ผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการวางจำหน่าย มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

EFFICACY OF HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE ON MICROORGANISM AND SHELF-LIFE OF MINIMALLY PROCESSED TOMATO AND ONION

ดวงกมล สระน้ำ

DUANGKAMOL SARNUM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-15-2510-9

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการวางจำหน่าย มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

EFFICACY OF HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE ON MICROORGANISM AND SHELF-LIFE OF MINIMALLY PROCESSED TOMATO AND ONION

ดวงกมล สระน้ำ

DUANGKAMOL SARNUM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2510-9

EFFICACY OF HYDROGEN PEROXIDE AND OZONE ON MICROORGANISM AND SHELF-LIFE OF MINIMALLY PROCESSED TOMATO AND ONION

DUANGKAMOL SARNUM

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

ISBN 974-15-2510-9

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการวางจำหน่ายมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น
นักศึกษา	นางสาวดวงกมล สระน้ำ
รหัสประจำตัว	46067908
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ และอายุการวางจำหน่าย มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า การล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ บรรจุในถุงสุญญากาศ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ประมาณ 1.99 log CFU/g และ 1.34 log CFU/g ตามลำดับ มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน และ 6 วันตามลำดับ มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.5 ppm ในทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง และสลายหมดไปภายในเวลา 15 นาที ไม่ว่าจะล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยน้ำกลั่นหรือไม่ล้าง การศึกษาผลของเวลาล่าช้าก่อนการบรรจุโดยมีระยะเวลาคือ บรรจุทันที เวลารอบรรจุ 30 60 และ 90 นาที พบว่า เวลารอบรรจุไม่ควรนานเกิน 30 นาที เพราะสามารถชะลออัตราการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเวลารอบรรจุ 60 และ 90 นาที ($P \leq 0.05$) การศึกษาผลการจำลองการขนส่งที่อุณหภูมิการขนส่ง 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 8 และ 12 องศาเซลเซียส สามารถลดอัตราการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่การเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นคือ 5.4 log CFU/g และมีอายุการวางจำหน่าย 5 วัน หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.3 log CFU/g และมีอายุการวางจำหน่าย 6 วัน การล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 0.08 ppm สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น โดยมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 0.62 log CFU/g มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 0.5 log CFU/g มีอายุการเก็บรักษา 7 วันตามลำดับ

Thesis Title	Efficacy of Hydrogen peroxide and Ozone on Microorganism and Shelf-life of Minimally Processed Tomato and Onion
Student	Miss Duangkamol Sarnum
Student ID.	46064908
Degree	Master of Science
Programme	Food Sanitation
Year	2006
Thesis Adisor	Assoc. Prof. Dr. Ratiporn Haruenkit

ABSTRACT

This study was conducted to determine the efficacy of hydrogen peroxide on microbiological load and shelf-life of minimally processed tomato and onion. The results showed that tomato and onion washed in 5% H_2O_2 solution and packed under vacuum reduced aerobic plate count in tomato and onion by 1.99 log CFU/g and 1.34 log CFU/g respectively. The storage life of tomato and onion were 5 and 6 day respectively. The residued hydrogen peroxide in treated slices tomato and onion were tested by peroxide test strips and it was less than 0.5 ppm and undetectable within 15 minutes with or without rinsing by water. Study on delay times before vacuum packing were conducted at 0, 30, 60 and 90 minutes. It was found that the dalay time before packing should not over 30 minutes which showed the result on significantly reduction of aerobic plate count ($P \leq 0.05$). The transportation model was designed at 5 degree celcius for 3 hours and then storage at 5, 8 and 12 degree celcius. The best storage temperature were found during storage at 5 degree celcius the aerobic plate count and quality of vegetable were significantly accepted ($P \leq 0.05$). The shelf-life of slices tomato and onion were 5 and 6 days respectively and the aerobic plate count in tomato and onion were 5.4 log CFU/g and 5.6 log CFU/g respectively. Washing of sliced tomato and onion in ozonated water at 0.08 ppm could reduce the aerobic plate count by 0.62 log CFU/g and 0.52 log CFU/g respectively. The shelf life of sliced tomato and onion were 5 and 7 days respectively.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องด้วยได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ที่ได้ให้เกียรติและกรุณาเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และกรุณามอบความรู้ รวมทั้งคำปรึกษา คำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัยของข้าพเจ้า ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พอใจ ถามากร ที่ได้ให้เกียรติและกรุณาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี เพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้การสนับสนุน ความปรารถนาดี ตลอดจนกำลังใจในทุกๆ เรื่องที่มีเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

ดวงกมล สระน้ำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VIII

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.3 วัตถุประสงค์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ความหมายของผัก 3

2.2 การแปรรูปผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น 4

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีของผักแปรรูปเบื้องต้น 5

2.4 การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ของผักแปรรูปเบื้องต้น 8

2.5 ปัญหาในการเตรียมผักแปรรูปเบื้องต้น 10

2.6 การยืดอายุการเก็บรักษาและการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในผักแปรรูปเบื้องต้น 12

2.8 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 16

2.9 โอโซน 25

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 39

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ 39

3.2 วิธีการทดลอง 40

3.3 แผนการศึกษา 41

3.4 วิธีวิเคราะห์ 44

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 47

4.1 ผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น 47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างหลังการล้างมะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....51
4.3 ผลการศึกษาของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดใน มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น.....53
4.4 ผลการศึกษาหาอายุการวางจำหน่ายโดยการจำลองการขนส่ง และ การเก็บรักษา มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น.....56
4.5 ผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ ด้วย สารละลายโอโซนต่อ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น..... 61

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองข้อเสนอแนะ 71

ข้อเสนอแนะ.....73

บรรณานุกรม 74

ภาคผนวก 82
ก. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาทางอาหาร.....83
ข. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด.....85
ค. การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง.....88
ง. การวิเคราะห์ปริมาณโอโซนตกค้าง (Residual) ในน้ำ.....90
จ. การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....93
ฉ. ผลการทดลอง 96
ช. ภาพแสดงสภาวะต่างๆในการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วย สารละลายโอโซน.....100
ซ. ระยะการสุกของมะเขือเทศ.....103
ฌ. ภาพแสดงวิธการจำลองการขนส่งมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น.....105

ประวัติผู้เขียน 107

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อัตราการหายใจของผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น เปรียบเทียบกับผักและผลไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิต่างๆ....6

2.2 ค่า pH ของผักบางชนิด....8

2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักแปรรูปเบื้องต้นชนิดต่าง....10

2.4 แนวปฏิบัติของอุณหภูมิและเวลาในการแปรรูปผักแปรรูปเบื้องต้น....12

2.5 อัตราการหายใจของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน....13

2.6 สมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์....16

2.7 ค่ารีดักชัน-ออกซิเดชันของสารออกซิไดซ์บางชนิด....17

2.8 แสดงปริมาณสูงสุดของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(เปอร์เซ็นต์) ในอาหารชนิดต่างๆ และวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน....20

2.9 แสดงปริมาณตกค้างสูงสุดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อนุญาตให้มีได้เพื่อวัตถุประสงค์ การใช้งานต่าง ๆ กัน....21

2.10 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของสปอร์ *Bacillus subtilis*....22

2.11 การเปรียบเทียบค่า pH กับเวลา (นาที) ที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของสปอร์ *Bacillus subtilis*....24

2.12 ค่า *D* value ของจุลินทรีย์แต่ละชนิดกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์....25

2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าการละลายของโอโซนในน้ำ....27

2.14 ค่าความต่างศักย์รีดอกซ์ของตัวออกซิไดซ์ ชนิดต่างๆ....27

2.15 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบโดยโอโซนในน้ำ....29

2.16 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกโดยโอโซนในน้ำ....29

2.17 การยับยั้งไวรัสโดยโอโซนในน้ำ....29

2.18 ชนิดของ Initiation, Promoters และ Scavengers ที่สำคัญและมีผลต่อการสลายตัวของโอโซน....31

4.1 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน....48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.2 ลักษณะทางกายภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นเมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆกัน.....50

4.3 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ภายหลังการล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....52

4.4 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา.....58

4.5 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา.....59

4.6 ความเข้มข้นของโอโซนตกค้าง ที่ให้ก๊าซโอโซน นาน 60 นาที ด้วยเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะปิดและเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน.....63

4.7 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซน ที่สภาวะต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....66

4.8 ลักษณะทางกายภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซนที่สภาวะต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....67

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 17
2.2 โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน 26
2.3 ปฏิกิริยาการแตกตัวของโอโซนในน้ำ 30
2.4 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนในน้ำ.....31
2.5 ปฏิกิริยาการเกิดโอโซนภายใต้สนามไฟฟ้า.....32
2.6 เครื่องกำเนิดโอโซนด้วยวิธีโคโรน่าดิสชาร์จ.....33
2.7 แสดงการออกซิเดชันของ Indigo trisulfate โดยโอโซน.....34
3.1 แสดงมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น.....46
3.2 แสดงหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น.....46
4.1 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศา เซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน.....48
4.2 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศา เซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน 49
4.3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ที่บรรจุทันทีและเวลาล่าช้าก่อนบรรจุ นาน 30 60 และ 90 นาทีเมื่อ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ กัน.....54
4.4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่บรรจุทันที และเวลาล่าช้าก่อนบรรจุ นาน 30 60 และ 90 นาทีเมื่อ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ กัน.....55
4.5 แสดงอุณหภูมิในกล่องโฟมที่สภาวะจำลองการขนส่ง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....56
4.6 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ภายหลังการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิต่างๆ กัน..... 57
4.7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ภายหลังการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิต่างๆ กัน.....59
4.8 แสดงความสัมพันธ์ ของความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกับเวลาที่ให้ก๊าซโอโซน 62
4.9 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ผ่านการล้างด้วยโอโซน ที่สภาวะต่างๆกัน เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศา เซลเซียสระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน.....65
5.0 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ผ่านการล้างด้วย สารละลาย โอโซนที่สภาวะต่างๆกัน เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศา เซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน 67

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

CFU/g	=	colony forming unit per gram
ppm	=	part per million
A_w	=	water activity
°C	=	degree celcius

บทที่ 1
บทนำ

ผักและผลไม้มีโอกาสปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคตั้งแต่ การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการจัดจำหน่าย (Beuchat, 1998) กระบวนการแปรรูปเบื้องต้น (Minimally processed) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ใช้แปรรูปผักและผลไม้ เพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และเพิ่มความสะดวกในการบริโภค อย่างไรก็ตามขั้นตอนในกระบวนการตัดแต่ง เช่น การปอกเปลือกและการหั่นชิ้น มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเสียหายง่าย ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์ ส่งผลให้เนื้อเยื่อผักและผลไม้ที่ผ่านการตัดแต่งเน่าเสียเร็วขึ้น มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น และง่ายต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ (Wiley, 1994) อุตสาหกรรมผักและผลไม้สดแปรรูปเบื้องต้นเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้อย่างมากต่อเศรษฐกิจของโลกปัจจุบัน ขณะเดียวกันได้มีการสนใจถึงความปลอดภัยของผักผลไม้ และวิธีการปฏิบัติ ในการเก็บรักษาเพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคจากผักและผลไม้สู่คนมากขึ้น (Sapers, 2002) เทคโนโลยีดั้งเดิมใช้น้ำหรือน้ำผสมสารฆ่าเชื้อเพื่อล้างผักและผลไม้ และสารทำความสะอาดที่นิยมใช้ในการทำความสะอาดผักและผลไม้มากที่สุดคือ คลอรีน แต่คลอรีนมีข้อจำกัดในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนผิวของผักและผลไม้สด หน่วยงานสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (EPA) ได้แสดงข้อคิดเห็นเกี่ยวกับสารตกค้างที่ผิวของผักและผลไม้จากคลอรีนที่ไม่สามารถกำจัดได้และทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง คือ ไตรฮาโลมีเธน (Trihalomethanes: THMs) และสารเคมีตกค้างในน้ำเสียที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม (Cherry, 1999) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ตัวอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลง และมีประสิทธิภาพทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีแทนสารเคมีดั้งเดิมเช่น สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซนเป็นทางเลือกใหม่ในการล้างผักและผลไม้ (Sapers, 2002) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นลงได้ 3 logCFU/g โดยไม่ทิ้งสารตกค้างบนผลิตภัณฑ์ และได้รับการรับรองความปลอดภัย(GRAS) ในการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเป็นสารฟอกสี (Blanching agents) สารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) และสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial) (CER184.1366, 2002) สารละลายโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพ และได้รับรองความปลอดภัย (GRAS)ในการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งยังสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคจากอาหารได้ดีกว่าคลอรีน สามารถแตกตัวเป็นออกซิเจนอย่างง่าย และไม่มีสารตกค้างในการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร (Sapers, 2002) จะเห็นได้ว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารละลายโอโซนมีความเหมาะสม ในการนำมาใช้ล้างผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น เนื่องจากเป็นสารฆ่าเชื้อที่มีคุณสมบัติดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้นำสารละสายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

และ สารละลายโอโซนมาใช้ในการล้างผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ และหาอายุการวางจำหน่ายผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตผักสลัดแปรรูปเบื้องต้น รวมถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการนำมาใช้ ซึ่งจะเป็นผลดีต่ออุตสาหกรรมผักสลัดแปรรูปเบื้องต้นในอนาคต

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่าย ปริมาณตกค้างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลของเวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ศึกษาหาอายุการวางจำหน่ายโดยการจำลองการขนส่ง และการเก็บรักษา เพื่อปรับปรุงคุณภาพและอายุการวางจำหน่ายมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น
2. ศึกษาปริมาณตกค้างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่
3. ศึกษาผลของเวลาล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น
4. ศึกษาหาอายุการวางจำหน่ายโดยการจำลองการขนส่ง และการเก็บรักษา มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น
5. ศึกษาผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วย สารละลายโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของผัก

ผัก หมายถึง เนื้อเยื่อส่วนใดของพืชที่มีลักษณะอ่อนสามารถนำมาบริโภคได้ เช่น ลำต้น ใบ ก้าน ยอดอ่อน หน่อ ดอก ผล เมล็ด ราก ฯลฯ เป็นแหล่งอาหารที่มีองค์ประกอบจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ได้แก่ วิตามิน และเกลือแร่ รวมถึงแป้งและน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแก่ร่างกายเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ช่วยให้ระบบกลไกต่างๆ ของร่างกายดำเนินเป็นปกติ และทำให้ร่างกายมีความต้านทานต่อโรคภัยต่างๆ ลักษณะการบริโภคผักอาจมีความแตกต่างกันไปตามความต้องการ เช่น การบริโภคโดยทำให้สุกก่อนหรือการบริโภคสด (Salunkhe and Kadam, 1998) สำหรับผักที่นิยมนำมาบริโภคสดโดยผ่านการแปรรูป (Schlimme, 1995) ได้แก่ผักดังต่อไปนี้

2.1.1 มะเขือเทศ (Tomato)

มะเขือเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Lycopersicon esculentum* Mill. เป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกาที่คนพื้นเมืองใช้เป็นอาหาร มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มักใช้ผลแก่ในการบริโภค (Salunkhe and kadam, 1998) มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุก ปลูกได้ตลอดปีในประเทศไทย ใช้รับประทานสดและแปรรูป มักเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 85-90 วัน ในประเทศไทยปลูกมะเขือเทศหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ มข พันธุ์โรมา VF พันธุ์ VF 134-1-2 พันธุ์คิงคอง พันธุ์ซานมาซาโน X คาล-เจ และพันธุ์รับประทานสดได้แก่ พันธุ์ท้อ พันธุ์สีดา พันธุ์สีดา มก พันธุ์สีดาห้างฉัตร พันธุ์เชอร์รี่ พันธุ์มาสเตอร์เบอร์ 3 พันธุ์ฟลอราเดล พันธุ์มาโกลบ พันธุ์แอล 22 พันธุ์คาลิปโซ และ พันธุ์เอลเตอร์ (จริงแท้, 2537)

2.1.2 หอมหัวใหญ่ (Onion)

หอมหัวใหญ่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium cepa* Linn. วงศ์ Alliaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณตอนกลางทวีปเอเชียหรือทางตะวันตกของทวีปเอเชีย ในทางอาหารใช้หอมหัวใหญ่แต่งกลิ่นอาหารได้หลายชนิด เป็นเครื่องเทศที่มีรสเผ็ดร้อน หอมหัวใหญ่เป็นพืชที่ฉ่ำน้ำเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงต้องระมัดระวังเรื่องการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การขนส่ง ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Brewster, 1994) โดยทั่วไปชาวไร่มักนำหอมหัวใหญ่ทั้งหัวแขวนตากแดดก่อนนำออกสู่ตลาด ทำให้ความชื้นหอมหัวใหญ่ลดลง พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยคือ พันธุ์กราเน็กซ์ พันธุ์เดลเซก พันธุ์เอสโกร พันธ์ซุปเปอร์เร็กซ์ (จริงแท้, 2537)

2.2 การแปรรูปผักและผลไม้เบื้องต้น

2.2.1 ความหมายผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น (Minimally Processed Fruits and Vegetables)

จริงแท้ (2537) ให้คำจำกัดความของการแปรรูปเบื้องต้นผักและผลไม้สดว่า "การแปรรูปเบื้องต้นผักและผลไม้สด" หมายถึง การปฏิบัติการใดๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก การตัดแบ่ง การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ การบรรจุ ฯลฯ โดยที่ผักและผลไม้สดยังมีชีวิตอยู่" Roll and Chism (1987) กล่าวว่า "การแปรรูปเบื้องต้นผักและผลไม้สด หมายถึง การใช้ปฏิบัติการหน่วยย่อยทั้งหมดในการแปรรูปผักและผลไม้ เช่น ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นหรือตัดเป็นชิ้น" ขณะที่ Wiley (1994) กล่าวว่า "ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น หมายถึง การปฏิบัติใดๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้เพียงหนึ่งหรือหลายกระบวนการที่เหมาะสม เช่น การล้างทำความสะอาด การปอก การตัดแต่ง การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ การบรรจุ โดยที่ผักและผลไม้ยังมีชีวิตอยู่ การแปรรูปลักษณะนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคและเน่าเสียเร็วกว่าปกติ ซึ่งตรงข้ามกับการแปรรูปทั่วไป" ถึงแม้ว่า คำจำกัดความของการแปรรูปเบื้องต้นผักและผลไม้สดของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ในการแปรรูปเบื้องต้นผักและผลไม้สดเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ นำเสนอผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการนำไปใช้ พร้อมบริโภค คงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัส รวมทั้งรักษาคุณลักษณะและคุณภาพให้ใกล้เคียงของสด

2.2.2 จุดมุ่งหมายของการผลิตผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น

จุดมุ่งหมายของการผลิตผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น(Wiley, 1994) มีดังนี้

2.2.1.1 ให้ผู้บริโภคได้บริโภคผักและผลไม้ในสภาพใกล้เคียงอาหารสด เนื่องมาจากความต้องการของผู้บริโภคในด้านคุณค่าอาหารและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.2.1.2 ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่น การบรรจุแบบ MAP (Modified atmosphere packaging) ซึ่งจะปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เช่น ในถั่วแขกจะลดก๊าซออกซิเจนให้มี 2-3 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มี 5-10 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมีผลทำให้ลดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทธิลีน ทำให้กระบวนการเปลี่ยนสีและการเน่าเสียเกิดช้าลง

2.2.1.3 เพิ่มความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ในการล้างโดยน้ำยาฆ่าเชื้อโรค จะลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

2.2.1.4 เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้บริโภค

2.2.3 ตัวอย่างการแปรรูปผักและผลไม้สดแปรรูปเบื้องต้น

2.2.3.1 ผักสลัด

ในต่างประเทศการใช้ผักชนิดต่างๆ หั่นเป็นริ้ว หรือชิ้นเล็กๆ เพื่อการบริโภคเป็นผักสลัดโดยตรง หรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารบางอย่างเป็นที่นิยมมาก ในปัจจุบันจึงมีผักหลายชนิด เช่น ผักกาดหอมห่อ กะหล่ำปลี มะเขือเทศ และหอมใหญ่ หั่นเป็นชิ้นลักษณะต่างๆ บรรจุถุงพลาสติกส่งขายให้ภัตตาคารหรือร้านอาหารต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย ปัญหาที่สำคัญของการเตรียมผักสลัดแปรรูปเบื้องต้นคือ การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันปัญหาเหล่านี้อย่างดี โดยการบรรจุสภาพสุญญากาศเพื่อลดก๊าซออกซิเจน นอกจากนั้นยังใช้ CO_2 และ CO บรรจุลงในถุงบรรจุผักสลัดอีกด้วย เพื่อช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำใกล้ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา (Robert, 1994)

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผักแปรรูปเบื้องต้น

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของเนื้อเยื่อพืชมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของผักแปรรูปเบื้องต้นดังนี้

2.3.1 การหายใจและการผลิตเอทธิลีน

ผักแปรรูปเบื้องต้นมีการปอกเปลือก ตัดแต่ง และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอากาศ จึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้สดทั้งผล แสดงดังตารางที่ 2.1 ดังนั้นผักแปรรูปเบื้องต้นจึงเน่าเสียง่ายกว่าผักที่ไม่ผ่านการแปรรูป (Huxsoll and Bolin, 1989) การหายใจที่เพิ่มมากขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของเอทธิลีน Watada และ Qi (1999) พบว่า ผลกีวีฟรุตที่ปอกเปลือกมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าผลปกติ สตรอเบอร์รี่ และสาลี่ ที่หั่นแล้วมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 2.5 องศาเซลเซียส และอัตราการหายใจดังกล่าวยังขึ้นกับชนิดผลิตผลและวัย เช่น การหั่นมะเขือเทศวัย Breaker-stage ทำให้มีการผลิตเอทธิลีนเพิ่มขึ้น 3-4 เท่าเมื่อเทียบกับมะเขือเทศปกติ (Mencarelli et al., 1989) นอกจากนี้อัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนของผักแปรรูปเบื้องต้นยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะการตัดและการหั่น สภาพบรรยากาศและอุณหภูมิในการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนมีผลในการเร่งการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ ดังนั้นเมื่ออัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ปริมาณของสารต่างๆที่อยู่ภายในเซลล์มีปริมาณลดลงส่งผลให้ผลิตผลเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว (Brecht, 1995)

ตารางที่ 2.1 อัตราการหายใจของผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น เปรียบเทียบกับผักและผลไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิต่างๆ

ชนิดพืช	วิธีการ	อัตราการหายใจ ($mgCO_2/kg/h^{-1}$)			
		0 °C	5°C	10°C	20°C
พริกหวาน	ทั้งผล	2.7	4.3	13.0	68
	หั่น	3.4	5.4	14.0	105
มะเขือเทศ	ทั้งผล	7.0	8.0	4.7	20.2
	หั่น	7.0	6.0	10.0	35.0
แครอท	ทั้งผล	2.4	8.6	5.2	-
	หั่น	7.6	7.0	10.0	-
กีวีฟรุต	ทั้งผล	1.6	2.3	8.6	22.0
	หั่น	1.4	3.0	23.3	76.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Watada และคณะ (1990)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

ผักและผลไม้สดมี Protective layer เช่น เปลือกหรือผิวที่แข็ง และมีสารพวกไขเคลือบภายนอกอีกชั้นหนึ่ง เพื่อช่วยป้องกันอันตรายจากภายนอกและลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งเปลือกชั้นนอกนี้จะช่วยป้องกันเซลล์หรือเนื้อเยื่อภายในที่อ่อนนุ่มกว่า แต่ในระหว่างกระบวนการผลิตผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้นจะมีการปอกเปลือกภายนอกก่อนเสมอ เซลล์ภายในจะสัมผัสกับอากาศภายนอกทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีดังนี้ (Watada et al., 1990)

2.3.2.1 การเกิดสีน้ำตาล (Browning)

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ลักษณะปรากฏของผักผลไม้แปรรูปเบื้องต้นเปลี่ยนแปลงไป คือ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ โดยเมื่อเซลล์ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการผลิตผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น จะทำให้เอนไซม์ภายในเซลล์สามารถออกมาจับกับสารตั้งต้นได้อย่างอิสระ ทำให้เกิดสารประกอบที่มีสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้บางชนิดได้ (Friedman, 1996) เอนไซม์สำคัญที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้คือ Polyphenol oxidase หรือ PPO เมื่อผักและผลไม้สดถูกหั่นเป็นชิ้น เนื้อเยื่อเซลล์ถูกทำลาย และสัมผัสกับอากาศโดยตรง จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง Phenolic compounds กับก๊าซออกซิเจน โดยมีเอนไซม์ Polyphenol oxidase เป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดสีน้ำตาลของ Melanin (Walker, 1995) ปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังกล่าวใช้เป็นดัชนีในการวัดการเกิดสีน้ำตาลของผลิตผลได้ (Heimdal et al., 1995) ดังนั้นระดับความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาล จึงสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ และปริมาณของสารประกอบฟีนอล การเกิดสีน้ำตาล เป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สำคัญของผักแปรรูปเบื้องต้น อาการ

ดังกล่าวเป็นปัจจัยที่จำกัดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้น (Friedman, 1996) และเป็นปัญหาหลักของผักแปรรูปเบื้องต้นที่สำคัญหลายชนิดเช่น กะหล่ำปลี ผักกาดหอมห่อ แอปเปิ้ล ผักกาดขาวปลี นอกจากการเกิดสีน้ำตาล แล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงอื่นๆที่เกิดขึ้นกับผักแปรรูปเบื้องต้น เช่นการเกิดสีขาว(White surface discoloration) ในแครอท การเกิดสีเหลืองในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่มีผลในการกำจัดอายุการเก็บรักษาหรือการยอมรับของผู้บริโภค (Walker, 1995)

2.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

แผลที่เกิดจากการตัด และการหั่นชิ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คือ เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกมากขึ้น องค์ประกอบภายในเซลล์รวมกัน เป็นการเร่งอัตราการหายใจ และการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น เร่งการทำงานของเอนไซม์ กระตุ้นให้มีการสร้างสารเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้ทำให้ผักนุ่มเร็วขึ้น (Abe and Watada, 1991) ส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คือ กลูแคน กาแลกแตน และโปรเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนประกอบของผนังเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผักเริ่มแก่และสุก คือ โปโตเปคติน ที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นเพคตินที่ละลายน้ำ (Buren, 1991) ปริมาณของเซลลูโลสที่เป็นผลึกลดลง กรดกาแลกตูโรนิก (Galacturonic acid) ลดลง ปริมาตรของเซลล์ลดลงและผนังเซลล์บางลง มีการหดตัวของผนังเซลล์ มีปริมาณของกรดยูโรนิกที่อยู่ร่วมกับผนังเซลล์ลดลง และเกิดยูโรไนด์ที่ละลายน้ำได้ (Soluble uronic) เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ผักนิ่มลง (Labavich, 1981) สารประกอบเพคตินถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์โพลีกาแลกตูโรเนส (Polygalacturonase, PG) และเอนไซม์เบต้า - กาแลกโตซิเดส (β-galactosidase) เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ จะเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพคตินชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้เป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ ทำให้ผนังเซลล์สลายตัว มีผลทำให้เนื้อผักนิ่มลง (Lazan and Zainon, 1993)

2.3.2.3 การสูญเสียน้ำ

รอยแผลที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปเป็นสาเหตุให้มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อและชนิดของผัก ดังนั้น การสูญเสียน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้น ภายหลังการแปรรูปควรมีการเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงหรือสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ (Nguyen-the and Carlin, 1994)

2.3.2.3 การเน่าเสีย

การเน่าเสียของผักแปรรูปเบื้องต้น โดยส่วนมากเกิดจากการเข้าทำลายของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (Spoilage bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เป็นชนิดเดียวกับแบคทีเรียในแปลงปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Pseudomnas flurescence* และ *Erwinia carotovora* ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียที่

สำคัญ ที่ทำให้เกิดอาการเน่าของผักทั้งในแปลงปลูกและผักแปรรูปเบื้องต้น แบคทีเรียผลิตเอนไซม์กลุ่ม Pectinolytic (Nguyen-the and Prunier, 1989) ทั้งนี้ระดับความรุนแรง ขึ้นกับชนิดผลิตผลและปริมาณเชื้อเริ่มต้น โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นมีปริมาณต่ำ การเน่าเสียหรือการปนเปื้อนก็เกิดช้าลงและ การทำความสะอาดผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดปริมาณของเชื้อที่ปนเปื้อนในระหว่างการแปรรูป (Osuna et al., 1995)

2.4 การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ของผักแปรรูปเบื้องต้น

การเน่าเสียของเนื้อเยื่อผักแปรรูปเบื้องต้น ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปัจจัยภายในของผักเอง และความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในผักนั้น (Brackett, 1994) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่

2.4.1 ความเป็นกรด หรือ pH ของผัก (Acidity, pH)

ความเป็นกรดของผักมีผลต่อชนิดและความสามารถในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาของผักนั้นๆ ผักส่วนใหญ่มีค่า pH สูงกว่า 4.6 ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าเชื้อราที่ภาวะ pH เช่นนี้ (Brackett, 1994) ค่า pH ของผักบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าpH ของผักบางชนิด

ชนิด	pH
แครอท	4.9
คื่นช่าย	5.6
หอมหัวใหญ่	5.3-5.8
มะเขือเทศ (Ripe)	3.4-4.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brackett (1994)

2.4.2 Water activity (A_w)

ผักส่วนใหญ่มีความชื้นสูงมีค่า A_w อยู่ระกว่าง 0.97 ถึง 0.99 ซึ่งภาวะเช่นนี้ เหมาะแก่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์มาก (Wiley, 1994) เชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญเติบโตในอาหารที่มีค่า A_w แตกต่างกันคือ เชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีค่า A_w อย่างน้อย 0.90 ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีค่า A_w อย่างน้อย 0.87 และเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีค่า A_w ประมาณ 0.80 (Brackett, 1994)

ผักแปรรูปเบื้องต้นง่ายต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ภายหลังการแปรรูปเบื้องต้น ผักมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดประมาณ 10^4-10^6 CFU/g และจากผลการสำรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักแปรรูปเบื้องต้นบางชนิดของ Zhuang และ Farber ในปี ค.ศ.1999 แสดงดังตารางที่ 2.3 แบคทีเรียที่พบในผักโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกับแบคทีเรียที่มาจากแปลงปลูก ซึ่งที่พบได้โดยทั่วไปเช่น *Pseudomonas* spp., *Erwinia herbicola, Erwinia carotovora, Xanthomonas* spp., *Enterobacter agglomerans, Lactic acid bacteria* เฉพาะ *Leuconstoc mesenteroides* และ *Lactobacillus* spp. นอกจากนี้ยังมีรา และยีสต์ชนิดต่างๆ ในกลุ่มของแบคทีเรียที่พบมากในผักคือ *Pseudomonas* โดยมีปริมาณประมาณร้อยละ 50-90 แบคทีเรียที่กล่าวมา จัดเป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่ทำให้เกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียที่มีความสำคัญกับผักแปรรูปเบื้องต้น คือ แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค แบคทีเรียกลุ่มนี้เมื่อเกิดการปนเปื้อนในผักแปรรูปเบื้องต้นสามารถเจริญโตและผลิตสารพิษ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แบคทีเรียในกลุ่มนี้ตัวอย่างเช่น *Samonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Clostridium botulinum* , *Listeria monocytogenes, Shigella* spp. เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ผักแปรรูปเบื้องต้นเกิดการเน่าเสีย (Shewfelt, 1994) ตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ *Aureobasidium pullulans, Fusarium* spp., *Mucor* spp. และ *Rhizopus nigricans* (Huxsoll and Bolin, 1989) โดยปริมาณและชนิดของเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดผลิตผลสภาพการเก็บรักษา แหล่งของผลิตผลวัตถุดิบ สภาพการปลูกและการดูแลรักษาในระหว่างการผลผลิต (Nguyen-the and Carlin, 1994)

การปอกเปลือกและหั่นชิ้นจะช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทางชีวเคมีและยังทำให้เกิดการปนเปื้อนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย นอกจากนี้สารอาหารภายในเซลล์ของผักที่ไหลออกมาตามรอยตัด เป็นแหล่งอาหารสำคัญทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต เอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์ยังสามารถทำลายเนื้อเยื่อพืชได้ โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของเซลลูโลสและเปคติน (Cellulolytic enzyme และ Pectinolytic enzyme) โดยเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ได้ทั้ง 2 ชนิด และมีแบคทีเรียจำนวนหนึ่งที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของเปคตินได้ เช่น *Erwinia, Pseudomonas* และ *Bacillus* มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชนิ่มลง (King and Bolin, 1989)

วิธีการวัดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์มีหลายวิธีวิธีที่นิยมมาก คือ การนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยการใช้ Standard microbial plate count techniques และ อีกวิธีหนึ่งใช้วัดกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์คือการใช้วิธีวัดสารเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เช่น การวัดแอลกอฮอล์ (King and Bolin, 1989)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic Plate Counts) ในผักแปรรูปเบื้องต้นชนิดต่างๆ

ชนิด	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่างตัว	เปอร์เซนต์อย่างที่มีจุลินทีย์ทั้งหมด > 5.7 log CFU/g
แคนตาลูปหั่นชิ้น	3.43 ±0.85	93	0.4
แครอทหั่นเต๋า	4.12 ±0.57	105	0.3
คื่นช่ายหั่นท่อน	5.10 ±0.44	134	8.7
มะเขือเทศหั่นเต๋า	4.78 ±0.61	101	6.6
หอมหัวใหญ่หั่นชิ้น	4.15 ±0.68	556	1.1
กะหล่ำปลีหั่นฝอย	4.33 ±0.65	49	1.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก Zhuang และ Farber (1996)

2.5 ปัญหาในการเตรียมผลิตผลแปรรูปเบื้องต้น

2.5.1 วิธีการตกแต่งชิ้นผัก

ผลิตผลแปรรูปเบื้องต้นอาจจะได้รับการปอกเปลือก ตัด หรือหั่น ออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วแต่ลักษณะของผลิตผลและความต้องการของผู้บริโภค การปฏิบัติดังกล่าวทำให้เซลล์ของผลิตผลถูกทำลาย สารต่างๆ รั่วไหลออกมา น้ำตาลและกรดต่างๆ ซึ่งรั่วไหลออกมาด้วยกลายเป็นอาหารสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ น้ำที่ใช้ล้างหากตกค้างอยู่บนผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้จำเป็นต้องกำจัดออก ถ้าเป็นพวกผัก นิยมใช้การเหวี่ยงเพื่อสะเด็ดน้ำ นอกจากนี้อาจทำให้ผักช้ำและเหี่ยวเนื่องจากการสูญเสียน้ำมากเกินไป (Wiley, 1994)

นอกจากการสูญเสียสารบางอย่างออกมาจากเซลล์แล้ว ผลิตผลเองยังมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆเกิดขึ้นภายในเพื่อรับกับสภาพที่ถูกแปรรูป การหายใจและการสร้างเอทธิลีนที่สูงขึ้นสอดคล้องกับกระบวนการป้องกันตัวเองซึ่งถูกกระตุ้นขึ้น การสร้างสารลิกนินในผนังเซลล์เพื่อปิดบาดแผล การสร้างสารต่อต้านจุลินทรีย์ รวมไปถึงการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาปิดบาดแผล ดังนั้นการแปรรูปผลิตผลจึงต้องทำด้วยความประณีต เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีดที่ใช้ควรเป็นมีดที่คม จากการศึกษาในผักกาดหอมห่อ พบว่ามีดที่ไม่คมจะทำให้ผักที่ซอยแล้วเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ผลไม้ที่ช้ำมาก่อน หรือ ช้ำระหว่างการแปรรูปควรคัดออก เพราะจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Nguyen-the and Carlin, 1994)

2.5.2 การป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

การเปลี่ยนแปลงสีที่สำคัญของผักแปรรูปเบื้องต้น คือ การเกิดสีน้ำตาล เป็นอาการที่เกิดขึ้นบริเวณแผลหรือรอยตัดของผลิตผล โดยเฉพาะในผลิตผลที่มีสารประกอบฟีนอลใน

ปริมาณสูง ซึ่งเมื่อได้สัมผัสกับก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลในที่สุด เช่น ผักกาดหอมห่อ ซึ่งอาการดังกล่าวเป็นปัจจัยที่จำกัดอายุการเก็บรักษา และคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้น การเกิดสีน้ำตาลสามารถป้องกันได้ โดยใช้โซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ เช่น ในมะพร้าวอ่อน กรดแอสคอบิค หรือวิตามินซี แต่ให้ผลดีไม่เท่าการใช้กรดแอสคอบิคร่วมกับซัลไฟต์ ซึ่งพบว่าช่วยลดปริมาณการใช้ซัลไฟท์ได้ถึงร้อยละ 90 (Schlimme, 1995)

2.5.3 การบรรจุ

ผลิตผลแปรรูปเบื้องต้นหลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ แล้วนำมาบรรจุลงภาชนะ เช่น ถาดพลาสติกหรือโฟม แล้วห่อด้วยฟิล์มใสอีกทีหนึ่ง เพื่อให้สามารถขนส่งและวางขายสะดวกสิ่งสำคัญประการแรกในการบรรจุ คือ ผลิตผลต้องได้รับการทำให้เย็นก่อนเพื่อป้องกันการควบแน่นเป็นหยดน้ำใต้ฟิล์มพลาสติก การคัดเลือกชนิดของพลาสติกสำหรับการบรรจุผลิตผลแปรรูปเบื้องต้นนับว่าสำคัญมาก เพราะสภาพบรรยากาศในภาชนะจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากเมตาบอลิซึมของผลิตผลโดยทั่วไปแก๊สจะผ่านเข้าออกแผ่นฟิล์มนั้นได้ โดยสามารถรักษาปริมาณออกซิเจนในภาชนะให้ต่ำที่สุดแต่ไม่ได้กำจัดออกซิเจน ในสภาพดังกล่าวผลิตผลจะมีเมตาบอลิซึมต่างๆ ในอัตราต่ำที่สุด โดยไม่ทำให้เกิดกลิ่นหรือรสที่ผิดปกติฟิล์มพลาสติกที่มีคุณสมบัติดังกล่าว เช่น ฟิล์ม PVC เป็นฟิล์มที่ยอมให้น้ำผ่านเข้าออกไปได้ง่าย ซึ่งทำให้ผลิตผลเสียน้ำมากเกินไป อย่างไรก็ตามต้องระลึกเสมอว่า เมเทบอลิซึมของผลิตผลภายในภาชนะบรรจุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในขณะที่คุณสมบัติของฟิล์มไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้การปรับบรรยากาศภายในไม่ได้ตามที่ต้องการ ปัจจุบันสามารถเติมสารเคมีบางอย่างเข้าไปในฟิล์มพลาสติก เช่น ยากันรา หรือสารดูดเอทธิลีน เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตผล (Wiley, 1994) นอกจากนี้ จากการศึกษาของสำนักงานอันตรายด้านจุลินทรีย์ คณะกรรมการอาหาร กระทรวงสาธารณะสุขของประเทศแคนาดา(The Bureau of Microbial Hazards, Food Directorate, Health Canada, 2000) รายงานว่าความปลอดทางจุลินทรีย์และคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้นขึ้นกับปัจจัยของเวลาทั้งหมด ในกระบวนการแปรรูปของผักแปรรูปเบื้องต้น และอุณหภูมิของผักแปรรูปเบื้องต้น และกำหนดแนวปฏิบัติคือ ถ้าอุณหภูมิของผักแปรรูปเบื้องต้นยิ่งสูง เวลาที่ใช้ในกระบวนการเริ่มแปรรูปจนกระทั่งเสร็จกระบวนการยิ่งต้องใช้เวลาน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเช่นถ้าอุณหภูมิของผักแปรรูปเบื้องต้น คือ 25 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในกระบวนการแปรรูปทั้งหมดไม่เกิน 30 นาที

ตารางที่ 2.4 แนวปฏิบัติของอุณหภูมิและเวลาในการแปรรูปสำหรับผักแปรรูปเบื้องต้น

อุณหภูมิของผักแปรรูปเบื้องต้น (องศาเซลเซียส)	เวลาทั้งหมด (เริ่ม-สิ้นสุดกระบวนการแปรรูป) (ชั่วโมง)
25	0.5
10	1.5
15	4.0
10	10
5	30

ที่มา : ดัดแปลงจาก The Bureau of Microbial Hazards, Food Directorate, Health Canada (2000)

2.5.4 การเก็บรักษา

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ในการเก็บรักษา ต้องเก็บที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ผลิตผลจะไม่เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น เพราะสรีรวิทยาของเนื้อเยื่อแตกต่างไปจากผักและผลไม้ทั้งผล (Nguyen-the and Carlin, 1994) นอกจากนี้การปรับสภาพบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลแปรรูปก็อาจมีส่วนช่วยให้เกิดอาการสะท้านหนาวแตกต่างไปด้วย อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัย ผลิตผลแปรรูปส่วนใหญ่ทำกันในระดับห้องปฏิบัติการ และมักมีสภาพแตกต่างจากการปฏิบัติในทางการค้าเป็นอันมาก จึงมักพบว่าอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาผันแปรมากซึ่งส่งผลถึงคุณภาพของผลิตผลแปรรูปด้วย ดังนั้นจึงควรทดลองปรับอุณหภูมิตามที่ปฏิบัติทางการค้า (Wiley, 1994)

2.6 วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาและควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในผักแปรรูปเบื้องต้น

2.6.1 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

2.6.6.1 ลดอัตราการหายใจ

อุณหภูมิต่ำที่มีผลในการลดอัตราการหายใจและการชราภาพของผลิตผลโดยปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น 2 เท่า การเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ สามารถลดกิจกรรมและชะลอปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวกับอัตราการหายใจของผักแปรรูปเบื้องต้นได้ ตัวอย่างเช่น แครอทแปรรูปเบื้องต้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจเท่ากับ 6.0 $mgCO_2/kg/h$ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจเท่ากับ 10.0 $mgCO_2/kg/h$ (Watada et al., 1996) หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นมีอัตราการหายใจเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Gorny, 1997) แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 อัตราการหายใจของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (mg CO_2/ kg /h)	
	หั่นชิ้น (หนา 2 มิลลิเมตร)	หั่นเต๋า (ขนาด 1 X 1 เซนติเมตร)
2	14.0	12.0
5	23.4	15.6
10	38.0	22.8
23	126 -131	90 - 99

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gorny (1997)

2.6.1.2 ลดการเกิดสีน้ำตาล

อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลของผักแปรรูปเบื้องต้นได้โดยมีผลในการลดกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอล ไปเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังมีผลในการลดกิจกรรมของเอนไซม์ Phenylanine amonialyase (Toivonen, 1997) Saper และ Miller (1998) พบว่า การเก็บรักษาสาลี่แปรรูปเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลได้

2.6.1.3 ลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้(Garg et al., 1993; Marth, 1998; Zhang and Farber, 1996) และสามารถยับยั้งกิจกรรมต่างๆ ของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ การงอกของสปอร์และการผลิตสารพิษ Potran และคณะ (1995) พบว่าการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อชนิด Romain และกะหล่ำปลีแปรรูปเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส สามารถลดการงอกของสปอร์และการผลิตสารพิษของเชื้อ *Clostridium botulinum* ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12.7 และ 21 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Garg และคณะ (1993) พบว่าการเก็บรักษาผักรวมแปรรูปเบื้องต้น (แครอท ปวยเหล็ง และกะหล่ำดอก) ที่อุณหภูมิ 3.3 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณของเชื้อ *Psychrotropht cloakroms* และ *Lactobacilli* ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

2.6.2 การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

2.6.2.1 ลดอัตราการหายใจ

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง มีผลในการลดอัตราการหายใจของผลิตผลได้ โดยปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชภายในเซลล์ผลิตผล ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ในกระบวนการหายใจ ในขั้นตอนของ Kreb's cycle โดยเฉพาะเกิดการสะสมสารตัวกลางในปฏิกิริยาการหายใจ เช่น Succinic acid

เพราะกิจกรรมของเอนไซม์ Succinate dehydrogenase (SDH) ดังนั้นจึงมีการสะสมของ Succinic acid เนื่องจากการหายใจเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารอาหารที่สะสมให้หมดไป จากเหตุผลดังกล่าว การหายใจจึงเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว (Senescence) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการลดอัตราการหายใจของผลิตผลให้ต่ำลง เพื่อยืดอายุหรือรักษาคุณภาพของผลิตผล สำหรับผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการการต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นการหายใจ (Brecht, 1995) ผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้นจึงมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าสภาพปกติ (Watada and Qi, 1999) ดังนั้นภายหลังการแปรรูปต้องทำการเก็บรักษาให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพซึ่งเกิดขึ้นจากการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษา (Varoquaux et al., 1996) Blanchard และคณะ(1996) พบว่า การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ออกซิเจนร้อยละ 2 สามารถชะลออัตราการหายใจได้รวมทั้งชะลอการสูญเสียปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้

2.6.2.2 ลดการเกิดสีน้ำตาล

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง สามารถลดการเกิดสีน้ำตาล ในผักแปรรูปเบื้องต้นได้ (Sapers and Miller, 1998; Heindal et al., 1995) โดยในสภาพการเก็บรักษาดังกล่าวสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ทำให้มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลลดลง โดยทั่วไปกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สามารถถูกกระตุ้นด้วยเอทธิลีน ดังนั้นในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงการผลิตเอทธิลีนจะต่ำทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ลดลง โดย Gil และคณะ (1998) พบว่าการเก็บรักษาแอปเปิ้ลแปรรูปเบื้องต้นในสภาพที่มีออกซิเจน 0.25 Kpa สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้

2.6.2.3 ลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

สภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Nguyen-the and Carlin., 1994) เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนมากเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญเติบโต (Aerobic bacteria) ดังนั้น ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงจึงลดการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์สูงมีผลในการลดการเจริญของเชื้อมากกว่าออกซิเจนต่ำปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกขึ้นบริเวณผิวผลิตผล (pH ต่ำลง) มีผลในการลดการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ มีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง การเข้าออกของสารในเซลล์ผิดปกติ ลดกิจกรรมของเอนไซม์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน การให้คาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผักกาดแปรรูปเบื้องต้น ได้ดีกว่าให้คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 6 (Phillips, 1996)

2.6.3 การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีสำหรับผักแปรรูปเบื้องต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล บริเวณรอยตัดและมีผลในการรักษาคุณภาพของผลิตผลได้ (Beuchat, 1998; Sapers , 2002)

2.6.3.1 สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial)

สารเคมีที่นิยมใช้ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผักและผลไม้คือ สารประกอบคลอรีน โดยใช้ในรูปของสารละลายในขั้นตอนการล้างก่อนการแปรรูป Cherry (1999) พบว่าการใช้สารละลายคลอรีน ความเข้มข้น 100 – 200 ppm มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผักแปรรูปเบื้องต้นได้ 1 - 2 log CFU/g อย่างไรก็ตามคลอรีนมีประสิทธิภาพอย่างจำกัด ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนผิวสัมผัสของผักและผลไม้ (Beuchat, 1998; Sapers , 2002) มีรายงานการค้นพบว่า สารประกอบคลอรีนได้เปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบประเภท Trihalomethanes ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ตกค้างอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์และในน้ำทิ้ง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพยายามเลือกใช้สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลง เช่น สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซน เป็นทางเลือกใหม่ในการล้างผักและผลไม้ (Sapers, 2002)

2.6.3.2 ลดการเกิดสีน้ำตาล

นอกจากการใช้อุณหภูมิต่ำและสภาพบรรยากาศดัดแปลง สำหรับการลดการเกิดสีน้ำตาลในผักแปรรูปเบื้องต้น ยังพบว่า การใช้สารเคมีบางชนิดก็สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทั่วไป สารประกอบที่นิยมใช้ในการลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ คือ สารประกอบ ซัลไฟท์ นอกจากสารประกอบดังกล่าวแล้วยังมีสารอื่นๆ ที่สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้ เช่น Ascorbic acid, Citric acid, Zine chloride, Acetic acid ร่วมกับการใช้ Calcium chloride (Friedman, 1996)

2.6.4 การฉายรังสี (Irradiation)

การใช้รังสีในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง รวมทั้งการใช้รังสีกับผักแปรรูปเบื้องต้น โดยทั่วไปการใช้รังสีในช่วงที่ต่ำกว่า 2 กิโลเกย์ มีการใช้แพร่หลายเพื่อใช้ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ 10^3-10^4 เท่า ซึ่งประสิทธิภาพในการลดเชื้อจะขึ้นกับชนิดผลิตผลและการตอบสนองของเชื้อจุลินทรีย์โดยแบคทีเรียในสกุล Enterobacteriaceae ซึ่งรวมทั้งฟีคอลโคลิฟอร์ม สามารถลดได้เช่นเดียวกับปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณเชื้อยีสต์ได้ 10 ถึง 100 เท่า (Hagenmaier and Baker, 1998)

2.7 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ(Disinfectant)มานานกว่า 150 ปี และมีคุณสมบัติในการเป็นสารต่อต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(Antimicrobial) ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย (Block, 1991) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จัดเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS : generally recongnized as safe) (CFR173.315, 2002) The Code of Federal regulation (USA) ยอมรับการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารในการใช้เป็นสารฟอกสี (Bleaching agent)ในเครื่องในวัว ปลาเฮอริ่ง ชาสำเร็จรูป Oxidizing และ Reducing agent ในผลิตภัณฑ์ไข่ผง และไวน์ และ สารยับยั้งจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) ในผลิตภัณฑ์ Thermophile - free starch นอกจากนี้ยังใช้ฆ่าเชื้อผิวหน้าของบรรจุภัณฑ์ประเภทการบรรจุแบบปลอดเชื้อ สำหรับการใช้ในวัตถุประสงค์นอกจากที่กล่าวมานี้ FDA กำหนดให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง (Residual) ต้องถูกกำจัดออกด้วยวิธีทางกายภาพที่เหมาะสม หรือวิธีการทางเคมีระหว่างกระบวนการผลิต โดยการเติมเอนไซม์ Catalase (CFR184.1366, 2002)

2.7.1 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น โดยทั่วไปสามารถผลิตได้จากสารประกอบเปอร์ออกซีกรุ๊ปจากการผสมไฮโดรเจน ออกซิเจน หรือ น้ำกับออกซิเจน โดยวิธีทางเคมี (มีแสงสว่างหรือไฟฟ้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)แต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปและมีการใช้กันมากที่สุดคือการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากกระบวนการ Autoxidation ของ 2-ethyl anthraquinone หรือ Anthraquinone isopropyl alcohol และ Hydrozobenzene ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เป็นสารตั้งต้น (Liebeskind, 1994)

2.7.2 คุณสมบัติของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.7.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารมีสถานะเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสขม และฝาด ละลายน้ำได้ดี ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ คุณสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บริสุทธิ์ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

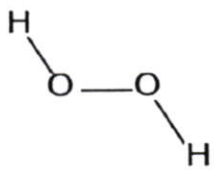
คุณลักษณะ	ค่าที่วัดได้
จุดเดือด (101.3 kPa) องศาเซลเซียส	150.2
ความหนาแน่น กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร	1.4425
ค่าคงตัวของการแตกตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	1.78×10^{-12}

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ullanann (1999)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนอย่างละ 2 อะตอม มีสูตรทางเคมีเป็น H_2O_2 แสดงดังภาพที่ 2.1 มีสภาพเป็นกรดอ่อนโดยเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นแดง จะสลายตัวให้น้ำและออกซิเจน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ที่มา : Talinli และ Anderson (1992)

ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น สามารถเกิดขึ้นได้โดยตรง หรืออาจจะเกิดไอออนขึ้นก่อนทำปฏิกิริยา ซึ่งโดยปกติไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จัดเป็น Strong oxidizing agent (Block, 1991) ค่าของความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation - Reduction potential values; E°) แสดงดังตารางที่ 2.7 และโดยทั่วไปสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดังต่อไปนี้ (Talinli and Anderson, 1992)

ตารางที่ 2.7 แสดงค่ารีดักชัน-ออกซิเดชัน ของสารออกซิไดซ์บางชนิด

Oxidizing Reagent	**Oxidizing Potential (E °)**
Ozone	2.07
Hydrogen peroxide	1.77
Chlorine Dioxide	1.57
Hypochlorous acid	1.49
Oxygen	1.23
Hypochlorite	0.94
Chlorite	0.76
Iodine	0.54

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davidson และ Branen (1993)

63258

ก. การสลายตัวและเสถียรภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Ullman, 1999)

ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ มี 2 รูปแบบ คือ ทั้ง O-H บอนด์ หรือ O-O บอนด์ โดยมีคุณสมบัติการแตกตัวที่เหมือนกันคือ

การสลายตัว

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2 \qquad (1)$$

$$HOOH \longrightarrow H^- + HO_2^- \qquad \Delta H = 380 \text{ KJ/mol (90 Kcal/mol)}$$

$$HOOH \longrightarrow 2OH^\circ \qquad \Delta H = 210 \text{ KJ/mol (90 Kcal/mol)}$$

การควบคุมอัตราการสลายตัวของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะต้องควบคุมปริมาณก๊าซและความร้อน (ประมาณ 100.4 KJ/mol หรือ 24 Kcal/mol) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพราะอาจก่อปฏิกิริยารุนแรงและเป็นอันตรายได้ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH)และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ไอออนของโลหะ โลหะออกไซด์และไฮดรอกไซด์ โดยทั่วไปแล้วการคงตัวหรือเสถียรภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บริสุทธิ์ จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งถ้าพบว่ามีความเข้มข้นมาก การคงตัวยิ่งมีมากขึ้นและจะมากที่สุด ในช่วงของความเข้มข้นที่มีค่า pH 3.5-4.5

ข. การเพิ่มโมเลกุล (Ullman, 1999)

$$H_2O_2 + Y \longrightarrow Y.H_2O_2 \qquad (2)$$

การเพิ่มโมเลกุลของสารอื่นๆ เข้าไปในโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่นิยม คือ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือออกไซด์ โลหะเปอร์ออกไซด์ สารประกอบไนโตรเจนเซอร์โกนิลอซิเตต และ 1,4 ไดอะซะไบไซโคออกเทน จะได้สารผลึกเปอร์ออกซิไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบที่ได้จากการรวมตัวของโซเดียมเปอร์บอเรตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ค. การแทนที่ (Ullman, 1999)

$$H_2O_2 + RX \longrightarrow ROOH + HX \qquad (3)$$

$$H_2O_2 + 2RX \longrightarrow ROOR + 2HX \qquad (4)$$

เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมสารประกอบเปอร์ออกซิเจนหลายๆชนิด โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับสารอินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสารประกอบโพลิเมอร์และสาร Oxidizing เช่น สารประกอบอัลคิล ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการอัลคิเลชัน กรดเปอร์ออกซี เป็นต้น

ง. การออกซิเดชัน (Ullman, 1999)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จัดเป็น Oxidizing agent อย่างแรง สามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และมีค่า Oxidation -Reduction ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับตัวออกซิไดซ์ในกลุ่มสารประกอบ Oxygenate และ Halogenate เมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็น OH_2 และ H_3O^+ ดังสมการ

$$H_2O_2 + H_2O \longrightarrow OH_2^- + H_3O+ \ (pK = 11.6)$$

จ. ปฏิกิริยารีดักชัน (Ullman, 1999)

$$H_2O_2 + Z \longrightarrow 2H_2 + O_2$$

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะแสดงตัวเป็นReducing agent กับสารที่ทำให้เกิด Oxidizeที่แรงได้ เช่น คลอรีน โซเดียม ไฮโปคลอไรด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและเซริคซัลฟูริค ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการนำเอา ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาประยุกต์ใช้ โดยการนำเอามาทำปฏิกิริยา กับตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโดยเฉพาะโอโซน มีชื่อเรียกสารดังกล่าวว่าเปอร์ออกโซน (Peroxzone) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ หรือ การฆ่าเชื้อโรค

2.7.3 คุณสมบัติทางชีววิทยา

กลไกของปฏิกิริยา

ผลของการยับยั้งจุลินทรีย์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งทำให้ระบบเอนไซม์ของเซลล์จุลินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible) ความสัมพันธ์พื้นฐาน คือ สปอร์ของแบคทีเรียจะต่อต้านไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมบวก ส่วนแบคทีเรียที่ต่อต้านน้อยที่สุด คือ แบคทีเรียแกรมลบ โดยเฉพาะพวกโคลิฟอร์ม (Coliform) ปัจจัยที่จะช่วยต่อต้านคือ เอนไซม์ Catalase ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียแกรมลบไม่สามารถผลิตได้ ทั้งพวกที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobe) และพวกที่ใช้หรือไม่ใช้อากาศก็ได้ (Facultative anaerobe) จึงทำให้มีความไวต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Davidson and Branen, 1993)

Block (1991) กล่าวว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ได้เป็นตัวยับยั้งจุลินทรีย์โดยตรงแต่ผลการยับยั้งนี้เกิดจากโมเลกุลร่วมอื่นๆ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน (Superoxide oxygen) หรือเรียกย่อๆว่า SO หรือ Superoxide radicals และ Hydroxyl free radicals (OH) เป็นรูปแบบหนึ่งของออกซิเจนที่มีพลังงานสูงมีปฏิกิริยาการตอบสนองและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต การยับยั้งจุลินทรีย์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มาจากการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl) และพันธะคู่ในโปรตีน ไขมัน และเยื่อบุต่างๆ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าไปดึงเอาโปรตีน

ออกมาจากผิวชั้นนอกของสปอร์แบคทีเรียและทำให้เซลล์สูญเสียความสามารถในการควบคุมสารผ่านเข้าออกเซลล์ และทำลายเซลล์จุลินทรีย์ในที่สุด

2.7.4 การทดสอบปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration, 2004) กำหนด การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) ปริมาณการใช้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น อนุญาตให้ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเตรียมนมเพื่อทำชีส การผลิต Thermophile Free Starch และการเตรียม Modified Whey ที่ระดับ 0.05 0.15 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2.8 และกำหนดให้ปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ต้องกำจัดโดยวิธีการทางกายภาพและทางเคมีในระหว่างกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม โดยในทางปฏิบัตินิยมเติมเอนไซม์ Catalase (CFR 184.1366, 2002) อย่างไรก็ตาม Food Standards Code ของ Australia New Zealand Food Authority กำหนดให้ปริมาณการตกค้างสูงสุด (Maximum permitted residue (ppm)) ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.9 และกำหนดให้สำหรับการใช้เพื่อเป็นสารล้างและปอกเปลือกมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างสูงสุดไม่เกิน 5 ppm (ANZFA, 2001) ในขณะที่ Codex ไม่ได้กำหนด Maximum Residue Levels (MRLs) ของปริมาณการตกค้างสูงสุดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (EPA, 1999) เช่นเดียวกับ Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additive (JECFA) ข้อมูล Acceptable daily intake (ADI) และการศึกษาด้านพิษวิทยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อยู่ในการศึกษาและยังไม่มีข้อกำหนดอย่างชัดเจน (JECFA, 2004)

ตารางที่ 2.8 แสดงปริมาณสูงสุดของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(เปอร์เซ็นต์) ในอาหารชนิดต่างๆ และวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน

ชนิดอาหาร	ปริมาณสูงสุดของ H_2O_2 (เปอร์เซ็นต์)	วัตถุประสงค์
นม (ในกระบวนการผลิตชีส)	0.05	สารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(Antimicrobial agent)
แป้ง	0.15	สารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(Antimicrobial aagent) และกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์
น้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn syrup)	0.15	ลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย
ชีสเวย์ (Annatto)	0.05	สารฟอกสี (Bleaching agent)
อิมัลซิไฟเออร์ (ที่ประกอบด้วย fatty acid esters)	1.25	สารฟอกสี (Bleaching agent)

ที่มา : ดัดแปลงจาก USFDA (2004)

ตารางที่ 2.9 แสดงปริมาณตกค้างสูงสุดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อนุญาตให้มีได้เพื่อวัตถุประสงค์ การใช้งานต่าง ๆ กัน

วัตถุประสงค์	ปริมาณตกค้างสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ (ppm) (Maximum permitted residue)
สารฟอกสี (Bleaching agents) สารล้างและปอกเปลือก (Washing and peeling agents) สารที่เติมระหว่างกระบวนการต่าง ๆเช่น	5
- สารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ องุ่นแห้ง น้ำผักและน้ำผลไม้น้ำส้มสายชู และผลิตภัณฑ์จากยีสต์	5
	5
- กำจัดกลูโคสจากผลิตภัณฑ์ไข่	5
- กำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์	

ที่มา : Australia New Zealand Food Authority (2001)

2.7.5 บทบาทของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ผลต่อกิจกรรมการยับยั้งจุลินทรีย์

มีปัจจัยหลายชนิด ที่มีผลต่อการทำงานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งกายภาพและเคมี เช่น ความเข้มข้น พีเอช อุณหภูมิ และสารเคมีที่ปนเปื้อน เหล่านี้จะเป็นตัวบ่งถึงความเร็วและประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.7.5.1 ความเข้มข้น (Concentration)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 3–6 เปอร์เซ็นต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและประกอบยา น้ำยาล้างแผลฆ่าเชื้อโรค ใช้อมกลั้วคอและสำหรับฟอกสีผม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ใช้สำหรับงานในห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการหรือด้านอิเลคทรอนิกส์ สำหรับอุตสาหกรรมทางด้านไฟฟ้า จะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีความเข้มข้นหลายเกรดที่มีสารเจือปนและสารสร้างเสถียรภาพน้อยมาก

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 35 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีสารเพิ่มเสถียรภาพมากพอเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้และการเก็บรักษา ส่วนที่มีความเข้มข้นของสารเสถียรภาพน้อยจะใช้กับทางด้านอาหารและความต้องการอื่นในกรณีพิเศษ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีอัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ได้เร็วกว่าสารยับยั้งโดยทั่วไป ที่ความเข้มข้น 0.001-0.1 เปอร์เซ็นต์ ณ อุณหภูมิห้อง ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญของแบคทีเรียละเชื้อรา

จากตารางที่ 2.10 พบว่า สปอร์ของ *Bacillus subtilis* ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จะมีจำนวนที่รอดชีวิตร้อยละ 84.8 ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีจำนวนที่รอดชีวิตร้อยละ 34.9 และที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีจำนวนที่รอดชีวิต ร้อยละ 22 เมื่อใช้เวลาสัมผัสนาน 120 วินาที ที่อุณหภูมิ ห้องเท่าๆ กัน (Davidson and Branen, 1993)

ตารางที่ 2.10 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของสปอร์ *Bacillus subtilis*

ความเข้มข้น H_2O_2 (เปอร์เซ็นต์)	เวลาที่สัมผัส (นาที)		
	2	30	60
3	84.8	21.8	2.1
10	34.9	0.0027	0
15	22.0	0.0022	0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davidson และ Branen (1993)

Asghari (1993) ได้รายงานผลของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อ *Escherichai coli* และไวรัส (Bacteriophage) พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้ดีกว่าไวรัส โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีผลให้เซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียถูกทำลาย ดังจะเห็นได้จากปริมาณของเอนไซม์ Lactate dehydrogenase และ Mg^+ ได้ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณสูง และยังพบว่า การควบคุมสภาพของอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีพีเอช และสารอินทรีย์ในปริมาณต่ำ ตลอดจนการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงสูงจะมีผลให้กระบวนการทำลายแบคทีเรียเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ได้ผลดีในการกำจัดไวรัส ในกลุ่ม Lipid-containing phages ได้ดีและรวดเร็วกว่ากลุ่มที่เป็น Non-lipid containing phage และผลจากการใช้ตัวย่อยสลาย OH° จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ *E.coli* น้อยลงแต่กลับเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไวรัสได้มากขึ้น กลไกดังกล่าวทำให้ได้ข้อสรุปว่า OH° ไม่น่าจะเป็นองค์ประกอบหลักในการฆ่าไวรัสแต่น่าจะมาจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เอง

Santos และคณะ (1997) ได้รายงานศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำนมดิบ 2 เกรด คือ ชนิด C (ไขมัน 3.2 เปอร์เซ็นต์) และชนิด B ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ พบว่า ภายหลังการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับ 0.04 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในน้ำนมดิบอันได้แก่ *Staphytlococci,* Thermoduric organism, *Heterofermentative lactobacilli* และกลุ่ม *Anaerobic sporeformers* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในการทดสอบน้ำนมดิบชนิด C ซึ่งให้ผลคล้ายๆ กับในการทดสอบกับน้ำนมดิบ ชนิด B ยกเว้นในกลุ่ม *Staphylococci* และ Thermoduric organism แต่อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณเชื้อดังกล่าวไม่ได้ถูกเสนอแนะให้

ใช้แทนวิธีพาสเจอร์ไรซ์ สำหรับน้ำนมที่จะนำไปผลิตเนยแข็งเนื่องจากน้ำนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้เนยแข็งเกิดรสขม รวมทั้งต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกินด้วยเอนไซม์ Catalase

การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

Foney และคณะ (1991) ศึกษาการใช้ไอของ H_2O_2 30-35 เปอร์เซ็นต์ ที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที กับผลองุ่นที่มีเชื้อ *Botrytis cinera* พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อและช่วยลดการเน่าเสียขององุ่นได้ Simmons และคณะ (1996) ทดสอบการใช้ไอของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 ppm นาน 60 นาที กับผลแคนตาลูป เปรียบเทียบกับการล้างด้วยสารละลายไฮโปคลอไรท์ 225 ppm และเทียบกับการล้างด้วยน้ำธรรมดา พบว่า การใช้ไอของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ และช่วยให้แคนตาลูปมีอายุการเก็บรักษานานถึง 4 สัปดาห์ ที่ 2 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการอาการผิดปกติกับผลแคนตาลูป

Saper และคณะ(2001)ศึกษาการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ล้างผลแคนตาลูปเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เก็บรักษาที่ 4 องศาเซียส พบว่า สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 3 log CFU/g โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสและมีอายุการเก็บรักษานานมากกว่า 2 อาทิตย์

Beerli และคณะ (2004) ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในการล้างหอมใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 1.29 และ 1.04 log CFU/g ตามลำดับ โดยไม่มีการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณของแข็ง และมีอายุการเก็บรักษา 7 วัน

Ukuku (2004) ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในการลดการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. บนผิวของผลแคนตาลูปและแตงฮันนี่ดิว โดยถ่ายเชื้อเริ่มต้นในปริมาณ 4.65 log CFU/cm^2 และ 3.13 log CFU/cm^2 ตามลำดับ เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่า แตงทั้งลูกที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลดปริมาณ *Salmonella* spp. ได้ 3 log CFU/cm^2

Colelli และคณะ (2004)ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการลดการปนเปื้อนในเชื้อจุลินทรีย์ในกีวีแปรรูปเบื้องต้น พบว่า สามารถลด *E.*coli O157:H7 และ*Salmonella Enteritidis* ได้ 4 log CFU/g และ *L.monocytogenes* ได้ 3 log CFU/g โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้นาน 15 วัน และจากการทดสอบการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ไม่พบการตกค้างในผลิตภัณฑ์

Hgiduk และ Surowka (2005) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการล้างแครอท ต่อปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณคาโรทีนอยด์ ในน้ำแครอท

และแครอทแปรรูปเบื้องต้น พบว่า การล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 นาที สามารถลดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ 2 log CFU/g และ ลดปริมาณคาโรทีนอยด์ในน้ำแครอท แต่ไม่มีผลต่อแครอทแปรรูปเบื้องต้น

2.7.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH

pH ที่เปลี่ยนแปลงไป ย่อมมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ กล่าวคือ เมื่อมี pH ที่เปลี่ยนแปลงไป ก็ย่อมต้องมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ให้เหมาะสมด้วยซึ่ง ในสภาวะกรดจะมีฤทธิ์มากที่สุด และประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อ pH เพิ่มขึ้น แสดง ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่าพีเอชกับเวลา(นาที) ที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของสปอร์ *Bacillus subtilis*

ความเข้มข้น H_2O_2 (เปอร์เซ็นต์)	pH		
	5.0	**6.5**	**8.0**
1 %	> 360	> 360	> 360
3 %	180	360	360

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davidson และ Branen (1993)

2.7.5.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ มีผลชัดเจนต่อการทำงานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการช่วยยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สามารถใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำๆ หรือใช้เวลาสัมผัสสั้นลงได้

2.7.5.3 ปัจจัยอื่นๆ

ความแตกต่างของจุลินทรีย์แต่ละชนิดนั้น ก็มีผลต่อความทนทานต่อสารเคมีและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า *D* values ของจุลินทรีย์แต่ละชนิด ในสภาวะการทดลองที่เหมือนกันทุกประการ

ตารางที่ 2.12 แสดงค่า *D* Valuesของจุลินทรีย์แต่ละชนิดกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์

ชนิดของจุลินทรีย์	*D* Values (นาที)
Bacillus subtilis	0.50
Escherichia coli	0.57
Bacillus cereus	1.04
Stapphylococcus aureus	2.35
Aspergillus niger	8.55

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davidson และ Branen (1993)

2.7.6 ความเป็นพิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้มข้นตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป มักเป็นอันตรายต่อดวงตาและผิวหนัง จึงต้องมีการจัดเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้นสูงอย่างรอบคอบและเอาใจใส่ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ เพราะในระหว่างการเก็บรักษา จะมีไอหรือละอองของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ถ้าสัมผัสโดนจะทำให้ผิวหนังและเยื่อบุผิวเกิดการเปลี่ยนสีหรือสีผิวซีดลง แต่หากสัมผัสเป็นเวลานานและมีความเข้มข้นสูงก็อาจเกิดเป็นรอยไหม้ได้ และยังเป็นอันตรายต่อดวงตาด้วยหากมีการดูดซึม หรือกินไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าไปในร่างกาย จะเกิดบาดแผลขึ้นภายในและเกิดการระคายเคืองต่อระบบการย่อยอาหาร และหากมีการสูดดมไอของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก็จะทำให้เกิดการอักเสบของจมูก ลำคอ ปอด และระบบทางเดินหายใจต่างๆ เมื่อมีสารละลายกระเด็นเข้าตาหรือโดนผิวหนัง ควรรีบล้างด้วยน้ำสะอาดนาน ๆ หลาย ๆ ครั้ง เพื่อลดการระคายเคืองและรีบไปพบแพทย์

อย่างไรก็ตาม สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมนั้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไม่เป็นสารก่อมะเร็งหรือก่อให้เกิดการกลายพันธุ์แต่อย่างใด (พิชัย, 2534)

2.8 โอโซน (Ozone, O_3)

โอโซนสามารถนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับคลอรีนและสารฆ่าเชื้อตัวอื่นๆ โอโซนมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี แม้จะใช้ความเข้มข้นต่ำและระยะเวลาที่สัมผัสกับโอโซนจะสั้นมากก็ตาม การใช้โอโซนในช่วงกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษาผักและผลไม้ จะช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ รักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์และในขณะเดียวกันโอโซนก็ไม่ผลิตสารที่เป็นอันตรายลงสู่สภาพแวดล้อม ในปี พ.ศ.2525 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของ

ประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) รับรองว่าโอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS : generally Recognized as Safe) และยังไม่มีสารตกค้าง (Langlais et al., 1991; Xu., 1999) และมีการสลายตัวโดยอัตโนมัติทำให้โอโซนเป็นสารกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างปลอดภัยในอาหาร จึงมีการนำโอโซนไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมนม เนื้อสัตว์ เจลาติน เคซีอีน และอัลบูมิน โรงงานผลิตไวน์และเหล้า โอโซนสามารถกำจัดยาฆ่าแมลงและสารเคมีตกค้างได้ เช่น สารตกค้างที่เกิดจากคลอรีน เป็นต้น (Langlasis et al., 1991) นอกจากนี้ โอโซนสามารถใช้เป็นสารทำความสะอาดในสถานที่เก็บรักษาอาหารได้ หรือใช้เป็นสารทำความสะอาดในระหว่างการขนส่งเพื่อป้องกันแบคทีเรีย รา ยีสต์ที่ผิวของอาหาร และใช้ในการควบคุมแมลงที่ผิวของอาหารด้วย โอโซนสามารถกำจัดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์อันเกิดจากแบคทีเรียได้ และสามารถกำจัดเอทธิลีนเพื่อยืดอายุการสุกของผลไม้ (Rice et al., 1982)

2.8.1 คุณสมบัติของโอโซน

2.8.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ก๊าซโอโซนมีสีฟ้า หนักกว่าอากาศ สามารถทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว แต่ไม่เสถียร ในบรรยากาศทั่วไปมีความเข้มข้นต่ำ มักไม่มีสี สามารถดูดซึมรังสีอัลตร้าไวโอเลตระหว่างช่วงความยาวคลื่น 220 – 330 นาโนเมตร (Ullmann's, 1991) มีการเรียงตัวของโครงสร้างเรโซแนนซ์ แสดงดังภาพที่ 2.2 โอโซนละลายในน้ำได้มากกว่าออกซิเจน 13 เท่า สามารถละลายได้มากยิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำลดลง และจะสลายตัวได้เร็วขึ้นถ้าน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 2.13

ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน

ที่มา : Langlais และคณะ (1991)

ตารางที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าการละลาย (Solubility) ของโอโซนในน้ำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการละลาย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
0	1.09
10	0.78
20	0.57
30	0.40
40	0.27
50	0.19
60	0.14

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ullmann's (1999)

2.8.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

ก๊าซโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี ทั้งในน้ำ สารละลาย และอากาศ มีความสามารถในการรับอิเลคตรอนจากสารอื่นเพิ่มเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยตัวเองทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidize) อย่างแรง ในบรรดาตัวออกซิไดซ์ทางเคมีที่อยู่มากมาย นับว่าโมเลกุลของโอโซนมีความสามารถสูงสุดเป็นอันดับสองรองลงมาจากโมเลกุลของก๊าซฟลูออรีน (Fluorine) ดังแสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แสดงค่าความต่างศักย์รีดอกซ์ของตัวออกซิไดซ์ ชนิดต่าง ๆ

ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)	อีโอพี* (โวลท์)	เทียบกับคลอรีน (เท่า)
ก๊าซฟลูออรีน (F_2)	3.06	2.25
อนุมูลไฮดรอกซิล (OH)	2.80	2.05
อะตอมของออกซิเจน (O)	2.42	1.78
โอโซน (O_3)	2.08	1.52
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	1.49	1.30
ก๊าซคลอรีน (Cl_2)	1.36	1.00
ก๊าซออกซิเจน (O_2)	1.23	0.90

* อีโอพี = EOP = Electrochemical oxidation potential = ความต่างศักย์รีดอกซ์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ullmann's (1991)

2.8.1.3 คุณสมบัติทางชีววิทยา

กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยโอโซน สามารถเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ

1. โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่มีอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์

2. อนุมูลตัวกลางอิสระ (Free radical mediate) ได้แก่ $OH^{\cdot}$, HO_4, HO_2 และ $O^{\cdot}_2$ ที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงและมีครึ่งชีวิตที่สั้นมากเป็นตัวเข้าทำลาย (Hunt and Marinas, 1997)

โอโซนทำลายจุลินทรีย์โดยกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งกระบวนการทำลายสิ่งมีชีวิตของโอโซน ประกอบด้วย 2 กระบวนการดังนี้

1. โอโซนจะออกซิไดซ์ หมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl) และกรดอะมิโนของเอนไซม์ ทำให้สายเปปไทด์และโปรตีนสั้นลง

2. โอโซนจะออกซิไดซ์กรดไขมันอิ่มตัว โดยโอโซนจะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Envelope) ที่เป็นไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เซลล์เกิดการแตกและตามด้วยการรั่วของเซลล์ พันธะคู่ของไขมันไม่อิ่มตัวเป็นพันธะที่เปราะบางและถูกโอโซนทำลายได้ง่าย ในแบคทีเรียแกรมลบจะมีชั้นไลโปโปรตีน (Lipoprotein) และชั้นไลโปโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) ซึ่งจะเป็นชั้นที่ถูกทำลายอันดับแรกเป็นเหตุให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้นและในที่สุดก็จะทำให้เซลล์แตกนอกจากนี้ พบว่าโอโซนมีผลต่อเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีนและชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์เกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้เซลล์แตก บางครั้งโอโซนจะเข้าทำลายระบบหายใจ (Respiratory system) ของเซลล์ ตลอดจนทำลายเอนไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของเซลล์ และในบางกรณีโอโซนจะทำลาย DNA และ RNA ของเซลล์จุลินทรีย์ด้วย (Khadre et al., 2001)

โอโซนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ทั้งแกรมลบและแกรมบวก สปอร์ของแบคทีเรีย รวมทั้งเชื้อยีสต์ไวรัส และโปรโตซัว ดังแสดงใน ตารางที่ 2.15 2.16 และ2.17 (Khaddre et al., 2001 ; Restaino et al., 1995) ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของโอโซนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซน ระยะเวลาที่สัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียและสภาพ pH ที่เป็นกรดของตัวกลาง (Medium) จะช่วยให้โอโซนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้น สำหรับเชื้อยีสต์จะมีความไวในการตอบสนอง (Sensitive) กับโอโซนมากกว่าเชื้อรา (Khadre et al., 2001)

ตารางที่ 2.15 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบโดยโอโซนในน้ำ

แบคทีเรีย	สภาวะในการทดลอง				จำนวนที่ลดลง (log_{10} unit)
	โอโซน (ppm)	เวลา (นาที)	pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
Escherichia coli	0.065	0.5	-	-	3.5
E.coli	0.004 – 0.8 [b]	0.5 – 2.0	6.9	-	0.5 – 6.5
E.coli	0.23 – 0.26 [a]	1.67	7.0	24	4.0
E.coli O157:H7	0.3-1.0 [a]	< 0.5	5.9	25	1.3 – 3.8
Salmonella enteritidis	0.5 – 6.5	0.5	-	25	0.6 – 4.0
S.typhimurium	0.23 – 0.26 [a]	1.67	7.0	24	4.3

(a คือ O_3 demand-free water และ b คือ phosphate buffer)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Khadre และคณะ (2001)

ตารางที่ 2.16 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกโดยโอโซนในน้ำ

แบคทีเรีย	สภาวะในการทดลอง				จำนวนที่ลดลง (log_{10} unit)
	โอโซน (ppm)	เวลา (นาที)	pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
Bacillus cereus	0.12	5	-	28	> 2.0
Listeria monocytogenes	0.2 – 1.8	0.5	5.9	25	0.7 – 7
Staphylococcus aureus	0.3 – 1.97	10	-	-	4 - 6

ที่มา : ดัดแปลงจาก Khadre และคณะ (2001)

ตารางที่ 2.17 การยับยั้งไวรัสโดยโอโซนในน้ำ

แบคทีเรีย	สภาวะในการทดลอง				จำนวนที่ลดลง (log_{10} unit)
	โอโซน (ppm)	เวลา (นาที)	pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
Bacteriophage f 2	0.09 – 0.8 [a]	0.08	7.0	25	5.0 – 7.0
Hepatitia A virus	0.25 [b]	0.02	7.2	20	2.7

(a คือ O_3 demand-free water และ b คือ phosphate buffer)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Khadre และคณะ (2001)

2.8.2 ปฏิกิริยาสลายตัวของโอโซนในน้ำ

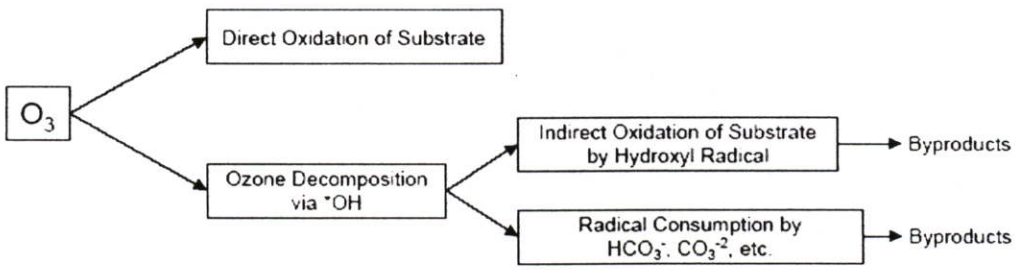
โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร โอโซนจะสลายเป็นออกซิเจน โดยแตกตัวให้เรดดิคัลต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl radical (OH°) , HO_3, HO_4 และ Super oxide (O_2^-) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 เรดดิคัลต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ (Strong Oxidant)

ภาพที่ 2.3 แสดงปฏิกิริยาการแตกตัวของโอโซนในน้ำ

ที่มา : Langlais และคณะ (1991)

ในน้ำธรรมชาติ กลไกการสลายตัวของโอโซนจะซับซ้อนกว่าในน้ำบริสุทธิ์ ทั้งนี้เพราะในน้ำธรรมชาติจะมีสารประกอบต่างๆ ซึ่งอาจเป็นตัวเริ่ม (Initiators) เช่น ฟอร์เมต และ Primary alcohol อาจมีสารยับยั้ง (Inhibitor) เช่น คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และ Tertiary alcohol ของการสลายตัวของโอโซน อนุมูลไฮดรอกซิล เป็นตัวส่งเสริม (Promotor) ของการสลายตัวของโอโซน ครึ่งชีวิตของโอโซนจึงค่อนข้างสั้นในสภาพที่เป็นด่าง โดยที่ pH 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์ประมาณ 30 นาที สารประกอบอินทรีย์ในธรรมชาติเป็นตัวทำลายโอโซน (Scavenger) สามารถทำปฏิกิริยา กับอนุมูลไฮดรอกซิล ดังนั้นจึงหยุดปฏิกิริยาของตัวเริ่ม (Initiator) ที่ส่งผลให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิเคิล และสารประกอบอินทรีย์ในธรรมชาติยังเป็นตัวเริ่มและตัวส่งเสริมของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนด้วย (Langlais et al., 1991) ชนิดของ Initiation, Promoters และ Scavengers ที่สำคัญและมีผลต่อการสลายตัวของโอโซนแสดงดังตารางที่ 2.18 Gottschalk และคณะ(2000) รายงานว่า ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน

ในทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม (Indirect Reaction หรือ Radical Type Reaction)และปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง (Direct reaction) แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนในน้ำ

ที่มา: US.EPA (United States Environment Protection Agency) (1999)

1. ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม (Indirect Reaction)

ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม จะมีการรวมตัวกับเรดดิคัล(Radicals) การสลายตัวของโอโซนจะเกิดขึ้น 2 ขั้น ขั้นแรกเกิดจากตัวเร่ง (Initiators) เช่น OH^- ขั้นที่ 2 เป็นการออกซิเดชันของไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radicals, OH°) จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ไฮดรอกซิลเรดิเคิลเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารเหล่านี้

2. ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง (Direct reaction)

ปฏิกิริยาสลายตัวทางตรงจะเกิด ถ้าในน้ำไม่มีตัวก่อ หรือ Termination chain reaction เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือความเข้มข้นของ Scavengers mechanism of oxidation (ตารางที่2.18) เพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรงมีความสำคัญหรือเกิดมากขึ้น (Gottschalk et al., 2000)

ตารางที่ 2.18 ชนิดของ Initiation, Promoters และ Scavengers ที่สำคัญและมีผลต่อการสลายตัว ของโอโซน

ตัวเริ่ม (Initiation)	ตัวส่งเสริม (Promoters)	ตัวทำลาย (Scavengers)
OH^-	humic acid	HCO_3^-/CO_3^{2-}
H_2O_2/HO_2^-	aryl-R	PO_3^{4-}
Fe^{2+}	Primary and secondary	humic acid
	alcohols	alkyl-R
		tert-butyl alcohol (TBA)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gottschalk และคณะ (2000)

2.8.3 เครื่องกำเนิดโอโซน (Ozonator, Ozonizer)

การผลิตโอโซนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 วิธี (Rice et al., 1981) คือ

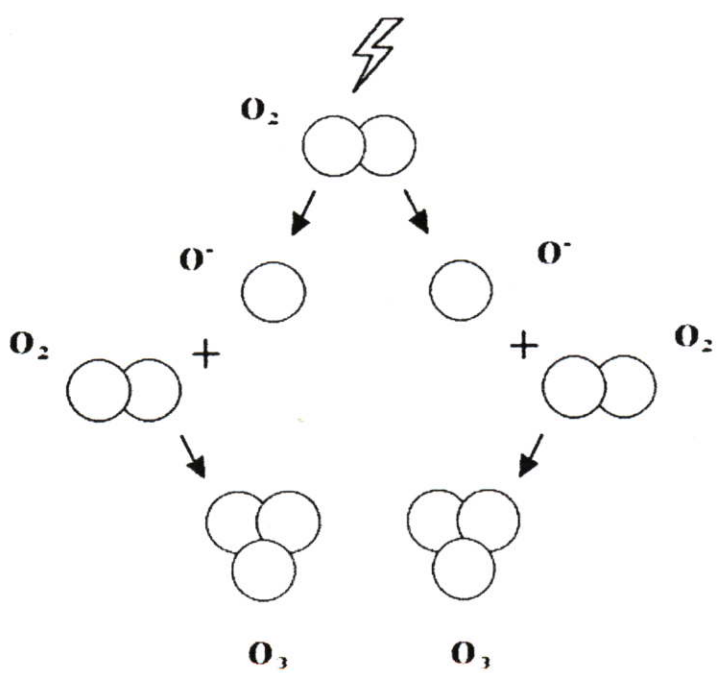
1. Ultra Violet method เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตหรือ UV ความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร ไปยังออกซิเจน โมเลกุลของออกซิเจนจะรับพลังงานแสงจาก UV และเปลี่ยนเป็นโอโซน ดังสมการ

$$3O_2 + h \longrightarrow 2\,O_3\ (H^0_f = 144.8\ kJ/mol)$$

2. Corona electric discharge method เป็นวิธีที่ใช้ผลิตโอโซนโดยอาศัยการฉายลำแสงอิเลคตรอนที่มีพลังงานสูง (6-7 eV) ลงบนก๊าซออกซิเจน (O_2) การปล่อยกระแสไฟฟ้า (Electric discharge) จะแยกโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน เกิดการแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) แล้วออกซิเจนอะตอมจะรวมตัวกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนอีกครั้งเกิดเป็นโมเลกุลของก๊าซโอโซน (O_3) ดังสมการ และภาพที่ 2.5

$$O_2 + e\ (\text{high energy}) \longrightarrow 2O + e\ (\text{low energy})$$

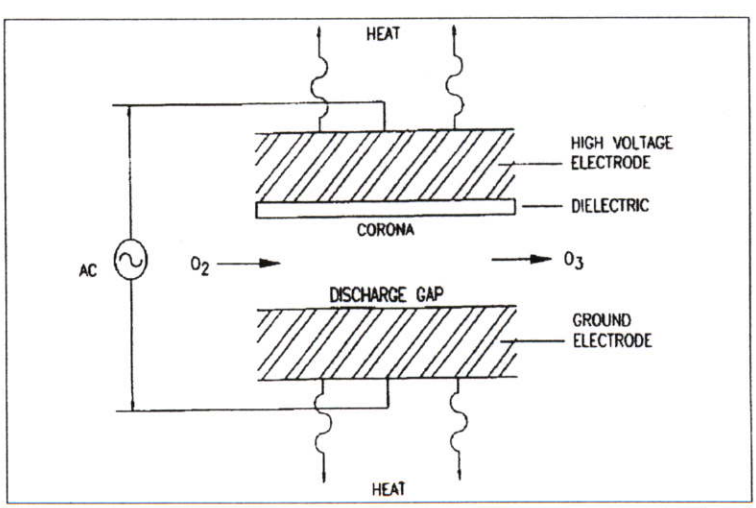
$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$



ภาพที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาการเกิดโอโซนภายใต้สนามไฟฟ้า

ที่มา : สุรพล (2543)

เครื่องกำเนิดโอโซนที่ใช้ในปัจจุบัน นิยมใช้วิธีการผลิตโดยวิธีเร่งประจุไฟฟ้า ที่เรียกว่า โคโรน่า ดิสชาร์จ (Corona discharge) แสดงดังภาพ 2.6 โดย การผลิตก๊าซโอโซน มีส่วนประกอบหลัก คือ การเตรียมก๊าซที่ใช้ผลิต (Gas preparation) ซึ่งอาจเป็นอากาศธรรมดาหรือก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ ซึ่งจะให้ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ในปริมาณที่สูง เครื่องให้กำเนิดโอโซน(Ozone generator) และกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่อง (Electrical supply) การผลิตโอโซนทำโดยการเร่งประจุไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับไปยังก๊าซที่เตรียมไว้ผ่านแผ่นอิเล็กโทรดที่มีไฟฟ้าแรงสูง 4,000 -15,000 โวลต์ จะได้ก๊าซโอโซนความเข้มข้นและปริมาณมาก สามารถปรับระดับความเข้มข้นได้ง่าย การผลิตก๊าซโอโซนเพื่อผลิตเป็นน้ำโอโซน ต้องเพิ่มถังผสมโดยต่อท่อจากเครื่องให้กำเนิดโอโซนผ่านเข้าไปผสมกับน้ำ อาจใช้วิธีพ่นน้ำเป็นละออง ใช้ใบพัด หัวกระจายก๊าซโอโซนในน้ำ ชนิดมีรูพรุน และ หัวผสม การสลายตัวของก๊าซโอโซนในน้ำจะเร็วกว่าในอากาศ จากการทดลองที่ความดันบรรยากาศ 752 ทอร์ อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ในน้ำที่มีความสูง 42 เซนติเมตร ถ้าเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Bidistilled water) จะมีค่าครึ่งชีวิตที่ 10 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำที่สกัดแร่ธาตุออก (Demineralized , conductivity = 1.35 μS/cm) มีค่าครึ่งชีวิต 80 นาที ถ้าเป็นน้ำประปาก็จะมีค่าครึ่งชีวิตเพียง 20 นาที ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนขึ้นกับ pH และอุณหภูมิของน้ำ คือ โอโซนจะแตกตัวได้มากกว่าการละลาย และในสภาวะที่อุณหภูมิสูงโอโซนจะละลายน้ำได้ต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโอโซน ต้องลดอุณหภูมิและ pH ของน้ำที่จะนำมาละลายลงด้วย (Rice, 1982)



ภาพที่ 2.6 แสดงเครื่องกำเนิดโอโซนด้วยวิธีโคโรน่าดิสชาร์จ (Corona discharge)

ที่มา : Rice และคณะ (1982)

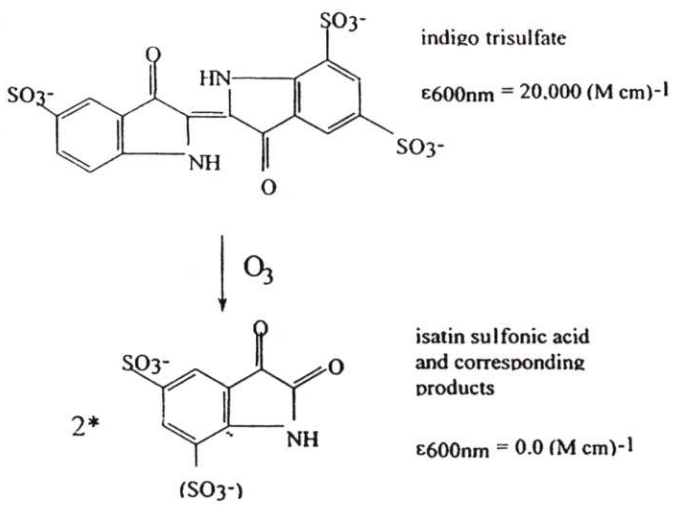
2.8.4 การวัดปริมาณก๊าซโอโซนที่ละลายในน้ำ / โอโซนตกค้าง (Residual ozone)

การวัดปริมาณก๊าซโอโซนสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1) วิธีทางกายภาพ โดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วง U.V. Visible และ Infrared

2) วิธีทางเคมีกายภาพ โดยวัด ผลทางกายภาพจากปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนกับสารเคมีชนิดต่างๆ ที่แสดงออกในรูปของความร้อนหรือ chemiluminescence

3) วิธีทางเคมี โดยวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับสารเคมี เช่น Potassium Iodide วิธี Iodometric นี้ ก๊าซโอโซนจะออกซิไดซ์ Iodide ion แล้วปล่อย Iodine ออกมาทำปฏิกิริยากับ Sodium thiosulfate จนถึงจุดยุติ วิธีนี้ใช้วัดได้ไม่เฉพาะแต่ก๊าซโอโซนเท่านั้น แต่ตรวจวัด O_3^- HO_2 และ O_2^- ด้วย ดังนั้นการวัดก๊าซโอโซนตกค้างด้วยวิธีนี้จึงไม่ถูกต้อง วิธีทางเคมีที่ได้รับการยอมรับคือ Indigo method โดยก๊าซโอโซนจะจับกับพันธะคู่ของคาร์บอนของ Sulfonated indigo dry แล้วทำให้สีจางลง แสดงดังภาพที่ 2.7 จากนั้นตรวจวัดด้วย Spectrophotometer เป็นวิธีการตรวจวัดปริมาณโอโซนในน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ไวแม่นยำ รวดเร็ว และ มีความเจาะจง สำหรับ Residual ozone มากกว่าวิธีอื่น (APHA, 1995)



ภาพที่ 2.7 แสดงการออกซิเดชันของ Indigo trisulfate โดยโอโซน

ที่มา : Gottschalk และคณะ (2000)

2.8.5 อิทธิพลของสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซน (Kim et al., 1999)

2.8.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำ ที่ลดลงมีผลทำให้โอโซนละลายได้ดีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจะสูงขึ้น ในขณะเดียวกันโอโซนจะสลายตัวได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น

2.8.5.2 ความเป็นด่าง

โอโซนจะมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อ pH ลดลง ที่ pH เป็นด่างจะเกิดการสลายของโอโซนได้ง่ายขึ้นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนจะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรด

2.8.5.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนจะสูงขึ้นถ้าอาหารนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ดังนั้นอาหารที่มี A_w สูงจะมีความไวในการตอบสนองกับโอโซนได้มากกว่าอาหารที่มี A_wต่ำ

2.8.5.4 ความต้องการของโอโซนในตัวกลาง (Medium)

ในสภาพที่น้ำ มีอินทรีย์สารสูง ความต้องการโอโซน (Ozone demand) จะสูงตามไปด้วย ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนจะลดลง แต่ในสภาพที่ไม่มีความต้องการของโอโซน (Ozone demand-free) โอโซนจะสามารถฆ่าเชื้อเหล่านั้นได้มากขึ้น

2.8.5.5 ความสามารถของโอโซนในการเข้าถึงจุลินทรีย์

ถ้าเชื้อจุลินทรีย์จับตัวเป็นกลุ่มก้อน ประสิทธิภาพของโอโซนในการฆ่าเชื้อจะลดลงแต่ถ้าเชื้อจุลินทรีย์มีการกระจายตัวออกมา เช่นการทำ Ultrasonic treatment โอโซนจะฆ่าเชื้อเหล่านั้นง่ายขึ้น

2.8.6 ข้อจำกัดของการใช้โอโซน (Kim et al., 1999)

2.8.6.1 การสลายตัวของโอโซน

โอโซนจะสลายตัวได้ง่ายกว่าคลอรีน การสลายตัวของโอโซนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เป็นการยากที่จะคาดคะเนว่าโอโซนจะมีปฏิกิริยาอย่างไรในสภาพที่มีอินทรีย์สารโดยอาจจะออกซิไดซ์ สารนั้น หรืออาจสลายตัวไปเป็นออกซิเจนและอนุมูลอิสระ

2.8.6.2 การเสื่อมคุณภาพของอาหาร

ถ้ามีการใช้โอโซนมากเกินไป อาจทำให้เกิด Lipid oxidation ทำให้อาหารมีกลิ่นผิดปกติ และสีจางลงหรือเปลี่ยนไป โอโซนอาจไปลด Ascorbic acid ในบลอคโคลี่ ลดปริมาณ Thiamine ในแป้งข้าวสาลี แต่ในขณะเดียวกัน ก็มีรายงานว่า โอโซนทำให้กลิ่นรสของอาหารดีขึ้น ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพของอาหารเนื่องจากโอโซนจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของอาหารนั้น ความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ตลอดจนสภาวะที่ทำการทดสอบ

2.8.7 การใช้โอโซนในอุตสาหกรรมผักและผลไม้สด

มีการประยุกต์ใช้โอโซนอย่างมากมายในอุตสาหกรรมผักและผลไม้สด ดังนี้

2.8.7.1 การฆ่าเชื้อในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนข้ามก่อนหรือหลังกระบวนการ เมื่อเป็นเช่นนี้ การฆ่าเชื้อต้องแน่ใจว่าสามารถควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ที่อาจมาสัมผัสกับอาหารโดยตรงในระดับต่ำ นอกจากนี้ต้องให้แน่ใจว่าน้ำนั้นปราศจากยาฆ่าแมลงและสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ โดยทั่วไปน้ำใช้ในกระบวนการผลิตในการล้างทำความสะอาดได้รับการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน แต่คลอรีนไม่สามารถลดระดับสารประกอบอินทรีย์และยังก่อให้เกิดสารประกอบคลอรีนที่เป็นพิษขึ้น โอโซนได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถนำมาใช้แทนคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ (Langlais et al., 1991) โอโซนยังสามารถทำลายผลพลอยได้จากคลอรีน ยาฆ่าแมลงและสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษ (Langlais et al.,1991) ในทางปฏิบัติมีการประยุกต์ใช้โอโซนในน้ำสำหรับกระบวนการผลิตในระดับ 0.5 ถึง 5 ppm ขึ้นกับแหล่งน้ำ โดยใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที

2.8.7.2 การล้างผักและผลไม้

Kondo และคณะ (1989) ได้ศึกษาผลของการใช้สารละลายโอโซน (ความเข้มข้น 2.3 ppm) ในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้เวลาในการล้าง 10 30 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิน้ำโอโซน 6 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้ผักกาดเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัส

Kim และคณะ (1999) ได้ศึกษาการใช้สารละลายโอโซน ความเข้มข้น 1.3 ppm ในการล้างผักกาดหอมหั่นฝอย โดยการพ่นโอโซนลงในน้ำที่มีผักกาดหอมหั่นฝอยในอัตราส่วน (1:20) ด้วยอัตราการฉีด 0.5 ลิตร/นาที พบว่า สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นได้ 2 log CFU/g

Cherry (1999) ได้เสนอให้ใช้โอโซนเป็นทางเลือกใหม่ในการล้างผักผลไม้โดยรายงานว่าโอโซน 1-4 ppm สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นลงได้ 1-3 log CFU/g โอโซนมีสมบัติออกซิไดซ์ได้ดีกว่าคลอรีน 1.5 เท่า จึงมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้หลายชนิดมากกว่าคลอรีน และสารฆ่าเชื้อชนิดอื่นๆ แต่ข้อจำกัด คือ โอโซนมีครึ่งชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพียง 20 นาทีจึงมีประสิทธิภาพในการทำงานจำกัด แต่หลังจากนั้นโอโซนจะสลายตัวเป็นก๊าซออกซิเจนซึ่งปลอดภัย

Achen และ Yousef (2001) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโอโซนในการยับยั้ง *E.*coli O157:H7 ในแอปเปิ้ล พบว่า แอปเปิ้ลที่ปนเปื้อน *E.coli* และล้างด้วยน้ำโอโซน

(โอโซน12-14 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 1.45 ลิตร/นาที)ที่ใช้การพ่นเป็นฟองในน้ำ (Bubbled) ระหว่างการล้างสามารถลดการปนเปื้อนของ *E.coli* ได้ดีกว่าการล้างแบบจุ่มในน้ำโอโซนที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน โดยล้างนาน 3 นาที โดยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ 3.7 และ 2.6 log CFU/g ตามลำดับ

Garcia และคณะ (2003) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโอโซน สารละลายคลอรีน และการใช้สารละลายโอโซนร่วมกับสารละลายคลอรีในการล้างผักกาดหอม โดยล้างนาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 2.5 5 และ 7.5 ppm และสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0 100 150 200 ppm พบว่าสารละลายโอโซน ลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้ 0.6-0.8 log CFU/g โดยสารละลายโอโซนความเข้มข้น 2.5 ppm ลดได้ 0.8 log CFU/g สารละลายคลอรีนลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้ 0.9 - 1.2 log CFU/g โดยสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm ลดได้ 1.2 log CFU/g และการใช้สารละลายโอโซน 7.5 ppm ร่วมกับสารละลายคลอรีน 150 ppm สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นลงได้ 1.4 log CFU/g

Zhang และคณะ (2004) ได้ศึกษาการล้างเซอเรอริ่แปรรูปเบื้องต้น ในน้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0.03 0.08 และ 0.18 ppm (อุณหภูมิน้ำ 17 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 นาที พบว่า การล้างเซอเรอริ่แปรรูปเบื้องต้นในน้ำโอโซน 0.18 ppm สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า 0.03 และ 0.08 ppm และลดจำนวนจุลินทรีย์จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นลงได้ 1.69 log CFU/g

Klaiber และคณะ (2004) ได้ศึกษาการล้างแครอทแปรรูปเบื้องต้น ด้วยสารละลายคลอรีน(200 ppm) และสารละลายโอโซน (1.3 ppm) โดยใช้เครื่องล้างผักอัตโนมัติที่อุณหภูมิน้ำล้าง 4 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที โดยสารละลายโอโซนเตรียมจากเครื่องผลิตโอโซน (อัตราการผลิตโอโซน 30 กรัม/ชั่วโมง อัตราเร็ว 130 ลิตร/นาที) ผลการทดลองพบว่าการล้างแครอทด้วยสารละลายคลอรีน มีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสารละลายโอโซน ซึ่งจากการศึกษาระยะเวลาสัมผัส สำหรับการลด ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแครอทที่ยังไม่ผ่านการล้างต้องใช้เวลา 9.6 นาที ในน้ำโอโซนความเข้มข้น 1 ppm ซึ่งในทางปฏิบัติจริงใช้เครื่องล้างผักอัตโนมัติที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำโอโซน 1.3 ppm และใช้เวลานาน 2 นาที

2.8.7.3 การเก็บรักษาผักและผลไม้

ก๊าซโอโซนใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล มันฝรั่ง มะเขือเทศ สตรอเบอรี่ ส้ม ข้าวโพด ถั่วเหลือง แบบใช้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันเชื้อราและแบคทีเรีย โอโซนไม่เพียงแต่ทำลายเชื้อราและแบคทีเรียในอากาศเท่านั้น ยังทำลายราและแบคทีเรียที่ผิวด้วย

Rice และคณะ (1982) ใช้ก๊าซโอโซนในการเก็บรักษาผลไม้แบบใช้อุณหภูมิต่ำ พบว่าโอโซนช่วยลดอัตราการสุกของผลไม้ ระหว่างการสุกผลไม้จะปลดปล่อยก๊าซเอทธิลีนเพื่อเร่งปฏิกิริยาการสุกโอโซนจะกำกัดก๊าซเอทธิลีนโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซเอทธิลีนทำให้ยืดอายุการเก็บของผลไม้

2.8.8 ความเป็นพิษของโอโซน (สุรพล, 2543)

ความเป็นพิษของโอโซนเป็นบรรทัดฐานสำคัญที่ต้องพิจารณาก่อนที่จะนำโอโซนมาใช้กับเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ และกระบวนการแปรรูปอาหาร และต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับผู้ที่อาจจะต้องสัมผัสกับโอโซนในอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าโอโซนที่ความเข้มข้นต่ำจะไม่เป็นพิษอย่างรุนแรง แต่ที่ความเข้มข้นสูงก๊าซโอโซนอาจจะมีอันตรายรุนแรงถึงแก่ชีวิตได้

เพื่อป้องกันอันตรายหรือผลเสียต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสูดหายใจเอาก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไป องค์การอนามัยโลกจึงได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นโดยปริมาตรของก๊าซโอโซนในอากาศที่หายใจไว้ที่ 0.1 – 0.12 ppm. สำหรับการหายใจติดต่อกันนาน 8 ชั่วโมง และ 0.15 – 0.2 ppm สำหรับการหายใจติดต่อกันนาน 1 ชั่วโมง ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปกำหนดไว้ที่ 0.11 ppm ในเวลา 8 ชั่วโมง และ 0.18 ppm. ในเวลา 1 ชั่วโมง สหรัฐอเมริกากำหนดไว้ที่ 0.08 ppm ในเวลา 8 ชั่วโมง และ 0.12 ppm. ในเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนประเทศไทยใช้ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1. วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. มะเขือเทศ พันธุ์ท้อ จากตลาดหัวตะเข้ ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
2. หอมหัวใหญ่ จากตลาดหัวตะเข้ ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.2 สารเคมี

1. Hydrogen peroxide 35 % (Interox AG bath 35 %, Food grade Peroxithai , Thailand)
2. Phosphoric acid (Merck Laboratories, Germany)
3. Malonic acid (Merck Laboratories, Germany)
4. Potassium indigo trisulfonate (Merck Laboratories, Germany)
5. Sodium dihydrogen phosphate (Merck Laboratories, Germany)
6. Conc. Phosphoric acid (Merck Laboratories, Germany)

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

1. Plate Count Agar (PCA) ปรับ pH เท่ากับ 7 (Merck Laboratories, Germany)
2. Peptone 0.1 % (Merck Laboratories, Germany)
3. Ethanol 70% และ 95 %

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ชุดทดสอบ Peroxide Test (Analytical test strips for the detection and semiquantitative determination of peroxide) (Merck Laboratories, Germany)
2. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน รุ่น NK-200 ปริมาณก๊าซโอโซน 250 มิลลิกรัม/ชั่วโมง ระบบการผลิตแบบ Colona Discharge (Norca Ltd.)
3. เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Sammic S.A)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler toledo)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler toledo)
6. เครื่องวัด pH (Inolab, Germany)

7. เครื่อง UV Spectrophotometer (Shimadsu, Japan)

8. Hot plate and Magnetic stirrer (HS-2 PNP)

9. เครื่องบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ (Circuitlink International Pty Ltd.)

10. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) 5 , 8 และ 12 องศาเซลเซียส

11. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) (Memmert, Germany)

12. ตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Memmert, Germany)

13. ตู้เขี่ยเชื้อ (Lumina flow) (Woerden, Belgium)

14. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) (Tomy SS-320, Japan)

15. เครื่องตีป่นอาหาร (Stomacher) (TUL instruments, Spian)

16. เครื่องผสม (Vortex Mixer)

17. ปิเปตขนาด1มิลลิลิตรที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ180 องศาเซลเซียสนาน 2 ชม.

18. จานเพาะเชื้อ(Petri dish)ที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

19. ถุงตีป่นอาหาร (Stomacher bag)

20. ถุงพลาสติก Polyethylene หนา 0.2 มิลลิเมตร ขนาด 8 นิ้ว x 12 นิ้ว

21. ถาดโฟมพลาสติก

22. มีด เขียง และ กะละมังพลาสติก

3.1.5 เครื่องแก้วพร้อมอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็น

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง มีดังนี้

1. มะเขือเทศ พันธุ์ท้อ จากตลาดหัวตะเข้ ลาดกระบัง คัดเลือกมะเขือเทศพันธุ์ท้อที่ไม่มีการทำลายของโรค มีขนาดผลใกล้เคียงกัน และมีระดับความสุกในระยะ Light Red (State 5) คือผลที่มีสีแดงอมชมพู หรือแดง เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ แต่มีสีแดงน้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (ดูจาก Tomato color standard chart ภาคผนวกซ) (Jone, 1999) ล้างด้วยน้ำประปา บิดขั้วผลออก สะเด็ดน้ำให้แห้งบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

2. หอมหัวใหญ่ จากตลาดหัวตะเข้ ลาดกระบัง คัดเลือกหอมหัวใหญ่ที่ไม่มีการทำลายของโรค มีขนาดผลใกล้เคียงกัน ลอกเปลือกสีน้ำตาลออก ล้างด้วยน้ำประปา สะเด็ดน้ำให้แห้งบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

3.3 แผนการศึกษา

3.3.1 ศึกษาผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

เตรียมตัวอย่างตามข้อ 3.2.1 จากนั้น แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น (อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส) และกลุ่มล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (v/v) แช่นาน 2 นาที ทุกกลุ่มการทดลองผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) นาน3นาที นำมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่มาหั่นสไลด์ตามขวางให้มีความกว้าง 8 มิลลิเมตร บรรจุน้ำหนัก 200 กรัม/แพค บนถาดโฟมพลาสติกแล้วบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอธิลีนหนา 0.20 มิลลิเมตรอีกชั้น นำไปปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์และประเมินลักษณะทางกายภาพจากการสังเกต ในวันที่ 0 3 5 6 และ7 วัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยคือวิธีการล้าง ซึ่งมี 3 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11

3.3.2ศึกษาปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่

นำมะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่ ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลองคือ กลุ่มควบคุม(ไม่ล้างน้ำกลั่น) และกลุ่มล้างน้ำกลั่น ทำการตรวจวัดทันที รอ 15 และ30 นาที โดยใช้ชุดทดสอบ Peroxide Test (Merck Co.,Ltd.) (Analytical test strips for the detection and semiquantitative determination of peroxide)

3.3.3 ศึกษาผลของการล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

เตรียมตัวอย่างตามข้อ 3.2.1 เลือกวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการทดลองที่ 3.3.1 เพื่อศึกษาผลของการล่าช้าก่อนการบรรจุ แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง คือ บรรจุทันที รอบรรจุ 30 60 และ 90 นาที จากนั้นบรรจุมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนหนา 0.20 มิลลิเมตร นำไปปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุ

สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 0 3 5 และ 7 วัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์(CRD)โดยมีปัจจัยคือ เวลาล่าช้าก่อนการบรรจุซึ่งมี 4 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.4 ศึกษาหาอายุการวางจำหน่ายโดยการจำลองการขนส่ง และการเก็บรักษา มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

เตรียมตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่สภาวะเหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในการทดลองที่ 3.3.3 โดยเตรียมกล่องโฟมเพื่อศึกษาผลการจำลองการขนส่งดังนี้ โรยน้ำแข็ง 2 กิโลกรัมที่ก้นกล่องโฟม ทับด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 2 คู่ วางเรียงตัวอย่างจำนวน 1ชั้น (21 ตัวอย่าง/กล่อง) และใส่เครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Temperature Tags) ทับด้านบนด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 2 คู่ และโรย น้ำแข็งจำนวน 1 กิโลกรัม ปิดผนึกฝากล่องโฟมด้วยเทปพลาสติก จำลองการขนส่งโดยนำกล่องโฟมไปเก็บห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ฌ) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำผักมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 8 และ 12 องศาเซลเซียส เพื่อหาอายุการวางจำหน่ายสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสในวันที่ 0 1 2 3 4 5 6 และ7 วัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์(CRD)โดยมีปัจจัยคืออุณหภูมิในการเก็บรักษาซึ่งมี 3 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range testที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11

3.3.5 ศึกษาผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วย สารละลายโอโซนต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

3.3.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในน้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ กัน

นำก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนเป่าพ่นลงในน้ำกลั่น เป็นเวลา 5 10 15 20 60 65 70 75 80 85 และ 90 นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ละลายในน้ำกลั่น ด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (ภาคผนวก ง) เมื่อใช้น้ำกลั่นเริ่มต้น 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้น

นำค่ามาหาความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่นในหน่วย ppm / เวลา เพื่อเลือกระยะเวลาในการเปิดเครื่องผลิตโอโซนเพื่อให้มีความเข้มข้นของโอโซนมากที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.3.5.2 ศึกษาผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วย สารละลายโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

1.เปรียบเทียบวิธีการปล่อยก๊าซโอโซนตลอดเวลาขณะแช่ผักกับการหยุดปล่อยก๊าซโอโซน

จากผลการทดลองในข้อ 3.3.5.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ เวลาการให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาทีให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ละลายน้ำสูงสุด จึงทำการทดลองโดย แช่มะเขือเทศจำนวน 200 กรัม (ทั้งผล) ลงในน้ำที่ให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาที ตรวจความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่น ณ เวลา 5 10 15 และ 20 นาที ส่วนอีกการทดลองคือ แช่มะเขือเทศจำนวน 200 กรัม ลงในน้ำที่ให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาที พร้อมเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซนต่อตรวจความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่น ณ เวลา 5 10 15 และ 20 นาที

2.โอโซนที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการเก็บรักษา ของ มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

เตรียมตัวอย่างตามข้อ3.2.1จากนั้นนำตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แช่ในสารละลายโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ได้จากการทดลอง 3.3.5.1 สัดส่วนน้ำ : ผัก คือ 10 : 1 (Kim et.al., 1999) ในบีกเกอร์ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดย แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 แช่ผักในสารละลายโอโซน จากข้อ 3.3.5.1 หลังจากการเปิดเครื่องผลิตโอโซนครบ 60 นาทีแล้วทำการเปิดเครื่องต่อ แช่ผัก นาน 5 นาที กลุ่มที่ 2 เปิดเครื่องผลิตโอโซน 60 นาที แล้วทำการปิดเครื่อง แช่ผักนาน 5 นาที (ภาคผนวก ช) และแช่ผักแต่ละชนิดด้วยน้ำกลั่น นาน 5 นาที (กลุ่มควบคุม) เตรียมตัวอย่างตามข้อ 3.3.1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปขั้นต่ำ ในวันที่ 0 3 4 5 6 7 และ 9วัน วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด บันทึกและสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในระหว่างการเก็บรักษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยคือวิธีการล้างซึ่งมี 3 ระดับ ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11

3.4 วิธีวิเคราะห์

3.4.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) (US.FDA.,1998)

ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยเทคนิคตีป่นและเทคนิค Pour Plateใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ทำ 3 ซ้ำ เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจจำนวนโคโลนีที่ปรากฏบนอาหาร PCA ระหว่าง 30-300 โคโลนี บันทึกจำนวนเป็น CFU/g (ภาคผนวก ข)

3.4.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างภายหลังการล้างในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ (Sapers and Simmons, 1998)

โดยใช้ชุดทดสอบ Peroxide Test ของบริษัทเมอร์ค (Analytical test strips for the detection and semiquantitative determination of peroxide) เตรียมตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างผัก 50 กรัมหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร ใส่ตัวอย่างผักลงในฟาก์สรูปมะเฟืองเติมน้ำกลั่นจำนวน 25 มิลลิลิตร นำไปตีป่นตัวอย่างด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 30 วินาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และนำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบหา Residual hydrogen peroxide ทันที โดยจุ่มแผ่นทดสอบ ลงในตัวอย่างให้เปียกทั่วบริเวณแผ่นทดสอบ ประมาณ 1 วินาที นำแผ่น Test strip ออกจากตัวอย่างและสลัดน้ำที่ติดบนแผ่น Test strip ออก รอให้เกิดสี (Reaction zone) ประมาณ 15 วินาที นำแผ่น Test strip ไปเทียบสีกับ Colour scale และอ่านค่า Residual hydrogen peroxide ในตัวอย่างผักที่ทดสอบ (ภาคผนวก ค)

3.4.3 วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ (APHA., 1995)

โดยวิธีการวิเคราะห์หาความเข้มข้นโอโซนในน้ำ ด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (Method 4500-O_3) (ภาคผนวก ง)

3.4.4 วิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบปัจจัยคุณภาพทางด้านกายภาพโดยรวม ด้วยแบบทดสอบ Hedonic scale (คะแนน 1-9) (ภาคผนวก จ)โดยผู้ทดสอบ 15 คน วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.4.5 วิธีบันทึกและสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในระหว่างการเก็บรักษา

มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้น โดยมีการให้คะแนนลักษณะที่เกิดขึ้นดังนี้

มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

คะแนน 5 = ดี มะเขือเทศอยู่ในสภาพดี มีลักษณะสด มีสี ส้มอมแดง ไม่เหี่ยวและไม่เละ

คะแนน 3 = ปานกลาง มะเขือเทศอยู่ในสภาพปานกลาง โดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี

คะแนน 1 = พอใช้ มะเขือเทศมีลักษณะเละเล็กน้อย

คะแนน 0 = ไม่ยอมรับ มะเขือเทศมีลักษณะเละทั้งชิ้น เป็นเมือกเยิ้ม มีกลิ่นหมักชัดเจน

หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

คะแนน 5 = ดี หอมหัวใหญ่อยู่ในสภาพดี มีลักษณะสด มีสี ขาว ไม่เหี่ยว

คะแนน 3 = ปานกลาง หอมหัวใหญ่อยู่ในสภาพปานกลาง โดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี

คะแนน 1 = พอใช้ หอมหัวใหญ่มีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย

คะแนน 0 = ไม่ยอมรับ หอมหัวใหญ่ มีลักษณะเหี่ยวและแห้งชัดเจน เริ่มมีสีน้ำตาลตามรอยตัด

ภาพที่ 3.1 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

ภาพที่ 3.2 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

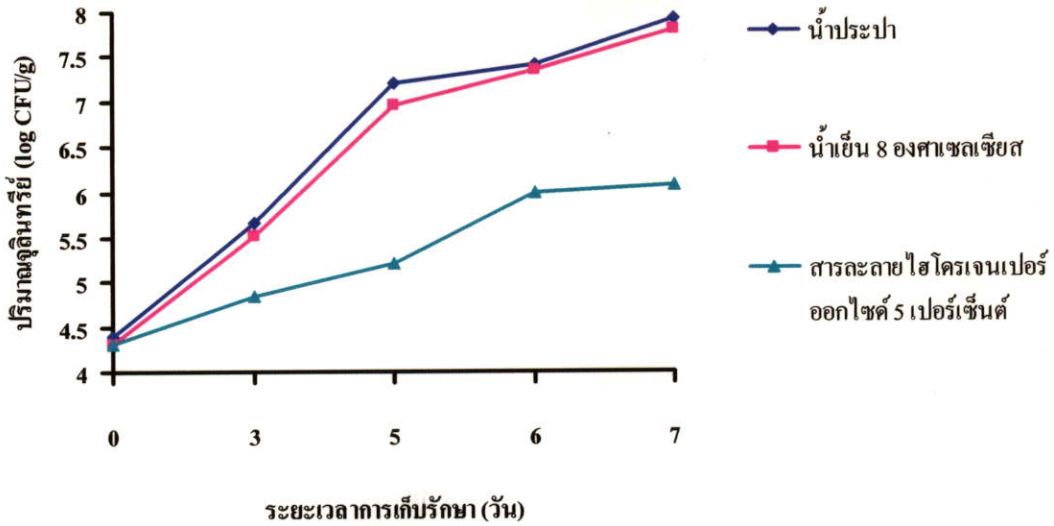
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่ล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ บรรจุสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษา 1-7 วัน

4.1.1 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

การตรวจสอบจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติ (Normal flora) ในมะเขือเทศ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น เท่ากับ 4.65 log CFU/g และเมื่อนำมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 – 7 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.1 ในวันแรกของการเก็บรักษา พบว่า มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.38 4.38 และ 4.36 log CFU/g ตามลำดับ ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่า มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำประปา และ น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.19 และ 7.18 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งเกินเกณฑ์กำหนดคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร ที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที ประเภทผักผลไม้ที่ล้างแล้วกำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2536) ในขณะที่ มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.20 log CFU/g ซึ่งสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.99 log CFU/g และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำประปาและน้ำเย็น ในวันที่ 6 และ 7 ของการเก็บรักษามะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เกินเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาทุกกลุ่มการทดลอง



ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำแข็ง และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน

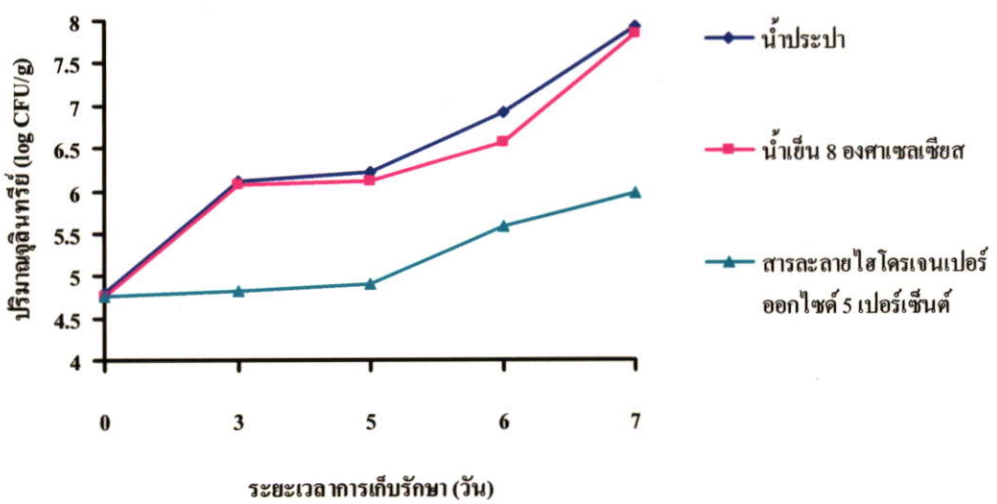
คุณภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น สังเกตจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายนอกโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา (แสดงดังตารางที่ 4.1) พบว่า มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำประปาและน้ำแข็ง เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วัน จึงเริ่มแสดงการเสื่อมเสีย ชิ้นมะเขือเทศมีลักษณะเละเล็กน้อยและมีน้ำเยิ้มที่ผิวหน้าเล็กน้อย และเห็นการเสื่อมเสียได้ชัดเจนเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน แต่สำหรับมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ยังอยู่ในสภาพปานกลาง โดยทั่วไปอยู่ในสภาพดีและเริ่มแสดงอาการเสื่อมเสียเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำแข็ง และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน

สภาวะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	0	**3**	**5**	**6**	**7**
น้ำประปา	5	3	1	0	0
น้ำแข็ง อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส	5	3	1	0	0
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์	5	5	3	1	1

4.1.2 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

การตรวจสอบจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติ (Normal flora) ของหอมหัวใหญ่ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น เท่ากับ 5.0 log CFU/g และเมื่อนำหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 – 7 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 4.2 ในวันแรกของการเก็บรักษา พบว่า หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.79 4.76 และ 4.75 log CFU/g ตามลำดับ ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่า หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำประปา และ น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.22 และ 6.12 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งเกินเกณฑ์กำหนดคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร ที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที ประเภทผักผลไม้ที่ล้างแล้ว กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/ g ในขณะที่ หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.91 log CFU/g ในวันที่ 6 มีปริมาณจุลินทรีย์ 5.58 log CFU/g ซึ่งสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.34 log CFU/g มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำประปาและน้ำเย็น และมีปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็น และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน

คุณภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นสังเกตจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายนอกโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา (แสดงดังตารางที่ 4.2) พบว่า หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำประปาและน้ำเย็น เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน จึงเริ่มแสดงการเสื่อมเสีย ชิ้นหอมใหญ่มีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย แต่สำหรับหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในวันที่ 6 พบว่า ยังอยู่ในสภาพปานกลางโดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี และเริ่มแสดงอาการเสื่อมเสียเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำประปา น้ำเย็นและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน

สภาวะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	0	**3**	**5**	**6**	**7**
น้ำประปา	5	5	3	1	1
น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส	5	5	3	1	1
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์	5	5	3	3	1

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของ น้ำประปา น้ำเย็น อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ในการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำประปา และน้ำเย็น โดยในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.99 log CFU/g มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.34 log CFU/g และมีอายุการเก็บรักษา 6 วัน ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในการศึกษาในขั้นตอนที่ 4.3 ต่อไป

ในกรณีของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นได้ดีกว่า น้ำประปาและน้ำเย็น เนื่องจาก สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ถูกนำมาใช้เป็น สารฆ่าเชื้อ(Disinfectant) และมีคุณสมบัติในการเป็นสารต่อต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Antimicrobial) (Block, 1991) จัดเป็นสารออกซิไดซ์ (Strong oxidizing agent) ที่มีพลังงานสูง ผลของการยับยั้งจุลินทรีย์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชัน (Oxidation) โดยไฮโดรเจนเปอร์

ออกไซด์จะสร้างสารออกซิไดซ์ที่มีพลังงานสูง เช่น Superoxide radicals และ Hydroxyl radicals ซึ่งอนุมูลเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาต่อต้านออกซิเจนที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย เช่น เอนไซม์ องค์ประกอบของเซลล์เมมเบรน และ อีเอ็นเอ (DNA) ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์แบคทีเรียแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible damage) และทำลายเซลล์แบคทีเรียในที่สุด (Davidson and Branen, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hajduk และ Surowka (2005) พบว่า การล้างแครอทแปรรูปเบื้องต้นในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ 2 log CFU/g และไม่ทำให้ปริมาณของ α-carotene และ β-carotene เปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกัน Ukuku (2004) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในการลดการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. บนผิวของแตงฮันนี่ดิว เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถลดการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ได้ 3 log CFU/cm^2 เช่นเดียวกับ Beerli และคณะ (2004) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในการล้างหอมใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 1.29 log CFU/g และ 1.04 log CFU/g ตามลำดับ โดยไม่มีการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณของแข็งและมีอายุการเก็บรักษา 7 วัน

4.2 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง หลังการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

4.2.1 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

ภายหลังการล้างมะเขือเทศด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปตรวจสอบปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มไม่ล้างน้ำกลั่น และกลุ่มล้างน้ำกลั่น โดยทำการตรวจวัดทันที รอ15 นาที และ 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองเมื่อตรวจวัดทันที มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.5 ppm และสลายหมดไปภายในเวลา 15 นาที ดังนั้นการล้างหรือไม่ล้างน้ำกลั่นอีกครั้งจึงไม่มีความจำเป็น

4.2.2 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

ภายหลังการล้างหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปตรวจสอบปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มไม่ล้างน้ำกลั่นและกลุ่มล้างน้ำกลั่น โดยทำการตรวจวัดทันที รอ 15 และ 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 2 กลุ่มการ

ทดลองเมื่อตรวจวัดทันทีมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.5 ppm และสลายหมดไปภายในเวลา 15 นาที ดังนั้นการล้างหรือไม่ล้างน้ำกลั่นอีกครั้งจึงไม่มีความจำเป็น

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในมะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นภายหลังการล้างด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลา ต่างๆ กัน

ชนิดผัก	กลุ่มการทดลอง	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง (ppm) ระยะเวลา (นาที)		
		0	15	30
มะเขือเทศ	ไม่ล้างน้ำกลั่น	< 0.5	0	0
	ล้างน้ำกลั่น	< 0.5	0	0
หอมหัวใหญ่	ไม่ล้างน้ำกลั่น	< 0.5	0	0
	ล้างน้ำกลั่น	< 0.5	0	0

จากผลการทดลองการตรวจสอบปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Colelli และคณะ (2004) ที่รายงานว่า การล้างกีวีแปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการตกค้างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในชิ้นกีวีแปรรูปเบื้องต้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sapers และ Simmons (1998) ที่รายงานว่า ในการล้างเห็ดด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการตกค้างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากเห็ดมี Catalase อยู่เป็นจำนวนมาก โดยการตรวจสอบปริมาณการตกค้างใช้ EM Quant Peroxide Test Strip (EM Science, EM Industries Inc.,Gibbstown, N.J., USA., sentivity 0.5 ppm) Sapers และ Sites (2003) รายงานว่า การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในการล้างแอปเปิ้ล ไม่พบการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนผิวแอปเปิ้ล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sapers (2002) และ Sapers (2003) ที่รายงานว่า ปกติผักและผลไม้สดจะมีปริมาณ Catalase อย่างเพียงพอ ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แตกตัวเป็นน้ำและก๊าซออกซิเจน และสลายตัวไปภายในช่วงเวลาเป็นนาทีหรือชั่วโมงระหว่างการแปรรูป

The Code of Federal Regulations (USA) กำหนดให้การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) ปริมาณการใช้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น อนุญาตให้ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อเป็นสารต้านการเจริญเติบโตของ

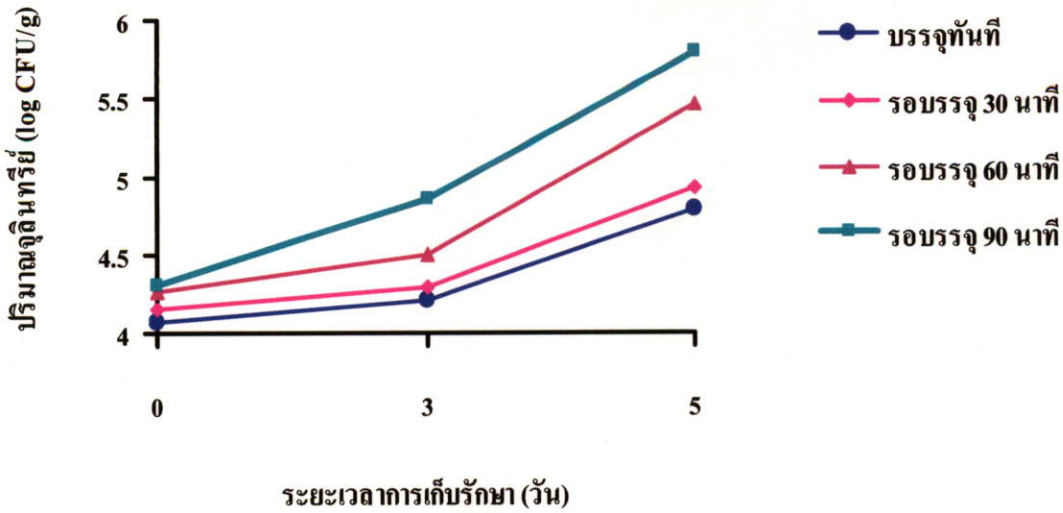
จุลินทรีย์ในการเตรียมนมเพื่อทำชีส ใช้เป็นสารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการผลิตแป้ง และการใช้เป็นสารฟอกสีในอิมัลซิไฟเออร์ ที่ระดับ 0.05 0.15 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และกำหนดให้ปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ต้องกำจัดโดยวิธีการทางกายภาพและทางเคมี ในระหว่างกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม โดยในทางปฏิบัตินิยมเติมเอนไซม์ Catalase (CFR 184.1366, 2002)

อย่างไรก็ตามมาตรฐานอาหาร (Food Standards Code) ของ Australia New Zealand Food Authority กำหนดให้ปริมาณการตกค้างสูงสุด (Maximum permitted residue (ppm)) ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กำหนดให้สำหรับการใช้เพื่อเป็นสารล้างและปอกเปลือกมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างสูงสุด ไม่เกิน 5 ppm (ANZFA, 2001) ในขณะที่ Codex ไม่ได้กำหนด Maximum Residue Levels (MRLs) ของปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (EPA, 1999) เช่นเดียวกับ Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additive (JECFA) ข้อมูล Acceptable daily intake (ADI) และการศึกษาด้านพิษวิทยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อยู่ในการศึกษาและยังไม่มีข้อกำหนดอย่างชัดเจน (JECFA, 2004)

4.3 ผลการศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

4.3.1 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

จากผลการศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น โดยมีระยะเวลาคือ บรรจุทันที รอบรรจุ 30 นาที รอบรรจุ 60 นาที และ รอบรรจุ 90 นาที พบว่า ในวันแรก วันที่ 3 และ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่บรรจุทันทีและรอบรรจุ 30 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่ารอบรรจุ 60 นาที และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลารอบรรจุนานขึ้นเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษากลุ่มบรรจุทันทีและรอบรรจุ 30 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และกลุ่มบรรจุทันทีมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยที่สุดคือ 4.79 log CFU/g ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.3

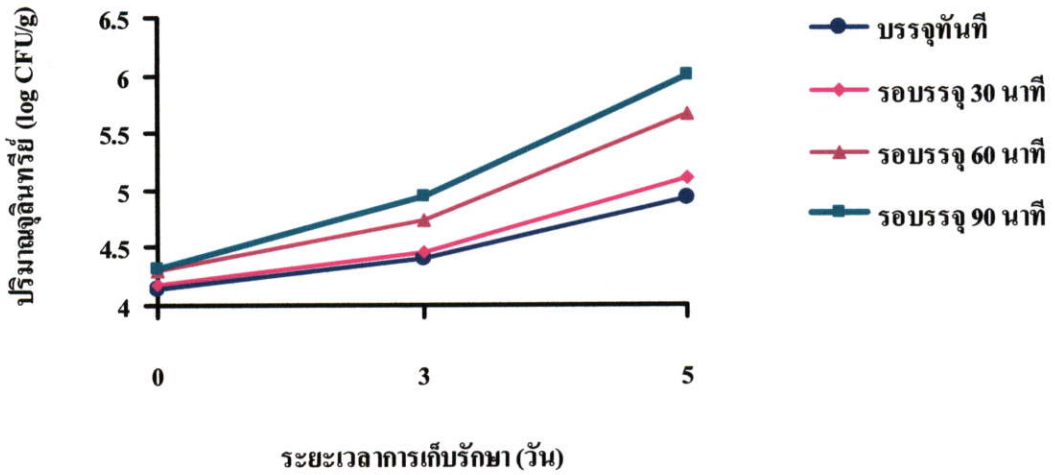


ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่บรรจุทันทีและเวลาล่าช้าก่อนบรรจุ นาน 30 60 และ 90 นาที เมื่อระยะการเก็บรักษาต่างๆ กัน

4.3.2 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

จากการศึกษาผลของเวลาที่ล่าช้าก่อนการบรรจุในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น โดยมีระยะเวลาคือ บรรจุทันที รอบรรจุ 30 นาที รอบรรจุ 60 นาที และ รอบรรจุ 90 นาที พบว่า ในวันแรก วันที่ 3 และ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่บรรจุทันทีและรอบรรจุ 30 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่ารอบรรจุ 60 นาทีและ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลารอบรรจุนานขึ้นเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษากลุ่มบรรจุทันทีและรอบรรจุ 30 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และกลุ่มบรรจุทันทีมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยที่สุดคือ 4.93 log CFU/g ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4

เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาล่าช้าก่อนการบรรจุ ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า เวลาล่าช้าก่อนรอบรรจุมีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยพบว่าการบรรจุทันทีและรอบรรจุ 30 นาทีมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า รอบรรจุ 60 และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการบรรจุทันที มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า การรอบรรจุ 30 นาที ดังนั้นจึงเลือกการบรรจุแบบทันทีในการศึกษาในขั้นตอนที่ 4.4 ต่อไป



ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่บรรจุทันทีและเวลาล่าช้าก่อนบรรจุ นาน 30 60 และ 90 นาที เมื่อระยะการเก็บรักษาต่างๆ กัน

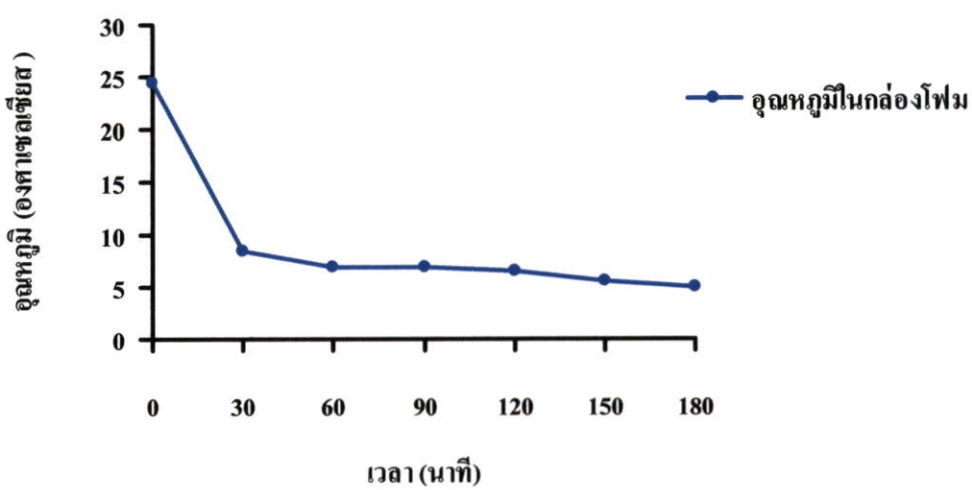
การศึกษาของ Ready-To Use- European research (RE-TU-ER) (2000) ได้กำหนดแนวปฏิบัติสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น เช่น มันฝรั่ง แครอท ผักกาดขาว หอมหัวใหญ่ และต้นหอม ในขั้นตอนการบรรจุ กำหนดให้บรรจุผักแปรรูปเบื้องต้นทันทีหลังจากขั้นตอนการล้างหรือการปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกเช่นเดียวกับ การศึกษาของสำนักงานอันตรายด้านจุลินทรีย์ คณะกรรมการอาหาร กระทรวงสาธารณะสุขของประเทศแคนาดา (The Bureau of Microbial Hazards, Food Directorate, Health Canada, 2000) รายงานว่าความปลอดภัยทางจุลินทรีย์และคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้น ขึ้นกับปัจจัยของเวลาทั้งหมดในกระบวนการแปรรูปและอุณหภูมิของผัก และกำหนดแนวปฏิบัติคือ ถ้าอุณหภูมิของผักแปรรูปเบื้องต้น คือ 25 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในกระบวนการแปรรูปทั้งหมดไม่เกิน 30 นาที

โดยปกติ ผักแปรรูปเบื้องต้นเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักที่ไม่ผ่านการตัดแต่งและแปรรูปเบื้องต้น เนื่องจากเปลือกเป็นโครงสร้างของพืชที่จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากแรงกระแทกบริเวณที่เป็นรอยตัดที่เกิดจากการปอกเปลือก การตัดแต่ง การหั่นเป็นชิ้น จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นการหายใจ (Brecht, 1995) ผักแปรรูปเบื้องต้นจึงมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าสภาพปกติ (Watada and Qi, 1999) การปฏิบัติดังกล่าวทำให้เซลล์ของผลิตผลถูกทำลายเกิดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ง่าย (Shewfelt, 1994) สารต่างๆ รั่วไหลออกมา รวมทั้งสารประกอบ Phenolic ซึ่งเมื่อได้สัมผัสกับก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลในที่สุด น้ำตาลและกรดต่างๆ ซึ่งรั่วไหลออกมาด้วยกลายเป็นอาหารสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อาจปนเปื้อนได้ขณะทำการแปรรูป

ในการแปรรูปผักแปรรูปเบื้องต้นจึงต้องมีการจัดการแนวทางในการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) อย่างเคร่งครัด และมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิต เพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นขั้นตอนเหล่านี้ควรเป็นกรรมวิธีที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักเกิดการเสียหายน้อยที่สุด ดังนั้น อุปกรณ์และเทคนิคในการตัดแต่ง และแปรรูปจำเป็นต้องใช้ใบมีดที่มีความคมมากเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ และรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นภายหลังการแปรรูปต้องทำการเก็บรักษาให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพซึ่งเกิดขึ้นจากการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษา (Varoquaux et al., 1996) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดอัตราการหายใจและการคายน้ำของผลิตภัณฑ์ (Brecht, 1995)

4.4 ผลการศึกษาหาอายุการวางจำหน่ายโดยการจำลองการขนส่ง และการเก็บรักษามะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

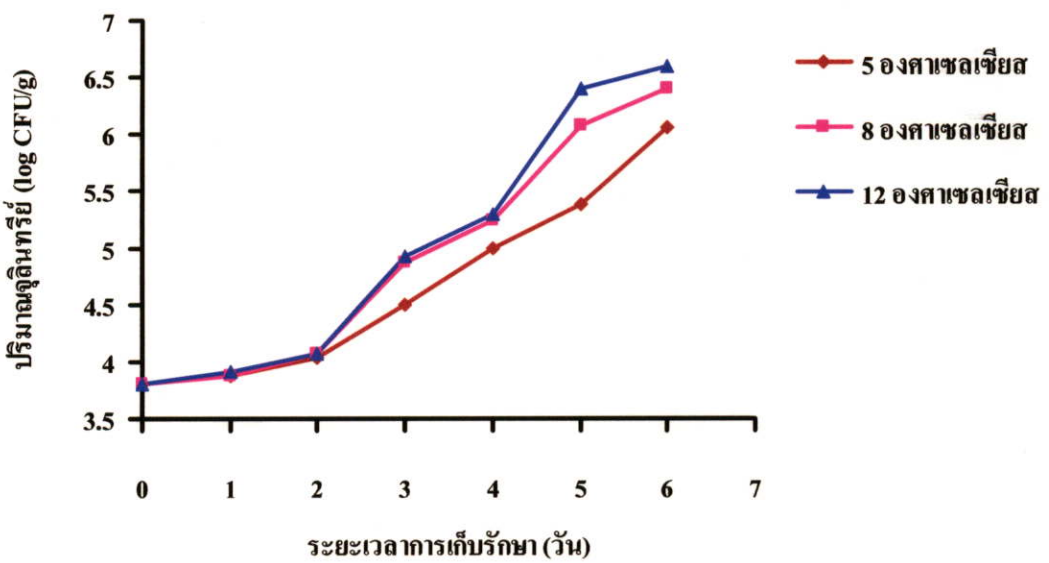
จากการศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในกล่องโฟม ที่บรรจุมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น โดยจำลองการขนส่งและการเก็บรักษา พบว่า อุณหภูมิในกล่องโฟมระหว่างการขนส่งเริ่มต้นที่ 24.5 องศาเซลเซียส และลดลงเป็น 5 องศาเซลเซียส ในช่วงนาทีที่ 150-180 นาทีของการขนส่ง ซึ่งจากการศึกษาของ Francis (2003) รายงานว่า การขนส่งผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 4 - 5 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเพิ่มอัตราการหายใจของผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้นที่เพิ่มขึ้นระหว่างการขนส่ง



ภาพที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิในกล่องโฟมที่สภาวะจำลองการขนส่งในห้องเย็น ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสนาน 180 นาที

4.4.1 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

เมื่อจำลองการขนส่งผักที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 8 และ 12 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.6) พบว่า การเก็บรักษามะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเก็บรักษามะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นในระยะการเก็บ 2 วันแรก จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ในวันที่ 3 และ 4 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในวันที่ 5 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.40 log CFU/g ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เกินเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ คือ 6.08 และ 6.33 log CFU/g ตามลำดับ และในวันที่ 6 มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นเก็บรักษาที่ 5 8 และ12 องศาเซลเซียส มีจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ทุกกลุ่มการทดลอง



ภาพที่ 4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษา พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน จะให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่างกัน โดยการเก็บรักษาในวันที่ 5 พบว่า การเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดสอบในด้านสี

กลิ่น เนื้อสัมผัสและการยอมรับที่ดีกว่า การเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

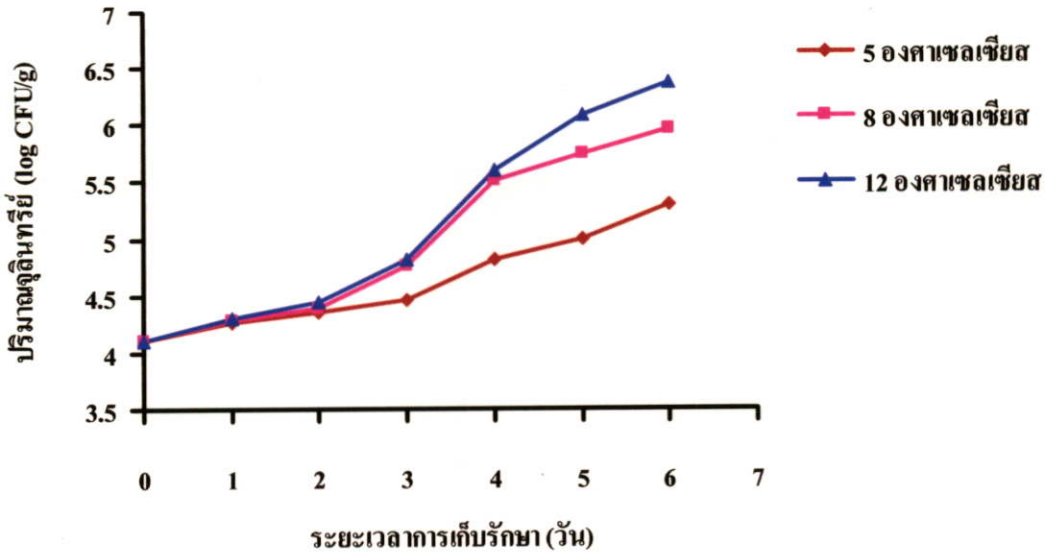
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผลการประเมิน			
	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
5	6.7[a]	6.3[a]	6.0[a]	6.0[a]
8	5.0[b]	5.0[b]	4.7[b]	4.7[b]
12	4.5[c]	3.7[c]	3.3[c]	3.3[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.2 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

เมื่อจำลองการขนส่งผักที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 5 8 และ 12 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.7) พบว่า การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ในระยะการเก็บ 2 วันแรก จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ในวันที่ 3 และ 4 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในวันที่ 6 หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.30 log CFU/g ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยา ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ คือ 6.00 และ 6.36 log CFU/g ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ระหว่างเก็บรักษา พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน จะให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่างกัน โดยการเก็บรักษาในวันที่ 6 พบว่า การเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดสอบในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและการยอมรับที่ดีกว่า การเก็บรักษาที่ 8 และ 12 องศาเซลเซียส ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นในวันที่ 6 ของ การเก็บรักษา

อุณหภูมิ	ผลการประเมิน			
(องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
5	6.7[a]	6.2[a]	6.5[a]	6.0[a]
8	6.5[b]	5.8[b]	5.0[b]	4.9[b]
12	6.5[b]	5.3[c]	4.7[c]	4.5[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากผลของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 8 และ 12 องศาเซลเซียส พบว่า

มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ดีที่สุด โดยยืดอายุการวางจำหน่ายมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นได้นาน 5 และ 6 วันตามลำดับ ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นมีอายุการวางจำหน่าย 4 และ 3 วันตามลำดับ และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นมีอายุการวางจำหน่าย 5 และ 4 วันตามลำดับ

ผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในผักแปรรูปเบื้องต้น พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Garg et al., 1993; Marth, 1998; Zhang and Farber, 1996) เนื่องจากในสภาพอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งกิจกรรมต่างๆ ของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ การงอกของสปอร์และการผลิตสารพิษ จากการศึกษาของ Potran และคณะ (1995) ในผักกาดหอม และผักกาดขาว พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถลดการงอกของสปอร์และการผลิต botulinum toxin ของเชื้อ *Clostridium botulinum* ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Garg และคณะ (1993) พบว่าการเก็บรักษาผักแปรรูปเบื้องต้นรวม (แครอท ปวยเหล็ง และกะหล่ำดอก) ที่อุณหภูมิ 3.3 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณของเชื้อ *Psychrotropht cloakroms* และ *Lactobacilli* ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิต่ำจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการรักษาคุณภาพของผักแปรรูปเบื้องต้น คือ การยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Jay, 1996)

Walker และ Stringer (1990) และ Busta (1994) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิต่ำในระหว่างกระบวนการผลิตและการวางจำหน่ายผักและผลไม้แปรรูปเบื้องต้น พบว่า การลดอุณหภูมิให้ต่ำลง มีผลช่วยให้ช่วงปรับตัว (Lag phase) ของจุลินทรีย์ยาวขึ้น หรือเพิ่มระยะเวลาที่จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (Generation time)ให้นานขึ้น ทำให้อัตราการสืบพันธุ์ (Rate of reproduction) ของจุลินทรีย์ช้าลง โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ชอบเจริญเติบโตที่อุณหภูมิต่ำ (Phychrophillic) ช่วง 0-20 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 12-15 องศาเซลเซียส มีอัตราการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่ชอบเจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลาง(Mesophillic) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิช่วง 20-45 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 30-40 องศาเซลเซียส ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ จึงมีผลทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารที่เก็บรักษาในตู้เย็น (2-5 องศาเซลเซียส) ได้ (Brackett, 1994)

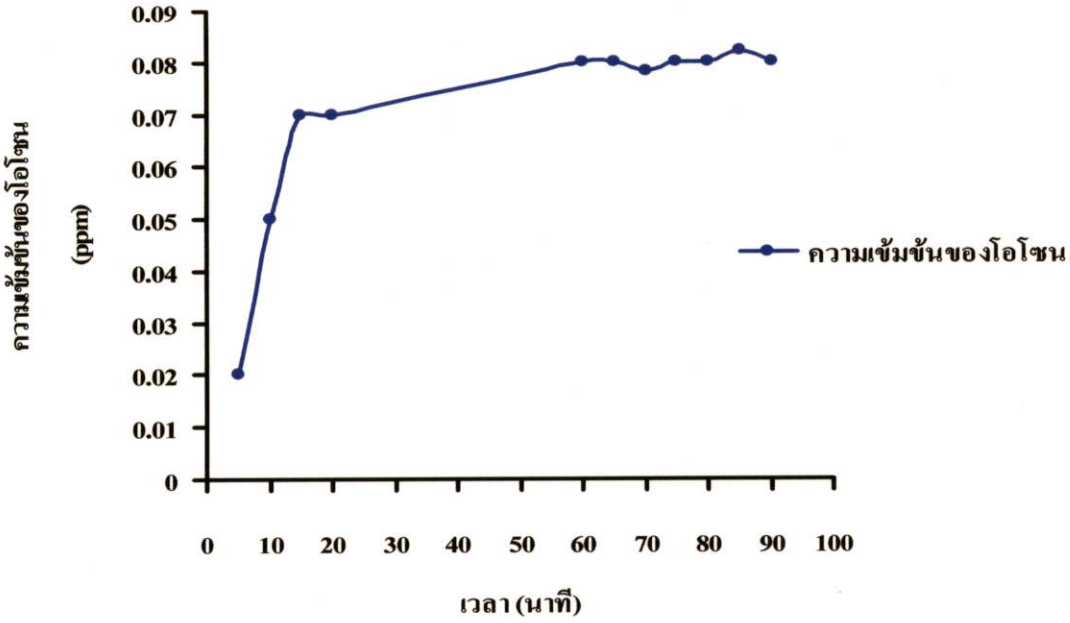
Eguyen-the และ Carlin (1994) รายงานว่า ที่อุณหภูมิ 3-4 องศาเซลเซียสสามารถลดการเจริญเติบโตของ *L.monocytogenes* ในผักแปรรูปเบื้องต้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส การศึกษาของ Francis (2003) รายงานว่าการลดอุณหภูมิจาก 8 องศาเซลเซียส เป็น 4 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการลดการเจริญเติบโตของ *E.coli* O157:H7 ได้อย่างมีนัยสำคัญในผักแปรรูปเบื้องต้น ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงขึ้น ระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตได้เร็วมากยิ่งขึ้น ดังนั้น หลังจากใช้สารเคมีในการลดจำนวนจุลินทรีย์ในขั้นตอนการล้างแล้ว การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญสำหรับความความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาของผักแปรรูปเบื้องต้น

Francis และคณะ (1999) รายงานว่าผักแปรรูปเบื้องต้น ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2–5 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ กฎหมายของประเทศฝรั่งเศสได้กำหนดว่า อุณหภูมิสูงสุดในการเก็บรักษาผักแปรรูปเบื้องต้นต้องไม่เกิน 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดในการเก็บรักษาต้องไม่ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ในประเทศอังกฤษ กฎหมายสุขลักษณะของอาหาร (Food Hygiene Regulation) กำหนดให้ ผักสลัดที่บรรจุแบบขายปลีก ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับสถาบันวิทยาศาสตร์การอาหารและเทคโนโลยี ของประเทศอังกฤษ แนะนำอุณหภูมิในการเก็บรักษาผักสลัดแปรรูปเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส

4.5 ผลการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

4.5.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายในน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กับเวลาที่ให้ก๊าซโอโซน แสดงดังตารางที่ ฉ.5 (ภาคผนวก ฉ) และเมื่อนำค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในน้ำกลั่นมาหาความสัมพันธ์กับเวลา แสดงดังภาพที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการพ่นก๊าซโอโซนลงในน้ำกลั่นมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโอโซนมีค่ามากขึ้น กราฟที่ได้จากการพลอตค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้กับเวลาจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและมีแนวโน้มคงที่ ที่เวลา 15 นาที เป็นต้นไปมีความเข้มข้นของโอโซนคือ 0.07 ppm และความเข้มข้นของโอโซนในน้ำที่เวลา 60 นาที มีความเข้มข้นโอโซนสูงสุด 0.08 ppm



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกับเวลาที่ให้ก๊าซโอโซน

ความเข้มข้นของโอโซนตกค้างสามารถตรวจวัดด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method ที่อาศัยหลักการว่า โมเลกุลของ indigo ประกอบด้วย C=C 1 พันธะ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโอโซนด้วยการอัตราการทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องและรุนแรง โดยจะสร้าง Sulfonated isatin และสารประกอบตัวอื่นๆที่คล้ายกันออกมา สารเหล่านี้จะถูกดูดกลืนแสงที่ 600 nm (Gottschalk et al., 2000) จากการทดลอง ความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนที่ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร เมื่อเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน 60 นาที คือ 0.08 ppm สอดคล้องกับการทดลองของ จิราภา (2547) รายงานว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการผ่านก๊าซโอโซนลงในน้ำมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโอโซนมีค่ามากขึ้น ความเข้มข้นของโอโซนจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และคงที่เมื่อถึงความเข้มข้นสูงสุดของความสามารถเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ซึ่ง Meunpol และคณะ (2003) รายงานว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ ได้แก่ ความสามารถของเครื่องผลิตโอโซน ลักษณะการแพร่ของโอโซนสู่น้ำ อัตราการไหลของก๊าซโอโซน และแหล่งก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซน

การออกซิเดชันของโอโซนสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่การทำลายเชื้อในน้ำนั้นต้องทำให้โอโซนสามารถละลายในน้ำได้และยังคงคุณสมบัติรวมถึงความเข้มข้นได้ตามเวลาที่ต้องการ ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซนที่หลงเหลืออยู่ (Ozone residual) (Farooq et al., 1977 ; Langlais et al., 1991)ในช่วงเวลาที่มีการสัมผัสกับเชื้อ ควรมีเวลาเพียงพอที่จะให้โอโซนทำการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่คาดหวัง (Langlais et al., 1991)

ในการนำก๊าซโอโซนมาใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน เนื่องจากความสามารถของเครื่องผลิตโอโซนอาจมีค่าน้อยกว่าที่บริษัทผลิตระบุไว้ และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนหลังเป่าพ่นลงน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (กัญญาจิต, 2543) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงต้องศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซนตกค้าง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโอโซนที่ได้จากการเป่าพ่นก๊าซโอโซนลงในน้ำ ต่อการทำลายจุลินทรีย์ของผักแปรรูปเบื้องต้นในขั้นตอนต่อไป

4.5.2 ผลการศึกษาการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

4.5.2.1 ผลการเปรียบเทียบวิธีการปล่อยก๊าซโอโซนตลอดเวลาในขณะแช่ผัก กับการหยุดปล่อย

จากการทดลองตรวจความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกลั่น เมื่อทำการแช่ผักที่สภาวะต่างๆกัน คือ สภาวะเวลาการให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาทีแล้วปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน และสภาวะการให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาที แล้วเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซนต่อ แช่มะเขือเทศจำนวน 200 กรัม (ทั้งผล) ตรวจความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกลั่น ณ เวลาต่างๆ กัน ผลความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกลั่น ทั้ง 2 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของโอโซนตกค้างที่ให้ก๊าซโอโซน 60 นาที ด้วย เครื่องผลิตก๊าซโอโซน ในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะปิดและเปิด เครื่องผลิตก๊าซโอโซน ในขณะล้างตัวอย่าง

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

จากผลการทดลองตรวจความเข้มข้นของโอโซนตกค้างใน สภาวะเวลาการให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาที แล้วปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจึงนำมะเขือเทศจำนวน 200 กรัมลงไปแช่ (ทั้งผล) พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนเมื่อแช่มะเขือเทศจำนวน 200 กรัม ที่เวลา 5 นาทีมีความเข้มข้นข้นโอโซนตกค้างในน้ำกลั่นลดลงเป็น 0.021 ppm และมีแนวโน้มลดลงและเริ่มสลายตัวไป ตามระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้น

ส่วนสภาวะการให้ก๊าซโอโซนครบ 60 นาที แล้วแช่มะเขือเทศจำนวน 200 กรัม พร้อมเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซนต่อไปอีกตาม เวลาต่างๆ กัน พบว่า ที่เวลา 5 นาที ความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกลั่นลดลงเป็น 0.056 ppm และมีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ความเข้มข้นของโอโซนจะคงที่มากกว่าสภาวะแรก

จากผลการทดลองหาความเข้มข้นของโอโซนตกค้างในน้ำกลั่นทั้ง 2 สภาวะ สอดคล้องกับการทดลองของ Ketteringham และคณะ (2005) ที่รายงานว่า เมื่อแช่ตัวอย่างพริกไทยลงในภาชนะที่มีน้ำโอโซนอยู่ พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนจะลดลง โดยก่อนทำการแช่ตัวอย่าง ความเข้มข้นของโอโซนคือ 0.35 – 0.36 ppm เมื่อแช่ตัวอย่างพริกไทยแล้ว ความเข้มข้นของโอโซนที่น้อยที่สุดที่วัดได้คือ 0.30 ppm หลังจากการแช่ 4 นาที และหลังจาก 9 นาที ความเข้มข้นของโอโซนเริ่มจะเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถเพิ่มเป็น 0.35 – 0.36 ppm (ความเข้มข้นเริ่มต้น) ได้อีก จนกระทั่งจะนำตัวอย่างพริกไทยออก ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนจะออกซิไดซ์สารอินทรีย์จากรอยตัดของพริกไทยสดทำให้ความเข้มข้นของโอโซนลดลง

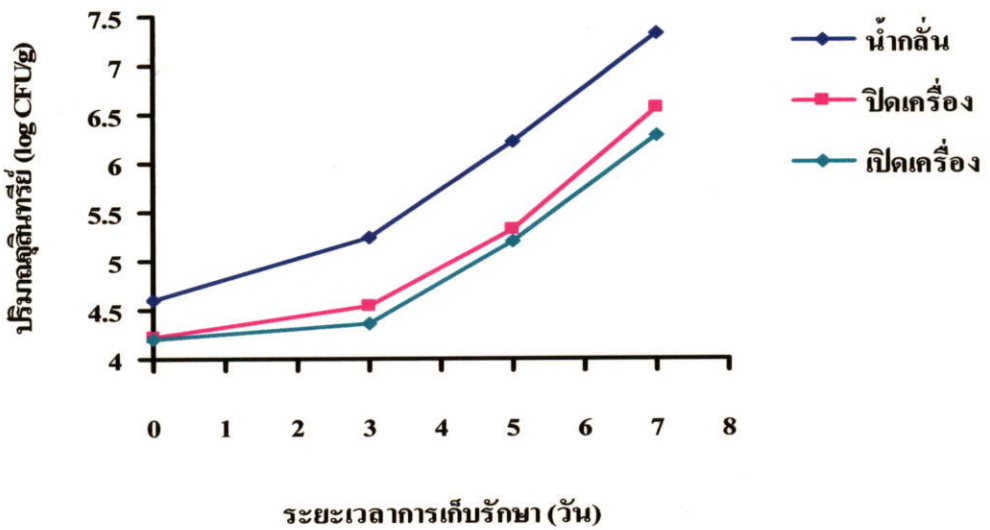
4.5.2.2 ผลปริมาณจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

ศึกษาผลของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติ ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติบนมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่หลังจากผ่านการล้างด้วยสภาวะแตกต่างกัน ได้แก่ ล้างด้วยน้ำกลั่น (กลุ่มควบคุม) สารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และสารละลายโอโซน (เปิดเครื่องต่อ) ที่เวลาการล้าง 5 นาที (ความเข้มข้นของโอโซน 0.08 ppm) ที่มีต่อคุณภาพของผักทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 – 9 วัน

1. มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น

มะเขือเทศที่ปนเปื้อนจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น 4.60 log CFU/g หลังการล้างด้วยน้ำกลั่น นาน 5 นาที จะมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง 0.25 log CFU/g การล้างด้วยสารละลายโอโซน(ปิดเครื่อง) นาน 5 นาที และล้างด้วยสารลาย

โอโซน (เปิดเครื่องต่อ) นาน 5 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง 0.63 และ 0.66 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น นำมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นทั้ง 3 สภาวะไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (แสดงดังภาพที่ 4.9) พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นมีจำนวนเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกสภาวะ โดยการล้างด้วยสารละลายโอโซนทั้ง 2 สภาวะ มีปริมาณจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสภาวะที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และการล้างด้วยสารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และ ล้างด้วยสารละลายโอโซน (เปิดเครื่อง) ให้ผลในการลดจำนวนจุลินทรีย์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการล้างมะเขือเทศแปรรูปด้วยสารละลายโอโซน (เปิดเครื่อง) สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีที่สุด โดยระยะการเก็บรักษา 5 วัน กลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.02 log CFU/g ซึ่งเกินเกณฑ์คุณภาพการยอมรับทางจุลชีววิทยาในขณะที่กลุ่มที่ล้างด้วยสารละลายโอโซน(ปิดเครื่อง) และสารละลายโอโซน (เปิดเครื่องต่อ) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 0.57 และ 0.62 log CFU/g ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มล้างน้ำกลั่น และมีปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพการยอมรับทางจุลชีววิทยาในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.9 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซนสภาวะต่างๆกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซนที่สภาวะต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน

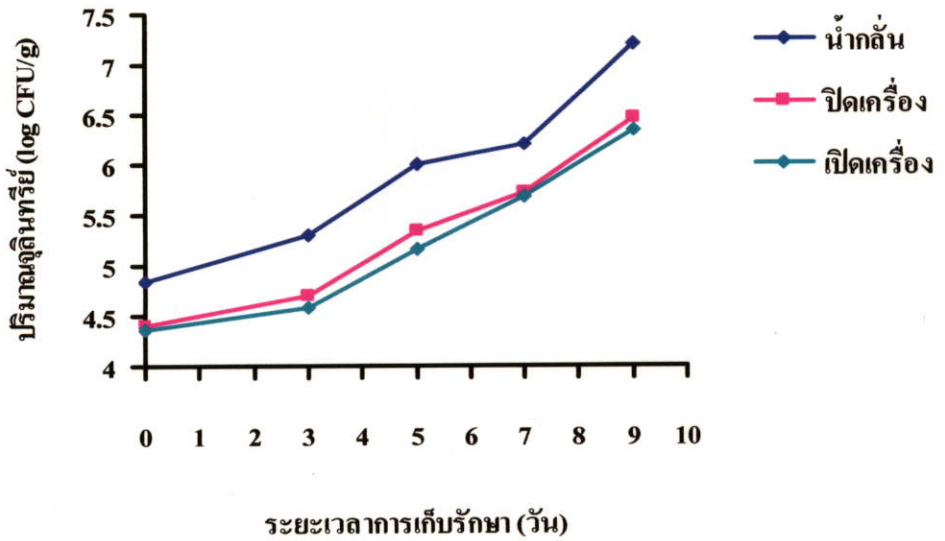
สภาวะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	0	3	5	7
น้ำกลั่น	5	3	1	0
สารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง)	5	3	3	1
สารละลายโอโซน(เปิดเครื่องต่อ)	5	3	3	1

คุณภาพของมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น สังเกตจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายนอกโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา (แสดงดังตารางที่ 4.7) พบว่า มะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำกลั่น เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วัน จึงเริ่มแสดงการเสื่อมเสีย ชิ้นมะเขือเทศมีลักษณะเละเล็กน้อยและมีน้ำเยิ้มที่ผิวหน้าเล็กน้อย และเห็นการเสื่อมเสียได้ชัดเจนเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน แต่สำหรับมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และ ล้างด้วยสารละลายโอโซน(เปิดเครื่อง)พบว่า ยังอยู่ในสภาพปานกลาง โดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี และเริ่มแสดงอาการเสื่อมเสียเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

2. หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

หอมหัวใหญ่ที่ปนเปื้อนจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น 4.89 log CFU/g หลังการล้างด้วยน้ำกลั่น นาน 5 นาที จะมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง 0.13 log CFU/g การล้างด้วยสารละลายโอโซน(ปิดเครื่อง) นาน 5 นาที และล้างด้วยสารลายโอโซน (เปิดเครื่องต่อ) นาน 5 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง 0.49 และ 0.53 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น นำหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นทั้ง 3 สภาวะไป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (แสดงดังภาพที่ 5.0) พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกสภาวะ โดยการล้างด้วยสารละลายโอโซนทั้ง 2 สภาวะมีจำนวนจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสภาวะที่ล้างด้วยน้ำกลั่น แต่การล้างด้วยสารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และ ล้างด้วยสารละลายโอโซน (เปิดเครื่อง) ให้ผลในการลดจำนวนจุลินทรีย์ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการล้างหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายโอโซน (เปิดเครื่อง) สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีที่สุด โดยระยะการเก็บรักษา 7 วัน กลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.20 log CFU/g ซึ่งเกินเกณฑ์คุณภาพการยอมรับ ในขณะที่กลุ่มที่ล้างด้วยสารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และสารละลายโอโซน (เปิดเครื่องต่อ) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 0.48 และ 0.52 log CFU/g

ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ล้างน้ำกลั่น และมีปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์คุณภาพการยอมรับในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 5.0 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซนสภาวะต่างๆกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโอโซนที่ สภาวะต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน

สภาวะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	0	3	5	7	9
น้ำกลั่น	5	5	3	1	1
สารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง)	5	5	3	3	1
สารละลายโอโซน(เปิดเครื่องต่อ)	5	5	3	3	1

คุณภาพของหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น สังเกตจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายนอกโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา (แสดงดังตารางที่ 4.8) พบว่า หอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยน้ำกลั่น เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน จึงเริ่มแสดงการเสื่อมเสีย ชิ้นหอมใหญ่มีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย แต่สำหรับหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นที่ล้างด้วยสารละลายโอโซน (ปิดเครื่อง) และ ล้างด้วยสารละลายโอโซน (เปิดเครื่อง) ในวันที่ 7 พบว่า ยังอยู่ในสภาพปานกลางโดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี และเริ่มแสดงอาการเสื่อมเสียเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 9 วัน

จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2005) รายงานว่า การใช้สารละลายโอโซนความเข้มข้น 0.03 0.08 และ 0.18 ppm ในการล้างคื่นช่ายแปรรูปเบื้องต้น นาน 5 นาที เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา และมีอายุการเก็บรักษานาน 9 วัน โดยกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำประปามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.78 log CFU/g ในขณะที่ กลุ่มล้างด้วย สารละลายโอโซนความเข้มข้น 0.03 0.08 และ 0.18 ppm มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.72 5.64 และ 5.63 log CFU/g ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ความเข้มข้นของโอโซนที่ละลายในน้ำ พบว่า ความเข้มข้นสูงสุดที่เครื่องผลิตโอโซนสามารถผลิตได้คือ 0.08 ppm ซึ่งเป็นความเข้มข้นของโอโซนในระดับต่ำ ดังนั้น ควรเปิดหัวพ่นก๊าซโอโซนขณะล้าง เพื่อทำให้ความเข้มข้นของโอโซนคงที่ และการเปิดหัวพ่นก๊าซโอโซนขณะล้าง ลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการปิดหัวพ่นโอโซนขณะล้าง สอดคล้องกับการศึกษาของ Achen และคณะ(2001) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโอโซนในการยับยั้ง *E.*coli O157:H7 ในแอปเปิ้ล ผลการทดลองพบว่า แอปเปิ้ลที่ปนเปื้อน *E.coli* และล้างด้วยน้ำโอโซน(ก๊าซโอโซน 12-14 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 1.45 ลิตร/ นาที) ที่ใช้การพ่นเป็นฟองในน้ำ (Bubbled) ระหว่างการล้างสามารถลดการปนเปื้อนของ *E.coli* ได้ดีกว่าการล้างแบบจุ่มในน้ำโอโซน นาน 3 นาที โดยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ 3.7 และ 2.6 log CFU/g ตามลำดับ ทำนองเดียวกับการทดลองของ Kim และ คณะ(1999) รายงานว่า การลดการปนเปื้อนของผักกาดหอมแปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายโอโซน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อน สรีรวิทยาของผัก การออกแบบการล้างด้วยเครื่องผลิตก๊าซโอโซน คุณภาพของน้ำ เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เป็นต้น และจากการศึกษา การล้างผักกาดหอมด้วยสารละลายโอโซน พบว่า การใช้ก๊าซโอโซนพ่นเป็นฟองในน้ำ (Bubbling ozone) ความเข้มข้น 1.3 ppm ในการล้างผักกาดหอมนาน 3 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการล้างแบบจุ่ม และสามารถลดจุลินทรีย์ได้ 1.2 - 1.8 log CFU/g สอดคล้องกับการรายงานของ Farooq และคณะ (1977) ที่รายงานว่า การใช้โอโซนพ่นเป็นฟอง(Ozone bubbled) ร่วมกับปริมาณของโอโซนตกค้างในน้ำ (Ozone residual) มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *Candida parapsilosis* และ *Mycobacterium fortuitum* ได้ดีกว่าการใช้ปริมาณโอโซนตกค้างในน้ำเพียงอย่างเดียว และจากการศึกษาของ Farooq และคณะ (1990) พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนระหว่างผิวหน้าของหัวพ่นก๊าซโอโซนให้เป็นฟอง และน้ำที่ผิวหน้าหัวพ่นก๊าซโอโซนนั้น จะมีความเข้มข้นของโอโซนมากกว่าน้ำที่อยู่รอบๆ ดังนั้น การใช้โอโซนพ่นเป็นฟองจึงมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีกว่า และฟองของโอโซนที่พ่นออกมาจากหัวพ่นนั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และการเข้าถึงจุลินทรีย์ได้ดีกว่า เช่นเดียวกับการรายงานของ Rodgers และคณะ (2004) ที่รายงานว่า ปกติแล้วเซลล์จุลินทรีย์

จะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวกันมากยิ่งขึ้น ช่วยป้องกันจุลินทรีย์ให้รอดชีวิตจากสารฆ่าเชื้อ การใช้โอโซนพ่นเป็นฟองนั้น ฟองของโอโซนที่เกิดขึ้น จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงจุลินทรีย์ และทำให้จุลินทรีย์ที่เกาะกันเป็นกลุ่มแตกออกจากกัน ทำให้โอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้การล้างผักด้วยสารละลายโอโซน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดควรคำนึงถึงวิธีการเตรียมผักก่อนการล้าง การตัดแต่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดจากรอยหั่นตัด ของผักต่างๆ ที่ละลายลงในน้ำ Khaddre และคณะ (2001) รายงานว่า การที่มีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นในสารละลายโอโซนนั้น จะเป็นข้อจำกัดประสิทธิภาพของโอโซน ซึ่งจะลดประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของโอโซน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ketteringham และคณะ (2005) รายงานว่าการใช้สารละลายโอโซนทั้งวิธีการใช้สารละลายโอโซนแบบพ่นก๊าซโอโซนเป็นฟองในน้ำ และการใช้สารละลายโอโซนเปิดแบบไหลท่วม(Over flow)ในการล้างผักแปรรูปเบื้องต้น ที่ผ่านการหั่นตัดเป็นชิ้น หรือปอกเปลือก ก่อนนำไปแช่ในสารละลายโอโซนจะสูญเสียประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์มากกว่า การล้างทั้งผลสด ที่ไม่ผ่านการแปรรูป ทั้งนี้เนื่องจาก ผักที่ผ่านการหั่นตัดเป็นชิ้น หรือปอกเปลือกออก ทำให้ของเหลวที่ไหลออกจากเนื้อเยื่อไหลสู่สารละลายโอโซน เป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในสารละลายโอโซน ทำให้ความต้องการโอโซน (Ozone demand) ในตัวกลางเพิ่มมากขึ้น โอโซนไม่เจาะจงในการทำลายเฉพาะจุลินทรีย์เท่านั้น ดังนั้นโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำก่อนที่จะเข้าถึงจุลินทรีย์บนผิวของผักแปรรูปเบื้องต้น (Kim et al., 1999 and Khaddre et al., 2001) นอกจากนี้ปริมาณสารอินทรีย์ในสารละลายโอโซนยังช่วยป้องกันจุลินทรีย์จากการทำปฏิกิริยากับโอโซนอีกด้วย (Ketteringham et al., 2005) สอดคล้องกับการศึกษาของ Liao และ Cooke (2001) รายงานว่า *Salmonella chester* บนผิวของพริกไทยแปรรูปเบื้องต้นนั้นมีความต้านทานต่อสารฆ่าเชื้อมากกว่า พริกไทยสดที่ไม่ผ่านการแปรรูป ดังนั้นการล้างพริกไทยในน้ำโอโซนควรล้างทั้งผลสดที่ยังไม่ผ่านการหั่นตัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายโอโซน (Ketteringham et al., 2005) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Achen และ Yousef (2001) รายงานว่า ประสิทธิภาพการต้านทานของจุลินทรีย์โดยสารละลายโอโซน ถูกจำกัดด้วยปริมาณของสารอินทรีย์บนผิวแอปเปิ้ลที่ละลายลงสู่สารละลายโอโซนขณะล้างเนื่องจากมีเศษดิน และ ของเหลวที่ไหลออกมาตามขั้วผลของแอปเปิ้ลเอง ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดความต้องการโอโซน(Ozone demand)ให้เพิ่มมากขึ้น และแนะนำให้ล้างผลิตผลด้วยน้ำเปล่าเพื่อลดความต้องการโอโซนลง จากนั้นแช่แอปเปิ้ลใน Inorganic wetting agent เช่น เตตระโซเดียม ไพโรฟอตเฟต (Tetrasodium pyrophosphate) 0.1 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที และล้างด้วยน้ำเปล่าอีก 1 ครั้ง และนำไปล้างด้วยสารละลายโอโซนแบบเปิดพ่นก๊าซโอโซนขณะล้าง นาน 3 นาที สามารถลด *E.coli* O157:H7 ได้ถึง 3.3 log CFU/g เพราะ Wetting agent จะทำให้ผิวของแอปเปิ้ลมี

คุณสมบัติเป็น Hydrophobic ซึ่งทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกาะติดกับผิวแอปเปิ้ลได้ยากขึ้น จึงช่วยทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์สัมผัสกับโอโซนได้ดียิ่งขึ้น

การที่ยังคงเหลือปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในมะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นโดยสารละลายโอโซนไม่สามารถทำลายได้ทั้งหมด เพราะมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นในปริมาณที่สูง และความเข้มข้นของโอโซนที่เครื่องผลิตโอโซนสามารถผลิตได้สูงสุด คือ 0.08 ppm แม้ว่าสารละลายโอโซนจัดเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง (Ullmann's, 1991) แล้วก็ตาม แต่การที่สามารถลดได้ในระดับหนึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษา เพราะปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นสาเหตุที่ทำให้ผักเกิดการเสื่อมเสีย หากสามารถลดปริมาณลงได้ย่อมเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมผักแปรรูปเบื้องต้นได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารละลายโอโซน ต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการวางจำหน่ายของมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นระหว่างระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังนี้

การล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำประปา และน้ำเย็น โดยในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.99 log CFU/g มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน และหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 1.34 log CFU/g และมีอายุการเก็บรักษา 6 วัน ตามลำดับ

ภายหลังการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปตรวจสอบปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างน้อยกว่า 0.5 ppm และสลายหมดไปภายในเวลา 15 นาที ดังนั้นการล้างหรือไม่ล้างน้ำกลั่นอีกครั้งจึงไม่มีความจำเป็น

เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาล่าช้าก่อนการบรรจุ ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น พบว่า เวลาล่าช้าก่อนรอบบรรจุมีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าการบรรจุทันทีสามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า รอบบรรจุ 60 และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

มะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ดีที่สุด โดยยืดอายุการวางจำหน่ายมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นได้นาน 5 และ 6 วัน ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโอโซนที่ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นสุงสุดคือ 0.08 ppm ที่เวลาการเป่าพ่นก๊าซโอโซนลงในน้ำกลั่นนาน 60 นาที การล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นด้วยสารละลายโอโซนความเข้มข้น 0.08 ppm พบว่า การล้างด้วยสารละลายโอโซนสภาวะหยุดปล่อยก๊าซโอโซนขณะล้าง และปล่อยก๊าซโอโซนขณะล้างสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสภาวะที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และการล้างด้วยสารละลายโอโซนแบบปล่อยก๊าซโอโซน สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีที่สุด โดยการล้างมะเขือเทศแปรรูปด้วยสารละลายโอโซนแบบ

ปล่อยก๊าซโอโซนขณะล้าง มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 0.62 log CFU/g การล้างหอมหัวใหญ่แปรรูปด้วยสารละลายโอโซนแบบปล่อยก๊าซโอโซนขณะล้าง มีอายุการเก็บรักษา 7 วัน และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้ 0.52 log CFU/g เมื่อเทียบกับกลุ่มล้างน้ำกลั่น

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาระลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและอายุการวางจำหน่าย พบว่า สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพดีกว่าสารละลายโอโซน เนื่องจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้มากกว่าคือ ในหอมหัวใหญ่ ลดปริมาณจุลินทีย์ได้ 1.34 log CFU/g มีอายุการวางจำหน่าย 6 วัน และในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้นลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 1.99 log CFU/g มีอายุการวางจำหน่าย 5 วัน ขณะที่สารละลายโอโซน ความเข้มข้น 0.08 ppm ในหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 0.52 log CFU/g มีอายุการวางจำหน่าย 7 วัน และในมะเขือเทศแปรรูปเบื้องต้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 0.62 log CFU/g มีอายุการวางจำหน่าย 5 วัน ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการผลิต

ในขั้นตอนการล้างผักด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซน น้ำที่ใช้ล้างหากตกค้างอยู่บนผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ จำเป็นต้องกำจัดออก ถ้าเป็นพวกผัก นิยมใช้การเหวี่ยงเพื่อสะเด็ดน้ำ ด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำส่วนเกินออกจากผิวนอกของชิ้นผัก

ในขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณการตกค้าง ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผักแปรรูปเบื้องต้น อาจมีปริมาณการตกค้างที่แตกต่างกันเนื่องจากสรีรวิทยาของผักและองค์ประกอบต่างๆแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ดังนั้นควรศึกษาปริมาณการตกค้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการล้างผักแต่ละชนิด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กันในกรณีพบว่ามีการตกค้างหลังจากการล้าง และการใช้ชุดทดสอบ (Test Strip) เหมาะสำหรับการทดสอบว่าพบหรือไม่พบการตกค้าง (ค่าความเข้มข้นที่สามารถตรวจสอบได้ระบุเป็นช่วงของความเข้มข้น) ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งาน และรวดเร็ว ในกรณีงานวิจัยที่ต้องการทราบความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แน่นอน ควรใช้วิธีการอื่นๆ ที่สามารถระบุปริมาณตกค้างได้แน่นอน

การล้างด้วยสารละลายโอโซนควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ในระดับความเข้มข้นของโซนและเวลาในการล้าง ที่ระดับต่าง ๆ กัน สัดส่วนของสารละลายโอโซนต่อปริมาณของผักในการล้าง และศึกษาเพิ่มเติมในเรื่อง เทคนิคการล้างแบบ Over flow เพราะเป็นเทคนิคที่ทำให้ความเข้มข้นของโอโซนคงที่ขณะล้าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำสารลายโอโซนมาใช้

2. การบรรจุและการเก็บรักษา

ควรมีการศึกษาการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP : Modified Atmosphere packaging) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา ซึ่งจะช่วยลดอัตราการหายใจและผลิตก๊าซเอทธิลีนของผักแปรรูปเบื้องต้น รวมทั้งช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงน่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักแปรรูปเบื้องต้นได้นานกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียว

3. ความปลอดภัย

การนำโอโซนมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารนั้น ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก ควรมีเครื่องมือตรวจจับโอโซนในบรรยากาศ ระบบทำลายโอโซนที่ละลายในน้ำไม่หมด ตลอดจนเครื่องกรองอากาศในโรงงานเพื่อความปลอดภัยของคนงาน

บรรณานุกรม

กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ. 2543. "การใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ." วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2536. **เอกสารอ้างอิงกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.** ฝ่ายวิเคราะห์อาหาร ทางจุลชีววิทยา กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.

พิชัย โตวิวิชญ์ และคณะ. 2534. **คู่มือสารเคมีกับความปลอดภัย.** พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2537. **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

จิราภา เสธจินตนิน. 2547. "การปรับปรุงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ที่ตลาดกลางกุ้งจังหวัดสมุทรสาครโดยโอโซน." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรพล รักปทุม. 2543. **โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพ.

Abe, K. and Watada, A.E. 1991. "Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables." **Journal of Food Science**. 56 : 1589-1592.

Achen, M. and Yousef, A.E. 2001. "Efficacy of ozone against *Escherchia coli* O157:H7 on apples." **Journal of Food Science**. 66 :1380-1384.

ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2001. **Use of hydrogen peroxide, peracetic acid and carbonic acid as microbiological control agents.** Intitial assessment report. Application A429.

APHA.(American Pubic Health Association.) 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington. D.C.:American Public Health Association.

Asghari, A. 1993. " The inactivation of bacteria and viruses by hydrogen peroxide" Ph.D. Thesis. University of Florida.

Beerli, K.M. Boas, E.V. and Piccoli, R.H. 2004. " Effect of sanitizers on the microbial, physical and physical- chemical characteristics of fresh-cut onion (*Allium cepa L*)." **Food Quality**. 28 : 107-112.

Blanchard, M., Castaigne, F., Willemot, C. and Makhlouf, J. 1996. "Modified atmosphere preservation of freshy prepared diced yellow onion." **Phosthavest Biologyand Technology**. 9 : 173-185.

Block, S.S. 1991. **Disinfection, sterilisation and preservation.** 4th ed. Philadelphia : Lea and Febiger.

Brackett, R.E. 1994. "Microbiological spoilange and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables." **Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables**. New York : Chapman & hall Inc.

Brecht, J.K. 1995. "Physiology of lightly processed fruits and vegetable." **Hortscience.** 30 : 18-22.

Beuchat, L.R. 1998. "Food Safety Issues. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw : a review." Food Safety Unit. World Health Organization. WHO/FSF/FOS/98.2.

Brewster, J.L..1994. **Onions and other vegetable alliums.** OXON : CAB International. Xi.

Buren, J.P. 1991. **Chemistry and Technology of Pectin.** USA : Academic Press Inc.

Busta, F.F. 1994. **Minimal processimg of foods and process optimization** . USA : CRC Press.

CFR.(Code of Federal Regulation). 2002. "Chemicals used in washing or to assist in the peeling of fruits and vegetable." **Code of federal Regulations**Title 21, Part 173, Section 173.315. US Government Printing Office.

CFR. (Code of Federal Regulation). 2002. "Hydrogen peroxide." **Code of federal Regulations** Title 21, Part 184, Section 184.1366. US Government Printing Office.

Cherry, J.P. 1999. "Improving the safety of fresh produce with antimicrobials." **Food Technology.** 53 : 54-57.

Colelli, G., Amodio, M.L. and Natola, K. 2004. "Effect of pre-treatments on quality of kiwifruit slices stored in air and in controlled atmosphere." **Journal Food Protection.** 68 : 110-118.

Davidson, P.M. and Branen, A.L. 1993. **Antimicrobials in Foods.** 2nd ed. New York : Marcel Dekker.

EPA.(Environmental Protection Agency.USA). 1999. Hydrogen peroxide Tolerance Requirement Exemption 4/98. 40 CER Part 180. **Federal Register**. 64 : 33022-33025.

Farooq, S, Chian E.S.K. and Engdbrecht. 1977." Basic concepts in disinfection with ozone ." **Journal Water Pollution Control Federal.** 49 : 1818 - 1831.

Farooq S, Churey J.J. and Splittstoesseer D.F. 1990. " Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables." **Journal of Food Protection**. 53 : 701-703.

Forney, C.F.,Rij, R.E. and Smilanick, J.L. 1991. "Vapor phase hydrogen peroxide inhibits posthavest decay of table grapes." **Hort Science**. 26 : 1512-1514.

Francis, G.A. 2003. "Microbiological safety issues in prepared chilled produce." Food Science Research Center. Department of Life Sciences. University of Limerick. Ireland.

Francis, G.A. , O Beirne, D. And Thomas,C. 1999. " Review paper: The microbiological safety of minimally processed vegetables." **International Journal of Food Science and Technology**. 34 : 1-22.

Friedman, M. 1996. "Food browning and is prevention : an overview." **Journal of Agricultural & Food Technology.** 44 : 631-653.

Garg,N., Cherry, J.J. and Splittstoesser, D.F., 1993. " Microflora of fresh-cut vegetables stored at refrigerated and abuse temperatures." **Journal of Food Science and Technology.** 30 : 385-386.

Garcia, A., Mount, J.R. and Davidson, P.M. 2003. " Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce." **Journal of Food Science**. 68 : 2747-2751.

Gil, M.I., Gorny, J.R. and Kader, A.A., 1998. " Responses of fuji apple slices to ascorbic acid treatment and low-oxygen atmospheres." **HortScience.** 33 : 305-309.

Gorny, J.R. 1997. A summary of CA and Ma requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. **Fresh-cut Fruits and Vegetables and MAP**. Davis CA.

Gottschalk, C., Libra, L.A. and Saupe, A. 2000. **Ozonation of Water and Waste Water**. Berlin : WILEY- VCH.

Hagenmaier, R.D. and baker, R.A., 1998. " Microbial population of shredded carrot in modified atmosphere packaging as related to irradiation treatment." **Journal of Food Science.** 63 : 162-164.

Hgiduk, E. and Surowka, K 2005. "The effect washing carrots in solutions of hydrogen peroxide on themicrobial and carotenoid quality of juice and salads." **Food Services Technology.** 5 : 1-6.

Huxsoll, C.C., and Bolin, H.R., 1989. "Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetable." **Food Technology**. 43 :124-128.

Jay, J.M., 1996. **Modern Food Microbiology.** New York : Chapman & hall Inc.

JECFA .(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.) 2004. **Toxicological recommendations and information on specification**. JECFA/63/SC.

Jones, J.B. 1999. **Tomato plant culture**. Florida : CRC Press LLC.

Ketteringham,L, Gausseres,R., James,J. and James,C., 2005. "Application of aqueous ozone for treating pre-cut green peppers (Capsicum annuum L.)." **Journal of Food Engineering**. 1-8.

Klaiber, R.G., Baur, S., Magel, L. and Carle, R. 2004. " Quality of shreded, packaged carrots as affected by different washing treatments." **Journal of Food Science**. 69 : 161-166.

Khaddre, M.A., Yousef A.E. and Kim J.G. 2001. " Microbiological aspects of ozone applications in food: A review." **Journal of Food Science**. 66 : 1242 - 1252.

King, A.D. and Bolin, H.R. 1989. " Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetable." **Food Technology**. 43 : 132-135.

Kim, J.G., Yousef, A.E. and Chism G.W. 1999. " Use of ozone to inactivate microorganism on lettuce." **Journal Food Safety**. 19 : 17-33.

Kim, J.B., Yousef, A.E. and Dave, s. 1999. "Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods : A review." **Journal of Food Protection**. 62 : 1071-1087

Kondo, F., Utoh, K. and Rostamibashman,M. 1989. **Bactericidal Effects of Ozone Water and Ozone Ice on Various Microorganisms**. Faculty of Agriculture Miyazaki University 36 : 93-98.

Labavich, J.M. 1981. "Cell wall turnover in plant development." **Annual Review of Plant Physiology**. 32 : 398.

Langlais, B., Reckhow, D.A. and Brink,D.R. 1991. **Ozone in Water Treatment application and engineering.** American Water Works Association Research Foundation . Chelsea : Lewis Publishers.

Lazan, H. and Zainon, M.A. 1993. "Cell wall hydrolases and their potential in the manipulation of ripening of ripening of tropical fruits." **ASEAN Food Journal**. 8 : 47-53.

Liao, C.H., and Cooke, .I. 2001. "Responnse to trisodium phosphate treatment of Salmonella chester attached to fresh-cut green peper slices." **Canadian Journal of Microbiology**. 47 : 25-32.

Liebeskind, H. 1994. **Hydrogen peroxide. In Encyclopedia Americana**. Connecticut. : Grolier Inc.

Mencarelli, F., Saltveit, M.E. and Massantini, R. 1989. "Lightly processed foods : ripening of Tomato fruit slice." **Acta Horticulturae**. 244 : 193-200.

Marth, E.H., 1998. " Extended shelf life refrigerated foods : microbiological quality and safety." **Food Technology**. 52 : 57-62.

Meunpol, O., Lopinyosiri, K. and Menasvate, P. 2003. "The effects of ozone and probiotics on the survival of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*)." **Aquaculture**. 220 : 437-448.

Nguyen-the, C. and Carlin, F. 1994. "The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables." **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 34 : 371-401.

Osuna, J., Zurera, G. and Garcia, R.M. 1995. " Microbial growth in packaged fresh asparagus." **Journal of Food Quality**. 18 : 203-214.

Phillips, C.A., 1996. "Review : Modified atmosphere packaging and its effects on the micrological quality and safety of produce." **International Journal of Food Science and Technology**. 31 : 463-479.

Potran, R.L., Sperber, W.H. and Davis, A.B., 1995. " Clostridium botulinum toxin formation in Romaine lettuce and shredded cabbage: effect of storage and packaging conditions." **Journal of Food protection** . 58 : 624-627.

RE-TU-ER. (Ready-To-Use European research). 2000. **Ready to use fruit and vegetables.** Flair -flow Europe technical manual. F-FE 376A/00.The National Food Center. Ireland.

Restaino, L., Frampton, E.W., Hemphill, J.B. and Palnikar, P. 1995. " Efficacy of ozonated water Against various food- related microorganism." **Apply Environment Microbiology**. 61 : 3471-3475.

Rice, R.G., Farquhar, W. and Bollyky, L.J. 1982. "Review of the application of ozone for increasing storage time for perishable foods." **Ozone Science Engineering.** 4 : 147-163.

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

Rodgers, S.T., J.N. Cash, M. Siddiq, and E.T. Ryser. 2004. "A comparison of different chemical sanitizers for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in solution and on apples, lettuce, strawberries,and cantaloupe." **Journal of Food Protection**. 67 : 721 - 731.

Santos, E.C., M. H. Rodrigues and R. Rodrigues. 1997. " Microbial changes in milk treated with hydrogen peroxide." **Journal of Food Quality**. 39 : 403-413.

Salunkhe D.K., S.S. Kadam. 1998 . **Handbook of vegetable science and technology : production, composition, storage, and processing**. New York : Marcel Dekker..

Saper, G.M. and Miller, R.L., 1998. " Browning inhibition in fresh-cut pears." **Journal of Food Science**. 63 : 342 - 3.

Sapers, G.M., Miller, R.L., Pilizota, V. and Mattrazzo, A.M. 2001. "Antimicrobial Treatments for Minimally Processed Cantalope Melon." **Journal of Food Science**. 66 : 345-349.

Sapers, G.M. and Sites, J.E. 2003. "Efficacy of 1% Hydrogen peroxide wash in decontaminating apples and cantaloupe melons." **Journal of Food Science**. 68 : 1793-1797.

Sapers, G.M. and Simmons G.F. 1998. "Hydrogen peroxide disinfection of Minimally Processed fruits and vegetables." **Food Technology**. 52 : 48-52.

Saper, G.M. 2003. "Hydrogen peroxide as an alternative to chlorine for sanitizing fruits and vegetables." US Department of agiculture, Agricultural Research Service. Eastern Regional Research Center. USA.

Sapers, G.M. 2002. Washing and sanitizing raw materials for minimally Processed fruit and vegetable products. in **Microbiological Safety of Minimally processed Foods** . Florida : CRC Press.

Schlimme, D.V., 1995. " Marketing lightly processed fruits and vegetables." **Hort science**. 30 : 14-17.

Sheldon, b.W. and J. Brake. 1991. "Hydrogen peroxide as an alternative hatching egg disinfectant." **Poultry Science.** 70 : 1092-1098.

Shewfelt, R.L. 1994. Quality characteristics of fruits and vegetables. in **Minimal Processding of Food and Process Optimization**. USA. : CRC Press INC.

Simmon, G.F., Smilanick, J.L. and Margosan D.A. 1995. **Hydrogen peroxide vapor reduce** microbe on raisins. Institute of Food Technologists. June 3-7.

Simmon, G.F., Smilanick, J.L. and Margosan D.A. 1995. **Hydrogen peroxide vapor reduce** microbe on raisins. Institute of Food Technologists. June 3-7.

Talini, I. and G.K. Anderson. 1992. "Interference of hydrogen peroxide on the standard COD test." **Water Research** . 26 : 107-110.

Toivonen, P.M.A., 1997. "Quality changes in packaged, diced onions (*Allium cepa* L.) containing two different absorbent materials." **Proceeding of the Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference**. Davis. University of California. 5 : 1-9.

The Bureau of Microbial hazards. Food Directorate, Health Canada. 2000. Code of practice for minimally processed ready- to –eat vegetable. **Canadian Food Inspection Agency**.[Online].Available : http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/fresh/read-eat_e.shtml.

Ukuku, D.O. 2004. "Effect of Hydrogen peroxide treatment on microbial quality andappearance of whole and fresh-ccut melons contaminated with *Salmonella* spp." **International Journal of Food Microbiology**. 21 : 1-10.

Ullman. 1999. **Industrial inorganic chemicals and products : an Ullmann's encyclopedia.** Volume 6. Weinheim : Wiley-VCH.

US.EPA (United States Environmental Protection Agency). 1999. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual.** EPA 815-R-99-014.

US.FDA. 1998. **Bacteriologidol Analytical Manual**. 8th ed. Gaitherburg : AOAC International.

Varoquaux, P., Mazollier, J. and Albagnac, G., 1996. "The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh cut butterhead lettuce." **Posthavest Biology and Technology**. 9 : 127-139.

Walker, S.J. 1995. Enzymatic browning in fruits. in : **Enzymatic Browning and Its Prevention.** Washington D.C. : American Chemical Society.

Walker, S.J. and Stringer, M.F. 1990. **Microbial of chilled foods.** Northern Ireland : The Universities Press .

Watada, A.E., Abe, K., and Yamuchi, N.1990. "Physiological activities of partially processed fruits and vegetable." **Food Technology**. 44 : 116-122.

Watada, A.E., Ko, N.P. and Minott, D.A. 1996. "Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products." **Posthavest Biology and Technology**. 9 :115-125.

Watada, A.E. and Qi, L.1999. "Quality of fresh-cut produce." **Postharvest Biology and Technology.** 15 : 201-205.

Wiley, R.C. 1994. Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. in : **Microbial safety of minimally processed foods.** Boca Raton : CRC Press.

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

Zhang, S. and Farber, J.M. 1996. "The effects of various disinfectants against Lister monocytogenes non fresh cut vegetables." **Food Microbiology** 13 : 311-321.

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร

ประเภทอาหาร	ค่ากำหนด		
1. อาหารดิบที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที			
1.1 ผัก ผลไม้ที่ล้างแล้ว สลัด ส้มตำ เป็นต้น	จุลินทรีย์รวม / กรัม	น้อยกว่า	$1x10^6$
	ยีสต์ / กรัม	น้อยกว่า	$1X10^4$
	รา / กรัม	น้อยกว่า	500
	MPN *E.coli* / กรัม	น้อยกว่า	10
	Samonella /25 กรัม		ไม่พบ
1.2 อาหารทะเลที่เตรียมเพื่อบริโภค เช่น ปลา กุ้ง	จุลินทรีย์รวม / กรัม	น้อยกว่า	$1x10^6$
	S. aureus / กรัม	น้อยกว่า	100
	B.cereus / กรัม	น้อยกว่า	100
	MPN *E.coli* / กรัม	น้อยกว่า	20
	C.perfingens /0.01 กรัม		ไม่พบ
	Samonella /25 กรัม		ไม่พบ
	V.cholerae		ไม่พบ
2. อาหารที่ผ่านกรรมวิธีหรือปรุงสุกแล้ว			
2.1 ผักผลไม้ดอง แช่อิ่มแห้ง			
	ยีสต์ / กรัม	น้อยกว่า	$1X10^4$
	รา / กรัม	น้อยกว่า	500
	MPN *E.coli* / กรัม	น้อยกว่า	10
	Samonella /25 กรัม		ไม่พบ
2.2 อาหารปรุงสุกทั่วไป ได้แก่ อาหารปรุงสุกสำเร็จประเภทข้าวแกง ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ยำ ไส้กรอก หมูยอ ขนม ผลไม้กวน เป็นต้น	จุลินทรีย์รวม / กรัม	น้อยกว่า	$1x10^6$
	S. aureus / กรัม	น้อยกว่า	100
	B.cereus / กรัม	น้อยกว่า	100
	MPN *E.coli* / กรัม	น้อยกว่า	3
	C.perfingens /0.01 กรัม		ไม่พบ
	Samonella /25 กรัม		ไม่พบ
	V.parahaemolyticus/ 25 กรัม	น้อยกว่า	100

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2536)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

(US.FDA., 1998)

การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยวิธีเขย่าจาน (shake plate or pour plate)

เป็นการตรวจนับจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจางลงจนมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่จะตรวจนับได้ และต้องทำให้ตัวอย่างอาหารกระจายอยู่ในน้ำยาสำหรับเจือจาง (diluent) อย่างทั่วถึงจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)

1. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Plate Count Agar, PCA)

Plate Count Agar (Merck Labaratories, Darmstadt, Germany)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ใช้สำหรับนับจำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งหมด ในอาหาร น้ำ นมและผลิตภัณฑ์ และอาหารชนิดอื่นๆ

ส่วนประกอบ

	กรัมต่อลิตร
Peptone from casein	5.0
Yeast Extract	2.5
Glucose	1.0
Agar	14.0

วิธีการเตรียม

ละลายส่วนผสม 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนวุ้นละลาย ปรับpH ให้อยู่ในช่วง 7.0 ± 0.1 บรรจุลงในขวดบรรจุอาหาร แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

น้ำยาเจือจาง (Diluent) (Peptone water solution 0.1 %)

ส่วนประกอบ

Peptone (Merck Labaratories, Darmstadt, Germany)	1.0 กรัม
น้ำกลั่น	1,000
มิลลิลิตร	

วิธีการเตรียม

ละลายเปปโตนในน้ำกลั่น คนให้เข้ากันเทใส่หลอดทดลอง หลอดละ 9 มิลลิลิตร หรือขวดสารละลายเจืออจางขวดละ 225 มิลลิลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

ตัดตัวอย่างด้วยกรรไกรที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยสุ่มตัด 25 กรัม จากตัวอย่างทั้งหมด ลงในถุงปลอดเชื้อด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ เติมสารละลายเปปโตน 225 มิลลิลิตร นำไปตีป่นด้วยเครื่องตีป่นไฟฟ้า (Stomacher) ให้เข้ากันนาน 1 นาที จะได้ตัวอย่างความเข้มข้น 1:10

3. การทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจางลงตามลำดับ

ทำการเจือจางลงระดับละ 10 เท่า (ten fold dilution) โดยใช้ปิเปตปลอดเชื้อดูดตัวอย่างที่เจือจาง 1: 10 ในขั้นต้น 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่บรรจุน้ำยาสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าหลอดด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้า (mixer) ตัวอย่างอาหารในขั้นนี้ จะมีความเจือจาง 1 : 100 (10^{-2}) ถ้าต้องการเจือจางในระดับต่อไป คือ 1: 1000 (10^{-3}) , 1: 10000 (10^{-4}) เรื่อยไปตามลำดับ ให้ทำตามวิธีขั้นต้นและควรเปลี่ยนปิเปตใหม่ทุกครั้งในทุกระดับความเจือจางที่ต้องการเตรียม

4. การตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์โดยวิธีเขย่าจาน (Shake plate or pour plate)

เป็นการตรวจนับจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจางลงจนมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่จะตรวจนับได้ และต้องทำให้ตัวอย่างอาหารกระจายอยู่ในน้ำยาสำหรับเจือจาง (diluent) อย่างทั่วถึงจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ซึ่งเรียกตัวอย่างอาหารที่ถูกทำให้เจือจางเป็นเนื้อเดียวกันว่า food homogeneous มีวิธีการเตรียมดังนี้

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาทำให้เย็น ประมาณ 45 -50 องศาเซลเซียส ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างแต่ละความเจือจาง โดยเริ่มจากตัวอย่างที่มีความเจือจางมากที่สุดใส่จานเพาะเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร แต่ละระดับความเจือจางควรทำอย่างน้อย 2 จาน และใช้ความเจือจางอย่างน้อย 3 ละดับ ดดยเรียงซ้อนกันสี่ใบ ดูดอาหารใส่จานเปล่าใบล่างสุดก่อนแล้วไล่ขึ้นมาจนถึงใบบนสุด เทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานประมาณ 15 – 20 มิลลิลิตร โดยเริ่มจากจานใบล่างสุดเช่นเดียวกัน เขย่าจานที่ซ้อนกันอยู่ทั้งสี่ใบพร้อมกัน โดยหมุนไปทางขวา 3 – 4 ครั้ง หมุนไปทางซ้าย 3 – 4 ครั้ง ทิ้งไว้จนวุ้นแข็ง บ่มเชื้อที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีทั้งหมด คำนวณหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่อกรัมของอาหารจากสูตร

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (เซลล์ต่อกรัม) = จำนวนโคโลนี x ความเจือจางของอาหาร

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง ในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

วิธีการวิเคราะห์ Residual Hydrogen Peroxide

<u>วิธีการ</u> ทดสอบโดยใช้ชุด Peroxide Test ของบริษัท Merck

(Analytical test strips for the detection and semiquantitative determination of peroxide)

เครื่องมือ อุปกรณ์

1. ชุด Peroxide Test ของบริษัท Merck (เก็บรักษาในตู้เย็น)
2. เครื่อง Homogenizer และ ฟาก์สรูปมะเฟือง
3. กระดาษกรองเบอร์ 4
4. น้ำกลั่น
5. บีกเกอร์ สำหรับใส่ตัวอย่าง
6. กระบอกตวง 100 ml.
7. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 50 กรัม หั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1X1 ซม. ใส่ตัวอย่างลงในฟาก์สรูปมะเฟือง
2. เติมน้ำกลั่นจำนวน 25 มล.
3. ตีป่นตัวอย่างด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 30 วินาที
4. กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4
5. นำสารละลายที่ได้จากการกรองตัวอย่าง ไปทดสอบหา residual hydrogen peroxide ทันที

<u>วิธีการทดสอบหา residual hydrogen peroxide</u>

1. นำแผ่น test strip 1 แผ่นออกจากหลอดเก็บ และปิดฝาหลอดเก็บทันที
2. นำแผ่น test strip ไปทดสอบหา residual hydrogen peroxide โดยการจุ่มแผ่น test strip ลงในตัวอย่างให้เปียกทั่วบริเวณแผ่นทดสอบประมาณ 1 วินาที
3. นำแผ่น test strip ออกจากตัวอย่าง สลัดน้ำที่ติดบนแผ่น test strip ออก รอให้เกิดสี (reaction zone)ประมาณ 15 วินาที
4. นำแผ่น test strip ไปเทียบสีกับ colour scale และอ่านค่า residual hydrogen peroxide ในตัวอย่างที่ทดสอบ

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน (Residual) ในน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน (Residual) ในน้ำ

Rang of application : 0.01-0.1 mg of ozone per lite (Indigo reagent I)

0.05-0.5 mg of ozone per lite (Indigo reagent II)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน รุ่น NK-200 ปริมาณก๊าซโอโซน 250 มิลลิกรัม/ชั่วโมง ระบบการผลิตแบบ Colona Discharge (บ.Norca จำกัด)
2. UV – Vis Spectrophometer
3. Ozone demand-free glassware and water
   - Volumetric flask ขนาด 1,000 ml จำนวน 3 ใบ และ ขนาด 100 ml จำนวน 1 ใบ
   - Beaker ขนาด 500 ml จำนวน 1 ใบ , ขนาด 100 ml จำนวน 2 ใบ และขนาด 50 ml จำนวน 1 ใบ
   - Burette 1 ml , 10 ml

   3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วทั้งหมดต้องล้างด้วยสารทำความสะอาดอย่างอ่อน rinse ด้วยน้ำร้อนและน้ำกลั่น จากนั้นนำไปเข้า autocave ที่ 121 °C นาน 15 นาที และอบด้วยลมร้อนให้แห้งเพื่อกำจัด volatile organic compounds

   3.2 น้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลอง ต้องนำไปเข้า autocave ที่ 121 °C นาน 15 นาที เพื่อขจัด residual ozone และเก็บในขวดที่ปราศจาก ozone ที่ผ่านกระบวนการ ozone demand free ในข้อ 3.1

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Indigo stock solution

   1.1 ชั่ง potassium indigo trisulfonate ($C_{16}H_7N_2O_{11}S_3K_3$) 0.770 g. ละลายในน้ำกลั่น 500 ml

   1.2 เติม 1 ml ของ phosphoric acid (H_3PO_4) เทสารละลายลงใน volumetric flask 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา (มีอายุการเก็บ 4 เดือน)

2. Indigo reagent I

   2.1 เติมสารละลาย indigo stock solution 20 ml ในบีกเกอร์ 50 ml

   2.2 เติม sodium dihydrogen phosphate ($NaH_2PO_4.H_2O$) 10 g.

   2.3 เติม phosphoric acid (H_3PO_4) 7 ml คนให้ละลาย เทสารละลายลงใน volumetric flask 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา (มีอายุการเก็บ 1 สัปดาห์)

3. Indigo reagent II

3.1 เติมสารละลาย indigo stock solution 100 ml ในบีกเกอร์ 250 ml

3.2 เติม sodium dihydrogen phosphate ($NaH_2PO_4.H_2O$) 10 g.

3.3 เติม phosphoric acid (H_3PO_4) 7 ml คนให้ละลาย เทสารละลายลงใน vloumetric flask 1 ลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา (มีอายุการเก็บ 1 สัปดาห์)

4. Malonic acid reagent

4.1 ละลาย malonic acid 5 g. ในน้ำกลั่น เทสารละลายลงใน volumetric flask 100 ml.แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml.

วิธีการ

1. น้ำโอโซนเตรียมโดยใช้หัวทรายของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน จุ่มลงใน Flask ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ml เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (คนด้วย magnetic stirrer) นำไปตรวจหาปริมาณโอโซนทันที
2. เติม 10 ml ของ Indigo reagent I ลงใน volumetric flask 100 ml จำนวน 2 ใบ
   ใบแรกเป็นสารละลาย blank เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น ozone- free water ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml เขย่าให้เข้ากัน
   ใบที่สอง เติมน้ำโอโซนตัวอย่าง โดยใช้ปิเปตเติมให้ปลายของปิเปตอยู่ใต้ indigo reagent I เพื่อป้องกันการสูญเสียโอโซน เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 nm ทันที โดยใช้ cuvette ขนาด 1 cm.
3. control of Interference: ถ้าในตัวอย่างมี Chlorine เติม 1 ml ของ malonic acid reagent ในทั้ง flask ก่อนเติมตัวอย่าง

$$\text{ความเข้มข้นของโอโซน (mg/l, ppm) } \text{mg } O_3/L = \frac{100 \times \Delta A}{(f \times b \times v)}$$

ΔA : difference in absorbance between sample solution and blank solution

b : the path length of the cuvette (cm)

v : the volume of sample in ml (normally 90 ml)

f : 0.42 (the slope of the calibration curve at 600 nm; 0.42 ± 0.1 cm-1 per mg/l with molar absorptivity = 20,000M-1.cm-1)

ภาคผนวก จ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำผักแต่ละถุงมาทดสอบทางประสาทสัมผัสในเรื่อง สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับ โดยใช้ผู้ทดสอบ 15 คน

การเตรียมตัวอย่าง

1. สุ่มรหัสตัวเลขจากตารางเลขสุ่มเพื่อใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างที่จะทำการทดลอง
2. ติดรหัสตัวเลขที่ได้กับภาชนะที่ใส่ตัวอย่างซึ่งต้องการทดสอบ
3. จัดวางตัวอย่างอาหารและแผ่นให้ คะแนน (score sheet) ให้ผู้ที่จะทดสอบ และตัดสินผลการทดสอบในแผ่นให้คะแนน
4. เสริฟตัวอย่างอาหารและแผ่นให้คะแนน (score sheet) ให้ผู้ที่จะทดสอบ และตัดสินผล

   การทดสอบในแผ่นให้คะแนน

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ..... วัน / เดือน/ ปี .....

กรุณาให้คะแนนมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ตามความชอบโดยการให้คะแนนมีระดับต่าง ๆ ดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = เฉย

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลอง

ตารางที่ ฉ. แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น บรรจุสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน

ชนิดผัก	กลุ่มการทดลอง	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log_{10} CFU/g)				
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	3	5	6	7
มะเขือเทศ	น้ำประปา	4.38^{ns}	5.67^{a}	7.19^{a}	7.41^{a}	7.91^{a}
	น้ำเย็น	4.38^{ns}	5.51^{a}	7.18^{a}	7.35^{a}	7.80^{a}
	H_2O_2	4.36^{ns}	4.85^{b}	5.20^{b}	6.00^{b}	6.08^{b}
หอมหัวใหญ่	น้ำประปา	4.79^{ns}	6.12^{a}	6.22^{a}	6.92^{a}	7.91^{a}
	น้ำเย็น	4.76^{ns}	6.08^{a}	6.12^{a}	6.56^{a}	7.83^{a}
	H_2O_2	4.75^{ns}	4.82^{b}	4.91^{b}	5.58^{b}	5.96^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ฉ.2แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น ที่ เวลา ล่าช้าก่อน บรรจุต่างๆ กัน

ชนิดผัก	เวลาล่าช้าก่อนบรรจุ	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log_{10} CFU/g)		
		ระยะเวลาการเก็บ (วัน)		
		0	3	5
มะเขือเทศ	บรรจุทันที	4.07^{a}	4.20^{a}	4.79^{a}
	รอบรรจุ 30 นาที	4.15^{a}	4.29^{a}	4.93^{a}
	รอบรรจุ 60 นาที	4.26^{b}	4.5^{b}	5.46^{b}
	รอบรรจุ 90 นาที	4.31^{b}	4.83^{c}	5.80^{c}
หอมหัวใหญ่	บรรจุทันที	4.14^{a}	4.4^{a}	4.93^{a}
	รอบรรจุ 30 นาที	4.18^{a}	4.46^{a}	5.10^{a}
	รอบรรจุ 60 นาที	4.29^{b}	4.73^{b}	5.66^{b}
	รอบรรจุ 90 นาที	4.31^{b}	4.82^{b}	6.00^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ฉ.3 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มตัวอย่างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น อุณหภูมิในการจำลอง การขนส่ง 5 องศาเซลเซียส ภายหลังการ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 8 และ 12 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา ต่างๆ กัน

ชนิดผัก	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log_{10} CFU/g) ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
		0	1	2	3	4	5	6
มะเขือเทศ	5	3.80	3.87^{ns}	4.03^{ns}	4.49^{a}	4.99^{a}	5.40^{a}	6.05^{a}
	8	3.80	3.88^{ns}	4.06^{ns}	4.87^{b}	5.24^{b}	6.08^{b}	6.40^{b}
	12	3.80	3.90^{ns}	4.07^{ns}	4.92^{b}	5.29^{b}	6.33^{c}	6.60^{c}
หอมหัวใหญ่	5	4.1	4.26^{ns}	4.35^{ns}	4.46^{a}	4.82^{a}	4.99^{a}	5.30^{a}
	8	4.1	4.28^{ns}	4.39^{ns}	4.77^{b}	5.50^{b}	5.74^{b}	6.0^{b}
	12	4.1	4.30^{ns}	4.45^{ns}	4.82^{b}	5.60^{b}	6.08^{c}	6.36^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ฉ.4 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้นผ่านการล้าง ด้วยสารละลายโอโซนสภาวะต่างๆกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษา ต่างๆ กัน

ชนิดผัก	สภาวะ	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log_{10} CFU/g) ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	3	5	7	9
มะเขือเทศ	น้ำกลั่น	4.60^{a}	5.23^{a}	6.02^{a}	7.33^{a}	-
	ปิดเครื่อง	4.19^{b}	4.48^{b}	5.45^{b}	6.57^{b}	-
	เปิดเครื่อง	4.22^{b}	4.36^{b}	5.40^{b}	6.28^{b}	-
หอมหัวใหญ่	น้ำกลั่น	4.85^{a}	5.3^{6}	6.01^{a}	6.20^{a}	7.21^{a}
	ปิดเครื่อง	4.40^{b}	4.70^{b}	5.35^{b}	5.72^{b}	6.45^{b}
	เปิดเครื่อง	4.36^{b}	4.57^{b}	5.16^{b}	5.68^{b}	6.35^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

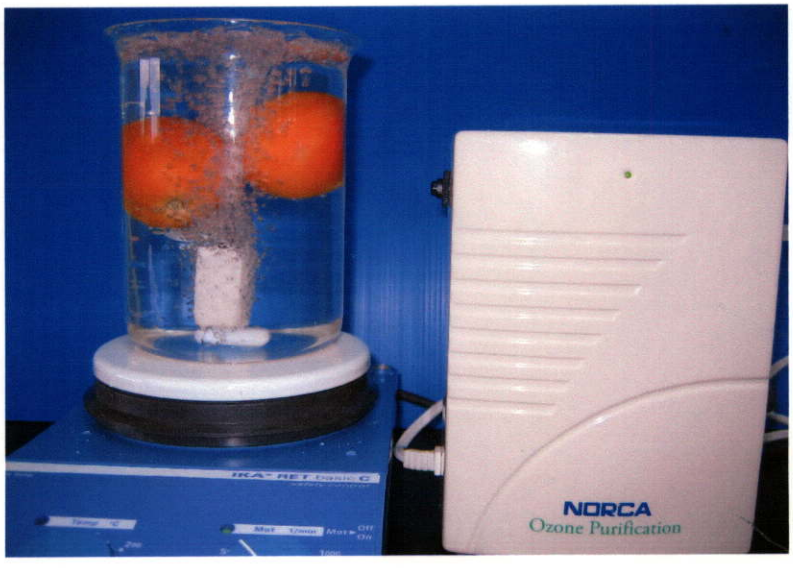
ตารางที่ ฉ.5 ความเข้มข้นของโอโซนตกค้าง ณ เวลาต่างๆ ที่ให้ก๊าซโอโซนด้วยเครื่องผลิตก๊าซโอโซนในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เวลาที่ให้ก๊าซ (นาที)	ความเข้มข้นของโอโซนตกค้าง (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

ภาคผนวก ช

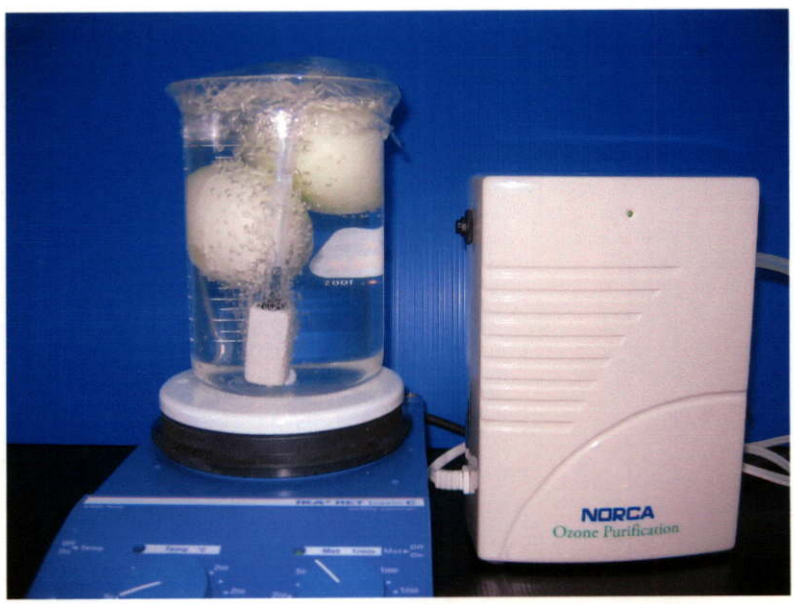
ภาพแสดงสภาวะต่างๆ ในการล้างมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่ด้วยสารละลายโอโซน

ภาพที่ ช. 1 แสดงการล้างมะเขือเทศสภาวะการล้างแบบปิดเครื่อง (หยุดปล่อยก๊าซโอโซน)



ภาพที่ ช.2 แสดงการล้างมะเขือเทศสภาวะการล้างแบบเปิดเครื่อง (ปล่อยก๊าซโอโซนต่อ)

ภาพที่ ช. 3 แสดงการล้างหอมหัวใหญ่สภาวะการล้างแบบปิดเครื่อง (หยุดปล่อยก๊าซโอโซน)



ภาพที่ ช. 4 แสดงการล้างหอมหัวใหญ่สภาวะการล้างแบบเปิดเครื่อง (ปล่อยก๊าซโอโซนต่อ)

ภาคผนวก ซ

ระยะการสุกของมะเขือเทศ

Tomato color standard chart (Jones, 1999)

ระยะ Mature Green ผิวของผลมีสีเขียวแก่จัดไม่ มีสีอื่น

ระยะ Breakers ผิวของผลเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือแดง น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผิวผล

ระยะ Turning ผิวของผลมากกว่า 10 % แต่ไม่เกิน 30 % มีการเปลี่ยนสีเขียวเป็นสีชมพูหรือแดง หรือเปลี่ยนเป็นสีดังกล่าวร่วมกัน

ระยะ Pink ผิวของผลมากกว่า 30 % แต่ไม่เกิน 60 % มีการเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือแดง

ระยะ Light Red ผิวของผลมากว่า 60 % แต่ไม่เกิน 90 % มีการเปลี่ยนสีชมพูหรือแดง

ระยะ Red ผิวของผลมากกว่า 90 % เป็นสีแดง

ภาคผนวก ฌ.

วิธีการจำลองการขนส่งมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

1.โรยน้ำแข็ง 2 กิโลกรัมที่ก้นกล่องโฟม

2.วางกระดาษหนังสือพิมพ์ 2 คู่ บนน้ำแข็ง

3. วางเรียงมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น จำนวน 1 ชั้น (21 ตัวอย่าง/กล่อง)

4.คลุมด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์

5. โรยน้ำแข็ง จำนวน 1 กิโลกรัม

6. ปิดผนึกฝากล่องโฟมด้วยเทปพลาสติก และนำไปเก็บในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

ภาพที่ ฌ.1 แสดงวิธีการจำลองการขนส่งมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น

ประวัติผู้เขียน

นางสาวดวงกมล สระน้ำ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2546