ ..... ปี ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ทดสอบ.....

กรุณาทดสอบตัวอย่างด้านการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะเขือเทศ ทีละตัวอย่าง แล้วให้คะแนน 0-4

โดย 0 = ไม่เกิดรอยบุ๋ม
1 = เกิดรอยบุ๋มเล็กน้อย (< 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)
2 = เกิดรอยบุ๋มประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ
3 = เกิดรอยบุ๋ม > 5 % แต่ < 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ
4 = เกิดรอยบุ๋ม > 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ

รหัสตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการเกิดตำหนิของมะเขือเทศ

เพศ □ ชาย □ หญิง อายุ ..... ปี ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ทดสอบ.....

กรุณาทดสอบตัวอย่างด้านการเกิดตำหนิ (การเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่พึงประสงค์ การเกิดรอยช้ำ การเกิดรอยบุ๋ม การเหี่ยวของผล และการเกิดโรค) ทีละตัวอย่าง แล้วให้คะแนน 1-5

โดย 5 = เกิดตำหนิมากที่สุด (> 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)
4 = เกิดตำหนิมาก (> 5 % แต่ < 25% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)
3 = เกิดตำหนิปานกลาง (ประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)
2 = เกิดตำหนิเล็กน้อย (< 5% ของพื้นที่ผิวมะเขือเทศ)
1 = ไม่มีตำหนิ

รหัสตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับด้านสีและการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศ

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง อายุ ..... ปี ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ทดสอบ.....

รหัสตัวอย่าง.....

โปรดทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย X ใน ☐

1. การยอมรับด้านสี

☐ ไม่ยอมรับมากที่สุด ☐ ไม่ยอมรับมาก ☐ ไม่ยอมรับปานกลาง ☐ ไม่ยอมรับเล็กน้อย ☐ ยอมรับได้

☐ ยอมรับเล็กน้อย ☐ ยอมรับปานกลาง ☐ ยอมรับมาก ☐ ยอมรับมากที่สุด

2. การยอมรับโดยรวม

☐ ไม่ยอมรับมากที่สุด ☐ ไม่ยอมรับมาก ☐ ไม่ยอมรับปานกลาง ☐ ไม่ยอมรับเล็กน้อย ☐ ยอมรับได้

☐ ยอมรับเล็กน้อย ☐ ยอมรับปานกลาง ☐ ยอมรับมาก ☐ ยอมรับมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิติพงศ์ อัศตรกุล เกิดวันที่ 23 กันยายน 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย