การยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้าน ผักกาดหอม แปรรูปเบื้องต้นโดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโอโซน

SHELF-LIFE EXTENSION OF MINIMALLY PROCESSED CUCUMBER AND LETTUCE BY USING HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE

ปิยนันท์ มิตรอุดม
PIYANAN MITUDOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2539-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้าน ผักกาดหอม แปรรูปเบื้องต้นโดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโอโซน

SHELF-LIFE EXTENSION OF MINIMALLY PROCESSED CUCUMBER AND LETTUCE BY USING HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE

ปิยนันท์ มิตรอุดม

PIYANAN MITUDOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2539-7

SHELF-LIFE EXTENSION OF MINIMALLY PROCESSED CUCUMBER AND LETTUCE BY USING HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE

PIYANAN MITUDOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOLOGY LADKRABANG
2006

ISBN 974-15-2539-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้าน ผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโอโซน
นักศึกษา	นางสาวปิยนันท์ มิตรอุดม
รหัสประจำตัว	46067914
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นให้นานขึ้น จากการทดลองพบว่าการล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 5% ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 7 วัน สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.0 และ 2.0 log CFU/g ตามลำดับ และการใช้โอโซนขณะเปิดเครื่องที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 นาที พบว่าสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้านได้นาน 9 วัน และลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในได้ 1.0 log CFU/g การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังจุ่มด้วยกรดแอสคอบิค พบว่า แตงร้านหลังจุ่มด้วยกรดแอสคอบิค 1% เป็นเวลา 2 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที ไม่พบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ส่วนผักกาดหอมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายหมดทันที เมื่อจุ่มด้วยกรดแอสคอบิค 3% การศึกษาผลของการรอบรรจุที่เวลา 30, 60, และ 90 นาที พบว่าแตงร้านและผักกาดหอมควรรอบรรจุไม่เกิน 60 และ 30 นาที ตามลำดับ การศึกษาการจำลองการขนส่งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในระหว่างรอจำหน่ายที่ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิรอจำหน่าย 5 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุแตงร้านและผักกาดหอมได้ 5 และ 3 วัน และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.20 และ 5.24 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส และ 12 องศาเซลเซียส พบว่าเก็บรักษาได้เพียง 4 และ 2 วัน ตามลำดับ ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า

Thesis Title	Shelf-Life Extension of Minimally Processed Cucumber and Lettuce by Using Hydrogen Peroxide
Student	Miss Piyanan Mitudom
Student ID	46067914
Degree	Master of Science
Programme	Food Sanitation
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ratiporn Haruenkit

ABSTRACT

This research aimed to extend the shelf-life of minimally processed cucumber and lettuce. The results showed that washing vegetables with 5% hydrogen peroxide (H_2O_2) could extend the shelf-life to 7 days and reduced microbial load 1-2 log CFU/g. Washing cucumber with ozonated water concentrations of 0.08 mg^3/L while ozone generator switched on could extend the shelf-life to 9 days and reduced microbial load by 1 log CFU/g. The studies on hydrogen peroxide residues after dipping cucumber in 1% ascorbic acid solution showed that H_2O_2 residues could not be detected after 120 minutes. The H_2O_2 residues were not detected in lettuce after dipping in 3% ascorbic acid. The delay time from cutting to packing phase were studied at 0, 30, 60 and 90 minutes and found that cucumber and lettuce should not delay longer than 60 and 30 minutes respectively. Studies on a transport model were simulated by storing vegetables at $5^{\circ}C$ for 3 hrs and then transferred to be kept at 5, 8 and $12^{\circ}C$. It was found that shelf life of cucumber and lettuce kept at $5^{\circ}C$ was 5 and 3 days with microbial load of 2.20 and 5.24 log CFU/g respectively. But those vegetables stored at $8^{\circ}C$ and $12^{\circ}C$ had shelf life of 4 and 2 days respectively. It is recommended to store the minimally processed cucumber and lettuce at $5^{\circ}C$ to get the best quality for both sensory evaluation and less microbial load.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องด้วยได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร. ระติพร หาเรือนกิจ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และกรุณามอบความรู้ รวมทั้งคำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัยของข้าพเจ้า ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาพร ขอไพบูลย์ และ ดร. พอใจ ถามากร ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขรวมทั้งให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนข้าพเจ้าได้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และญาติพี่น้องที่ท่านได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปิยนันท์ มิตรอุดม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 แตงร้านและผักกาดหอม.....4

2.2 ความหมายและคุณภาพของผัก.....7

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผัก.....8

2.4 ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น.....16

2.5 ปัจจัยที่ผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักแปรรูปเบื้องต้น.....18

2.6 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....28

2.7 โอโซน.....35

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....44

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....44

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต.....44

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....45

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์.....45

3.5 สถานที่ทำการทดลอง.....45

3.6 วิธีการทดลอง.....45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....37

4.1 ผลการล้างผักด้วยน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5%....52

4.2 ผลปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างน้ำ....54

4.3 ผลปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างด้วยกรดแอสคอบิค....55

4.4 ผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์....56

4.5 ผลการจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค....58

4.6 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ....63

4.7 ผลการล้างผักด้วยโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส....64

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....69

ข้อเสนอแนะ....71

บรรณานุกรม....72

ภาคผนวก....80

ก. การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด....81

ข. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร....84

ค. การตรวจหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์....87

ง. การตรวจปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำ....89

จ. การทดสอบทางประสาทสัมผัส....92

ฉ. ตารางแสดงความเข้มข้นของโอโซนขณะใส่ผัก....95

ช. ตารางแสดงผลการทดลอง....97

ประวัติผู้เขียน....101

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของสารอาหารในแตงร้าน....5

2.2 ส่วนประกอบของสารอาหารในผัก....14

2.3 ค่าพีเอชของผักและผลไม้....15

2.4 แสดงการเน่าเสีย สูญเสียน้ำหนัก ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และค่าพีเอชของค่าแครอท หั่นสไลด์ และซอย ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส....17

2.5 แสดงอัตราการหายใจของส้มทั้งผลและหั่นตัด ที่อุณหภูมิ 4 และ 19 องศาเซลเซียส....19

2.6 แสดงการประเมินและการทดลองช่วงอายุของผักแปรรูปเบื้องต้น....22

2.7 แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคที่พบในผัก ผลไม้และน้ำผลไม้....27

2.8 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักแปรรูปพร้อมบริโภค เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส....27

2.9 การทำลายสปอร์และเซลล์ของ *B.subtilis* โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10%....31

2.10 แสดงผลของการล้างแอปเปิลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารทำความสะอาด ในการลดปริมาณเชื้อ *E.coli* (ATCC25922)....31

2.11 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในผักและแคนตาลูป....34

2.12 แสดงผลของการล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* ในแอปเปิล....34

2.13 แสดงปริมาณโอโซนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์....39

2.14 แสดงผลการล้างราสเบอรี่ด้วยโอโซนต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* O157:H7 และ *Salmonella*....43

4.1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกไซด์ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอม....54

4.2 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอม หลังการล้างด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค....55

4.3 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษาที่ อุณหภูมิรอจำหน่าย 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส....60

4.4 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษาที่ อุณหภูมิรอจำหน่าย 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส....61

4.5 แสดงความเข้มข้นของโอโซนที่เวลาต่างๆ....63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแตงร้านที่ล้างด้วยน้ำกลั่น โอโซนปิดเครื่อง และโอโซนเปิดเครื่อง เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆกัน.....67

4.7 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมที่ล้างด้วยน้ำกลั่น โอโซนปิดเครื่อง และโอโซนเปิดเครื่อง เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆกัน.....68

ฉ1 แสดงความเข้มข้นของโอโซนขณะใส่มะเขือเทศ น้ำหนัก 100 กรัม.....96

ช1 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส.....98

ช2 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส.....98

ช3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่างๆกัน.....98

ช4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่างๆกัน.....99

ช5 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น ที่อุณหภูมิรอจำหน่าย 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส.....99

ช6 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ที่อุณหภูมิรอจำหน่าย 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส.....99

ช7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง.....100

ช8 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง.....100

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แตงร้าน (*Cucumis sativua*)....4

2.2 ผักกาดหอม (*Lactuca indica var. crispa*)....6

2.3 แสดงการจำลองบาดแผลของเซลล์ที่กระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันของผนังเซลล์ เป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาล และเชื้อจุลินทรีย์....20

2.4 แสดงอัตราการหายใจของมะเขือเทศหั่นสไลด์และทั้งผล ที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 2 และ 10 องศาเซลเซียส....22

2.5 แสดงภาพเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนผักและผลไม้....24

2.6 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดบนแตงโมหั่นตัดที่ล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ ที่ความเข้มข้น 2.5% และ 5% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส....32

2.7 แสดงโมเลกุลของโอโซน....35

2.5 แสดงพื้นฐานในการผลิตโอโซน....37

2.6 แสดงผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย....38

2.7 แสดงผลของการล้างด้วยโอโซนต่อเซลล์ของ *E.coli*, *B. megaterium* และ *B. cereus*....40

2.8 แสดงผลของการล้างด้วยโอโซนต่อสปอร์ของ *B.cereus* และ *B. megaterium*....40

2.9 แสดงผลของความเข้มเข้นของโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ของ *E. coli* O157:H7....41

3.1 แสดงแผนภูมิจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค....48

3.2 แสดงแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นบรรจุแบบสุญญากาศ....50

3.3 แสดงผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นบรรจุแบบสุญญากาศ....50

3.4 แสดงการล้างแตงร้านขณะเปิดเครื่องและปิดเครื่องโอโซน....51

3.5 แสดงการล้างผักกาดหอมขณะเปิดเครื่องและปิดเครื่องโอโซน....51

4.1 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ....52

4.2 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุที่เวลาต่างๆกัน....52

4.3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้า ก่อนการบรรจุที่เวลาต่างๆกัน....56

4.4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างผักกาดหอมรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้า ก่อนการบรรจุที่เวลาต่างๆกัน....56

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.5 แสดงอุณหภูมิในกล่องโฟมที่สภาวะจำลองการขนส่ง ที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที.....58
4.6 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส.....59
4.7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส.....59
4.8 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นหลังแช่โอโซน
ขณะเปิดและปิดเครื่อง.....64
4.9 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นหลังแช่โอโซน
ขณะเปิดและปิดเครื่อง.....64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ผักและผลไม้กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในผู้บริโภคเนื่องจากรสชาติ เนื้อสัมผัสและความสด นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารเพื่อสุขภาพมีสารอาหารและเส้นใยที่เป็นประโยชน์ โดยในปัจจุบันคนส่วนมากมักไม่มีเวลาในการปอก หั่น คว้าน ผักและผลไม้ คนจำนวนไม่น้อยที่ไม่ชื่นชอบอาหารกระป๋อง หรืออาหารแช่แข็งเพราะผู้บริโภคต้องการอาหารที่สดใหม่และมีความปลอดภัยในการบริโภค ซึ่งเป็นความต้องการเดียวกับในโรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม โรงเรียน และร้านอาหาร ที่ต้องใช้เวลามากในการจัดเตรียม จึงมีผู้ผลิตจัดเตรียมอาหารแปรรูปเบื้องต้น (minimally processed foods) ที่บริเวณใกล้แหล่งเพาะปลูกและจัดส่งถึงผู้บริโภคและร้านค้า สลัดผักเป็นประเภทหนึ่งของอาหารสดที่ความต้องการเพิ่มขึ้น มีการบรรจุเป็นอาหารสดพร้อมบริโภคในรูปแบบต่างๆทั้งนี้เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว

แตงร้านและผักกาดหอมเป็นผักชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคเป็นสลัดผัก และจัดแต่งจานอาหาร แต่เมื่อมีการนำมาแปรรูปเบื้องต้นทำให้เป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย โดยผู้ผลิตและผู้บริโภคต่างก็ประสบปัญหาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอาหารแปรรูปเบื้องต้น เช่น ผู้ผลิตประสบปัญหาเกี่ยวกับการเน่าเสียก่อนกำหนดหรือผู้บริโภคประสบปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเช่น *Salmonella* และ *Listeria* (Brackett. 1992 ; Fain. 1996) และจากประกาศของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้กำหนดจำนวนจุลินทรีย์ในผัก ผลไม้ดิบที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที ต้องมีปริมาณจุลินทรีย์รวมต่อกรัมไม่เกิน 1×10^6 CFU/g ในต่างประเทศมีรายงานถึงการเจ็บป่วยเนื่องจากการบริโภคอาหารแปรรูปพร้อมบริโภคหลายครั้ง เช่น ในสหรัฐอเมริกา ครั้งหนึ่งพบผู้ป่วยถึง 347 รายจากการบริโภคผักกาดหอมห่อซอยเป็นริ้วซึ่งปนเปื้อนด้วยเชื้อบิด *Shigella sonnei* (Davis et al. 1988) จึงได้มีการใช้คลอรีนอย่างแพร่หลาย เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามการใช้คลอรีนในการล้างผักสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้เพียงบางส่วน โดยมีจุลินทรีย์บางพวกที่ยังอาจเหลือรอดอยู่ได้ (Garg et al. 1990 ; Nguyen and Carlin. 1994) เช่น *Listeria momocytogenes* ในผักกาดหอม (Beuchat and Brackett. 1990) *Salmonella Montevideo* ในมะเขือเทศ (Zhuang et al. 1995 ; Wei et al. 1995) นอกจากนี้คลอรีนอาจทำปฏิกิริยากับอาหารเกิดสารประกอบที่เป็นพิษได้ ดังนั้นการนำคลอรีนมาใช้กับอาหารบางชนิดในระดับความเข้มข้นใดจะปลอดภัยหรือไม่จึงต้องอาศัยการศึกษาวิจัยต่อไป (Hurst, 1995) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมในขั้นตอนต่างๆต่อไปนี้

1.1.1 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด

การทดลองล้างทำความสะอาดผักด้วยน้ำธรรมดา น้ำเย็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโอโซน เพื่อใช้ในการเตรียมผักในขั้นตอนต่อไป นับเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่ง และเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์ซึ่งติดมากับผัก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงวิธีการล้างทำความสะอาดแตงร้านและผักกาดหอมเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

1.1.2 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง

ขั้นตอนการล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อาจมีปริมาณตกค้างในผักสลัดเกินกำหนดมาตรฐาน จึงต้องมีการตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง และวิธีการกำจัด ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

1.1.3 การล่าช้าของเวลาก่อนการบรรจุ

ขั้นตอนการล่าช้าของเวลาก่อนการบรรจุ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ผลต่อประมาณจุลินทรีย์ในผักสลัด นอกจากนี้ยังมีผลต่ออายุการเก็บรักษา เนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น จึงได้มีการศึกษาถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมของเวลาการล่าช้าก่อนการบรรจุ เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่อาจเพิ่มจำนวนขึ้น และยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.1.4 การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาหลังการขนส่ง

อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงมีผลให้อัตราปฏิกิริยาต่างๆ เกิดสูงขึ้น มีผลต่ออัตราการหายใจของผักที่จะเพิ่มขึ้น 2 หรือ 3 เท่าสำหรับทุกๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส (Kader. 1986) ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษา เมื่อทำการลดอุณหภูมิให้กับผักจะทำให้กระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นได้

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา ของแตงร้านและผักกาดหอมที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้นโดยทำการศึกษาเรื่องการล้างทำความสะอาด สารเคมีที่ใช้ในการล้างผัก สารเคมีที่ตกค้างและการกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง เวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุ และอุณหภูมิในต่ำในการเก็บรักษาหลังการขนส่ง เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักให้นานขึ้น และลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลการใช้น้ำกรอง น้ำเย็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆกัน

1.3.2 ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างแตงร้านและผักกาดหอม

1.3.3 ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค

1.3.4 ศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์

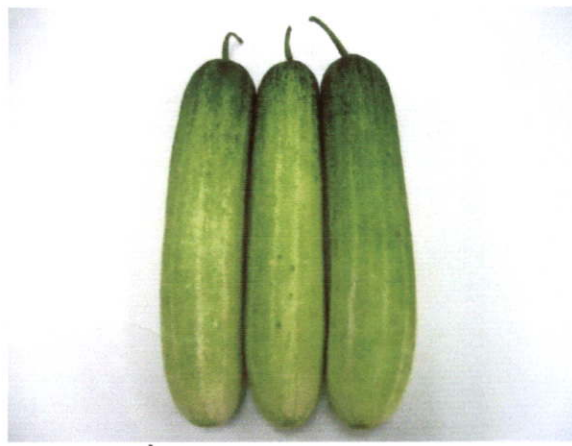
1.3.5 ศึกษาการจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แตงร้านและผักกาดหอม

2.1.1 แตงร้าน

ชื่อสามัญ	แตงร้าน (Cucumber)
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Cucumis sativua*
ประเภทผัก	อายุปีเดียว (annual)
ขนาด	ลำต้นเลื้อยยาวประมาณ 2-3 เมตร ขนาดผล 15×2.5 เซนติเมตร
ถิ่นกำเนิด	เอเชียและแอฟริกา
ฤดูปลูก	ปลูกได้ตลอดปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม



ภาพที่ 2.1 แตงร้าน (*Cucumis sativua*)

แตงร้านเป็นผักทานผลที่สามารถปลูกได้ดีในเขตร้อนให้ผลผลิตเร็ว เป็นผักที่มีความสำคัญและได้รับความนิยมอย่างมาก (เมืองทอง ทวนทวี และ สุรีรัตน์ ปัญญาโตน. 2532) สามารถนำมารับประทานกับอาหารหลากหลายชนิด เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงกวา แตงโม ฟักทอง บวบ มะระ น้ำเต้า ซึ่งมีการปลูกอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศ มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้นโดยใช้เวลาเพียง 30-45 วัน เป็นพืชที่เข้ามามีบทบาทต่อการค้าทั้งในและต่างประเทศ

แตงร้านมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย มีการบันทึกประวัติการปลูกมากกว่า 3,000 ปี และมีการปลูกในประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนเมื่อก่อน 2,000 ปี โดยนำผ่านเอเชียกลางและตอนเหนือของทวีปแอฟริกาในศตวรรษที่ 6 ได้นำไปปลูกในประเทศจีน และประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ พม่า ไทย ลาว ในศตวรรษที่ 9-14 ได้นำไปปลูกได้ในโรงเรือน ศตวรรษที่ 15-16 ได้นำไปปลูกในทวีปอเมริกากลางและอเมริกาเหนือ และได้รับการพัฒนาพันธุ์อย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 ปัจจุบันเป็นผักที่นิยมบริโภคทั่วโลก ทั้งในสภาพการบริโภคสดและการแปรรูป

แตงร้าน (long cucumber) ที่พบในประเทศไทยมีความยาวอย่างน้อย 15 เซนติเมตร และมีความกว้างของผลมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ส่วนใหญ่จะมีเนื้อหนาไส้แคบ แตงร้านพันธุ์ไทยนั้นจะมีสีผลสีเขียวแก่ตรงส่วนใกล้ขั้วผลประมาณ 1/3 ของผลที่เหลือมีจุดประสีเขียวอ่อนหรือขาวและเส้นสีขาวเป็นแถบเล็กๆตลอดความยาวไปถึงปลายผล ส่วนพันธุ์ของต่างประเทศนั้นจะมีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอทั้งผล (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และ ภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539) ควรเลือกซื้อลูกที่มีน้ำหนักมาก สีเขียวอ่อน ยังคงมีขั้วติดอยู่ ไม่มีรอบช้ำ ผิวนวล

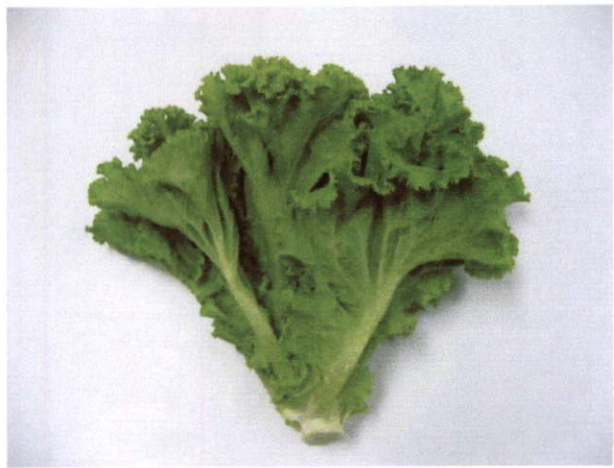
ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของสารอาหารในแตงร้าน (ต่อ 100 กรัม)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น	96.3 กรัม
โปรตีน	0.4 กรัม
ไขมัน	0.1 กรัม
แร่ธาตุ	0.3 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	2.5 กรัม
พลังงาน	13 กิโลแคลลอรี่
แคลเซียม	10 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	25 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.5 มิลลิกรัม
ไทอะมีน	0.037 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.2 มิลลิกรัม
วิตามินซี	7.0 มิลลิกรัม

ที่มา : Thompson and Kelly (1957)

2.1.2 ผักกาดหอม

ชื่อสามัญ	ผักกาดหอมใบ (Leaf Lettuce)
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Lactuca indica var. crispa*
ชื่ออื่น	ผักกาดยี (ภาคเหนือ) ผักสลัด (ภาคกลาง) พังฉ่าย (คนจีน)
ประเภทผัก	อายุปีเดียว (annual)
ถิ่นกำเนิด	ยุโรป แถบเมดิเตอเรเนียน และเอเชียไมเนอร์
ขนาด	ต้นสูงประมาณ 20-25 เซนติเมตร
ฤดูปลูก	ปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดช่วง ตุลาคม ถึง เมษายน



ภาพที่ 2.2 ผักกาดหอม (*Lactuca indica var. crispa*)

ผักกาดหอม เป็นผักกินใบ ปลูกกันมานานมากกว่า 2500 ปีแล้ว กษัตริย์เปอร์เซียนปลูกบริโภค ราว 500 ปีก่อนคริสตกาล และมีพันธุ์ผักกาดหอมชนิดห่อหัวแบบต่างๆเกิดขึ้น ราวปี ค.ศ. 1500 โคลัมบัสเป็นผู้นำผักกาดหอมสู่อเมริกา สำหรับประเทศไทยนั้นผู้ใดนำเข้ามาเมื่อใดไม่ทราบแน่ชัด แต่ในปัจจุบันเป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมาก (เมืองทอง ทวนทวี และ สุรีรัตน์ ปัญญาโตน. 2532) เป็นผักจำพวกผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาผักสลัดด้วยกัน โดยส่วนใหญ่นิยมรับประทานสดแบบนำมาประกอบอาหารหลายชนิด คนไทยนิยมใช้ผักกาดหอมกินกับอาหารจำพวกยำต่างๆ สาคูหมู หรือข้างเกรียบปากหม้อ เป็นต้น ประโยชน์ของผักกาดหอมนอกจากจะใช้กินเป็นผักสดที่มีคุณค่าทางอาหารสูงแล้วยังจัดเป็นอาหารทางตาด้วยโดยการนำมาตกแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทานมากขึ้น นอกจากนี้ผักกาดหอมยังมีคุณสมบัติในการเป็นยาอีกด้วย ความต้องการผักกาดหอมมีอยู่ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่างๆ จึงนับได้ว่าผักกาดหอมเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

2.2 ความหมายและคุณภาพของผัก

ผัก หมายถึง เนื้อเยื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชที่มีลักษณะอ่อน สามารถนำมาบริโภคได้ทั้งในลักษณะดิบหรือทำให้สุกก่อน ผักจะรับประทานไปพร้อมกับอาหารคาว หรือใช้ประกอบเป็นอาหารคาว ส่วนมากจะมีใยอาหารและแป้งสูง ส่วนต่างๆ ของพืชไม่ว่าจะเป็นลำต้น ใบ ก้าน ยอดอ่อน หน่อ ดอก ผล เมล็ด ราก ซึ่งบริโภคได้ จัดเป็นผักได้ทั้งสิ้น

คุณภาพของผักสามารถพิจารณาได้จาก (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2548)

2.2.1 ลักษณะผิดปกติต่างๆ (appearance) ลักษณะผิดปกติหลายอย่างมีผลต่อคุณภาพของลักษณะปรากฏ เช่น ลักษณะผิดปกติทางสัณฐานวิทยามีอยู่หลายลักษณะ ได้แก่ การงอกขอต้นของมันฝรั่ง หอมใหญ่ และกระเทียม หรือการงอกรากของหอมหัวใหญ่ การเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องของหน่อไม้ฝรั่งภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งทำให้หน่อไม้ฝรั่งเกิดการโค้งงอ การงอกของเมล็ดตั้งแต่ยังอยู่ในผล เช่น ในกรณีของผลมะเขือเทศ การปรากฏของก้านดอกภายในหัวของกะหล่ำปลี และผักกาดขาว การบานของดอกบรอกโคลี เป็นต้น ส่วนลักษณะผิดปกติทางกายภาพ เช่น การหดตัวหรือการเหี่ยวของผลิตผล การเกิดแผลต่างๆ ตลอดจนการชอกช้ำของเนื้อเยื่อ ลักษณะผิดปกติบางอย่างเกิดมาจากอุณหภูมิ เช่น ความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและเกิดอาการสะท้านหนาว (freezing และ chilling injury) และลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยา เช่น อาการปลายใบไหม้ของผักกาดหอม (lettuce tip burn)

2.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตผลมีความสำคัญต่อสมบัติในการนำไปปรุงอาหาร ลักษณะเนื้อของผลิตผลที่ต้องการ เช่น ความกรอบของผลแตงกวา ความเป็นแป้งของมันฝรั่ง และเป็นตัวชี้บ่งถึงความทนทานต่อการขนส่งด้วย เช่น ผักที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม มักจะเสียหายได้ง่ายเมื่อขนส่งเป็นระยะทางไกลๆ ด้วยเหตุนี้ในการขนส่งระยะทางไกลๆ จึงมักเก็บเกี่ยวผลิตผลที่อ่อนกว่าระยะความแก่ที่เหมาะสม

2.2.3 การประเมินรสชาติ (flavor) รสชาตินั้นขึ้นอยู่กับรสและกลิ่นของผลิตผลนั้นๆ การประเมินรสชาตินั้นควรกระทำทั้งวิธีวัดหาส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ควบคู่ไปกับการใช้มนุษย์เป็นผู้ชิม โดยวิธีการนี้จะทำให้สามารถประเมินรสชาติระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งการใช้มนุษย์ชิมนั้นทำให้สามารถทราบว่าสังคมนั้นชอบผลิตผลราชาติอย่างไร และการประเมินรสชาติจะต้องใช้ตัวอย่างและผู้ชิมเป็นจำนวนมาก

2.2.4 คุณค่าทางโภชนาการ (nutrition value) ผักมีบทบาทสำคัญมากต่อปริมาณสารอาหารที่มนุษย์ได้รับ ผักเป็นแหล่งของวิตามินซี วิตามินเอ วิตามินบี 6 ไทอามีน และไนอาซิน นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งของเกลือแร่และเส้นใย สำหรับวิตามินซีจะมีการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว เพราะ

วิตามินซีสูญเสียง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง สัมผัสกับอากาศ หรือเก็บรักษาไว้นานเกินไป ตลอดจนการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยนั้นรวมไปถึงระดับของสารพิษ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในพืชแต่ละชนิด เช่น ในมันฝรั่งจะมีสารไกลโคแอลคาลอยด์ (glycoalkaloids) ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยผันแปรต่างกันไปในมันฝรั่งแต่ละพันธุ์ นอกจากนั้นยังมีสารที่ปนเปื้อนภายหลัง เช่น โลหะหนักบางชนิด สารพิษจากเชื้อรา เช่น สารอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) และพาทูลิน (patulin) เป็นต้น

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผัก (Kader et al. 1985)

ช่วงชีวิตของผักอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงการเจริญเติบโต (growth) ช่วงเติบโตเต็มที่ (maturation) และช่วงร่วงโรย (senescence) ช่วงชีวิตทั้ง 3 นี้ไม่อาจแบ่งแยกกันได้อย่างเด่นชัด ช่วงการเจริญเติบโตนั้นเซลล์ของพืชจะมีขนาดเพิ่มขึ้น มีจำนวนเพิ่มขึ้นจนส่วนของพืชมีขนาดหรือมีลักษณะสมบูรณ์เต็มที่ ช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโตจนถึงการเติบโตเต็มที่จะเป็นช่วงการพัฒนา (development phase) ของพืช ช่วงร่วงโรยจะเป็นช่วงที่มีกระบวนการสังเคราะห์สารต่างๆทางชีววิทยาเคมีซึ่งเรียกว่า anabolic stage หยุดลง และเปลี่ยนเป็นการสลายสารต่างๆ เรียกว่า catabolic stage ไปจนกระทั่งเซลล์ของเนื้อเยื่อตายไปในที่สุด ในผักจะแยกช่วงการเจริญเติบโตเต็มที่กับช่วงร่วงโรยออกจากกันได้ยาก การเก็บเกี่ยวผักนั้นอาจทำในช่วงใดของการเจริญเติบโตขึ้นกับชนิดของพืชและลักษณะการนำไปใช้งาน สำหรับผลไม้ในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนที่จะถึงช่วงร่วงโรยจะมีการสุก (ripening) ผลไม้จะมีการพัฒนาและเติบโตเต็มที่อย่างสมบูรณ์เมื่อยังอยู่บนต้น แต่ช่วงการสุกและการร่วงโรยนั้นอาจเกิดขึ้นขณะที่ผลไม้ยังอยู่บนต้นหรือถูกเก็บเกี่ยวแล้ว ผลไม้บางชนิดซึ่งบริโภคในลักษณะของผัก เช่น แตงกวา มักจะถูกเก็บเกี่ยวในขณะที่ยังไม่แก่เต็มที่

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่

2.3.1.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์ ในผักเซลลูโลสจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ผนังเซลล์มีความหนามากขึ้น บางครั้งจะมีลิกนินเกิดร่วมไปกับเซลลูโลสด้วย เช่น ในหน่อไม้ฝรั่งทำให้อายุมากขึ้น มีลักษณะเป็นกากมากขึ้น ส่วนในผลไม้นั้นปริมาณเซลลูโลสเกือบจะคงที่จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุก จากนั้นผนังเซลล์จะเริ่มบางลงและเซลลูโลสจะอยู่ในรูปผลึกมากขึ้น ส่วนปริมาณเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.1.2 ปริมาณน้ำ โดยทั่วไปปริมาณน้ำในเซลล์จะลดลง ในพืชบางชนิดอาจใช้ความชื้นเป็นตัวบอกความแก่อ่อนได้ เช่น ข้าวโพดหวาน

2.3.1.3 คาร์โบไฮเดรต อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ โดยทั่วไปผักจะมีการสะสมสตาร์ชแต่ผลไม้จะเปลี่ยนสตาร์ชเป็นน้ำตาล

2.3.1.4 โปรตีน ส่วนใหญ่ปริมาณโปรตีนจะเพิ่มมากขึ้น ในผักผลไม้บางชนิดจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงแน่ชัด

2.3.1.5 สารประกอบไนโตรเจนโมเลกุลต่ำ จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้แก่ขึ้น

2.3.1.6 กรดอินทรีย์ ปริมาณกรดอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จากระยะแก่เต็มที่ซึ่งในช่วงนี้ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นสามารถเห็นได้ชัดในผลไม้

2.3.1.7 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนนอยด์ มีแนวโน้มจะถูกทำลายซึ่งขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณแคโรทีนนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น เช่น ในมะเขือเทศปริมาณไลโคพีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากระยะแก่จัด ปริมาณแคโรทีนนอยด์ที่เพิ่มขึ้นประกอบกับการถูกทำลายของคลอโรฟิลล์ จะทำให้สีของผักผลไม้เมื่อสุกหรือแก่จัดเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสีเขียวลดลงและมีสีแดงหรือสีเหลืองเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีนี้เป็นลักษณะที่ต้องการในผลไม้แต่เป็นที่ไม่ต้องการของผักที่มีสีเขียว

2.3.1.8 ฟลาโวนอยด์ ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น จึงทำให้มีรสฝาดน้อยลง

2.3.1.9 แร่ธาตุ จะขึ้นกับปริมาณแร่ธาตุในดินที่ปลูก ปริมาณแร่ธาตุจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อผักผลไม้ในด้านคุณภาพทางสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

2.3.2.1 การหายใจ

ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเซลล์ในเนื้อเยื่อยังคงมีการหายใจอยู่ การหายใจเป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์ซึ่งสะสมพลังงานศักย์ไว้มากให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานสะสมต่ำกว่าพร้อมกับพลังงานซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปฏิกิริยาการหายใจของพืชจะมีการสันดาปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส และคายคาร์บอนไดออกไซด์

$$C_6H_{12}O_6 + 6CO_2 \longrightarrow 6O_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน}$$

การหายใจเป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์วัตถุ ที่สะสมของพืชในรูป คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยก๊าซออกซิเจนเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน จัดว่าเป็นกระบวนการทำลายอาหารที่สะสมไว้ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชตามมาคือ

1. คุณค่าทางอาหารลดลง
2. รสชาติเสื่อมด้อยลงโดยเฉพาะความหวาน
3. น้ำหนักวัตถุสะสมลดลงมาก
4. การที่อาหารสะสมในเนื้อเยื่อหมดเปลืองไปจะนำไปสู่ความตายของเนื้อเยื่อ

5. มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ทำให้พืชเกิดการเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นอย่างสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการหายใจ

การหายใจของพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ปัจจัยภายใน จะเกี่ยวข้องกับพืชโดยตรง คือ

1.1 ชนิดของพืช พืชแต่ละชนิดมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน อัตราการหายใจจะแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายใน ในกรณีทั่วไปผักผลไม้จะถูกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีคุณภาพต่างๆ ใกล้จะเหมาะกับการบริโภค อัตราการหายใจของผักผลไม้สามารถวัดได้จากอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อ

1.2 อายุการเจริญเติบโต พืชขณะที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการหายใจสูงแต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีอัตราการหายใจลดลง

1.3 ขนาดของพืช หัวมันฝรั่งขนาดเล็กมีอัตราการหายใจมากกว่าหัวมันฝรั่งขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสก๊าซออกซิเจนมากกว่า

1.4 สารธรรมชาติเคลือบผิว พืชที่มีสารธรรมชาติเคลือบผิวมากจะมีอัตราการหายใจน้อยกว่าพืชที่มีสารเคลือบผิวน้อย

1.5 ชนิดของเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อที่มีอายุน้อยหรือกำลังเจริญเติบโตจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าเนื้อเยื่อที่มีอายุมากหรือกำลังพักตัว

1.6 ช่วงเวลาระยะเวลาการเก็บรักษา เช่น พบว่าการหายใจของผักกาดหอมที่เก็บเกี่ยวใหม่ภายใน 12 ชั่งโมงแรกจะมีการหายใจมากแต่หลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ อัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่งในระยะแรกๆ ที่ 24 องศาเซลเซียส จะมีมากกว่ามันฝรั่งถึง 59 เท่า ในผักที่เก็บไว้นานๆ ไม่ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิใดอัตราการหายใจจะลดลงโดยอัตราการลดจะมากที่สุดในระยะแรกๆ แล้วค่อยๆ ลดลง

2. ปัจจัยภายนอก

2.1 อุณหภูมิ ในสภาพอุณหภูมิ 32-95 องศาฟาเรนไฮด์ อัตราการหายใจของพืชเพิ่มขึ้น 2-5 เท่าทุกๆ 18 องศาฟาเรนไฮด์ที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาฟาเรนไฮด์ อัตราการหายใจของพืชกลับลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูงมากจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

2.2 ก๊าซเอธิลีน เอธิลีนเป็นฮอร์โมนสำคัญที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อควบคุมการเจริญเติบโต การสุกและเสื่อมเน่าเสียของผักผลไม้ Yang (1985) รายงานว่าเอธิลีนเพียง 0.1 ppm ที่สะสมในระหว่างการเก็บรักษาผักสามารถกระตุ้นการหายใจให้เพิ่มขึ้นทำให้ผักมีอายุการเก็บรักษาลดลงได้

2.3 ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนจำเป็นสำหรับการหายใจของพืชผัก แม้จะเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็พืชตามยังคงมีการหายใจตลอดเวลาจนกว่าเซลล์จะ

ตาย เนื้อเยื่อของพืชจะใช้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิต ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองชนิดจะมีผลต่ออัตราการหายใจของพืช

2.4 สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดสามารถกระตุ้นหรือยับยั้งการหายใจได้

2.5 การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่างๆของพืช ไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตามจะทำให้มีการหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และความรุนแรงของบาดแผล ผักที่ช้ำจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น

2.3.2.2 การคายน้ำ

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของผักผลไม้ อัตราการคายน้ำหรือสูญเสียน้ำจะขึ้นกับพื้นที่ผิวและลักษณะโครงสร้างของผิว ผักที่มีใบมากจะมีอัตราการสูญเสียน้ำได้ง่าย อัตราการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อจะขึ้นกับความดันไอระหว่างภายนอกและภายในเนื้อเยื่อ โดยถ้าแตกต่างกันมากจะมีอัตราการคายน้ำมาก

2.3.2.3 การสร้างก๊าซเอธิลีน

ก๊าซเอธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาของพืช เนื่องจากก๊าซเอธิลีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้พืชแก่เร็วขึ้นทำให้พืชถึงระยะการเสื่อมสลายเร็ว ผลิตผลที่เกิดบาดแผลหรือได้รับอันตรายอื่นๆ เช่น ชอกช้ำหรือได้รับสารพิษ จะสามารถกระตุ้นให้พืชสร้างก๊าซเอธิลีนได้ และก๊าซเอธิลีนก๊าซจะไปกระตุ้นให้พืชนั้นมีการสร้างก๊าซเอธิลีนในปริมาณที่มากขึ้น

2.3.2.4 การเปลี่ยนสี

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นโดยเฉพาะสีเขียวจะหายไปมักปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นแทน สีต่างๆ ของผลิตผลที่เห็นนี้เกิดจากเม็ดสี (pigment) หรือสารสีต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ละลายในน้ำพบในแวคิวโอล (vacuole) ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) อีกพวกจะละลายได้ในไขมันพบในพลาสติด (plastid) มีหลายชนิดด้วยกันคือคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) สารสีเหลืองแคโรทีน (carotene) และสารสีแดง (lycopene) สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้สีของผลิตผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงสีเหล่านี้ การป้องกันการเสียคลอโรฟิลล์ทำได้โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงและเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เนื่องจากคลอโรฟิลล์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน ส่วนในพืชผักกินใบแสงสว่างจะช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ เพราะมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์อยู่และยังพบว่าผลิตผลส่วนที่มีสีเขียวจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าส่วนที่มีสีขาวหรือไม่มีสี ส่วนการป้องกันการสูญเสียแอนโทไซยานิน และแคโรทีนอยด์ ซึ่งประกอบด้วยแคโรทีน ไลโคปีน และแซนโทฟิลล์ ในผักผลไม้มักจะมีแคโรทีน และแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังเอาไว้ เมื่อผักผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป

2.3.2.5 การเหี่ยว

ผลผลิตขณะที่ยังอยู่บนต้นเดิมมักจะไม่แสดงอาการเหี่ยวให้เห็นเพราะขณะที่ยังอยู่บนต้นนั้นจะได้รับน้ำจากดิน โดยการดูดของรากแล้วส่งผ่านลำต้นเพื่อทดแทนน้ำส่วนที่สูญเสียไป เนื่องจากการคายน้ำ แต่หลังจากที่ผลิตผลถูกตัดจะถูกตัดจากแหล่งน้ำในดินด้วยทำให้ผักผลไม้เกิดการเหี่ยว ถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น บรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำอุณหภูมิสูงการเหี่ยวของผักผลไม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ให้คุณภาพการบริโภคลดลง เช่น มีลักษณะเหนียว ไม่กรอบ ผิวไม่สวย

2.3.2.6 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวเชื่อมผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ (intercellular cement หรือ middle lamella) ผนังเซลล์ชั้นที่หนึ่ง (primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นที่สอง (secondary cell wall) ตัวเชื่อมผนังเซลล์มีลักษณะเป็นเจล (gel) สร้างขึ้นระหว่างเซลล์ขณะที่มีการแบ่งตัวของเซลล์สาระสำคัญที่อยู่ในตัวเชื่อมระหว่างผนังเซลล์กับผนังเซลล์คือเพคติน (pectin) ระหว่างโมเลกุลของเพคตินมีแคลเซียมเป็นตัวเชื่อมกลายเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตด (calcium pectate) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เพคตินที่ไม่ละลายน้ำมีอยู่ในผลไม้ที่ดิบคือ โปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้โดยการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างผลสุกทำให้ได้เพคตินในรูปละลายน้ำ (soluble pectin) เซลล์ที่เคยเกาะตัวกันแน่นเริ่มเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ และหลุดออกจากกัน โครงสร้างของผนังเซลล์เพิ่มการยอมให้สารผ่านมากขึ้น (permeablility) ก่อให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อทำให้ผลนิ่ม

2.3.3 การเน่าเสียของผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนของการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผักและผลไม้มาจากสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก ได้แก่ ดิน น้ำ อากาศ หรือมาจากการเก็บเกี่ยว ภาชนะที่บรรจุ การขนส่ง เครื่องมือเพาะปลูก คนงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งน้ำล้างทำความสะอาดผักและผลไม้ เป็นต้น จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนและเติบโตโดยสามารถสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสารอาหาร ที่อยู่ในผักและผลไม้ ทำให้รูปสัมผัสต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.3.3.1 แหล่งที่มาของจุลินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนในอาหาร

แหล่งของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจาก

1. ดินและน้ำ สภาพแวดล้อมทั้งสองนี้แยกกันไม่ออกมักจะถูกจัดให้อยู่ด้วยกัน แบคทีเรียและเชื้อราในระยะเริ่มต้นของการเติบโตมักจะอยู่ร่วมกันในดิน จากนั้นเชื้อจะแพร่กระจายในอากาศโดยการพัดพาของกระแสลม ที่ช่วยทำให้เชื้อเกิดการฟุ้งกระจาย หลังจากนั้นเชื้อจะตกลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำโดยน้ำฝนที่ตกลงมาไหลสู่แหล่งน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ที่พบในดินสามารถพบได้ในแหล่ง

น้ำด้วย ซึ่งจะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลา แต่ในบางครั้งจุลินทรีย์ที่มาจากแหล่งน้ำไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ในดินได้โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากน้ำทะเล

2. พืชและผลิตภัณฑ์จากพืช จุลินทรีย์ที่อยู่ในพืชและผลิตภัณฑ์ เป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับการปนเปื้อนจากดินและน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่มีเชื้อไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่สามารถเติบโตได้ในพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช ซึ่งเชื้อที่เติบโตได้นั้น มักเป็นเชื้อที่สามารถยึดเกาะอย่างแน่นหนาที่บริเวณผิวของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช โดยเชื้อจะไม่หลุดออกมาภายหลังการล้าง และยังเป็นเชื้อที่สามารถใช้พืชและผลิตภัณฑ์เป็นอาหารได้ เชื้อ *Curtobacterium Pseudomonas* และ *Xanthomonas* นอกจากนี้ยังพบเชื้อราอีกหลายชนิดที่สามารถก่อโรคพืชได้

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบอาหาร การนำอาหารไปบรรจุในภาชนะภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าจุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ในผลิตภัณฑ์ และอาจมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ตรงบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับภาชนะ ซึ่งในภาชนะเดียวกันนั้นจะมีผักที่มาจากหลายๆต้น โดยมักจะพบจุลินทรีย์ลักษณะคล้ายๆกัน การตัดหรือหั่น จะทำให้มีเชื้อปนเปื้อน ที่มาจากการหั่นตัดด้วยมีดหรืออุปกรณ์ประกอบอาหารที่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อน

4. ผู้สัมผัสอาหาร จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารอาจมาจากจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่บริเวณผิวหนัง มือ โพรงจมูก และเครื่องแต่งกายของบุคคลที่สัมผัสอาหารนั้น เป็นต้น

5. อากาศและฝุ่นละออง ในอากาศและฝุ่นละอองมีสปอร์ของแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ที่สามารถปนเปื้อนในอาหารได้ โดยเชื้อส่วนใหญ่มาจากสภาพแวดล้อมต่างๆ

2.3.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ พีเอช (pH) ปริมาณความชื้น (moisture content) ค่าออกซิเดชัน รีดักชัน (oxidation-reduction potential ; Eh) ชนิดของสารอาหารที่มีในอาหาร (nutrient content) องค์ประกอบของสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มี (antimicrobial constituents) และโครงสร้างทางชีวภาพของผัก (biological structure) ปัจจัยแต่ละชนิดดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเติบโตของจุลินทรีย์

ผักและผลไม้มีสารอาหารต่างๆ ที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งจุลินทรีย์หลายชนิดสมารถนำไปใช้เป็นอาหารได้ ดังตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของผักและผลไม้อยู่ตรงระดับ pH โดยผลไม้มีความเป็นกรดสูงกว่าผัก จึงพบยีสต์เติบโตมากกว่าผัก ส่วน pH ของผักจะสูงกว่าผลไม้โดยผักส่วนใหญ่มี pH ประมาณ 6 ขึ้นไป ดังนั้นผักจึงมักเน่าเสียโดยแบคทีเรียมากกว่ายีสต์และเชื้อรา แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งผักและผลไม้มักเกิดการเน่าเสียได้โดยจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา ดังตารางที่ 2.3 แสดงถึงระดับ pH ที่จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ ผักและผลไม้มีค่า A_w ของน้ำผักและน้ำผลไม้ ประมาณ 0.97 จึงเหมาะสมที่จุลินทรีย์หลายชนิดจะสามารถเติบโตได้ (บุษกร อุตรภิชาติ. 2545)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของสารอาหารในผัก

ชื่อผัก	น้ำ	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ถั่วสีเขียว	89.9	7.7	2.4	0.2	0.8
Beet	87.6	9.6	1.6	0.1	1.1
บร๊อคโคลี	89.9	5.5	3.3	0.2	1.1
ถั่วงอกบรัสเซล	84.9	8.9	4.4	0.5	1.3
กะหล่ำปลี	92.4	5.3	1.4	0.2	0.8
แคนตาลูป	94.0	4.6	0.2	0.2	0.6
กะหล่ำดอก	91.7	4.9	2.4	0.2	0.8
ซีเลอรี่ (celery)	93.7	3.7	1.3	0.2	1.1
ข้าวโพด	73.9	20.5	3.7	1.2	0.7
แตงกวา	96.1	2.7	0.7	0.1	0.4
ผักกาด	94.8	2.9	1.2	0.2	0.9
ต้นหอม	87.5	10.3	1.4	0.2	0.6
ถั่วเมล็ดแห้ง	74.3	17.7	6.7	0.4	0.9
มันฝรั่ง	77.8	19.1	2.0	0.1	1.0
ฟักทอง	90.5	7.3	1.2	0.2	0.8
Radishes	93.6	4.2	1.2	0.1	1.0
ผักขม (spinach)	92.7	3.2	2.3	0.3	1.5
Squash	95.0	3.9	0.6	0.1	0.4
มันฝรั่งหวาน	68.5	27.9	1.8	0.7	1.1
มะเขือเทศ	94.1	4.0	1.0	0.3	0.6
แตงโม	92.1	6.9	0.5	0.2	0.3
เฉลี่ย	88.3	8.6	2.0	0.3	0.8

ที่มา : Watt and Merrill (1950)

ตารางที่ 2.3 ค่าพีเอชของผักและผลไม้

ชนิดผัก	พีเอช	ชนิดผลไม้	พีเอช
หน่อไม้ฝรั่ง (buds and stalks)	5.7-6.1	แอปเปิ้ล	2.9-3.8
ถั่ว	4.6-6.5	น้ำแอปเปิ้ล	3.6-3.8
หัวผักกาด (น้ำตาล)	4.2-4.4	กล้วย	4.5-4.7
บรอกโคลี	6.5	ผลมะเดื่อ (figs)	4.6
บรัสเซล สเปราท์ (Brussels sprouts)	6.3	น้ำส้มเกลี้ยง	3.0
กะหล่ำปลี (เขียว)	5.4-6.0	มะนาว	1.8-2.0
แครอท	4.9-5.2; 6.0	แคนตาลูป	6.3-6.7
ดอกกะหล่ำ	5.6	น้ำส้ม	3.6-4.3
ขึ้นฉ่าย	5.7-6.0	ผลพลัม	2.8-4.6
ข้าวโพด (หวาน)	7.3	แตงโม	5.2-5.6
แตงกวา	3.8	องุ่น	3.4-4.5
มะเขือยาว	4.5		
ผักกาดหอม	6.0		
มะกอก	3.6-3.8		
หัวหอมแดง	5.3-5.8		
ผักชีฝรั่ง	5.7-6.0		
พาซนิพ (parsnip)	5.3		
ผักกาดหวาน (tubers & sweet)	5.3-5.6		
ฟักทอง	4.8-5.2		
ผักรูบาบ (rhubarb)	3.1-3.4		
ผักโขม (spinach)	5.5-6.0		
Squash	5.0-5.4		
มะเขือเทศ	4.2-4.3		
ผักกาดเทอนิพ (turnips)	5.2-5.5		

ที่มา : Jay (1992)

2.4 ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น (Minimally Processed Fruit and Vegetables)

2.4.1 ความหมาย

ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น หมายถึงผักผลไม้ที่ได้รับการปฏิบัติใดๆก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้เพียงหนึ่งหรือหลายกระบวนการที่เหมาะสม เช่น การตัดแต่ง การล้าง การปอกเปลือก จากนั้นนำไปบรรจุในภาชนะปิดสนิทและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น ยังคงอยู่ในสภาพสด พร้อมบริโภคหรือปรุงอาหาร ปราศจากการแช่แข็ง ผ่านความร้อน หรือใช้สารถนอมอาหาร ชื่อในต่างประเทศมีชื่อเรียกต่างๆกันคือ Minimally Processed Food, Precut, Lightly Processed หรือ Fresh-Cut (IFPA. 2006)

การแปรรูปลักษณะนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคและเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ ซึ่งตรงกันข้ามกับการแปรรูปโดยทั่วไป

2.4.2 จุดมุ่งหมายของการผลิตผักผลไม้ แปรรูปเบื้องต้น

จุดมุ่งหมายของการผลิตผักผลไม้แปรรูปเบื้องต้น มีดังนี้

2.4.2.1 ให้ผู้บริโภคได้บริโภคผักผลไม้ในสภาพใกล้เคียงอาหารสด (like fresh) เนื่องมาจากความต้องการของผู้บริโภคในด้านคุณค่าอาหารและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.4.2.2 ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่น ในการบรรจุแบบ MAP (Modified Atomosphere Packaging) ซึ่งจะปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ในถั่วแขกจะลดก๊าซออกซิเจนให้มี 2-3% และเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้มี 5-10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมีผลทำให้ลดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอธิลีน ทำให้กระบวนการเปลี่ยนสีและการเน่าเสียเกิดช้าลง (Kader. 1986) Izumi et al. (1996) ศึกษาการปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่ กาซออกซิเจน 0.5% และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10% ในการเก็บรักษาแครอท หั่นสไลด์ และซอย ที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าทำให้อัตราการเน่าเสีย การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดน้อยลงกว่าการเก็บรักษาที่บรรยากาศที่ไม่ได้ปรับสภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.4.2.3 เพิ่มความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ในการล้างโดยน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจะลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้

2.4.2.4 เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้บริโภค

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4 แสดงการเน่าเสีย สูญเสียน้ำหนัก จุดขาว ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และค่า pH ของแครอท หั่นสไลด์ และซอย ที่เก็บรักษาในอากาศและสภาพบรรยากาศควบคุมที่ 28, 21 และ 11 วัน อุณหภูมิ 0, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Type of cut	Treatment	Decay [b] (%)	Weight loss (%)	Whitish index	Log_{10} CFU/g	pH
0°C storage						
Slices	Air	0	1.2	39.6	6.1	5.2
	CA [a]	0	0.6[d]	38.2	6.0	5.2
Sticks	Air	7	2.9	38.8	8.7	5.7
	CA	0[e]	2.0[d]	42.5	7.9[e]	5.3[d]
Shreds	Air	0	3.2	41.7	7.5	5.3
	CA	0	2.8[d]	37.9[d]	7.9	4.8[e]
5°C storage						
Slices	Air	33	1.5	38.8	5.8	5.0
	CA	0[e]	1.4	40.3	5.3	4.9
Sticks	Air	6	2.7	39.7	8.1	6.0
	CA	0[e]	1.8[e]	40.5	7.7[e]	5.7[e]
Shreds	Air	0	3.3	42.0	8.3	5.4
	CA	0	2.1[d]	35.9[e]	8.3	5.2[e]
10°C storage						
Slices	Air	7	2.2	43.2	5.7	4.9
	CA	0[e]	1.6[d]	40.2	5.2	5.0
Sticks	Air	20	4.4	39.4	7.9	5.7
	CA	0[e]	2.1[e]	42.2	7.8	5.6
Shreds	Air	10	4.6	40.1	8.0	5.3
	CA	0[e]	4.4	39.1	8.3	5.1[e]

[a] 0.5% O_2 + 10% CO_2.
[b] Number of decayed pieces/number of observed pieces × 100.
[c] High values indicate enhanced surface whitening.
[d,e] Significant at $P < 0.05$ or 0.01, respectively, between paired air and CA treatments.

ที่มา : Izumi et al. (1996)

63386

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักแปรรูปเบื้องต้น

2.5.1 การหั่นผักเป็นขนาดชิ้นต่างๆกัน

2.5.1.1 ประโยชน์ของการหั่นตัด

การหั่น การตัด เป็นรูปแบบหนึ่งของการแปรรูปเบื้องต้นเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้นโดยการหั่นตัดมีประโยชน์ดังนี้คือ

1. เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้บริโภคและเพิ่มความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น
2. ช่วยในการบรรจุให้ง่ายยิ่งขึ้น
3. ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค
4. รับประทานได้ง่ายยิ่งขึ้น
5. เพิ่มความสวยงาม น่ารับประทาน

2.5.1.2 ผลเสียเนื่องจากการหั่นตัด

ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น เช่น การล้าง การหั่น ตัด จะทำให้เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากการที่เนื้อเยื่อของผักผลไม้ถูกรบกวน การหั่นตัดจะทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้ได้รับบาดเจ็บ มีการสูญเสียของเหลวในเซลล์ (cellular fluid) ทำให้เซลล์อ่อนแอ ของเหลวในเซลล์ที่ออกมาจะประกอบด้วยเอนไซม์ที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการทำลายของจุลินทรีย์ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง (King and Bolin. 1989 ; Rolle and Chism. 1987 ; Bolin and Huxsoll. 1991) ซึ่งทำให้เกิดผลเสียในเรื่องต่างๆดังนี้คือ

1. การหายใจ เมทาบอลิซึม และการผลิตเอธิลีน

ผักผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นจะยังคงมีชีวิตอยู่จึงยังมีการหายใจและ เมทาบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ผักผลไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน อัตราการหายใจจะสามารถวัดได้จากอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อ การหั่นตัดผักผลไม้เป็นขนาดชิ้นที่ต่างๆกันจะทำให้ผักมีอัตราการหายใจไม่เท่ากัน ผักผลไม้ที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ จะมีอัตราการหายใจ การคายน้ำ และเมทาบอลิซึมสูงกว่าผักผลไม้ชิ้นใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากการหั่นตัดจะทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้ถูกรบกวน เกิดความชอกช้ำ เนื้อเยื่อของพืชเกิดบาดแผล และโครงสร้างบางส่วนถูกทำลาย มีการสูญเสียของเหลวในเซลล์ (Priepke et al. 1976 ; Watada et al. 1990) ผักผลไม้ที่ยิ่งถูกหั่นตัดมากก็ยิ่งมีอัตราการหายใจ และเมทาบอลิซึมสูงมากกว่าผักผลไม้ที่ถูกหั่นตัดน้อย ผักผลไม้ที่เกิดการชอกช้ำจะมีอัตราการใจสูงขึ้น

Izumi et al. (1996) พบว่าแครอทหั่นฝอย มีอัตราการหายใจสูงกว่า หั่นเต๋า และหั่นสไลด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 12.1, 9.7 และ 6.5 ml $kg^{-1}h^{-1}$ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Rocha et al. (1995) ศึกษาพบว่าส้มทั้งลูกและตัดเป็นชิ้น ส้มที่ตัดเป็นชิ้นจะมีอัตราการหายใจมากกว่าส้มทั้งลูก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 19 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงอัตราการหายใจ Respiration rate (RR) และ Respiration quotient (RO) ของส้มทั้งผลและหั่นตัด ที่อุณหภูมิ 4 และ 19 องศาเซลเซียส

Orange	Temperature (°C)	RR (mg CO_2/kg×h)	RQ (mol CO_2/mol O_2)
Whole	4	4.41±0.77	0.56 to 0.87
	Room (≈19)	25.3 ± 3.79	0.83 to 1.12
Fresh-cut	4	6.28 ± 1.22	0.95 to 1.33
	Room (≈19)	34.7 ± 1.16	1.11 to 1.14

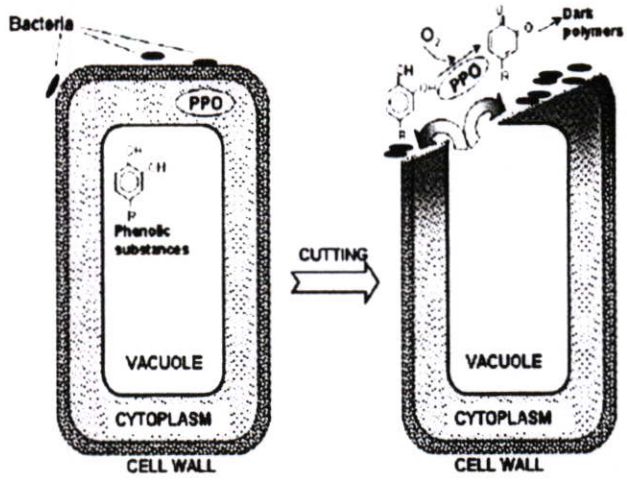
ที่มา : Rocha et al. (1995)

2. ปฏิกิริยาของเอนไซม์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการหั่นตัดผักผลไม้จะทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้เกิดความชอกช้าและบาดแผล เกิดการสูญเสียของเหลวในเซลล์ออกมาซึ่งของเหลวในเซลล์ประกอบด้วยเอนไซม์ที่พร้อมจะทำงานทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) นอกจากนั้นบาดแผลจากการหั่นตัดจะทำให้เซลล์สัมผัสกับออกซิเจนได้เพิ่มขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งทำให้คุณภาพของผักผลไม้สดลดลง

3. จุลินทรีย์

ขั้นตอนการหั่นผักเพื่อให้ได้เป็นชิ้นขนาดที่ต้องการเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผักมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการหั่นตัด หรือจากผู้ที่ทำการหั่นตัดเอง ในสภาพปกติของผักผลไม้ที่ผ่านการหั่นตัดจะมีระบบการป้องกันการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ แต่เมื่อใดก็ตามที่ผักผลไม้ถูกหั่นตัดจะทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้ ได้รับความกระทบกระเทือน และเกิดบาดแผล ทำให้ระบบการป้องกันต่างๆ ถูกทำลาย และทำให้ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นทำให้ผักผลไม้ที่ถูกหั่นตัดจะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากกว่าผักผลไม้ที่ไม่ถูกหั่นตัด ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (Irtwange. 2006)



ภาพที่ 2.3 แสดงการจำลองบาดแผลของเซลล์ที่กระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันของผนังเซลล์ เป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาล และเชื้อจุลินทรีย์เจริญบนผิวของบาดแผลและเนื้อเยื่อที่เสียหาย

ที่มา : Irtwange (2006)

การหั่นตัดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิตสลัดผัก แต่เนื่องจากการหั่นตัดผักผลไม้จะทำให้เนื้อเยื่อเกิดความชอกช้าและบาดแผล ทำให้ผักผลไม้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นและเป็นเหตุให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นลง โดย Bolin (1977) ได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบวิธีการหั่นต่างๆ ที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดหอม พบว่าการใช้มีดที่คมโดยหั่นเป็นแบบแผ่น (slice) จะให้ผลดีกว่าการหั่นแบบสับเป็นชิ้นเล็กๆ (chop) และให้ผลดีกว่าการใช้มีดที่ไม่คมหั่นเป็นแผ่นและเป็นชิ้นเล็กๆ ตามลำดับ ถ้าใช้มีดที่ไม่คมหั่นตัดผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น อายุการเก็บรักษาจะน้อยลงกว่าการใช้มีดที่คม

2.5.2 การบรรจุ

โดยทั่วไปผลิตผลแปรรูปเบื้องต้นมักถูกบรรจุลงในภาชนะ เช่น ถาดพลาสติกหรือโฟม แล้วห่อด้วยฟิล์มใส Polyvinyl chloride (PVC) อีกทีหนึ่ง เพื่อให้สามารถขนส่งได้ง่ายและวางขายได้ด้วย สิ่งสำคัญประการแรกในการบรรจุก็คือผลิตผลต้องได้รับการทำให้เย็นก่อนการบรรจุเพื่อป้องกันการควบแน่นเป็นหยดน้ำใต้ฟิล์มพลาสติก การคัดเลือกชนิดของพลาสติกสำหรับการบรรจุผลิตผลแปรรูปพร้อมเบื้องต้นนับว่าสำคัญมาก เพราะสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะถูกดัดแปลงไปเนื่องจากเมทาบอลิซึมของผลิตผล โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้บรรจุควรยอมให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซต่างๆ มากพอที่จะทำให้การหายใจแบบใช้ออกซิเจน อยู่ในระดับต่ำสุดโดยไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ขึ้น ในสภาพดังกล่าวผลิตผลจะมีเมทาบอลิซึมต่างๆ ใน

อัตราต่ำที่สุดโดยไม่เกิดกลิ่นหรือรสผิดปกติ ฟิล์มพลาสติก PVC มีคุณสมบัติดังกล่าวบ้างพอสมควร แต่ฟิล์ม PVC ยอมให้น้ำผ่านออกไปได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากเกินไป ถ้าเก็บรักษาไว้ในสถานที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ฟิล์มแต่ละชนิดจะมีค่าการซึมผ่านของก๊าซ (gas permeablility) แตกต่างกัน มีฟิมล์บางชนิดเท่านั้นที่จะทำให้เกิดสภาพ MAP ที่เหมาะสม ฟิล์มที่ดีควรมีคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ดีกว่าออกซิเจน 3-5 เท่า เพื่อป้องกันไม่ให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์มากเกินไปซึ่งจะเกิดอันตรายกับผักผลไม้ได้

Farber (1991) รายงานว่าฟิล์มที่นิยมใช้ในการบรรจุผักผลไม้คือ ฟิล์มโพลีเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene (LDPE)) ใช้สำหรับการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere packaging (MAP)) สามารถลดอัตราการหายใจ ชะลอการสุกงอม ลดการผลิตเอทธิลีน ชะลอการนิ่มลงของเนื้อสัมผัส ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยืดอายุผักผลไม้ โดยทั่วไปแนะนำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ 3-8% และ ออกซิเจน 2-5% สำหรับผักและผลไม้ที่รักษาแบบ MAP

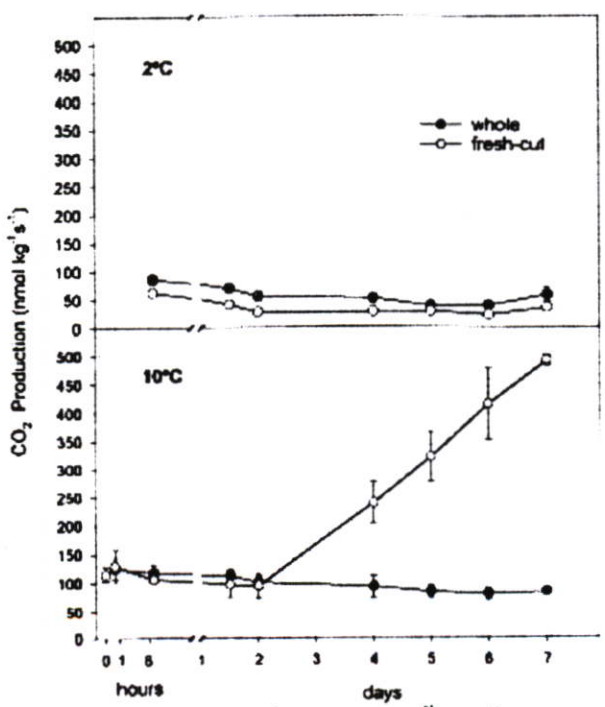
2.5.3 อุณหภูมิการขนถ่าย การขนส่งและการเก็บรักษาในช่วงๆสั้นก่อนการจำหน่าย

ผักแปรรูปเบื้องต้นมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น และสภาวะแวดล้อมสามารถทำลายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ระหว่างขนส่งและการขาย อุณหภูมิจึงเป็นตัวกำหนดเบื้องต้นของอัตราการลดคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสัมผัส ซึ่งมีผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภค ลักษณะที่ปรากฏนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ผู้บริโภคยอมรับและเลือกซื้อ (IFT, 1990) Piagentini (2005) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสของผักแปรรูปเบื้องต้นสามชนิดได้แก่ Iceberg Romaine lettuce และ chicory ในช่วงอุณหภูมิ 2-20 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.6 Artés et al. (1999) รายงานว่ามะเขือเทศหั่นสไลด์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 2.4 การแช่เย็นเป็นการช่วยรักษาคุณภาพโดยการรักษาความสดและหลีกเลี่ยงการเจริญของสปอร์ เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตในผักแปรรูปเบื้องต้นขณะการเก็บรักษาและขณะแปรรูป ดังนั้นเวลาและอุณหภูมิ จึงมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการเจริญและเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรีย (Artés, 2004)

ตารางที่ 2.6 แสดงการประเมินและการทดลองช่วงอายุของผักแปรรูปเบื้องต้น

Type of vegetable	Temperature (°C)	Sensory shelf life (days)	
		Predicted	Experimental (range)
Iceberg lettuce	1.7	6.4	8
	4.3	4.8	4-6
	8.9	2.9	2-3
	20.3	0.9	0.5-1
Romaine lettuce	1.4	7.2	8-9
	4.3	5.2	2-5
	8.9	3.2	2-5
	20.3	1.0	1-2
Chicory	4.5	9.2	9-10
	8.9	5.9	4-6
	20.3	2.0	2-3

ที่มา : Piagentini (2005)



ภาพที่ 2.4 แสดงอัตราการหายใจของมะเขือเทศหั่นสไลด์และทั้งผล ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 10°ซ

ที่มา : Artés et al. (1999)

2.5.4 การเปลี่ยนสี

ประเด็นสำคัญของกระบวนการแปรรูปผักผลไม้แปรรูปเบื้องต้นคือการควบคุมการเปลี่ยนสีหรือการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบฟีนอลไหลออกจากออร์แกนเนลล์และถูกเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดซ (polyphenol oxidase (PPO)) เปลี่ยนสารประกอบฟีนอลให้เป็นควิโนน โดยมีออกซิเจนร่วมในปฏิกิริยา จากนั้นควิโนนรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่และเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น (จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช. 2536) ปัจจุบันได้มีวิธีการลดการเกิดการเปลี่ยนสี เช่น

1. การลดปริมาณออกซิเจน โดยการลดปริมาณออกซิเจนในสภาพการเก็บรักษา ซึ่งมีผลให้เอนไซม์ PPO ทำงานได้น้อยลง สารประกอบฟีนอลจึงไม่ถูกออกซิไดซ์และไม่เปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลจึงไม่เห็นอาการผิดปกติ (Paull and Rohrbach, 1985) แต่ไม่สามารถหยุดการเปลี่ยนสีได้สมบูรณ์

2. การปรับสภาพความเป็นกรด PPO ส่วนมากเกิดปฏิกิริยาคะตะเลสเปลี่ยนสีบริเวณรอยตัดที่ประมาณ pH 7 ดังนั้นจึงสามารถการชะลอการเกิดการเปลี่ยนสีน้ำตาลได้ โดยการจุ่มในสารละลายที่เป็นกรด (acidic food grade) เช่น อะซิติก, กรดแอสคอบิก, กรดซิตริค, กรดทาร์ทาริค, กรดฟูมาริค หรือกรดฟอสฟอริค อย่างไรก็ตามการให้สารละลายกรดนี้อาจทำให้เกิดการเสียรสชาติและเนื้อเยื่อนิ่มลง จึงจำเป็นต้องใช้อย่างระมัดระวัง

3. การใช้กรดแอสคอบิค กรดแอสคอบิค (ascorbic acid) หรืออิลิธอร์เบท (erythorbate) โดยอิลิธอร์เบทเป็นไอโซเมอร์ของกรดแอสคอบิค เป็นส่วนประกอบที่ใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด (Soler. 1992) เนื่องจากกรดแอสคอบิคเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) ซึ่งสามารถรีดิวซ์ควิโนนได้ ทำให้ไม่มีควิโนนที่จะรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่และเกิดเป็นสารสีน้ำตาล (Abdullah et al. 1987) แต่เมื่อกรดแอสคอบิคหรืออิลิธอร์เบท สลายตัว จะไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของ PPO ได้

ได้เคยมีรายงานว่ากรดแอสคอบิคมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ได้ดีกว่าอิลิธอร์เบท (Borenstein. 1965 ; Bauernfeind and Pinkert. 1970)

2.5.5 จุลชีววิทยาของผักสด

แบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่ในผักสดคือ แบคทีเรียที่เป็น saprophyte รวมทั้ง Coryne forms, Lactic acid bacteria, Micrococci, Pseudomonas และแบคทีเรียที่สร้างสปอร์แบคทีเรียเหล่านี้ เช่น Erwinia และ Pseudomonas ซึ่งเป็นสาเหตุของ soft rots การเน่าเสียแบบนี้อาจรวมไปถึงพวก Coliforms และแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ เชื้อ Erwinia บางชนิดสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิแช่เย็นต่ำประมาณ 1 องศาเซลเซียส เป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผักหลายๆชนิดได้ ผักและผลไม้มีระดับ พีเอช (pH) แตกต่างกัน โดยผลไม้มีความเป็นกรดสูงกว่าผัก จึงพบยีสต์เติบโตมากกว่าผัก ส่วน pH ของผักจะสูงกว่าผลไม้โดยผักส่วนใหญ่มี pH ประมาณ 6 จึงพบแบคทีเรียมากกว่ายีสต์ ผักและผลไม้มีค่า Aw อยู่ระหว่าง 0.97-0.99 จึงเหมาะสมที่จุลินทรีย์หลายชนิดจะสามารถเติบโตได้

แบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับสลัดผักได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ

1. พวกที่เป็นโรคพืช (plant pathogenic microorganism) พวกนี้มักจะมีบทบาทในระยะเริ่มแรกภายหลังการเก็บเกี่ยวและสามารถทำลายทุกๆส่วนของพืช ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียและรา ประมาณ 20% ของผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจะเสียเนื่องมาจากจุลินทรีย์พวกนี้

2. พวกแซบโพรไฟต์ (saprophyte) ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียและมักมีบทบาทหรือเข้ามาทำลายหลังจากที่ผักและผลไม้นั้นเป็นโรคแล้ว

3. พวกจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogens) โดยปกติแล้วแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบในผักสดจะเป็น 2 กลุ่มแรก แต่อาจมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้จากคน สัตว์ สิ่งแวดล้อม ภาชนะอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เช่น *Staphylococcus aureus*, Coliform, *E. coli*, *Clostridium perfingens*, Salmonella, Shigella เป็นต้น

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนผักและไม้ (B = bacteria, F = fungi, Y = yeast)

ที่มา : Buck, J.W. et al. (2003)

2.5.5.1 จุลินทรีย์ที่ทำให้ผักเน่าเสีย

ผักประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ผักมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของผัก ในผักยังมีวิตามินและเกลือแร่ซึ่งจุลินทรีย์ต้องการในการเจริญเติบโต โครงสร้างของผักประกอบด้วยผนังเซลล์ที่มีเพคติน (pectin) เป็นสารเชื่อมระหว่างช่องว่างเรียกว่า มิดเดลลาเมลลา (middle lamella) โครงสร้างทางเคมีของเพคตินเป็นสารประเภทเมทธิลเอสเทอร์ของกรดกาแลคทูโรนิค (methyl ester of α-1, 4-poly-D-galacturonic acid) และสารประเภทเพคตินอื่นๆ สารเหล่านี้ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพคติเนส (pectinases) ซึ่งมีหลายชนิด ปรากฏว่าแบคทีเรียบางชนิดสร้างเอนไซม์นี้ย่อยเพคติน มีผลต่อการสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ทำให้ผักนิ่ม ช้ำ และเกิดอาการเน่าเละ (soft-rot) ขึ้น

แบคทีเรียที่สร้างเอมไซม์ย่อยเพคตินมีหลายชนิด เช่น *Erwinia carotovora* และแบคทีเรียจำพวกซูโดโมแนด์รวมทั้งแบคทีเรียจำพวก *Bacillus* และ *Clostridium* บางสปีชี แต่ *Erwinia carotovora* เป็นตัวการทำให้เกิดโรคเน่าเละมากที่สุด ผักมี pH, a_w และความต่างศักย์เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่ให้เอนไซม์เพคติเนส ผักจึงเน่าเสียจากโรคเน่า-เละที่มีสาเหตุจากแบคทีเรียได้มากกว่าจากยีสต์และรา ผลไม้โดยทั่วไปมี pH ต่ำกว่าผัก แต่มีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า ผลไม้จึงเน่าเสียเนื่องจากยีสต์และรามากกว่า ยีสต์จะใช้น้ำตาลในผลไม้เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ การเก็บเกี่ยวผลไม้ต้องกระทำอย่างระมัดระวังอย่าให้เกิดแผลหรือรอยฉีกขาดขึ้น เพราะจะทำให้ราเข้าทำลายได้ง่าย และจะทำให้ผลไม้เสียหาย โดยเฉพาะถ้าเกิดขึ้นกับผลไม้สุก การเน่าเสียก็ยิ่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว แบคทีเรียและเชื้อราที่พบมากและทำให้ผักและผลไม้ไม่ปลอดภัยมี ดังนี้

1. สาเหตุจากแบคทีเรีย แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผักเน่าเสีย คือ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคเน่าเละ (Bacterial Soft-rot) การเน่าเสียมีสาเหตุมาจาก *Erwinia carotovora* และซูโดโมแนดส์ เช่น *Penicillium marginalis* แต่ส่วนมากเกิดจาก *Erwinia carotovora* มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดจาก *Bacillus* และ *Clostridium* บางสปีชีด้วย โดยที่มีบทบาทน้อยกว่าแบคทีเรียทั้งสองดังกล่าวข้างต้น แบคทีเรียจะย่อยสลายเพคติน ซึ่งเป็นสารเชื่อมระหว่างผนังเซลล์ของพืช ทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม เน่าเละ บางครั้งมีกลิ่นเหม็นและมีน้ำไหลเยิ้มด้วย เกิดกับผักหลายชนิด โดยเฉพาะผักกินใบและยอดอ่อน เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ต้นหอม ผักสลัด ผักกาด กะหล่ำปลี ถั่วงอก แตงกวา พริก ฯลฯ

การที่ผักเน่าเสียสืบเนื่องมาจากแบคทีเรียมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น เพราะนอกจากผักจะมีน้ำ และ pH เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียแล้ว แบคทีเรียยังสร้างเอนไซม์เพคตินเนสที่ย่อยเพคตินโดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรเลส เมื่อผนังเซลล์ของพืชถูกทำลายลง แบคทีเรียจำพวกที่ไม่สร้างเอนไซม์เพคติเนสก็สามารถเข้าทำลายภายในเซลล์ของพืชได้ และจะใช้สารคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลง่ายๆก่อน ทำให้เกิดการหมักขึ้น ในพืชยังมีสารประกอบไนโตรเจน เกลือแร่ และวิตามินต่างๆ เพียงพอที่จะเอื้อให้แบคทีเรียเจริญอย่างรวดเร็วและทำให้ผักเน่าเสีย

2. สาเหตุจากเชื้อรา เชื้อราที่ทำให้ผักเน่าเสียมีหลายชนิด เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545)

2.5.5.2 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

จุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอาหารเมื่อมีการปนเปื้อน (contamination) ในอาหาร โดยพบว่าจุลินทรีย์บางชนิดเมื่อปนเปื้อนในอาหารจะสามารถเติบโตได้ในอาหาร ในขณะที่บางชนิดไม่สามารถเติบโตในอาหารแต่ยังไม่ตาย เช่น เชื้อโรคบางชนิด ส่วนเชื้อที่เติบโตได้จะต้องการปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เชื้อสามารถเพิ่มจำนวนได้ในอาหาร และอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แหล่งที่มาของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่ปนเปื้อนในผัก

เมื่อไม่กี่ปีมานี้ ผู้ผลิต ตัวแทนผู้ออกกฎระเบียบ และประชาชน ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับความปลอดภัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกี่ยวพันกับการเคยเกิดการระบาดและเจ็บป่วยเนื่องจากอาหารเป็นพิษ ในผักกินใบ มะเขือเทศ แตงโม และผลเบอร์รี่ จากเชื้อ *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* species, *Listeria monocytogenes*, *Sigella* species, *Cyclospora cayetanensis* และ Hapatitis A (NACMCF. 1999)

Nguyen-Ten and Carlin (1994) ได้พิจารณาเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น ที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์และสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบ ดังแสดงตารางที่ 2.7

Odumeru et al. (1997) ได้ทำการบันทึกปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักแปรรูปเบื้องต้นในวันที่ 0 และ 4 วัน หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แรกเริ่มอยู่ในช่วง 4.82 log CFU/g ใกล้ 6.0 log CFU/g ในวันที่ 0 แต่หลังเก็บรักษา 4 วัน ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 5.45 ถึง > 7.0 log CFU/g ซึ่งมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพที่กำหนด (6 log CFU/g) โดยผักมีอายุการวางจำหน่าย 7 วัน

ตารางที่ 2.7 แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคที่พบและปะปนในผักผลไม้และน้ำผลไม้

Pathogen	Fruit/vegetable/Juice
Aeromonas spp.	Vegetables, spouts
Listeria monocytogenes	Cabbage, lettuce, salad
E. coli	Lettuce, melons, cantaloupe, cabbage, unpast. apple juice
Salmonella spp.	Tomato, alfalfa sprout, salad, melon
Staphyloccous aureus	Salads, sprouts
Bacillus cereus	Sprouts
Shigella	Onion, lettuce, cabbage
Vibrio cholerae	Alfalfa sprouts
Klebsiella	Dried bush okra, sprouts
Campylobacter	Vegetables
Pseudomonas	Vegetables
Clostridium botulinum	Vegetables
Yersinia enterliticus	Lettuce

ที่มา : Novak et al. (2003)

ตารางที่ 2.8 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักแปรรูปพร้อมบริโภค เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Log_{10} Aerobic Plate Counts (per Gram))

Product	Day 0	Day 4
Chopped lettuce	4.85	5.63
Salad mix	5.35	6.05
Cauliflower florets	4.82	5.45
Sliced celery	5.67	6.59
Coleslaw mix	5.14	6.95
Carrot sticks	5.13	6.27
Broccoli florets	5.58	6.59
Green peppers	5.99	7.22

*The products had a 7-day recommended shelf life

ที่มา : Odumeru et al. (1997)

2.6 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

2.6.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ชื่อทางการ : ไดไฮโดรเจน ไดออกไซด์ (Dihydrogen dioxide)

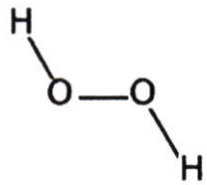
ชื่อสามัญ : ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)
ไฮโดรเจนไดออกไซด์ (Hydrogen dioxide)

สูตรโมเลกุล : H_2O_2

มวลโมเลกุล : 34.0146 กรัม/โมล

ลักษณะที่ปรากฏ : เป็นของเหลวไม่มีสี

ลักษณะโครงร่างโมเลกุล



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นที่รู้จักกันมานาน (Block. 1991) โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงและมีกำลังมาก และเป็นอันตรายต่อส่วนประกอบที่เป็นเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์เมมเบรน (Bibek. 1996) โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใช้เอนไซม์คะตะเลส ในการสลายตัวได้เป็นน้ำและออกซิเจน ดังสมการ

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{catalase}} 2H_2O_2 + O_2$$

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ถูกจัดโดย Generally recognized as safe (GRAS) ว่าปลอดภัยสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสารฟอกสี เป็นสารออกซิไดซ์และรีดิวซ์และเป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยองค์การอาหารและยาอนุญาตให้ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของนมสำหรับใช้ใน ชีส (cheese) เวล (whey) และในการเตรียมแป้ง สำหรับการใช้ในอาหารอื่นๆ The Code of Federal Regulation (21 CFR 184.1366) อนุญาตให้ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับเป็นสารกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ที่ระดับสูงสุด 0.05% - 0.15 % ขึ้นอยู่การใช้งาน และต้องการให้กำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ทั้งที่เป็นลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมี ระหว่างกระบวนการผลิต (Sapers et al. 1999b) อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้ GRAS ยังพิจารณาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้นนี้ยังไม่ชัดเจน (Beaulieu and Gorny. 2006) โดย Australia New Zealand Food Authority (ANZFA) (2001) อนุญาตให้พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างที่ใช้ในการฟอกสีและการล้าง สูงสุดไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.6.2 การลดปริมาณจุลินทรีย์โดยการล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้นมักจะเสื่อมเสียได้ง่าย และอาจมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น Salmonella และ Listeria โดยได้มีการใช้คลอรีนในล้างฆ่าเชื้อโรคทั้งในผักผลไม้สด และแปรรูปเบื้องต้น (Brackett. 1992 ; Fain. 1996) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของคลอรีนมีข้อจำกัดในการยับยั้งจุลินทรีย์ในบางกลุ่มในบางผลิตภัณฑ์ เช่น การยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Listeria monocytogenes* ในผักกาดหอมห่อฝอย (Beuchat and Brackett. 1990) เชื้อ *Salmoella Montevideo* ในมะเขือเทศ (Zhuang et al. 1995 ; Wei et al. 1995) หรือลดแบคทีเรียทั้งหมดบนแครอท กะหล่ำแดง หรือผักกาดหอมได้ (Garge et al., 1990) นอกจากนี้คลอรีนอาจทำปฏิกิริยากับอาหารเกิดเป็นสารประกอบที่เป็นพิษได้ ดังนั้นการนำคลอรีนมาใช้กับอาหารบางชนิดในระดับความเข้มข้นใดจะปลอดภัยหรือไม่จึงต้องอาศัยการศึกษาวิจัยต่อไป (Hurst. 1995) ปัจจุบันมีผู้ทำการวิจัยในการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ทั้งในรูปที่เป็นไอและในรูปของสารละลาย เพื่อใช้ล้างผักผลไม้ต่างๆ ที่ผ่านการตัด คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นที่ทราบดีโดยมีการใช้ในรูปสารละลายเจือจางเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Block. 1991) มีการศึกษาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ (Honnay. 1988) ใช้การควบคุมการเน่าเสียขององุ่น (Forney et al. 1991 ; Rij and Forney. 1995) ใช้ในการล้างเห็ด (McConnell. 1991 ; Sapers et al. 1994) ใช้ยืดอายุการเก็บรักษาสลัดผัก ผลเบอรี่ (Sapers et al. 1995) นอกจากนี้มีการใช้ในรูปที่เป็นไอเพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อกับอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตยา (Klapes and Vesley. 1990) ใช้กับระบบการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic packaging system) และใช้กับวัสดุที่ใช้ในการบรรจุ (Wang and Toledo. 1986) มีการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10% ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และสปอร์ของเชื้อ *B. subtilis* ที่เวลาต่างๆกัน พบว่าสปอร์มีความต้านทานต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เวลาต่างกันๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.9 (Doyle et al. 1997)

เจนจิรา เจริญยิ่ง (2544) ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าผักที่ล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ช่วยให้ผักมีอายุการเก็บรักษานาน 8 วัน

Simmons (1996) ทดสอบการใช้ไอของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ของอากาศนาน 60 นาที กับผลแคนตาลูป เปรียบเทียบกับการล้างด้วยสารละลายไฮโปคลอไรต์ 225 ppm และเปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำธรรมดา พบว่าการใช้ไอของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ และช่วยให้แคนตาลูปมีอายุการเก็บรักษานานถึง 4 สัปดาห์ที่ 2 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการผิดปกติกับผลแคนตาลูป

Sapers et al. (1997) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมคลอไรด์ 200 ppm (pH 6.5) ล้างแอปเปิลและแคนตาลูปที่เพาะเชื้อไว้สามารถลดจำนวนเชื้อ *Escherichia coli* ได้เพียง 99% แต่การล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ร่วมกับน้ำยาทำความสะอาด ที่ความร้อน 50 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ 4 log (99.99%) ปริมาณเชื้อแบคทีเรียบนผิวแคนตาลูปสามารถลดลงได้ 2-3

log (99-99.9%) นอกจากนี้สารฆ่าเชื้อจำพวกไฮโปรคลอไรด์ มีข้อจำกัดในการกำจัดสปอร์ของแบคทีเรียที่เหลือรอด ทำให้สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ (10^6-10^9 CFU/g) แต่การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ไม่ให้สามารถเจริญกลับมาปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ได้อีกครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.10

Sapers and Simmons (1998) ได้เปรียบเทียบการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% กับสารละลายคลอรีน 50 ppm ในการล้างแคนตาลูป 2 นาที พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 14 วัน ขณะที่คลอรีนช่วยยืดอายุได้ 9 วัน ส่วนการล้างน้ำธรรมดามีอายุการเก็บรักษา 7 วัน

Ewa and Krzysztof (2005) ศึกษาผลของการล้างแครอทด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% และ 10% ที่แช่เป็นเวลา 2 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ 2 log CFU/g

Ukuku (2004) ศึกษาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.5% และ 5% ล้างแคนตาลูปและแตงโม ทั้งผลเป็นเวลา 5 นาที ที่ได้ทำการเพาะเชื้อ *Salmonella spp.* จำนวน 4.65 log CFU/cm^3 และ 3.13 log CFU/g โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์และลดเชื้อ *Salmonella spp.* บนผิวของแตงโมได้ 3.0 log CFU/cm^2 ดังแสดงในภาพที่ 2.6

ข้อดีของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีดังนี้คือ

1. ใช้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว
2. ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด
3. มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูง ใช้ที่ความเข้มข้นต่ำๆก็สามารถทำลายเชื้อได้
4. ความเข้มข้นที่ใช้ค่อนข้างต่ำ จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร
5. ไม่มีผลตกค้าง เนื่องจากจะสลายตัวไปโดยการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์คะตะเลส
6. ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ทางการค้า
7. มีผลต่อทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย

ข้อเสียของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือการใช้ที่ความเข้มข้นสูงๆ และเวลานานๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสี รส และคุณค่าทางอาหารได้เช่น เห็ดเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น สตรอเบอรี่ และราสเบอรี่สีซีดลง Özkan et al. (2002) ศึกษาการลดประสิทธิภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 9.31 ถึง 27.92 $m.mol.L^{-1}$ ในช่วงอุณหภูมิ 10.8 ถึง 30.8 องศาเซลเซียส โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลไปทำลายแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในเชอร์รี่ สตรอเบอรี่ ด้วยเหตุนี้การกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตกค้างจากน้ำผลไม้ที่สัมผัสกับภาชนะบรรจุ น้ำสตรอเบอรี่

ตารางที่ 2.9 การทำลายสปอร์และเซลล์ของ *B. subtilis* โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10%

Time of treatment	Survival (%)		
(min)	Cells[b]	Wild-type spores	$\alpha^-\beta^-$ spores[c]
2.5	0.3	92	
5		88	50
10			10 (14)
20		50	0.1
60		6 (≤ 0.5)	

[b]Cell in the log phase of growth. Similar results have been obtained with wild-type or $\alpha^-\beta^-$ cells.

[c]These spores lack the two major α/β-type SASP and thus~70% of the α/β-type SASP pool.

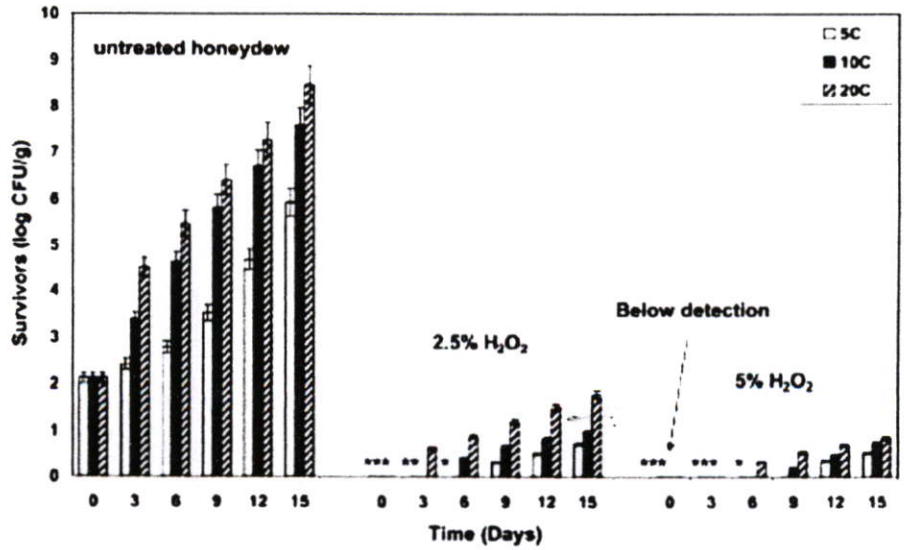
ที่มา : Doyle et al. (1997)

ตารางที่ 2.10 แสดงผลของการล้างแอปเปิลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารทำความสะอาดในการลดปริมาณเชื้อ *E.coli* (ATCC25922)

Treatment	n	Log_{10} Reduction
200 ppm Cl_2 (pH 6.5)	5	2.01 ± 0.17
2.5% H_2O_2	2	2.74 ± 0.43
5% H_2O_2	4	3.39 ± 0.39
5% H_2O_2 at 50°C	3	3.82 ± 0.82
5% H_2O_2 + 5% Sanitizer B at 50°C	2	>4.08
5% H_2O_2 + 1% Sanitizer D	2	3.27 ± 0.21
5% H_2O_2 + 1% Sanitizer D at 50°C	2	4.20 ± 0.56
5% H_2O_2 + 2% Sanitizer D at 50°C	2	>4.08
5% H_2O_2 + 1.6% Sanitizer E at 50°C	3	3.82 ± 0.65
5% H_2O_2 + 3.2% Sanitizer F at 50°C	2	3.63 ± 0.28
5% H_2O_2 + 2% Sanitizer G	2	3.27 ± 0.29
5% H_2O_2 + 2% Sanitizer G at 50°C	2	3.55 ± 1.67[b]
5% H_2O_2 + 1% Sanitizer H	2	3.22 ± 0.20
5% H_2O_2 + 1% Sanitizer H at 50°C	2	3.20 ± 0.16

[a]For each treatment, 9 apples cut in half, inoculated by immersion for 5 min in 3L diluted *E. coli* inoculum containing approx. 1.3×10^7 cfu/mL, and washed for 1 min.
[b]Variable response due to decomposition of heated alkaline H_2O_2.

ที่มา : Sapers et al. (1997)



ภาพที่ 2.6 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดบนแตงโมหั่นตัดที่ล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.5% และ 5% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส *ต่ำกว่าระดับที่ตรวจพบได้

ที่มา : Ukuku (2004)

2.6.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างที่ใช้การล้างผักและผลไม้ อาจถูกกำจัดได้เอง โดยการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์คะตะเลสภายในเซลล์ โดยให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา หรือการล้างออกทันทีหลังจากการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอาหาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

Sapers and Simmons (1998) ศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเห็ดแตงกวาและแคนตาลูป ด้วยการล้างน้ำ หรือจุ่มในสารละลายโซเดียมอิลิธอร์เบท 1% นาน 1 นาที พบว่า เห็ดที่ล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.1 ppm เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 นาที แตงกวาหั่นตัดตามขวาง ที่ไม่ได้ล้าง พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างเป็นจำนวนมาก เป็นเวลาถึง 1 หรือ 2 ชั่วโมง หลังการล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และหลังจากล้างด้วยสารละลายโซเดียมอิลิธอร์เบท แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จะตรวจไม่พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง นอกจากนี้แคนตาลูปหั่นตัดที่ไม่ได้ล้างหลังการล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะตรวจพบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตกค้างนานกว่า 24 ชั่วโมง และสามารถตรวจพบในตัวอย่างแคนตาลูปที่บรรจุที่ปิดสนิท เป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน แคนตาลูปที่ล้างด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมอิริโทเบต 1% จะตรวจพบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.1 ppm หลังการล้างเป็นเวลา 20 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2.11

Sapers et al. (1999a) ศึกษาการล้างแอปเปิลด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% และการล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างด้วยน้ำหลังการใช้ พบว่าการล้างมีผลในการลดความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการล้างจะไปลดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างจาก 1000 ppm ลดเหลือเพียง 20-50 ppm ซึ่งไม่เพียงพอในการฆ่าเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในผักและแคนตาลูป

Commodity	Treatment	Storage time (min)	H_2O_2 residue Test strips	H_2O_2 residue Colour test
Mushrooms. whole	5% H_2O_2– browning inhibitor	5	None	none
Cucumber cross- cuts	5% H_2O_2	120	>25 ppm	nd
	5% H_2O_2- H_2O_2 rinse	5	none	none
	5% H_2O_2–erythrobate	5	none	none
Cantalope cubes	5% H_2O_2	20	>25 ppm	nd
	5% H_2O_2- H_2O_2 rinse	20	none	none
	5% H_2O_2–erythrobate	10	none	none

Whole cucumber treated with H_2O_2 and then cut into cross-cuts, cantaloupe cubes

Dewatered after treatment

nd = not determined

ที่มา : Sapers and Simmon (1998)

ตารางที่ 2.12 แสดงผลของการล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* ในแอปเปิล

Treatment	**Rinse**	**Log_{10} CFU/g**	**H_2O_2 Residue (ppm)[a]**
Inoculated control	–	5.18	–
5% H_2O_2	No	2.11	690
	Yes	3.34	18
5% H_2O_2 + 1% Acidic Surfactant A	No	1.82	1040
	Yes	3.38	54
5% H_2O_2 + 1% Acidic Surfactant B	No	2.76	940
	Yes	3.15	30

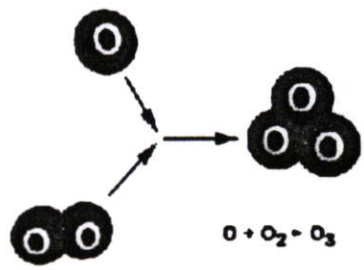
[a]Determined within 2 min of sample treatment.

ที่มา : Sapers et al. (1999a)

2.7 โอโซน

2.7.1 โอโซนและคุณสมบัติของโอโซน

โอโซนเป็นแก๊สสีฟ้าอ่อนที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิ -112 องศาเซลเซียส โอโซนจะสถานะเป็นของเหลวสีน้ำเงินเข้ม (Guzel-Seydim et al. 2003) และระเบิดง่าย กลิ่นฉุน ลักษณะโมเลกุลโอโซนพบว่าไม่เป็นเส้นตรง มีค่าของมุมเท่ากับ 116 องศา 45 องศา และมีโครงสร้างเรสโซแนนซ์จัดได้ 4 แบบ การทดลองเพื่อพิสูจน์กลไกลการเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ทั้งหลายให้ผลสอดคล้องสนับสนุนกับคุณสมบัติของการที่โอโซนเป็นโมเลกุลที่มีขั้วเป็นประจุบวก และลบที่ออกซิเจนตำแหน่งที่ 1 และ 3 อย่างไรก็ตามการศึกษาทางควอนตัมเมคแคนิคส์โดยอาศัยหลักการเกิดพันธะทั่วไป และการคำนวณ Configuration Interaction (CI) แสดงสภาวะพื้น (ground state) ของโอโซนเป็นอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2.7 แสดงโมเลกุลของโอโซน

โอโซนเป็นอัญรูปหนึ่งของออกซิเจน มีโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม แสดงดังภาพที่ 2.7 มีคุณสมบัติเป็นออกซิไดซ์ที่แรง (ดังสมการ) มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง ครึ่งชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพียง 20 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2.12 และแตกตัวไปเป็นออกซิเจน ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลการตกค้างของโอโซนในผลิตภัณฑ์อาหาร (Graham. 1997)

$$O_3(g) + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow O_2(g) + H_2O \{E^\circ = 2.075\ V\}$$

ตาราง 2.12 แสดงอุณหภูมิและการละลายของโอโซนในน้ำ (pH 7)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครึ่งชีวิต (half-life)
15	30 นาที
20	20 นาที
25	15 นาที
30	12 นาที
35	8 นาที

ที่มา : Ozone Solutions. (2006b) Ozone Properties. [Online] Available : http://www.ozoneapplications.com/info/ozone_properties.htm

2.7.2 ความเป็นพิษของโอโซนในมนุษย์

พบว่าอาการตอบสนองต่อพิษของโอโซนในมนุษย์มีความรุนแรงต่ำกว่าในสัตว์ทดลอง คือ ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายมากกว่า ตามประสบการณ์ของบุคคลซึ่งเคยได้รับโอโซน มีเพียงอาการปวดศีรษะ ระคายเคืองต่อดวงตา ลำคอ และระบบทางเดินหายใจ มักเกิดขึ้นต่อเมื่อได้รับโอโซนอย่างต่อเนื่อง ในระดับที่สูงกว่า 0.1 ppm ขึ้นไป ในกรณีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 ppm พบว่าอาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับเฉพาะบางบุคคลซึ่งมีประสาทสัมผัสที่ไวเท่านั้น อย่างไรก็ตามกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาของโอโซน คือ ฉุน และแสบจมูก ซึ่งบุคคลส่วนใหญ่ทั่วไปยังคงสามารถรับรู้ได้ในระดับที่ต่ำถึง 0.02-0.03 ppm ปัจจุบันมาตรฐานขีดจำกัดของโอโซนเท่ากับ 0.1 ppm สำหรับการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกำหนดโดย American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Guzel-Seydim et al. 2003) New Jersey Department of Health and Senior Services (2003) รายงานว่าโอโซนสามารถเป็นอันตรายเมื่อสูดดมเข้าไป สามารถเป็นสาเหตุของการเกิดมิวเตชัน (mutation) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีน เป็นอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์เกิดอันตรายต่อการพัฒนาการของเด็กในครรภ์ เมื่อหายใจเข้าไปสามารถก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ ทำให้ปวดศีรษะ ปวดท้อง อย่างไรก็ดีคาดว่าโอโซนคงมีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้น ซึ่งควรแก่การศึกษาในอนาคต ถ้าหากมีวิธีการใช้ที่ถูกต้องก็จะให้คุณค่าทางงานวิเคราะห์และด้านอุตสาหกรรม

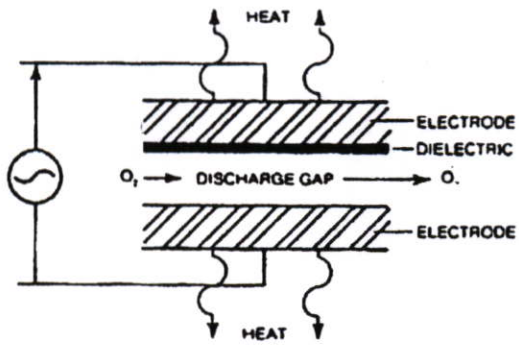
2.7.3 การผลิตโอโซน

เนื่องจากโอโซนเป็นสารเคมีที่ไม่เสถียรเพราะสามารถเปลี่ยนไปเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่ผลิตขึ้น ดังนั้นเราจึงต้องผลิตโอโซนและใช้งานทันที วิธีผลิตโอโซนในปัจจุบันคือ การใช้อิเล็คตริคคลอ โคโรนา ดิสชาร์ (electrical corona discharge)

เครื่องมือที่ออกแบบมาในการผลิตโอโซนโดยใช้ corona discharge แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 แสดงการย่อยสลายโอโซนจะขึ้นอยู่กับความร้อน และความเข้มของโอโซนที่เพิ่มขึ้นเพราะอิเล็คตรอนใน

ช่องว่างจะสัมผัสกับโมเลกุลของโอโซนดีพอๆ กับสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจน ดังนั้น จะต้องผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้โอโซนที่เกิดขึ้นแล้วออกไป เมื่อไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ เคลื่อนที่ผ่านช่องว่าง (discharge gap) ที่ประกอบด้วย ออกซิเจน โอโซนจะถูกผลิตขึ้นมา

วิธีการขั้นพื้นฐานในการผลิตนี้ก็คือ ความไม่มีประสิทธิภาพในตัวของมันเองของออกซิเจน พลังงานที่ให้ไปเพียงแค่ 10% ถูกใช้ในการสร้างโอโซน พลังงานส่วนใหญ่นั้นสูญเสียไปในรูปของแสง เสียง และความร้อน



รูปที่ 2.8 แสดงพื้นฐานในการผลิตโอโซน

ที่มา : Lenntech (2006) Ozone generation [Online]. Available :
http://www.lenntech.com/ozone/ozone-generation.htm

กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ (2543) รายงานว่าความเข้มข้นของโอโซนสามารถตรวจวัดได้ในรูปโอโซนสุทธิที่ผลิตจากเครื่องด้วยวิธี Iodometric method และในรูปปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ ด้วยวิธี Indigo Method ผลการทดลองพบว่าโอโซนสุทธิที่ผลิตจากเครื่อง มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราส่วนที่คงที่แตกต่างจากโอโซนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ มีค่าไม่คงที่และไม่แปรตรงกับค่าโอโซนสุทธิที่ผลิตจากเครื่อง เนื่องจากโอโซนมีการสลายตัวตลอดเวลา ปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำมีค่าสูงสุด และเกือบคงที่เพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

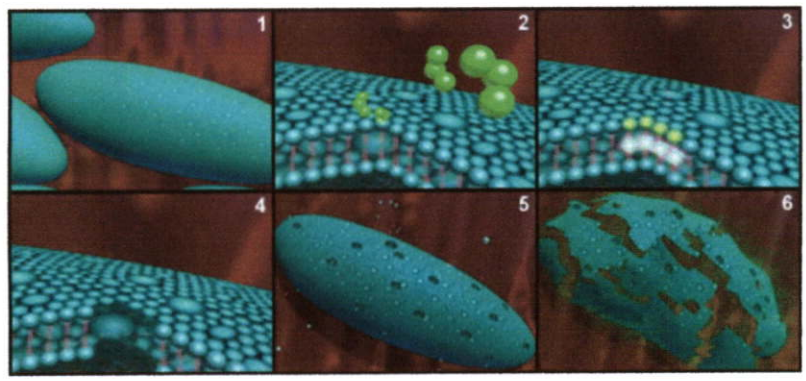
2.7.4 การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโอนโซน

Restiano et al. (1995) รายงานว่าบริเวณผิวของเซลล์แบคทีเรียเป็นส่วนแรกที่จะเกิดปฏิกิริยากับโอโซน Langlais et al. (1991) อธิบายว่าโอโซนแทรกเข้าไปเมทตาบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรียส่วนมากจะเข้าไปยับยั้งและขัดขวางการทำงานของระบบควบคุมเอนไซม์ การทำลายของโอโซนพอเพียงที่จะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และนำไปสู่การทำลายของเชื้อแบคทีเรีย ดังแสดงในภาพที่ 2.9

โอโซนมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อเซลล์ของแบคทีเรีย (vegetative cell) ได้ง่ายกว่าสปอร์ของแบคทีเรีย ซึ่งสปอร์ของแบคทีเรียจะมีความทนทานสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.13

Broadwater et al. (1973) ศึกษาพบว่าเซลล์ของ *Bacillus cereus* ถูกทำลายด้วยโอโซนที่ความเข้มข้น 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่เซลล์ *Escherichia coli* และ *Bacillus megaterium* ถูกทำลายที่ความเข้มข้น 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่สปอร์ของเชื้อ *B. cereus* และ *B. megaterium* ใช้ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ 2.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2.10 - 2.11

Hyun-Gyun et al. (2006) ได้ศึกษาผลของโอโซนที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 ppm ตามลำดับ กับความแตกต่างของเวลาที่ 0.5, 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ ต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* O157 : H7 และ *L. momoncytogenes* ในเห็ดอิโนกิ (enoki) พบว่าที่โอโซนความเข้มข้น 3 ppm เป็นเวลา 5 นาที ให้ผลในการลดปริมาณเชื้อ *E.coli* O157 : H7 ได้ดีที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างเวลาและความเข้มข้นของโอโซนในการลดปริมาณเชื้อ *L. momoncytogenes* ดังแสดงในภาพที่ 2.12



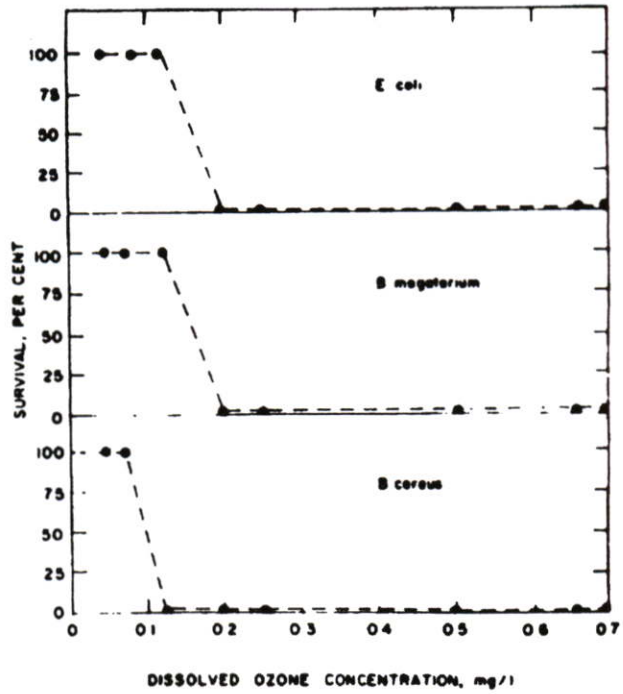
ภาพที่ 2.9 แสดงผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย 1) ภาพจำลองของแบคทีเรียเซลล์ 2) โมเลกุลของโอโซนเข้าทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 3) โอโซนแทงทะลุและทำให้เกิดรูบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 4) ผลกระทบของโอโซนต่อผนังเซลล์ 5) แบคทีเรียเซลล์หลังจากโมเลกุลของโอโซนเข้าทำลาย 6) หลังจากโอโซนเข้าทำลาย (เกิดการแตกตัวของเซลล์)

ที่มา : Ozone Solutions. (2006a) Ozone Properties : [Online] Available : http://www.ozoneapplications.com/info/bacteria_destruction.htm

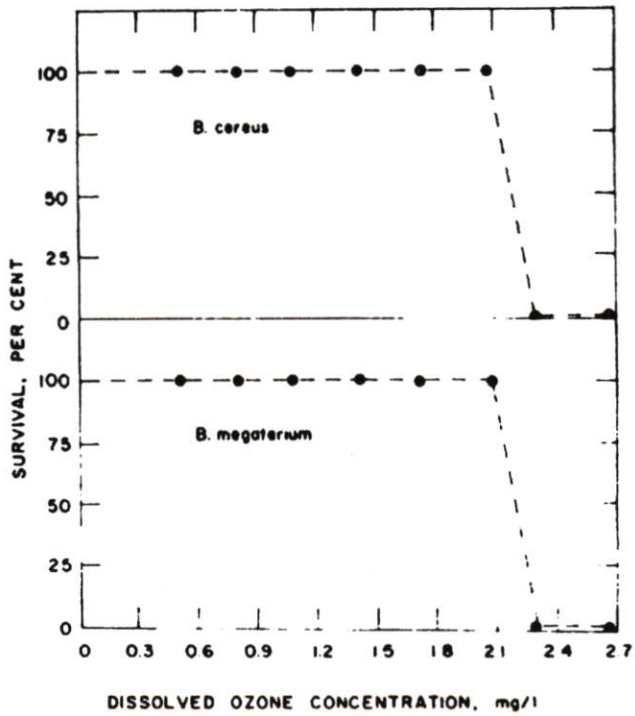
ตารางที่ 2.13 ตารางแสดงปริมาณโอโซนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นของโอโซน (ppm)	ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (นาที)
Staphylococcus aureus	0.5	15 วินาที
Salmonella typhimurium	0.5	15 วินาที
Escherichia coli	0.5	15 วินาที
Shigella flexneri	0.5	15 วินาที
Bacillus cereus (cell)	0.12	5
Bacillus cereus (spores)	2.29	5
Bacillus megaterium (spores)	2.29	5
Bacillus macerans	2.0	1.7
Bacillus stearothermophilus	3.5	9
Closridium perfringens	0.25	15
Clostridium sporogenes PA3679	5	9
Clostridium Botulinum 62A	6	2
Clostridium botulinum 213B	5	2

ที่มา : Inoue (2545)

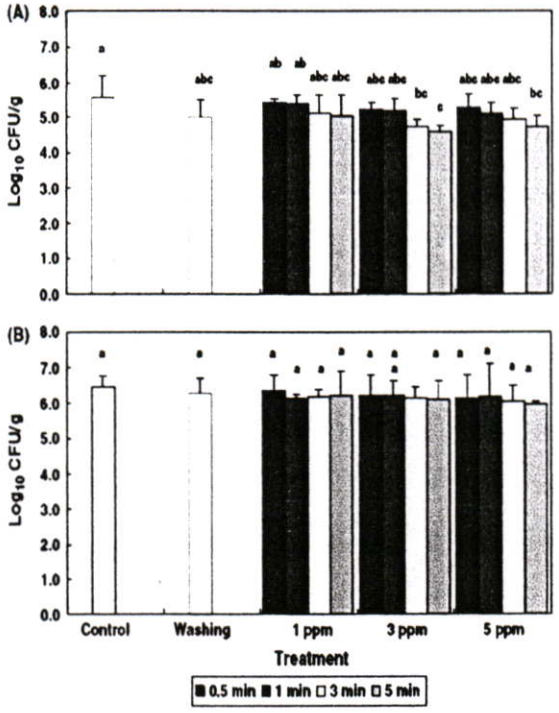


ภาพที่ 2.10 แสดงผลของการล้างด้วยโอโซนต่อเซลล์ของ *E.coli*, *B. megaterium* และ *B. cereus* ในน้ำ



ภาพที่ 2.11 แสดงผลของการล้างด้วยโอโซนต่อสปอร์ของ *B.cereus* และ *B. megaterium* ในน้ำ

ที่มา : Broabwater et al. (1973)



ภาพที่ 2.12 แสดงผลของความเข้มเข้นของโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ของ *E. coli* O157:H7 (A) และ *L. monocytogenes* (B) ในเห็ดอิโนกิ (enoki) ที่เวลาต่างๆ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ที่มา : Hyun-Gyun et al. (2006)

ในปี 2001 ก๊าซโอโซนและโอโซนในน้ำได้รับการรับรองโดย U.S. Food and Drug Administration เป็นสารสำหรับใช้ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมากมาย ประโยชน์ของโอโซนคือมีผลต่อจุลินทรีย์ในช่วงกว้างและไม่มีสารเคมีตกค้างเมื่อเปรียบเทียบกับคลอรีน (Xu. 1999) นอกจากนี้โอโซนสามารถฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในอาหารได้เร็วกว่าน้ำยาฆ่าเชื้อที่ใช้ในทางการค้า ขณะที่คลอรีนไม่สามารถไว้ใจในการกำจัดเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้ อย่างเช่น เชื้อ *Listeria monocytogenes* (Nguyen-the and Carlin. 1994)

โอโซนเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูง (Graham. 1997) นอกจากนี้โอโซนยังสามารถกำจัดยาฆ่าแมลงและสารเคมีตกค้างในผักผลไม้ได้ (Langlasis et al. 1991) ประโยชน์ของโอโซนในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มีการใช้ในการถนอมอาหาร ยืดอายุการเก็บรักษา แอปเปิล องุ่น ส้ม แพร ราสเบอรี่ และสตอรเบอรี่ (Beuchat. 1998) ฆ่าเชื้ออุปกรณ์เครื่องมือ กำจัดกลิ่นที่ไม่ต้องการที่ผลิตโดยเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง และกำจัดก๊าซเอธิลีน ช่วยชะลอกระบวนการสุก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการช่วยในการกระจายสินค้าได้ มีหลายรายงานแสดงให้เห็นว่าการใช้โอโซนเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำให้มั่นใจในคุณภาพของอาหาร เช่น

Skog and Chu (2001) ได้ศึกษาการใช้โอโซนที่ความเข้มข้นที่ 0.04 ppm พบว่าช่วยยืดอายุการเก็บรักษาบอคเคอร์รี่ และแตงกวาไม่มีเมล็ด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส

Kim et al. (1999) ทดลองใช้โอโซนที่ละลายในน้ำความเข้มข้น 1.3 mM ล้างผักกาดหอมหั่นฝอย พบว่าสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย mesophilic และ psychrotrophic ได้ 1.4 และ 1.8 log

Zhang et al. (2005) ได้ศึกษาการล้างเซเลอรี่ (celery) แปรรูปเบื้องต้น ในน้ำที่มีโอโซนความเข้มข้น 0.03, 0.08 และ 0.18 ppm ตามลำดับ พบว่าที่โอโซนความเข้มข้น 0.18 ppm ให้ผลในการถนอมรักษาได้ดีที่สุด โดยสามารถยับยั้งปฏิกิริยาโพลีฟีนอลออกซิเดซ (polyphenoloxidase) อัตราการหายใจ และลักษณะทางประสาทสัมผัสดีกว่าเซเลอรี่ (celery) ที่ไม่ได้ล้างด้วยโอโซน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Beltran et al. (2005) ศึกษาการใช้โอโซนที่ละลายในน้ำแช่ผักกาดหอม (iceberg lettuce) แปรรูปเบื้องต้น ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 1.6 log เมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำธรรมดา และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา

Bialka and Demirci (2006) ศึกษาพบว่าการล้างผลไม้ขนาดเล็กอย่างเช่น ราสเบอรี่ และ สตรอเบอรี่ด้วยโอโซนในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณเชื้อ *E.coli* O157:H7 และ Salmonella ได้ ในขณะที่โอโซนยังคงเกิดฟองอย่างต่อเนื่องในการเข้าไปดึงประจุในน้ำ (deionized water) ที่เวลา 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 นาที ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นโอโซน 1.72, 1.80, 3.72, 7.66, 7.90 และ 8.97 ppm ตามลำดับ พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ตามระยะเวลาที่แช่โอโซน แสดงให้เห็นว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการล้างและลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลไม้ขนาดเล็กได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.14

Garcia et al. (2003) รายงานการใช้ คลอรีน โอโซน และ คลอรีนร่วมกับโอโซน ในการล้างผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 1.4, 1.1 และ 2.5 log ตามลำดับ โดยยืดอายุการเก็บรักษาได้ 16, 20 และ 25 วัน ตามลำดับ

เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง อาจทำให้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้รับบาดเจ็บ (Horvath et al. 1985) กล้วยที่ใช้โอโซนกลายเป็นจุดสีดำหลังจาก 8 วัน โดยการใช้โอโซนก๊าซ 25 ถึง 30 ppm. (Liew and Prange. 1994)

ตารางที่ 2.14 แสดงผลการล้างราสเบอรี่และสตรอเบอรี่ด้วยโอโซนต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* O157:H7 และ *Salmonella*

Product	Microorganism	Treatment Time	Log_{10}Reduction
Raspberries	*E.coli* O157:H7	2	2.66 ± 0.14 A
		4	2.81 ± 0.06 A
		8	2.73 ± 0.07 A
		16	2.95 ± 0.07 A
		32	4.84 ± 0.26 B
		64	4.99 ± 0.26 B
	Salmonella	2	1.19 ± 0.21 A
		4	1.21 ± 0.32 A
		8	2.17 ± 0.73 AB
		16	2.71 ± 0.90 BC
		32	3.45 ± 1.0 BCD
		64	4.43 ± 0.88 D
Strawberries	*E.coli* O157:H7	2	0.98 ± 0.21 A
		4	1.34 ± 0.15 AB
		8	1.52 ± 0.16 B
		16	1.82 ± 0.33 B
		32	1.73 ± 0.07 B
		64	2.97 ± 0.69 C
	Salmonella	2	0.52 ± 0.18 A
		4	1.36 ± 0.43 AB
		8	1.51 ± 1.07 AB
		16	1.84 ± 0.17 B
		32	2.05 ± 0.44 B
		64	3.28 ± 0.60 C

* Reductions followed by the same letter are not significantly different (P>0.05)

ที่มา : Bialka and Demirci (2006)

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 สลัดผัก

ได้แก่ แตงร้าน และผักกาดหอม จากตลาดสดหัวตะเข้

3.1.2 ถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกชนิด LDPE ความหนา 0.20 มิลลิเมตร ขนาด 8×12 เซนติเมตร

3.1.3 สารเคมีในการล้างผัก

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5%

3.1.4 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

peptone 0.1%

plate count agar (PCA)

3.1.5 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

conc. phosphoric acid

potassium indigo trisulfonate ($C_{16}H_7N_2O_{11}S_3K_3$)

sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4)

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต

3.2.1 มีด

3.2.2 มีดปอกเปลือก

3.2.3 มีดขูดทำลาย

3.2.4 กะละมัง

3.2.5 เขียง

3.2.6 ถาดโฟม

3.2.7 เครื่องบรรจุสุญญากาศ Sammic S.A.

3.2.8 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ Sanyo Incubator

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก	Mettler AE 3000, Switzerland
3.3.2 เครื่อง Spectrophotometer	Shimadzu UV-1601 Japan
3.3.3 เครื่องโอโซน	Norca NK-200
3.3.4 เครื่องบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ	Circuitlink Temp TAG
3.3.5 เครื่อง hot plate & magnetic stirrer	รุ่น Model HS-2 PNP
3.3.6 ชุด Peroxide Test	Merck

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

3.4.1 หม้อนึ่งความดัน (autoclave)	Tomy SS-325 Japan
3.4.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)	Memmert Germany
3.4.3 ตู้บ่มเชื้อ	Memmert Germany
3.4.4 เครื่องตีป่น (stomacher)	IUL Masticator Basic

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหลังการเก็บเกี่ยว และห้องสุขาภิบาลอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การเตรียมผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น

3.6.1.1 การเลือกผัก

เลือกแตงร้านที่มีลักษณะสดและควรมีขั้วติดอยู่ มีขนาดประมาณ 20×5 เซนติเมตร ผลตรง ไม่คดงอ ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป ผิวนวล ไม่มีรอยช้ำหรือแมลงกัดแทะ เลือกผักกาดหอมที่มีลักษณะสดไม่เหี่ยวหรือช้ำ ไม่มีแมลงกัดแทะ ถ้ามีให้ตัดแต่งส่วนที่เสียออกไป นำมาคัดเลือกโดยแยกออกแต่ละใบ

3.6.1.2 การทำความสะอาด

นำผักไปแช่ในน้ำสะอาดนาน 2 นาที 1 ครั้ง โดยใช้น้ำ 4000 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักแตงร้าน 500 กรัม และผักกาดหอม 250 กรัม เพื่อล้างดินและฝุ่นที่ติดมาแล้วนำมาสะเด็ดน้ำให้แห้ง แล้วนำแตงร้านนำมาปอกเปลือกและทำลายริ้ว ผักกาดหอมนำมาตัดแต่ง

3.6.1.3 การหั่น บรรจุและเก็บรักษา

ในระหว่างการเตรียม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนต้องสวมถุงมือทุกการสัมผัสกับตัวอย่าง และมีการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ในการผลิตเพื่อป้องกันการปนเปื้อนเชื้อจากอุปกรณ์สู่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ โดยนำแตงร้านมาหั่นตามขวางขนาดประมาณ 0.8 ± 0.2 เซนติเมตร ผักกาดหอมหั่นเป็นเส้นกว้างประมาณ 0.8 ± 0.2 เซนติเมตร ตามขนาดที่ใช้สำหรับทำสลัดผัก ชั่งแตงร้านหนัก 500 กรัม ผักกาดหอม 250 กรัม ใส่ถาดโฟม แล้วนำมาบรรจุถุง LDPE ขนาด 8×12 เซนติเมตร หนา 0.20 มิลลิเมตร ปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างผักมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน

3.6.2 การศึกษาผลของการล้างด้วยน้ำเย็น (10 ± 2 องศาเซลเซียส)

เตรียมตัวอย่างผักตามวิธีในข้อ 3.6.1.2 แล้วนำผักไปแช่ในน้ำกรอง และน้ำเย็น (10 ± 2 องศาเซลเซียส) นาน 2 นาที โดยชั่งแตงร้าน 500 ± 10 กรัม ผักกาดหอม 250 ± 10 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร แล้วสะเด็ดน้ำให้แห้ง นำไปหั่นและปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ ตามข้อ 3.6.1.3 แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างผักมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน

3.6.3 ศึกษาผลของการล้างผักด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาต่างๆกัน

เตรียมตัวอย่างผักตามวิธีในข้อ 3.6.1.2 แล้วนำตัวอย่างแตงร้านและผักกาดหอมไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% นาน 2 นาที โดยชั่งแตงร้าน 500 ± 10 กรัม ผักกาดหอม 250 ± 10 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร สะเด็ดน้ำให้แห้ง นำมาหั่นและปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ ตามข้อ 3.6.1.3 แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างผักมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน

วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นน้ำที่ใช้ในการล้างผัก ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.6.4 ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างแตงร้านและผักกาดหอม

เตรียมตัวอย่างผักตามวิธีในข้อ 3.6.1.2 แล้วนำแตงร้านและผักกาดหอมไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% นาน 2 นาที โดยชั่งแตงร้าน 500 ± 10 กรัม ผักกาดหอม 250 ± 10 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร สะเด็ดน้ำออกแล้วแช่น้ำกลั่นเป็นเวลานาน 2 นาที สะเด็ดน้ำออก นำมาหั่น โดยตั้งทิ้งไว้ในห้องเป็นเวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที สุ่มตัวอย่างมาทดสอบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างตามลำดับ (ภาคผนวก ค)

3.6.5 ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค

เตรียมตัวอย่างตามข้อ 3.6.4 แล้วนำตัวอย่างผักมาแช่สารละลายกรดแอสคอบิค 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ เป็นเวลา 2 นาที สะเด็ดน้ำออกแล้วตั้งทิ้งไว้ในห้องเป็นเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ แล้วนำมาทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างตามลำดับ (ภาคผนวก ค)

3.6.6 ศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์

เตรียมตัวอย่างตามวิธีในข้อ 3.6.3 แล้วตั้งรอบรรจุที่อุณหภูมิห้องนาน 30, 60 และ 90 นาที แล้วจึงบรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างผักมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน

วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

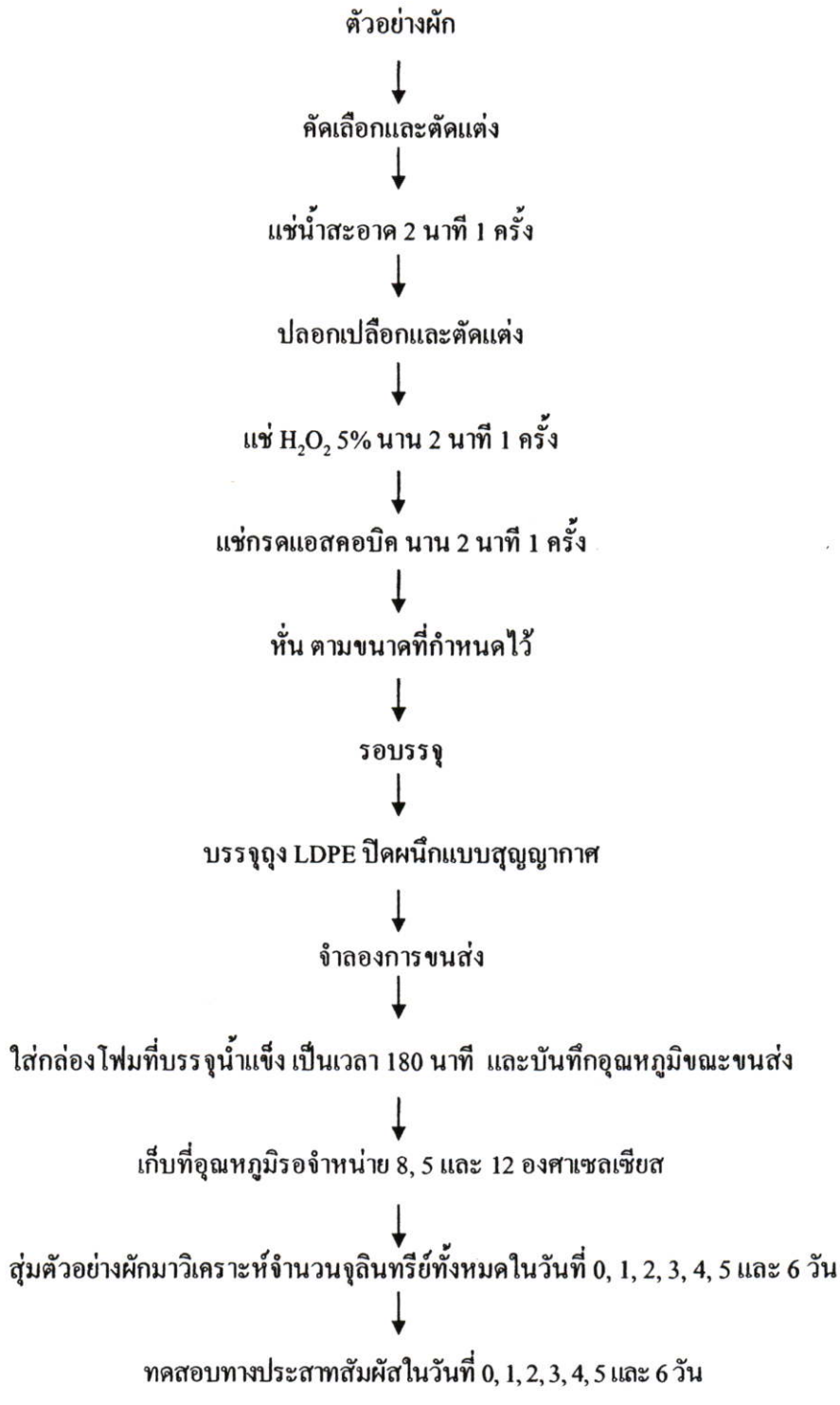
3.6.7 ศึกษาการจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค

ให้นำตัวอย่างแตงร้านและผักกาดหอมที่ผ่านการล้างเตรียมตามวิธีในข้อ 3.6.1.2 แล้วนำผักไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% นาน 2 นาที สะเด็ดน้ำ แล้วแช่แตงร้านและผักกาดหอมด้วยสารละลายกรดแอสคอบิก 1% และ 3% ตามลำดับ แล้วตั้งรอบรรจุแตงร้านและผักกาดหอมที่อุณหภูมิห้องนาน 60 และ 30 นาที ตามลำดับ แล้วนำไปบรรจุถุง LDPE ปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ

จำลองการขนส่งโดยนำตัวอย่างไปบรรจุในกล่องโฟม โดยมีน้ำแข็งรองที่พื้นกล่องประมาณ 2 กิโลกรัม ปิดทับด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ นำผักวางเรียงชั้นเดียว วัดอุณหภูมิขณะขนส่งด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติโดยแนบติดกับถุงผัก ปิดทับอีกชั้นด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์แล้วปิดทับด้วยน้ำแข็งด้านบนประมาณ 2 กิโลกรัม แล้วปิดผนึกด้วยเทปกาว นำกล่องไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที เท่ากับเวลาที่ใช้ในการขนส่ง แล้วนำมาเก็บรักษาต่ออีกที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส เพื่อหาอายุการวางจำหน่าย สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 วัน

ทดสอบผักทางประสาทสัมผัสในวันที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 วัน โดยผู้ทดลองให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ โดยให้คะแนนความชอบในช่วง 1-5 ในเรื่องสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับ (ภาคผนวก จ)

วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) โดยมีปัจจัยคืออุณหภูมิในการเก็บรักษาหลังการขนส่ง ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภูมิจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค

3.6.8 ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ

เตรียมน้ำกลั่นที่ปราศจากโอโซนปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ต่อเข้ากับเครื่องโอโซน คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) แล้วตรวจวัดปริมาณโอโซนด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (ภาคผนวก ค) ขณะเปิดเครื่องโอโซนที่เวลา 5, 10, 15, 20, 60, 65, 70, 75 และ 80 นาที เพื่อตรวจวัดปริมาณโอโซนที่ระยะเวลาต่างๆ

3.6.9 ศึกษาผลการล้างผักด้วยโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

เตรียมตัวอย่างตามวิธีในข้อ 3.6.1 โดยนำผักไปแช่ในน้ำกรอง นาน 2 นาที 2 ครั้ง โดยใช้น้ำ 1000 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักแตงร้าน 250 ± 10 กรัม ผักกาดหอม 170 ± 10 กรัม สะเด็ดน้ำออก นำแตงร้านมาปอกเปลือก ผักกาดหอมคัดเลือกโดยแยกออกแต่ละใบ แล้วนำไปล้างด้วยโอโซน โดยแบ่งเป็น

<u>ชุดควบคุม</u> นำตัวอย่างผักมาล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาณน้ำ 1000 มิลลิลิตร 2 นาที สะเด็ดน้ำออก

<u>ชุดทดลองที่ 1</u> นำตัวอย่างผักมาล้างด้วยสารละลายโอโซนขณะเปิดเครื่อง ภายหลังจากเปิดเครื่องโอโซนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยแช่ผักนาน 2 นาที สะเด็ดน้ำออก

<u>ชุดทดลองที่ 2</u> นำตัวอย่างผักมาล้างด้วยสารละลายโอโซนขณะปิดเครื่อง ภายหลังจากเปิดเครื่องโอโซนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยแช่ผักนาน 2 นาที สะเด็ดน้ำออก

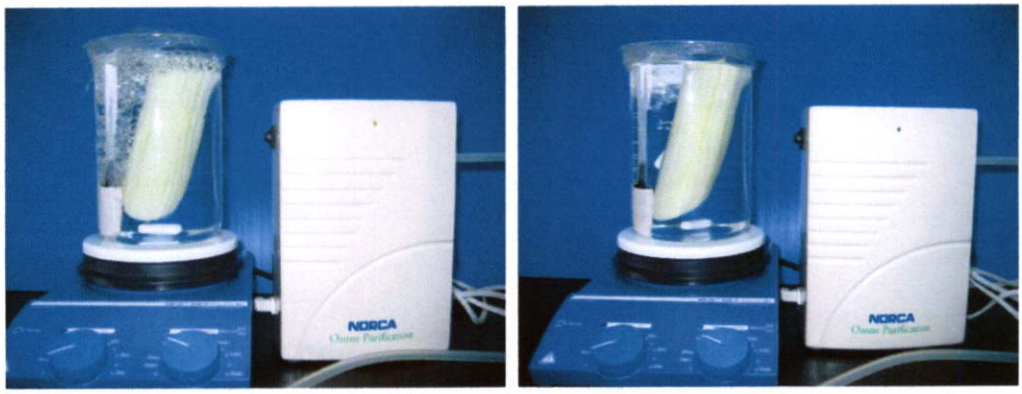
แล้วนำตัวอย่างผักมาหั่น บรรจุถุง LDPE และปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ ตามข้อ 3.6.1.3 แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างผักมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาคผนวก ก) ในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน

ทดสอบผักทางประสาทสัมผัสในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 วัน โดยผู้ทดลองให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ โดยให้คะแนนความชอบในช่วง 1-5 ในเรื่องสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับ (ภาคผนวก จ)

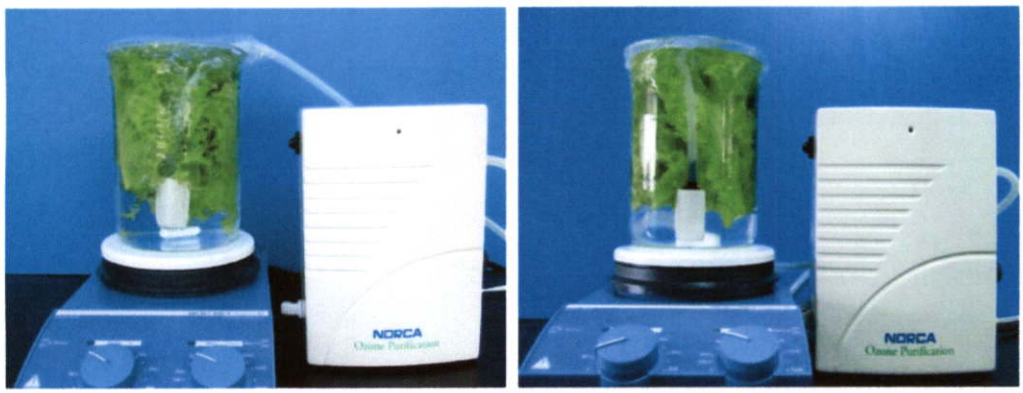
วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) โดยมีปัจจัยคือการล้างขณะเปิดและปิดเครื่องโอโซน ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาพที่ 3.2 แสดงแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นบรรจุแบบสุญญากาศ

ภาพที่ 3.3 แสดงผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นบรรจุแบบสุญญากาศ



ภาพที่ 3.4 แสดงการล้างแตงร้านขณะเปิดเครื่องและปิดเครื่องโอโซน



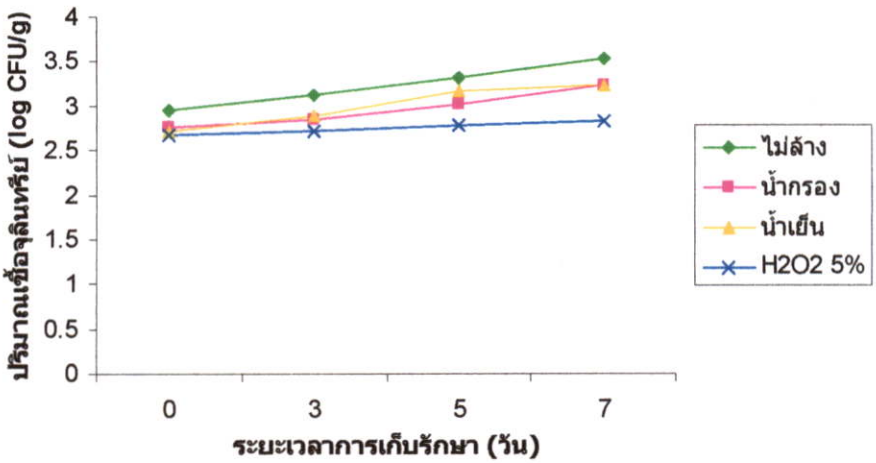
ภาพที่ 3.5 แสดงการล้างผักกาดหอมขณะเปิดเครื่องและปิดเครื่องโอโซน

บทที่ 4

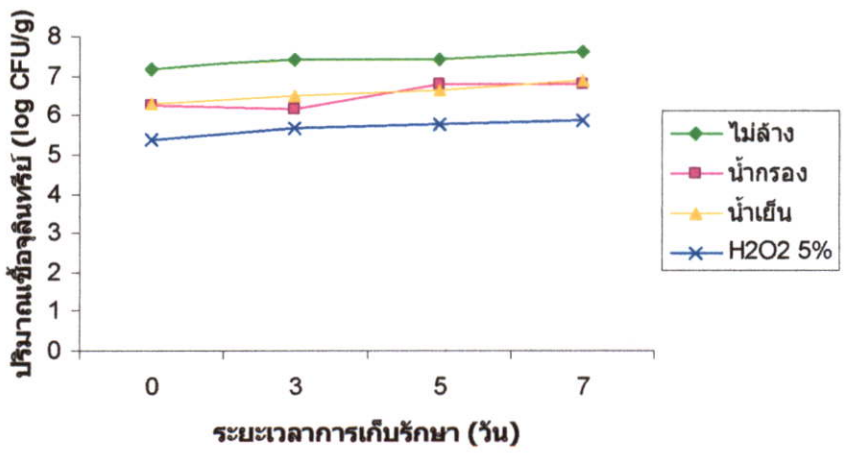
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการล้างผักด้วยน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาเก็บต่างๆกัน

การล้างแตงร้านและผักกาดหอมด้วยน้ำกรอง น้ำเย็น (10 ± 2 องศาเซลเซียส) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% โดยแช่นาน 2 นาที จะมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 4.1-4.2



ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.1- 4.2 พบว่าผักที่ไม่ได้ล้าง จะตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์สูง เนื่องจากมีจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำที่ใช้รด ปุ๋ยมูลสัตว์ และจากอุปกรณ์ ปนเปื้อนอยู่มากซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นขั้นตอนการล้างจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เบื้องต้นที่ติดมากับผัก จะสังเกตได้ว่าในการล้างผักถึงแม้จะใช้น้ำสะอาดธรรมดา น้ำเย็น ก็สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในวันแรกของแตงร้าน ส่วนการล้างผักกาดหอมโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 2 log CFU/g

เมื่อนำผักที่ผ่านการแช่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาหั่นและบรรจุถุง LDPE มาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ล้างจะไปมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผัก แสดงให้เห็นผลในระยะยาวโดยทำให้อายุการเก็บรักษาของผักนานขึ้น เนื่องจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ได้ ส่วนน้ำกรองและน้ำเย็นไม่มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาผักเป็นระยะเวลานานขึ้นจึงตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% บรรจุถุงแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 1.0 log CFU/g และ 2.0 log CFU/g ตามลำดับ และช่วยยืดอายุผักให้มีการเก็บรักษานาน 7 วัน ได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sapers and Simmons (1998) ในการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ในการล้างแคนตาลูปนาน 2 นาที พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 14 วัน ส่วนการล้างด้วยน้ำธรรมดามีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วัน

สำหรับการนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นเพื่อการค้านั้น อาจไม่คุ้มกับต้นทุนและเวลาที่เสียไป เนื่องจากแตงร้านที่ล้างด้วยน้ำกรองน้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ในวันที่ 7 พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.22 3.24 และ 2.82 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันไม่ถึง 1 log CFU/g และยังมีค่าไม่เกินเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด (6 log CFU/g) (ภาคผนวก ข) ดังนั้นในการล้างแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นด้วยน้ำกรอง หรือน้ำเย็น จึงเพียงพอในการล้างทำความสะอาด

จากผลการทดลองพบว่าผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นในวันแรกและในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันเพียง 0.52 log CFU/g อาจเนื่องมาจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลในยืดอายุระยะ lag phase ของเชื้อจุลินทรีย์ในผักกาดหอม จึงควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

4.2 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างน้ำในแตงร้านและผักกาดหอม

จากการศึกษาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการล้างผักพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักได้ดี ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอม เมื่อทดสอบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ด้วยแผ่นทดสอบ (ภาคผนวก ค) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกไซด์ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอม

ชนิดผัก	กลุ่มการทดลอง	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง (ppm)				
		ระยะเวลา (นาที)				
		0	5	15	30	60
แตงร้าน	ไม่ล้างน้ำกลั่น	>25	>25	25	25	5
	ล้างน้ำกลั่น	>25	>25	2-5	2-5	2-5
ผักกาดหอม	ไม่ล้างน้ำกลั่น	>25	>25	>25	>25	>25
	ล้างน้ำกลั่น	>25	>25	>25	>25	>25

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการล้างแตงร้านด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในห้อง พบว่าช่วงระยะเวลา 15-60 นาที ยังคงพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง 2-5 ppm ส่วนผักกาดหอมที่ช่วงระยะเวลาต่างๆยังคงพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างมากกว่า 25 ppm ซึ่งเป็นปริมาณเกินกำหนดตามมาตรฐานคุณภาพของ The Code of Federal Regulation (21 CFR 184.1366) ที่ให้กำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างระหว่างกระบวนการผลิต และANZFA (2001) กำหนดให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการล้างตกค้างสูงสุดไม่เกิน 5 ppm จะสังเกตได้ว่าแตงร้านมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่าในผักกาดหอม เนื่องมาจากแตงร้านมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าผักกาดหอมเมื่อเปรียบเทียบต่อปริมาณน้ำหนักที่เท่ากัน หรือเกิดจากปฏิกิริยาเอนไซม์คะตะเลสที่ต่ำกว่าของผักกาดหอม Sapers and Simmons (1998) รายงานพบว่าผักผลไม้บางชนิด ที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดฟองขึ้นเล็กน้อยหรือไม่เกิด แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์คะตะเลสต่ำ และเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ถ้าไม่มีวิธีการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้าง ผักส่วนมากจะเกิดผลกระทบเล็กน้อยกับลักษณะที่ปรากฏ มีผักกาดหั่นซอยที่เกิดสีน้ำตาลอย่างมาก เหมือนกับที่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อให้เห็นการบาดเจ็บของเห็ด กระบวนการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจเกิดขึ้นเองโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์คะตะเลส

ภายในเซลล์ โดยให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา หรือควรล้างออกทันทีหลังการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับอาหาร ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

4.3 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างด้วยกรดแอสคอบิคในแตงร้านและผักกาดหอม

จากการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างด้วยน้ำกลั่น ยังคงพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในระยะเวลาต่างๆ จึงได้มีการนำกรดแอสคอบิค 1% 2% และ 3% มาใช้ในการล้างแตงร้านและผักกาดหอม ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอม หลังการล้างด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค

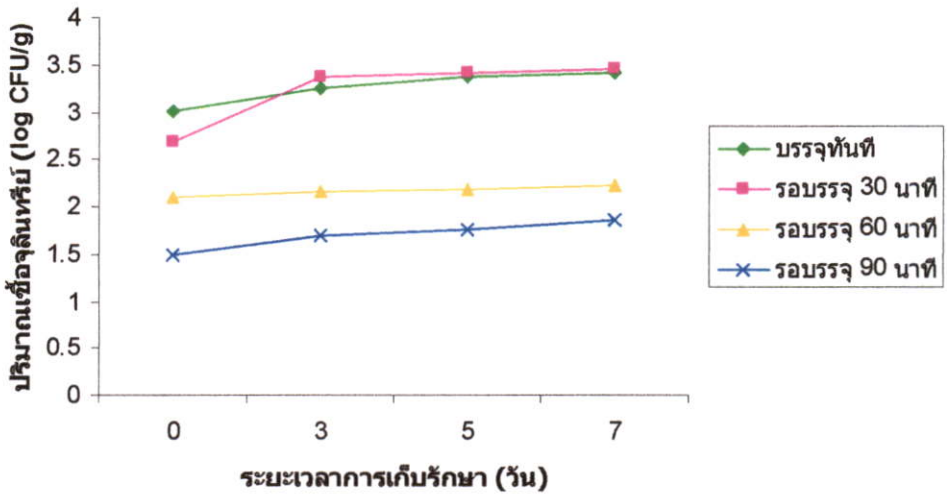
ชนิดผัก	กลุ่มการทดลอง	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง (ppm) ระยะเวลา (นาที)				
		0	15	30	60	120
แตงร้าน	ล้าง ascorbic acid 1%	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0
ผักกาดหอม	ล้าง ascorbic acid 1%	>25	>25	>25	>25	>25
	ล้าง ascorbic acid 2%	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5
	ล้าง ascorbic acid 3%	0	0	0	0	0

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแตงร้านที่ล้างด้วยกรดแอสคอบิค 1% นาน 2 นาที นำมาตั้งทิ้งไว้ 120 นาที จะตรวจไม่พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ส่วนผักกาดหอมหลังล้างด้วยกรดแอสคอบิค 3% ตรวจไม่พบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค้างทันที กรดแอสคอบิคสามารถทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับไฮโดรเจเปอร์ออกไซด์ ได้เป็นน้ำและ dehydroascorbic acid (DAA) (Deutsch, 1998) ซึ่งสอด คล้องกับงานวิจัยของ Sapers and Simmons (1998) ที่ใช้โซเดียมอิลิธอร์เบท (sodium erythorbate) 1% ซึ่งเป็นไอโซเมอร์กับกรดแอสคอบิค มาแช่แตงกวานาน 1 นาที หลังเวลาผ่านไป 5 นาที จะตรวจไม่พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง เมื่อเปรียบเทียบกับแตงกวาที่ไม่ได้ล้าง หลังเวลาผ่านไป 120 นาที ยังคงพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างมากกว่า 25 ppm

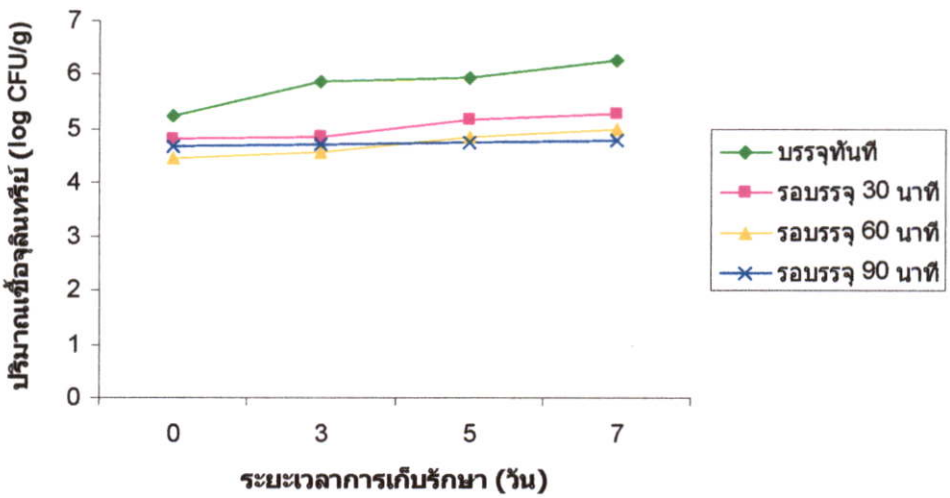
จากการศึกษาควรใช้กรดแอสคอบิค 1% และ 3% ในการล้างแตงร้านและผักกาดหอมตามลำดับ เพื่อช่วยกำจัดปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ตกค้าง

4.4 ผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์

จากการศึกษาการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ในการล้างแตงร้านและผักกาดหอม พบว่าให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักได้ดี ดังนั้นจึงใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ในการล้างแตงร้านและผักกาดหอม เพื่อทำการศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าหลังล้างผักก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.3-4.4



ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุที่เวลาต่างๆกัน



ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุที่เวลาต่างๆกัน

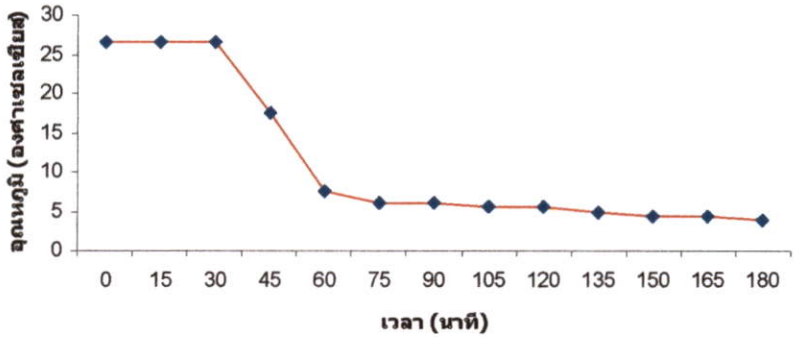
จากภาพที่ 4.3 พบว่าแตงร้านที่เวลารอบบรรจุ 60 และ 90 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าการบรรจุทันทีและรอบบรรจุ 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากภาพที่ 4.4 พบว่าผักกาดหอมที่เวลารอบบรรจุ 30, 60 และ 90 นาที ปริมาณจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าการบรรจุทันที โดยผักกาดหอมที่บรรจุทันที ในวันที่ 7 พบปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (6 log CFU/g) (ภาคผนวก ข) อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในผัก ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตเกิดการเน่าเสีย โดยการเก็บรักษาในสภาพแห้งจะช่วยผักให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นได้

นอกจากนี้แตงร้านและผักกาดหอมเมื่อรอบบรรจุเป็นเวลานานเกิน 60 และ 30 นาที ตามลำดับ พบว่าผิวของแตงร้านและลักษณะใบของผักกาดหอมจะเริ่มเหี่ยว สูญเสียลักษณะทางกายภาพ ดังนั้นจึงไม่ควรรอบบรรจุแตงร้านและผักกาดหอมนานเกิน 60 และ 30 นาที ตามลำดับ โดยผักแปรรูปเบื้องต้นควรหลีกเลี่ยงการผึ่งให้แห้งเป็นเวลานาน (Irtwange. 2006) เพราะผักที่ผ่านการหั่น ตัด สับ หรือซอยจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้นและเกิดอาการเหี่ยวแห้ง (Salunkhe and Desai. 1984) ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การปั่นเหวี่ยง (centrifugation) ในการสะเด็ดน้ำออกจากผัก เช่นที่ใช้ในผักกาดหอม (Bolin and Huxsoll. 1989) และเป็นการลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เบื้องต้นในผักแปรรูปพร้อมบริโภค (Yang. 1985)

การนำแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นไปบรรจุทันทีให้ผลปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่ารอบบรรจุ 60 และ 30 นาที ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างยังคงมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ จากการศึกษาวิจัยของ Sapers et al. (1999) พบว่าแอปเปิลที่ไม่ได้ล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง สามารถลดปริมาณเชื้อ *E.coli* ได้ดีกว่าแอปเปิลที่ล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างออก โดยการล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างด้วยน้ำจะไปลดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในแอปเปิล ซึ่งไม่เพียงพอในการฆ่าเชื้อ จากการทดลองพบสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในแตงร้านและผักกาดหอมนานมากกว่า 60 นาที

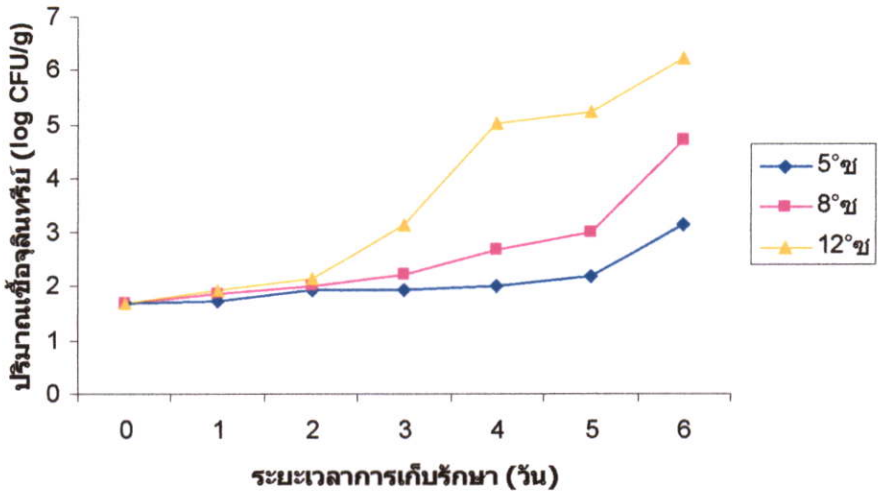
4.5 ผลการจำลองการขนส่งผักสลัดพร้อมบริโภค

จากการศึกษาการล้างทำความสะอาดผักสลัดแปรรูปเบื้องต้นพบว่าการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษา แตงร้านและผักกาดหอมเมื่อแช่ในสารละลายกรดแอสคอบิค 1% และ 3% ตามลำดับ นาน 2 นาที สามารถกำจัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างในผักแปรรูปเบื้องต้น และควรใช้เวลาในการรอบรรจุแตงร้านและผักกาดหอมไม่เกิน 30 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ เนื่องจากจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผัก ทำให้ผักเหี่ยว แล้วนำมาบรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เพื่อศึกษาผลของการขนส่ง และอุณหภูมิการเก็บรักษาระหว่างรอจำหน่ายที่ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 4.5-4.7 และตารางที่ 4.3-4.4

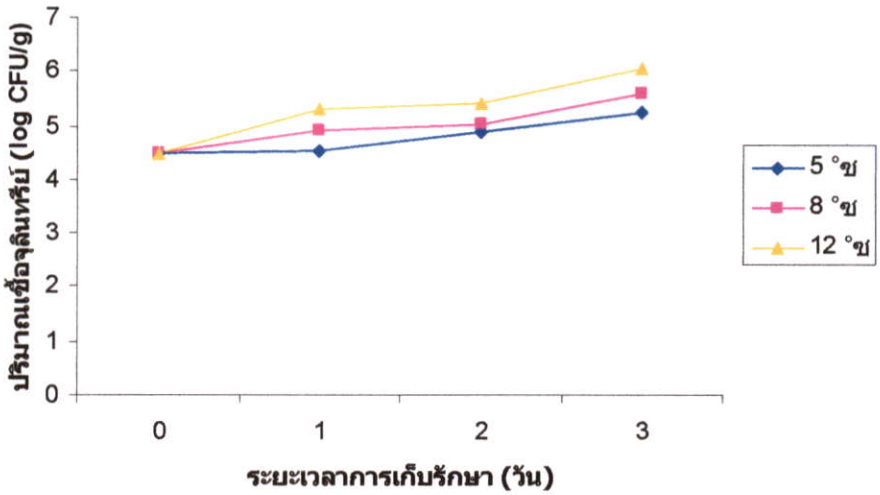


ภาพที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิในกล่องโฟมที่สภาวะจำลองการขนส่ง ที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที

จากภาพที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิในกล่องโฟมระหว่างการขนส่งเริ่มต้นที่ 24.5 องศาเซลเซียส และลดลงเป็น 5 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 130-180 นาทีของการขนส่ง จากนั้นนำผักทั้ง 2 ชนิดไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12°ซ (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 4.7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่างผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12°ซ (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิรอจำหน่ายที่ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส

วันที่	อุณหภูมิ	ผลการทดสอบ (คะแนน)			
	(องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
0	5	5.00	5.00	5.00	5.00
	8	5.00	5.00	5.00	5.00
	12	5.00	5.00	5.00	5.00
1	5	4.67^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	8	4.67^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	12	4.33^{ns}	4.00^{ns}	4.33^{ns}	4.33^{ns}
2	5	4.67^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	8	4.67^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	12	4.33^{ns}	4.00^{ns}	4.33^{ns}	4.33^{ns}
3	5	4.33^{ns}	4.33^{a}	4.67^{ns}	4.67^{a}
	8	4.33^{ns}	4.00^{ab}	4.33^{ns}	4.33^{ab}
	12	4.00^{ns}	3.33^{b}	4.00^{ns}	3.33^{b}
4	5	4.00^{a}	4.00^{a}	4.33^{a}	4.00^{a}
	8	3.33^{ab}	3.33^{b}	4.00^{a}	3.33^{ab}
	12	2.66^{b}	3.00^{b}	2.66^{b}	2.66^{b}
5	5	3.33^{a}	3.00^{a}	3.33^{a}	3.33^{a}
	8	2.67^{ab}	2.33^{ab}	2.00^{b}	2.00^{b}
	12	1.67^{b}	1.67^{b}	1.33^{b}	1.33^{b}
6	5	2.33^{a}	2.33^{a}	2.00^{a}	2.33^{a}
	8	1.33^{b}	2.00^{ab}	1.33^{b}	1.33^{b}
	12	1.00^{b}	1.33^{b}	1.00^{b}	1.00^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิรอจำหน่ายที่ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส

วันที่	อุณหภูมิ	ผลการทดสอบ (คะแนน)			
	(องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
0	5	5.00	5.00	5.00	5.00
	8	5.00	5.00	5.00	5.00
	12	5.00	5.00	5.00	5.00
1	5	4.33^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{a}	4.33^{a}
	8	4.00^{ns}	4.00^{ns}	4.00^{b}	4.00^{a}
	12	3.67^{ns}	4.00^{ns}	3.00^{c}	3.00^{b}
2	5	3.33^{ns}	3.33^{ns}	4.00^{a}	4.00^{a}
	8	3.00^{ns}	3.00^{ns}	3.00^{b}	3.00^{b}
	12	2.66^{ns}	3.00^{ns}	2.33^{c}	2.33^{c}
3	5	3.33^{a}	3.00^{a}	3.00^{a}	3.00^{a}
	8	2.00^{b}	2.33^{ab}	2.00^{b}	2.00^{b}
	12	1.00^{c}	1.66^{b}	1.33^{c}	1.33^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากภาพที่ 4.6-4.7 พบว่าแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น หลังการขนส่งและการเก็บรักษาระหว่างรอจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0, 1 และ 2 วัน ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ในวันที่ 3, 4, 5 และ 6 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 6 พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (6 log CFU/g) (ภาคผนวก ข) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 5 พบปริมาณจุลินทรีย์ 2.20 log CFU/g เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.99 และ 5.23 log CFU/g ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับของผักได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส โดยวันที่ 6 สีของแตงร้านเริ่มซีด และผิวสัมผัสด้านนอกแห้ง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าการเก็บที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส โดยวันที่ 3 มีปริมาณจุลินทรีย์

ทั้งหมด 5.24 log CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.59 และ 6.03 log CFU/g ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับของผักได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส โดยการเก็บในวันที่ 4 ผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นมีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับโดยเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และใบเริ่มมีลักษณะเป็นสีเหลือง

จึงควรใช้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในการเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นระหว่างการรอจำหน่าย โดยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุแตงร้านและผักกาดหอมได้นาน 5 และ 3 วัน ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่ไม่ได้ผ่านการขนส่ง จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 7 วัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการขนส่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผัก โดยอุณหภูมิระหว่างการขนส่งจะสูงกว่า 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานถึง 130 นาที โดยเวลาและอุณหภูมิจะมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผักแปรรูปเบื้องต้น โดย Marrero and Kader (2005) พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาแคนตาลูปแปรรูปเบื้องต้น สามารถลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาสับปะรดแปรรูปเบื้องต้น โดยที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้ 2 วัน แต่ที่อุณหภูมิ 2.2 และ 0 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 14 วัน นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและระหว่างการเก็บรักษาจึงเป็นจุดสำคัญในการควบคุมคุณภาพ และเป็นการลดอัตราการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (Artés. 2004)

4.6 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ

จากการตรวจวัดความเข้มข้นโอโซนในน้ำด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (ภาคผนวก ง) ที่เวลาต่างๆ และปริมาณโอโซนที่เหลือในน้ำหลังใส่ผัก ดังแสดงในตารางที่ 4.5

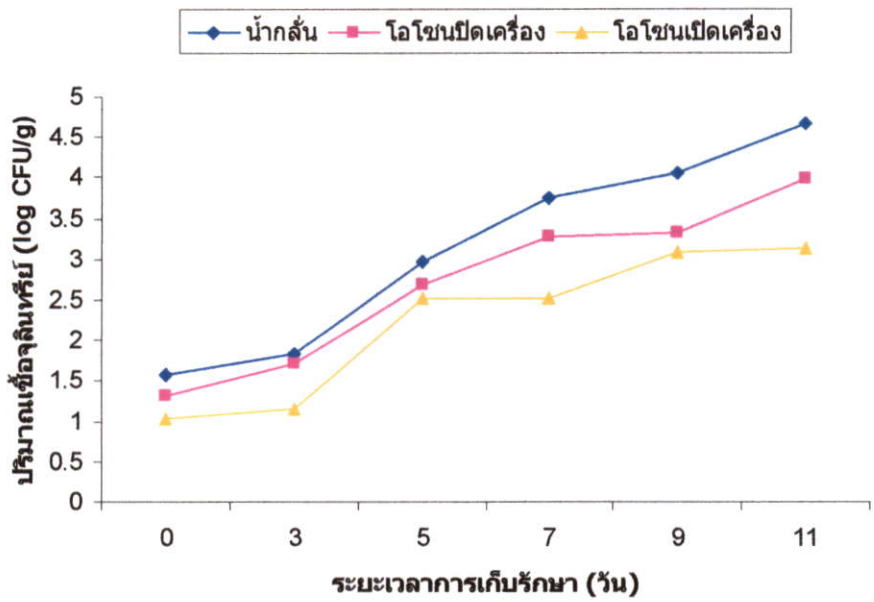
ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของโอโซนที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ให้ก๊าซ (นาที)	ความเข้มข้นของโอโซน (มิลลิกรัม/ลิตร)
5	0.020
10	0.050
15	0.070
20	0.070
60	0.080
65	0.080
70	0.078
75	0.080
80	0.083
85	0.082
90	0.080

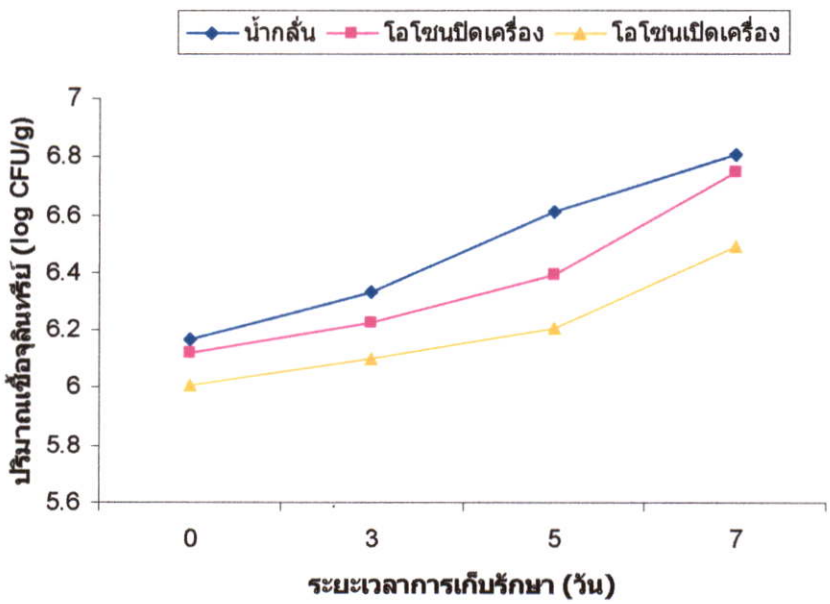
จากตารางที่ 4.5 พบว่าความเข้มข้นของโอโซนในน้ำจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ให้ก๊าซโอโซน แต่ความเข้มของโอโซนจะเริ่มคงที่อยู่ในช่วงหนึ่ง โดยเมื่อเปิดเครื่องโอโซนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นได้ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มข้นของโอโซนในน้ำสูงและเริ่มคงที่อยู่ในช่วงหนึ่ง ซึ่งคลอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ (2543) รายงานว่าปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ ที่วัดด้วยวิธี Indigo Method มีค่าไม่คงที่ เนื่องจากโอโซนมีการสลายตัวตลอดเวลา ปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำมีค่าสูงสุด และเกือบคงที่เพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

จากการทดลองนำมะเขือเทศ (ภาคผนวก ฉ) เมื่อเปิดเครื่องโอโซนครบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่มะเขือเทศ และทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำขณะเปิดเครื่องและปิดเครื่องโอโซน ที่เวลาต่างๆ พบว่าขณะปิดเครื่องโอโซน ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำหลังใส่ผักยังคงมีเหลือตกค้างอยู่ โดยปริมาณโอโซนในน้ำขณะปิดเครื่องจะสลายตัวหมดเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการล้างแตงร้านและผักกาดหอมด้วยโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำขณะเปิดและปิดเครื่องโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

4.7 ผลการล้างผักด้วยโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง



ภาพที่ 4.9 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง

จากภาพที่ 4.8-4.9 พบว่าเมื่อนำแตงร้านและผักกาดหอมที่ผ่านการแช่โอโซน มาหั่นและบรรจุถุง LDPE และปิดผนึกด้วยเครื่องแบบสุญญากาศ เก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าการล้างผักด้วยโอโซนขณะเปิดเครื่อง สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านได้ 0.55 log CFU/g และผักกาดหอม 0.16 log CFU/g ก่อนการเก็บรักษา เมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำกลั่น โดยการล้างแตงร้านและผักกาดหอมที่ผ่านการแช่โอโซนขณะเปิดเครื่องสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น เนื่องจากโอโซนมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น เมื่อเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมที่ล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 9 และ 7 วัน พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดถึง 4.05 และ 6.81 log CFU/g ตามลำดับ เนื่องจากสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนแตงร้านที่แช่โอโซนขณะเปิดเครื่องและโอโซนที่เหลือตกค้างหลังปิดเครื่อง พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.09 และ 3.33 log CFU/g ผักกาดหอมพบ 6.49 และ 6.75 log CFU/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผัก โดยผักกาดหอมพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (6 log CFU/g) (ภาคผนวก ข) ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนในน้ำที่ใช้ล้างมีปริมาณน้อย จึงสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในผักกาดหอมได้เพียงเล็กน้อย

จากผลการทดลองในวันแรกและวันที่ 3 ของการเก็บรักษาผักที่ล้างด้วยโอโซนขณะเปิดเครื่องให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการล้างด้วยโอโซนที่ตกค้างหลังจากปิดเครื่อง เนื่องจากปริมาณโอโซนที่ตกค้างหลังจากปิดเครื่องนั้นมีปริมาณน้อยกว่าขณะเปิดเครื่อง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า โดยโอนโซนสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (vegetative cell) ได้ง่าย แต่สปอร์จะมีความทนทานสูง จึงต้องใช้ปริมาณโอโซนที่สูงขึ้นในการกำจัด โดย Broadwater et al. (1973) รายงานว่า *B. cereus* (vegetative cell) ถูกทำลายด้วยโอโซนในน้ำความเข้มข้น 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที และสปอร์ถูกทำลายที่ความเข้มข้น 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที Kim et al. (1999) ได้รายงานว่าสามารถลดจำนวนจุลนทรีย์ทั้งหมดของผักกาดหั่นซอยได้ 2 log CFU/g โดยแช่ในน้ำที่มีโอโซนละลาย 1.3 มิลลิโมล อัตราการไหลเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อนาที นาน 3 นาที และ Hyun-Gyun et al. (2006) พบว่าการใช้โอโซนความเข้มข้น 5 ppm แช่ผักกาดหอมนาน 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณเชื้อ *E.coli O157:H7* และ *L. monocytogenes* ได้ 1.09 และ 0.94 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งได้ผลดีกว่าโอโซนความเข้มข้น 3 ppm แช่นาน 5 นาที โดยมีการทดสอบคุณภาพลักษณะทางประสาทสัมผัสของแตงร้านและผักกาดหอมในด้าน สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับ ที่เวลาต่างๆกัน ดังตารางที่ 4.6-4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแตงร้านที่ล้างด้วยน้ำกลั่น โอโซนปิดเครื่อง และโอโซนเปิดเครื่อง เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆกัน

วันที่	อุณหภูมิ	ผลการทดสอบ (คะแนน)			
	(องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
0	น้ำกลั่น	5.00	5.00	5.00	5.00
	โอโซนปิดเครื่อง	5.00	5.00	5.00	5.00
	โอโซนเปิดเครื่อง	5.00	5.00	5.00	5.00
3	น้ำกลั่น	4.67^{ns}	4.33^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	4.67^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	4.67^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}	4.67^{ns}
5	น้ำกลั่น	4.00^{ns}	4.00^{ns}	4.00^{ns}	4.00^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	4.33^{ns}	4.33^{ns}	4.00^{ns}	4.33^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	4.33^{ns}	4.33^{ns}	4.00^{ns}	4.33^{ns}
7	น้ำกลั่น	3.67^{ns}	3.33^{ns}	3.33^{ns}	3.33^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	4.00^{ns}	4.00^{ns}	3.67^{ns}	4.00^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	4.00^{ns}	4.00^{ns}	3.67^{ns}	4.00^{ns}
9	น้ำกลั่น	3.00^{ns}	2.67^{ns}	2.67^{ns}	2.67^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	3.33^{ns}	3.33^{ns}	3.00^{ns}	3.33^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	3.33^{ns}	3.33^{ns}	3.00^{ns}	3.33^{ns}
11	น้ำกลั่น	2.33^{ns}	2.33^{ns}	2.33^{ns}	2.33^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	2.67^{ns}	2.67^{ns}	2.33^{ns}	2.67^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	2.67^{ns}	2.67^{ns}	2.33^{ns}	2.67^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมที่ล้างด้วยน้ำกลั่น โอโซนปิดเครื่อง และโอโซนเปิดเครื่อง เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆกัน

วันที่	อุณหภูมิ	ผลการทดสอบ (คะแนน)			
	(องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
0	น้ำกลั่น	5.00	5.00	5.00	5.00
	โอโซนปิดเครื่อง	5.00	5.00	5.00	5.00
	โอโซนเปิดเครื่อง	5.00	5.00	5.00	5.00
3	น้ำกลั่น	3.67^{ns}	3.67^{ns}	4.00^{ns}	3.67^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	4.33^{ns}	4.00^{ns}	4.00^{ns}	4.00^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	4.67^{ns}	4.00^{ns}	4.33^{ns}	4.33^{ns}
5	น้ำกลั่น	2.33^{a}	3.00^{ns}	3.00^{ns}	3.00^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	2.67^{ab}	3.33^{ns}	3.00^{ns}	3.00^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	3.67^{b}	3.67^{ns}	4.00^{ns}	3.33^{ns}
7	น้ำกลั่น	1.00^{a}	2.33^{ns}	2.00^{ns}	2.00^{ns}
	โอโซนปิดเครื่อง	2.00^{b}	2.67^{ns}	2.33^{ns}	2.33^{ns}
	โอโซนเปิดเครื่อง	2.33^{b}	2.67^{ns}	2.33^{ns}	2.33^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.6-4.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแตงร้านและผักกาดหอมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จากการสังเกตพบว่าผักที่ผ่านการแช่โอโซนให้ผลสอบทางประสาทสัมผัสดีกว่าผักที่แช่ด้วยน้ำกลั่น ผักกาดหอมที่ผ่านการแช่โอโซนขณะเปิดเครื่องให้ผลทางประสาทสัมผัสของสีและเนื้อสัมผัสดีกว่าการแช่โอโซนที่ตกค้างหลังปิดเครื่อง และล้างด้วยน้ำกลั่น

แสดงให้เห็นว่าปริมาณโอโซนที่ต่ำมีผลต่อการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยการแช่ผักด้วยโอโซนขณะเปิดเครื่องสามารถยืดอายุแตงร้านและผักกาดหอมได้นาน 9 วัน และ 5 วัน ตามลำดับ Zhang et al. (2005) รายงานว่าการใช้โอโซนความเข้มข้น 0.18 ppm ในการล้างเซเลอรี่ (celery) แปรรูปเบื้องต้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้มากกว่าการล้างด้วยโอโซนที่ความเข้มข้น 0.03 และ 0.08 ppm โดยสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 1.69 log CFU/g ก่อนการเก็บรักษา และการล้างเซเลอรี่ด้วยโอโซนให้ผลทางประสาทสัมผัสดีกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น Keda et al. (1998) รายงานว่าโอโซนความเข้มข้น 0.05 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ใน ผักขม ผักกาดหอม และสตอรเบอรี่ ที่เก็บ

รักษาที่อุณหภูมิต่ำ ลงได้ 30-50% และสามารถยืดอายุได้ 7 วัน ดังนั้นจึงควรใช้โอโซนขณะเปิดเครื่องเพื่อล้างแตงร้านและผักกาดหอมเพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การล้างเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่จะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับผัก การล้างโดยใช้น้ำสะอาด และน้ำเย็น สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ แต่การใช้สารเคมีซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ร่วมในการล้างจะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% แช่ผักนาน 2 นาที พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นได้ 1.0 log CFU/g และ 2.0 log CFU/g ตามลำดับ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 7 วัน

กระบวนการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจเกิดขึ้นเองโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์คะตะเลสภายในเซลล์ โดยให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา หรือควรล้างออกทันที เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอาหาร ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงควรกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ในแตงร้านไม่พบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง หลังแช่ด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค 1% นาน 2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 นาที ส่วนผักกาดหอมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายหมดทันที เมื่อจุ่มด้วยสารละลายกรดแอสคอบิค 3%

เวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการเตรียมผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น เนื่องจากจะมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ และลักษณะทางกายภาพของผัก ดังนั้นจึงควรล่าช้าก่อนการบรรจุแตงร้านและผักกาดหอมไม่เกิน 60 และ 30 นาที ตามลำดับ

อุณหภูมิในการขนส่งและอุณหภูมิระหว่างรอจำหน่ายมีความสำคัญอย่างยิ่งในการยืดอายุการเก็บรักษา และควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในผัก ถ้าอุณหภูมิระหว่างการขนส่งมีอุณหภูมิสูง หรือเปลี่ยนแปลง จะส่งผลต่อคุณภาพของผักระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงควรคุมควบอุณหภูมิขณะขนส่ง และควรเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นระหว่างรอจำหน่าย ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาแตงร้านและผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับผัก โดยการใช้โอโซนขณะเปิดเครื่องที่ความเข้มเริ่มต้น 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในแตงร้านได้ 1.0 log CFU/g และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 9 วัน ส่วนผักกาดหอม การล้างโอโซนขณะเปิดเครื่องสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น และการล้างด้วยโอโซนขณะปิดเครื่อง โดยสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 0.32 log CFU/g ในวันที่ 7 เมื่อเทียบ

กับการล้างด้วยน้ำกลั่น แต่ผักกาดหอมพบปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (6 log CFU/g) (ภาคผนวก ข) ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนในน้ำที่ใช้ในการล้างมีปริมาณน้อย จึงสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในผักกาดหอมได้เพียงเล็กน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถถูกกำจัดออกด้วยปฏิกิริยาของเอนไซม์คะตะเลส โดยให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาระยะเวลาการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายหลังการบรรจุในถุง LDPE

2. โอโซนมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผัก ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณโอโซน และระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างผัก เพื่อให้การล้างผักด้วยโอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาของผักได้เพิ่มขึ้น

3. โอโซนมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นขณะล้างผักด้วยโอโซนจึงควรต้องมีความระมัดระวังในการใช้

บรรณานุกรม

กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ. 2543. "การใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2536. เอกสารอ้างอิงกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. กรุงเทพฯ : ฝ่ายวิเคราะห์อาหารทางจุลชีววิทยา กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช. 2536. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดและวิธีการป้องกัน. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 27(4) : 421-430.

เจนจิรา เจริญยิ่ง. 2544. "ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของสลัดผักซึ่งผ่านการแปรรูปเบื้องต้น." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และ ภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539. **การปลูกแตงกวา.** [Online]. Available : http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/cocomber.pdf. (Accessed 20 April 2549)

ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

บุษกร อุตรภิชาติ. 2545. **จุลชีววิทยาทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

เมืองทอง ทวนทวี และสุรีรัตน์ ปัญญาโตน. 2532. **ผักบ้านเรา สวนผัก.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ทั่งฮั่วซิน.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. **จุลชีววิทยาทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Abdullah, H. Rohaya, M.A. and Zaipun, M.Z. 1987. "Storage study of pineapple (*Ananas comosus* cv. Sarawak) with special emphasis on black heart disorder." **Horticultural Abstracts**. 57(8) : 6738.

ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2001. **Use of hydrogen peroxide, peracetic acid and carbonic acid as microbiological control agents**. [Online]. Available : http://www.foodstandards.gov.au/_srcfiles/A429IA.pdf (Accessed 12 December 2001)

APHA (American Public health Association), American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1995. **Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 4500-O_3 Ozone (residual)**. 19th Edition. Washington DC : American Public health Association.

Artés, Francisco. 2004. **Refrigeration for preserving the quality and enhancing the safety of plant foods, Bulletin of the IIR**. [Online]. Available : http://www.iifiir.org/2enarticles_bull04_1.pdf (Accessed 14 May 2006)

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

Bauernfeind, J.C. and Pinkert, D.M. 1970. "Food processing with added ascorbic acid." **Advances in Food Research**. 18 : 219.

Beaulieu, John C. and Gorny, James R. 2006. **Fresh-cut Fruits**. [Online]. Available : http://usds.gov/hb66/146freshcutfruits.pdf (Accessed 14 May 2006)

Beltran, D. Selma, M.V. Marin A. and Gil MI. 2005. "Ozone water extends the shelf life of fresh-cut lettuce." **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 53(14) : 5654-63.

Beuchat, L.R. 1998. **Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw : A review. World Health Organization**. [Online] Available : http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/en/surface_decon.pdf (Accessed 21 May 2006)

Beuchat, L.R. and Brackett, R.E. 1990. "Survival and growth of *Listeria monocytogenes* on lettuce as influenced by shredding, chlorine treatment, modified atmosphere packaging and temperature." **Journal of Food Science.** 55 : 755-758.

Bialka, Katherine L. And Demirci, Ali. 2006. **Decontamination of small fruits using aqueous ozone**. [Online]. Available : http://www.engr.psu.edo/symposium2006/paper/Session%202A%20Biological%20Systems/Bialka.pdf (Accessed 21 May 2006)

Bibek, Ray. 1996. **Fundamental Food Microbiology**. Boca Raton : CRC Press.

Block, S.B. 1991. **Peroxygen compounds, In Disinfection, Sterilization and Preservation.** 4th. Philadephia : Lea&Febiger.

Bolin, H.R. 1997. "Factors affecting the storage stability of shredded lettuce." **Journal of Food Science**. 42(5) : 1319-1321.

Bolin, H.R. and Huxsoll, C.C. 1989. "Storage stability of minimally processed fruit." **Journal of Food Biochemistry.** 13 : 281-292.

Bolin, H.R. and Huxsoll, C.C. 1991. "Effect of preparation procedure and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce." **Journal of Food Science.** 56 : 60-62.

Borenstein, B. 1965. "The comparative properties of ascorbic acid and erythorbic acid." **Food Technology.** 19 : 1719.

Brackett, R.E. 1992. "Microbiological safety of chilled foods : Current issues." **Trends in Food Science & Technology.** 3(4) : 81-85.

Broadwater, W.T. Hoehn, R.C. and King, P.H. 1973. "Sensitivity of three selected bacterial species to ozone." **Journal of Applied Microbiology**. 26(3) : 391-393.

Buck, J.W. Walcott, R.R. and Beuchat, L.R. 2003. **Recent trends in microbiological safety of fruits and vegetables, Online Plant Health Progress.** [Online]. Available : http://www.apsnet.org/online/feature/safety/Buck.pdf (Accessed 21 May 2006)

Code of Federal Regulations. 2003. **Hydrogen peroxide, Code of Fed. Reg. 21, Parts 170-199, Section 184.1366, April 1.** Washington D.C. : U.S. Govt. Printing Office.

Davis, H. Taylor, J.P. Perdue, J.N. Stelma, G.N. Humphreys, Jr. M. Rowntree III and Greene K. 1988. "A shigellosis outbreak traced to commercially distributed shredded lettuce." **American Journal of Epidemiology**. 128 : 1312-1321.

Deutsch, John C. 1998. "Ascorbic Acid Oxidation by Hydrogen peroxide." **Analytical Biochemistry**. 255 : 1-7.

Doyle, Michael P. Beuchat, Larry R. and Montville, Thomas J. 1997. **Food Microbiology Fundamentals and Frontiers**. Washington D.C. : ASM Press.

Ewa Hajduk and Krzysztof Surówka. 2005. "The effects washing carrots in solutions of hydrogen peroxide on the microbial and carotenoid quality of juice and salads." **Food Service Technology**. 5(1) : 1-8.

Fain, A.R. 1996. "A review of the microbiological safety to fresh salads." **Dairy Food and Environmental Sanitation.** 16 : 146-149.

Farber, J.M. 1991. "Microbiological aspects of modified atmosphere packaging-a review." **Journal of Food Protection.** 54 : 58-70.

Forney, C.F. Rij, R.E. and Smilanick, J.L. 1991. "Vapor phase hydrogen peroxide inhibits postharvest decay of table grapes." **Horticultural Science**. 26 : 15152-1514.

Garcia, A. Mount, J.R. and Davidson, P.M. 2003. "Ozone and Chlorine Treatment of Minimally Processed Lettuce." **Journal of Food Science**. 68(9) : 2747-2751.

Garge, N. Churey, J.J. and Splittstoesser D.F. 1990. "Effect of processing condition on the microflora of fresh cut vegetable." **Journal of Food Protect.** 53(8) : 701-703.

Graham, D.M. 1997. "Use of ozone for food processing." **Food Technology**. 51(6) : 72-75.

Guzel-Seydim, Z.B. Greene, A.K. and Seydim, A.C. 2003. "Use of ozone in the food industry." **Swiss Society of Food Science and Technology**. 37 : 453-460.

Honnay, R. 1988. Process for improving the preservation of fresh vegetables and fruits. **Europ. Patent** 0 255 814.

Horvath, M. Bilitzky, L. and Huttner, J. 1985. **Ozone**. Amsterdam : Elsevier.

Hurst, W.C. 1995. "Disinfection methods : a comparison of chlorine dioxide, ozone and ultraviolet light alternatives." **Cutting Edge Produce Assn.** 9(4) : 4-5.

Hyun-Gyun Yuk, Mee-Young Yoo, Jae-Won Yoo, Douglas L. Marshall and Deog-Hwan Oh. 2006. "Effect of combined ozone and organic acid treatment for control of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on enoki mushroom." **Food Control**. In Press, Corrected Proof, Available online 4 April. [Online] Available : http://www.sciencedirect.com (Accessed 21 May 2006)

IFT (Institute of Food Technologists). 1990. "Quality of fruits and vegetables. A scientific status summary of IFT expert panel on food safety and nutrition." **Food Technology**. 44 : 99-106.

Inoue Fujio. 2545. **การควบคุมจุลินทรีย์ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร.** แปลโดย สุวิมล กีรติพิบูล และบัณฑิต ประดิษฐานุวงษ์. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ส. เอเซียเพรส.

IFPA (International Fresh-cut Produce Association). 2006. **Fresh-cut Facts**. [Online]. Available : http://www..fresh-cuts.org/index.php?page=100 (Accessed 13 May 2006)

Irtwange, S.V. 2006. **Keeping Freshness in Fresh-Cut Horticultural Produce**. [Online]. Available : http://cigr-ejournal.tamu.edu/submissions/volume8 /Invited%20overview%20Irtwange(4)%2027Feb2006.pdf (Accessed 6 May 2006)

Izumi, Hidemi Watada, Alley E. Ko, Nathanee P. and Willard Douglas. 1996. "Controlled atmosphere storge of carrot slices sticks and shreds." **Postharvest Biology and Technology.** 9 : 165-172.

Jay, J.M. 1992. **Modern Food Microbiology**. 4th. New York : Van Nostrand Reinhold.

Kader, A.A. 1986. "Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables." **Food Technology**. 40(5) : 99-104.

Kader, A.A. Kasmire, R.F. and Thompson, J.F. 1985. **Postharvest technology of horticultural crop, Special Publ**. CA : University of California Davis.

Keda, A. Kawai, Y. and Easki, K. 1998. "Sterilization of vegetables preservated at low temperature with low concentration." **Journal of Society of High Technology in Agriculture**. 10(4) : 237-242.

Kim, J.G. Yousef, A.E. Chism, G.W. 1999. "Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce." **Journal of Food Safety**. 19 : 17-34.

King, A.D. and Bolin, H.R. 1989. "Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables." **Food Technology**. 43 : 132-136.

Klapes, N.A. and Vesley, D. 1990. "Vapor phase hydrogen peroxide as a surface decontaminant and sterilant." **Appl. Environ. Microbiol**. 56 : 503-506.

Langlais, B. Reckhow, D.A. and Brink, D.R. **Practical Application of Ozone, Principle and case Study In "Ozone in Water Treatment"**. Mich : Lewis Publishers Chelsea.

Lenntech. 2006. **Ozone generation**. [Online]. Available : http://www.lenntech.com/ozone/ozone-generation.htm (Accessed 6 May 2006)

Liew, C.L. Prange, R.K. 1994. "Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Caucus carota* L.)." **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 119 : 563-7.

Marrero, A. and Kader, A.A. 2001. "Factors affecting the post-cutting life and quality of minimally processed pineapple." **Acta Hort**. 553 : 705-706.

McConnell, A.L. 1991. Evaluation of wash treatments for the improvement of quality and shelf life of fresh mushrooms. M.S. thesis, Dept. of Food Science, Pennsylvania State University Park.

NACMCF (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods). 1999. "Microbiological safety evaluations and recommendations on fresh produce." **Food Control.** 10 : 117-143.

New Jersey Department of Health and Senior Services. 2003. Hazardous Substance Fact Sheet. [Online]. Available : http://www.state.nj.us/health/eoh/rtkweb/1451.pdf (Accessed 1 May 2006)

Nguyen-the, C. and Carlin F. 1994. "The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables." **Crit. Rev Food Sci. Nutr.** 34(4) : 371-401.

Novak, John S. Sapers, Gerald M. and Juneja, Vijay K. 2003. **Microbial Safety of Minimally Processed Foods**. Boca Raton : CRC Press LLC.

Odumeru, J.A Mitchell, S.J. Alves, D.M. Lynch, J.A. Yee, A.J. Wang, S.L. Styliiadis, S. and Farber, J.M. 1997. "Assessment of the microbiological quality of ready-to-use vegetables for health-care food services." **Journal of Food Protect**. 60(8) : 954-960.

Özkan M. Yemenicioglu A. Asefi N and Cemeroglu B. 2002. "Degradation Kinetics of Anthocyanins from Sour Cherry, Pomegranate, and Strawberry Juices by Hydrogen Peroxide." **Journal of Food Science**. 67(2) : 525-529.

Ozone Solutions. 2006a. **Ozone Properties**. [Online]. Available : http://www.ozoneapplications.com/info/bacteria_destruction.htm (Accessed 20 May 2006)

Ozone Solutions. 2006b. **Ozone Properties**. [Online]. Available : http://www.ozoneapplications.com/info/ozone_properties.htm. (Accessed 20 May 2006)

Paull, R.E. and Rohrbach, K.G. 1982. "Incidence and severity of chilling induced internal browning of waxed "Smooth Cayenne" pineapple." **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 107(3) : 453-457.

Paull, R.E. and Rohrbach, K.G. 1985. "Symptom development of chilling injury in pineapple fruit." **Journal of the American Society for Horticultural Science.** 110 : 100-105.

Piagentini, Andrea M. Mendez, Julio C. Guemes, Daniel R. and Pirovani, Maria E. 2005. "Modeling Changes of sencory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables." **Postharvest Biology and Technology.** 38 : 202-212.

Priepke, P.E. Wei, L.S. and Nelson, A.I. 1976. "Refrigerated storage of prepackaged salad vegetables." **Journal of Food Science.** 41 : 379-384.

Restiano, L. Frampton, E.W. Hemphill, J.B. and Palnikar, P. 1995. "Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms." **Applied and Environmental Microbiology**. 61(9) : 3471-3475.

Rij, R.E. and Forney, C.F. 1995. "Phytotoxicity of vapor phase hydrogen peroxide to Thompson seedless grapes and Botrytis cinerea spores." **Crop. Protection.** 14 : 131-135.

Robert, C.W. 1994. **Minimally processed refrigerated fruit and vegetables.** London : Chapman&Hall.

Rocha, A.M.C.N Brochado, C.M. Kirby, R. and Morais, A.M.M.B. 1995. "Shelf-life chill cut orange detemined by sensory quality". **Food Control.** 6(6) : 317-322.

Rolle, R.S. and Chism, G.W. 1987. "Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables." **Journal of Food Quality**. 10 : 157-177.

Salunkhe, D.K. and Desai, B.B. 1984. **Postharvest biotechnology of vegetables.** Boca Raton : CRC Press.

Sapers, G.M. and Simmons, G.F. 1998. "Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables." **Food Technology**. 52(2) : 48-53.

Sapers, G.M. Fett, W.F. Rajkowski, K.T. Miller, R.L. and Mattrazzo, A.M. 1999a. **Factors Limiting the Efficacy of Decontamination Washes for Fresh Produce**. [Online]. Available : http://wyndmoor.arserrc.gov/Page/2000/6896.pdf (Accessed 11 May 2006)

Sapers, G.M. Miller, R.L. and Miller, F.C. 1994. "Enzymatic control in minimally processed mushrooms." **Journal of Food Science**. 59(5) : 1042-1047.

Sapers, G.M. Miller, R.L. and Simmons, G. 1995. **Effects of hydrogen peroxide treatment on fresh-cut fruits and vegetables**. Inst. of Food Technologists, Anaheim, Calif., June 3-7.

Sapers, G.M. Miller, R.L. Choi, S.-W. and Cooke, P.H. 1999b. "Structure and Composition of Mushrooms as Affected by Hydrogen Peroxide Wash." **Journal of Food Science**. 64(5) : 889-892.

Sapers, G.M. Miller, R.L. Pilizota, V. and Mattrazzo, A.M. 1997. **Disinfection of Apples, Fresh-Cut Melons and Vegetable sprout with Hydrogen Peroxide**. [Online]. Avaible : http://wyndmoor.arserrc.gov/Page/2000/6907.pdf (Accessed 11 May 2006)

Simmon, G.F. 1996. **Horticultural Crops Research Laboratory, Agricultural research service**. Fresno : U.S. Dept. of Agriculture.

Skog, L.J. and Chu, C.L. 2001. "Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage." **Canadian Journal of Plant Science**. 81(4) : 773-778.

Thompson, H.C. and Kelly, W.C. 1957. **Vegetable Crops**. 5th ed.. New York : McGraw-Hill.

Ukuku, Dike O. 2004. "Effect of Hydrogen peroxide treatment on microbial quality and appearance of whole and fresh-cut melons contaminated with *Sallmonella spp.*" **Inter Journal of Food Microbiology**. 95 : 137-146.

Wang, J and Toledo, RT. 1986. "Sporicidal properties of mixtures of hydrogen peroxide vapor and hot air." **Food Technology.** 40(12) : 60-67.

Watada, A.E. Abe, K.A. and Yamauchi, N. 1990. "Physiological activities of partially processed fruits and vegetables." **Food Technology.** 44(5) : 116-122.

Watt, B.K. and Merrill, A.L. 1950. **Composition of foods – raw, processed, prepared. Agricultural Handbook.** 8th. Washingtion DC : USDA.

Wei, C.I. Huang, T.S. and Bartz J.A. 1995. "Growth and survival of *Sallmonella Montevideo* on tomatoes and disinfection with chlorinated water." **Journal of Food Protect.** 58 : 829-836.

Xu, L. 1999. "Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables." **Food Technology**. 53(10) : 58-61.

Yang, S.F. 1985. "Biosynthesis and association of ethylene." **Hort Science**. 20 : 41-45.

Zhang, Likui Lu, Zhaoxin Yu, Zhifang and Gao, Xiang. 2005. "Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water." **Food Control**. 16 : 279-283.

Zhuang, R.Y. Beuchat L.R. and Angulo F.J. 1995. "Fate of *Salmonella Montevideo* on and inraw tomatoes as affected by temperature and treatment with chlorine." **Appl. Environ. Microbiol.** 61 : 2127-2131.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยวิธีเขย่าจาน (shake plate or pour plate)

เป็นการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่ยังคงมีชีวิตอยู่ โดยทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจางลงจนมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่ตรวจนับได้ด้วยวิธีนั้นๆ ได้ถูกต้องแม่นยำและต้องทำให้ตัวอย่างอาหารกระจายอยู่ในน้ำยาสำหรับเจือจาง (diluent) อย่างทั่วถึงจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ซึ่งเรียกตัวอย่างอาหารที่ถูกทำให้เจือจางเป็นเนื้อเดียวกันว่า food homogeneous

การเตรียมและชั่งตัวอย่างอาหาร

ชั่งตัวอย่างอาหารใส่ในถุงที่มีสารละลายเปปโตน 25 กรัม ทำโดยการสุ่มตัวอย่างแล้วทำให้เป็นชิ้นเล็กๆด้วยมีด หรือกรรไกรที่ผ่านการฆ่าเชื้อ จากนั้นนำมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการในภาชนะที่ปราศจากจุลินทรีย์

น้ำยาสำหรับเจือจาง (dilution)

ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.85% หรือสารละลายเปปโตน 0.1% นำน้ำยาสำหรับเจือจางใส่ในขวดแก้ว 225 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ

การเตรียมอาหาร plate count agar

1. ชั่งสารอาหารต่างๆตามสูตรอาหารดังนี้

ทริปโตน	5.0	กรัม
ยีสต์สกัด	2.5	กรัม
กลูโคส	1.0	กรัม
อาการ์	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	กรัม
pH	7.0 ±1.0	

2. นำอาการ์ใส่น้ำลงไปตามส่วนให้ความร้อนจนวุ้นละลาย ใส่ส่วนผสมต่างๆ ให้ละลายเข้ากันดี
3. ปรับ pH เป็น 7 บรรจุอาหาร PCA ลงในขวดบรรจุอาหาร
4. นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน

การเจือจางตัวอย่างอาหารในขั้นต้น

การทำให้อาหารเจือจางในระดับ 1 : 10 เรียกว่า dilution 1 : 10 โดยชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม เทน้ำยาเจือจาง 225 มิลลิลิตร นำไปตีป่นอาหาร โดยใช้เครื่อง stomacher กรณีที่ไม่มีสามารถใช้มือโดยปิดพับปากถุงให้แน่น ใช้มือบีบถุงเพื่อขยี้ให้อาหารแตกละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

การทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจางลงตามลำดับ

มักทำให้เจือจางลงระดับละ 10 เท่า (ten fold serial dilution) โดยใช้ปิเปตปลอดเชื้อดูดตัวอย่างเจือจาง 1 : 10 ในขั้นต้น 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดบรรจุน้ำยาสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่าหลอดด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้า (mixer) ตัวอย่างอาหารในขั้นนี้จะมีความเจือจาง 1 : 100 (10^{-2}) ถ้าต้องการเจือจางในระดับต่อไปคือ 1 : 1000 (10^{-3}) , 1 : 10000 (10^{-4}) เรื่อยไปตามลำดับ ให้กระทำตามวิธีขั้นต้นและควรเปลี่ยนปิเปตใหม่ทุกครั้งในระดับความเจือจางที่ต้องการเตรียม

การตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์โดยวิธีเขย่าจาน

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ standard plate count agar ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วมาทำให้เย็นประมาณ 50 องศาเซลเซียส ใช้ปิเปตดูดอาหารแต่ละความเจือจาง โดยเริ่มจากตัวอย่างที่มีความเจือจางมากที่สุดใส่จานเพาะเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร แต่ละระดับความเจือจาง แต่ละระดับความเจือจางควรทำอย่างน้อย 2 จานและใช้ระดับความเจือจางอย่างน้อย 3 ระดับ โดยเรียงซ้อนกันสี่ใบ ดูดอาหารใส่จานเปล่าใบล่างสุดก่อนแล้วไล่ขึ้นมาจนถึงใบบนสุด เทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานประมาณ 15-20 มิลลิลิตร โดยเริ่มจากจานใบล่างสุดเช่นเดียว เขย่าจานที่ซ้อนกันอยู่ทั้งสี่ใบพร้อมกัน โดยหมุนไปทางขวา 3-4 ครั้ง หมุนไปทางซ้าย 3-4 ครั้ง ทิ้งไว้จนวุ้นแข็ง บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีทั้งหมด คำนวณหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่อกรัมของอาหารจากสูตร

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (เซลล์ต่อกรัม) = จำนวนโคโลนี × ความเจือจางของอาหาร

ภาคผนวก ข

เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร

เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2536)

1. อาหารดิบที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที

1.1 ผัก ผลไม้ที่ล้างแล้วสลัด ส้มตำ เป็นต้น

จุลินทรีย์รวม/กรัม	น้อยกว่า	1×10^6
ยีสต์/กรัม	น้อยกว่า	1×10^4
รา/กรัม	น้อยกว่า	500
MPN *E. coli*	น้อยกว่า	10
Salmonella/25 กรัม	ไม่พบ	

1.2 อาหารทะเลที่เตรียมเพื่อบริโภค เช่น ปลา กุ้ง ปลาหมึก หอยดิบ เป็นต้น

จุลินทรีย์รวม/กรัม	น้อยกว่า	1×10^6
MPN Fecal		
Coliform/กรัม	น้อยกว่า	20
S. aureus/กรัม	น้อยกว่า	100
B. cereus/กรัม	น้อยกว่า	100
V. parahaemolyticus/กรัม	น้อยกว่า	100
C. perfingens/กรัม	ไม่พบ	
Salmonella/25 กรัม	ไม่พบ	
V. cholerae	ไม่พบ	

2. อาหารที่ผ่านกรรมวิธีหรือปรุงสุกแล้ว

2.1 ผักผลไม้ดอง แช่อิ่มแห้ง

ยีสต์/ กรัม	น้อยกว่า	1×10^4
รา/กรัม	น้อยกว่า	500
MPN *E.coli*	น้อยกว่า	3
Salmonella/25 กรัม	ไม่พบ	

2.2 อาหารหมักพื้นเมืองที่เป็นผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ได้แก่ แหนม กะปิ ปลาร้า ปลาจ่อม ส้มฟัก บูดู เป็นต้น

ยีสต์/กรัม	น้อยกว่า	1×10^4
รา/กรัม	น้อยกว่า	500
MPN *E.coli*	น้อยกว่า	10
S. aureus/กรัม	น้อยกว่า	100
B. cereus/กรัม	น้อยกว่า	100

Salmonella/25 กรัม	ไม่พบ	
C. perfingens/กรัม	ไม่พบ	

พยาธิ

2.3 อาหารปรุงสุกทั่วไป ได้แก่ อาหารปรุงสุกสำเร็จ (ประเภทข้าวแกง) ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ยำ น้ำพริกจิ้ม ไส้กรอก หมูยอ ปูอัด cold meat ปลาหมึกปรุงรส ขนม ผลไม้กวน เป็นต้น

จุลินทรีย์รวม/ กรัม	น้อยกว่า	100
MPN Coliforms/กรัม	น้อยกว่า	500
MPN E. coli/กรัม	น้อยกว่า	3
S. aureus/กรัม	น้อยกว่า	100
B. cereus/กรัม	น้อยกว่า	100
C. perfingens/0.01 กรัม	ไม่พบ	
V. parahaemolyticus/25 กรัม	น้อยกว่า	100
Salmonella/25 กรัม	ไม่พบ	

ภาคผนวก ค

การตรวจหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การตรวจหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ชั่งตัวอย่างผัก 50 กรัม หั่นให้มีขนาดเล็ก ใส่ตัวอย่างผักลงในฟาก์สรูปมะเฟือง เติมน้ำกลั่น จำนวน 25 มิลลิลิตร ตีป่นตัวอย่างด้วยเครื่อง MSE Homogenizer เป็นเวลา 30 วินาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทันที ด้วยแผ่นทดสอบ (test strip)

ภาคผนวก ง

การตรวจปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำ

การตรวจปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำ (APHA. 1995)

1. การเตรียมอุปกรณ์

นำเครื่องแก้วที่ใช้ในการในการตรวจวัดปริมาณโอโซนมาไล่โอโซนออกจากเครื่องแก้วก่อน โดยนำเครื่องแก้วมาล้างด้วยน้ำกลั่นก่อน 1 ครั้ง ล้างด้วยน้ำร้อน 1 ครั้ง จากนั้นนำไปเข้าหม้อนึ่งความดัน แล้วนำมาอบให้แห้ง

2. การเตรียมสาร

2.1 น้ำปราศจากโอโซน (ozone-free water)

นำน้ำกลั่นมาใส่ในหม้อนึ่งความดัน (autoclave) เพื่อไล่โอโซนออกไป

2.2 สารละลายสต๊อคอินดิโก (Indigo stock solution)

2.2.1 เตรียมสารตามสูตรดังนี้

น้ำกลั่น (ozone-free water)	500	มิลลิลิตร
ฟอสโฟริกแอซิด	1	มิลลิลิตร
โพแทสเซียมอินดิโกไตรซัลโฟเนท ($C_{16}H_7N_2O_{11}S_3K_3$)	770	มิลลิลิกรัม

2.2.2 ผสมทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร Indigo stock solution นี้สามารถเก็บได้ 4 เดือน เมื่อเก็บไว้ในที่มืด

2.3 อินดิโกรีเอเจนท I (Indigo reagent I)

2.3.1 เตรียมสารตามสูตรดังนี้

สต๊อคอินดิโก	20	มิลลิลิตร
โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4)	10	กรัม
ฟอสโฟริกแอซิด	7	มิลลิลิตร

2.3.2 ผสมทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร

2.4 อินดิโกรีเอเจนท II (Indigo reagent II)

2.4.1 เตรียมสารตามสูตรดังนี้

สต๊อกอินดิโก	100	มิลลิลิตร
โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4)	10	กรัม
ฟอสโฟริกแอซิด	7	มิลลิลิตร

2.3.2 ผสมทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

3. วิธีวัดปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1 ปริมาณโอโซนอยู่ในช่วง 0.01-0.1 mg O_3/L

เติมสารละลายอินดิโกรีเอเจนท I ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็นแบงค (blank)

3.2 ปริมาณโอโซนอยู่ในช่วง 0.05-0.5 mg O_3/L

เติมสารละลายอินดิโกรีเอเจนท II ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แทนอินดิโกรีเอเจนท I ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็นแบงค (blank)

3.3 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ปิเปตดูดตัวอย่างเติมในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิโกรีเอเจนทปริมาตร 10 มิลลิลิตร จนมีสีฟ้าจาง นำไปที่วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600±5 นาโนเมตร โดยใช้ความกว้างของเซลล์ 10 เซนติเมตร

4. คำนวณหาปริมาณโอโซน

การคำนวณหาปริมาณโอโซนตามสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณโอโซน (mg } O_3\text{/L)} = \frac{(A_B \times V_B) - (A_S \times V_T)}{f \times b \times V_S}$$

ค่าตัวแปร :

A_B = ค่าการดูดกลืนแสงของแบงค

A_S = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

V_B = ปริมาตรของแบงคบวกปริมาตรอินดิโก (มิลลิลิตร)

V_T = ปริมาตรรวมของตัวอย่างบวกปริมาตรอินดิโก (มิลลิลิตร)

V_S = ปริมาตรของตัวอย่าง

f = 0.42

b = ความกว้างของเซลล์ (เซนติเมตร)

ภาคผนวก จ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำผักแต่ละถุงมาทดสอบทางประสาทสัมผัสในเรื่อง สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับ

การเตรียมตัวอย่าง

1. สุ่มรหัสตัวเลขจากตารางเลขสุ่มเพื่อใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ
2. ติดรหัสตัวเลขที่ได้กับภาชนะที่ใส่ตัวอย่างซึ่งต้องการทดสอบ
3. จัดวางตัวอย่างอาหารลงในภาชนะ
4. เสริฟตัวอย่างอาหารและแผ่นให้คะแนน (score sheet) ให้ผู้ที่จะทดสอบ และตัดสินผลการทดสอบในแผ่นให้คะแนน
5. นำแผ่นให้คะแนนมาถอดรหัสตัวเลขและตรวจสอบผลการทดสอบที่ได้
6. รวบรวมผลคะแนนที่ได้จากแต่ละตัวอย่างและวิเคราะห์ผลข้อมูล

แบบทดสอบ

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของสลัดผักซึ่งผ่านการแปรรูปเบื้องต้น

วันที่.....

กรุณาให้คะแนนสลัดผักตามความชอบโดยการให้คะแนนมีระดับต่างๆดังนี้

5 = ชอบมากที่สุด

4 = ชอบเล็กน้อย

3 = เฉย

2 = ไม่ชอบเล็กน้อย

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง	สี (color)	กลิ่น (odor)	เนื้อสัมผัส (texture)	การยอมรับ (acceptance)

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก ฉ

แสดงความเข้มข้นของโอโซนขณะใส่ผัก

การศึกษาปริมาณโอโซนที่เหลือในน้ำหลังใส่ผัก

เตรียมน้ำกลั่นที่ปราศจากโอโซนปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ต่อเข้ากับเครื่องโอโซน คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) แล้วตรวจวัดปริมาณโอโซนด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (ภาคผนวก ค) เมื่อเปิดเครื่องโอโซนครบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใส่มะเขือเทศ น้ำหนัก 100 กรัม ทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างในน้ำขณะเปิดเครื่องต่อที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที และขณะปิดเครื่องที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

ตาราง ฉ1 แสดงความเข้มข้นของโอโซนขณะใส่มะเขือเทศ น้ำหนัก 100 กรัม

กลุ่ม	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของโอโซนตกค้าง (มิลลิกรัม/ลิตร)
ปิดเครื่อง/แช่ผัก	5	0.021
	10	0.003
	15	0.003
	20	0.001
เปิดเครื่องต่อ/แช่ผัก	5	0.056
	20	0.048
	15	0.050
	20	0.040

ภาคผนวก ช

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง ช1 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
ไม่ล้าง	2.96[a]	3.12[a]	3.32[a]	3.54[a]
น้ำประปา	2.76[b]	2.84[a]	3.01[a]	3.22[b]
น้ำเย็น (10°ซ)	2.71[b]	2.88[a]	3.16[a]	3.24[b]
H_2O_2 5%	2.68[b]	2.71[b]	2.79[b]	2.82[c]

ตาราง ช2 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างน้ำกรอง น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
ไม่ล้าง	7.20[a]	7.43[a]	7.44[a]	7.59[a]
น้ำประปา	6.27[b]	6.18[b]	6.79[b]	6.81[b]
น้ำเย็น (10°ซ)	6.29[b]	6.50[b]	6.87[b]	6.60[b]
H_2O_2 5%	5.36[c]	5.66[c]	5.75[c]	5.88[c]

ตาราง ช3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่างๆกัน

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
บรรจุทันที	3.01[a]	3.25[a]	3.37[a]	3.41[a]
รอบรรจุ 30 นาที	2.68[a]	3.38[a]	3.41[a]	3.46[a]
รอบรรจุ 60 นาที	2.10[b]	2.16[b]	2.19[b]	2.23[b]
รอบรรจุ 90 นาที	1.49[c]	1.69[b]	1.76[b]	1.86[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ช4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นที่เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่างๆกัน

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
บรรจุทันที	5.25^{a}	5.87^{a}	5.95^{a}	6.24^{a}
รอบรรจุ 30 นาที	4.82^{b}	4.85^{b}	5.16^{b}	5.28^{b}
รอบรรจุ 60 นาที	4.44^{b}	4.56^{b}	4.84^{c}	4.97^{b}
รอบรรจุ 90 นาที	4.65^{b}	4.69^{b}	4.75^{c}	4.77^{b}

ตาราง ช5 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างรอจำหน่ายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)						
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
5	1.70	1.75^{ns}	1.93^{ns}	1.93^{a}	2.03^{a}	2.20^{a}	3.14^{a}
8	1.70	1.87^{ns}	2.00^{ns}	2.23^{a}	2.67^{b}	2.99^{b}	4.71^{b}
12	1.70	1.93^{ns}	2.17^{ns}	3.13^{b}	5.02^{c}	5.23^{c}	6.22^{c}

ตาราง ช6 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างรอจำหน่ายที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
5	4.48^{ns}	4.54^{ns}	4.87^{ns}	5.24^{a}
8	4.48^{ns}	4.91^{ns}	5.01^{ns}	5.59^{a}
12	4.48^{ns}	5.29^{ns}	5.41^{ns}	6.03^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ช7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแตงร้านหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 9	วันที่ 11
น้ำกลั่น	1.59^{a}	1.85^{a}	2.98^{a}	3.74^{a}	4.05^{a}	4.67^{a}
โอโซนปิดเครื่อง	1.33^{b}	1.73^{b}	2.68^{b}	3.27^{ab}	3.33^{b}	3.98^{ab}
โอโซนเปิดเครื่อง	1.04^{c}	1.15^{c}	2.53^{b}	2.53^{b}	3.09^{b}	3.13^{b}

ตาราง ช8 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมหลังแช่โอโซนขณะเปิดและปิดเครื่อง

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/g)			
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
น้ำกลั่น	6.17^{a}	6.33^{a}	6.61^{a}	6.81^{a}
โอโซนปิดเครื่อง	6.12^{a}	6.23^{b}	6.39^{b}	6.75^{a}
โอโซนเปิดเครื่อง	6.01^{b}	6.10^{c}	6.21^{c}	6.49^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิยนันท์ มิตรอุดม เกิดวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาชีววิทยา จากมหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2343 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร ในปีการศึกษา 2546 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549