

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

มะม่วง

มะม่วง (mango) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* Linn. เป็นไม้ผลยืนต้นและไม้ผลัดใบ มีถิ่นกำเนิดในเขตอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แล้วแพร่ไปยังประเทศอื่นๆ ทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนของโลก (บุญเลิศ, 2532)

มะม่วงจัดอยู่ใน Class Dicotyledonae, Subclass Archiladeae, Order Sapindales และ Family Anacardiaceae (วิจิตร, 2529) ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิด ดินที่เหมาะสมคือ ดินร่วนที่มีการระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดต่างของดินไม่เกิน 7.5 สามารถปลูกได้ตั้งแต่ในที่แห้งแล้งจนถึงในที่ที่มีฝนตกชุก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์ของมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ใบเดี่ยวสีเขียว ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบแหลม กลีบดอกมี 5 กลีบ ดอกออกช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลูกดิบสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือสีเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด พันธุ์มะม่วงที่นิยมปลูก ได้แก่ มะม่วงแก้วศรีสะเกษ มะม่วงพันธุ์มรกต มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย พันธุ์ฟาลัน พันธุ์หนองแซง พันธุ์เขียวเสวย เป็นต้น และมีพันธุ์ส่งเสริมแยกตามลักษณะการรับประทานดังนี้ พันธุ์รับประทานสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ อกร่อง ทองคำ พันธุ์รับประทานดิบ ได้แก่ ฟาลัน เขียวเสวย และแรด พันธุ์แปรรูป ได้แก่ แก้วสามปี

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงประเภทรับประทานสุก มีผู้นิยมปลูกกันมาก มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่มโปร่ง ส่วนมากมีนิสัยในการออกดอกทะวาย ออกดอกดก ติดผลปานกลาง ให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่ หนักประมาณ 400 กรัม ผลอ่อนเกือบกลมหัวใหญ่ ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็ก มีผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวสีเขียวนวล เนื้อแน่น เมื่อผลสุกมีผิวสีเหลือง กลิ่นหอม เนื้อละเอียดมีเสี้ยนน้อย รสหวาน มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีเปลือกบางจึงซำได้ง่าย และไม่ค่อยต้านทานต่อโรคแอนแทรกคโนส อายุตั้งแต่ออกดอกจนผลแก่ประมาณ 115 วัน มะม่วงพันธุ์นี้เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย สามารถตอบสนองต่อการบังคับให้ออกดอกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดี และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการ

ต้องการของตลาดต่างประเทศ พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และ น้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ผลดิบจะมีสีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุกทั้งที่ผลยังอ่อนอยู่ (2-3 เดือนหลังดอกบาน) มีเปลือกผลที่หนากว่ามะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ส่งผลให้ป้องกันการช้ำ และต้านทาน โรคแอนแทรกคโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 รสชาติผลมะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้สีทองเมื่อผลอ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมันเนื้อกรอบ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลาย น้ำได้ (total soluble solids) 17-18 เปอร์เซ็นต์ เนื้อไม่มีเสี้ยน เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดบาง น้ำหนักต่อผล ประมาณ 300-400 กรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (นิทยา, 2548) (ภาพ 1)



ภาพ 1 มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (ซ้าย) และกล่องใส่มะม่วงเพื่อส่งออก (ขวา)

คุณค่าทางโภชนาการ

ยอดมะม่วง ใบอ่อน มีรสเปรี้ยวอมฝาดเล็กน้อย ผลดิบของมะม่วงรสเปรี้ยว ยอดอ่อนและใบอ่อนของมะม่วงยังไม่มีสารวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลมะม่วงแก่ดิบจะให้พลังงานต่อร่างกาย ซึ่งประกอบด้วยเส้นใย แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เบตา-แคโรทีน วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอาซิน และวิตามินซี เป็นต้น

การนำไปใช้ประโยชน์

ผลดิบและผลสุกสามารถแปรรูปเป็น มะม่วงกวน มะม่วงคอง มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงเค็ม น้ำมะม่วงและแยม เป็นต้น

ประโยชน์ทางยาไทย

เปลือกต้นและเนื้อในเมล็ด มีฤทธิ์ฝาดสมาน ใช้รักษาอาการท้องเสียแก้บิดและอาเจียนได้ ผลสดแก้ รับประทานแก้คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน ระบายน้ำ ผลสุกหลังรับประทานแล้วล้างเมล็ด ตากแห้ง ต้มเอาน้ำดื่มหรืออบเป็นผง รับประทานแก้ท้องอืดแน่น ขับพยาธิ แก้ลำไส้อักเสบเรื้อรัง แก้ปวดประจำเดือน

การส่งออก

ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงและนำเงินเข้าประเทศได้ปีละหลายล้านบาท ซึ่งสร้างรายได้ให้กับผู้ปลูกเป็นจำนวนมาก (ตาราง 1)

ตาราง 1 ปริมาณการส่งออกมะม่วงสดของไทย

ปริมาณ: ตัน
มูลค่า: ล้านบาท

เดือน	2550		2551		2552		2553	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
มกราคม	146	7.4	698	28.2	215	17.0	783	21.6
กุมภาพันธ์	890	22.7	944	27.0	493	27.0	3,153	54.4
มีนาคม	870	31.3	4,136	69.9	4,597	86.0	1,141	160.7
เมษายน	3,115	66.4	5,262	88.3	9,357	133.7	3,347	78.0
พฤษภาคม	3,449	73.2	2,794	63.1	6,199	98.9	1,503	67.5
มิถุนายน	1,419	31.9	591	16.2	1,205	25.1	1,603	32.6
กรกฎาคม	60	4.5	247	6.8	285	14.9	468	9.6
สิงหาคม	58	2.7	99	6.7	197	9.8	104	7.1
กันยายน	83	4.2	156	9.6	458	20.9	270	12.9
ตุลาคม	163	4.9	88	7.2	272	13.9	NA	NA
พฤศจิกายน	752	23.6	165	11.0	335	18.1	NA	NA
ธันวาคม	265	20.8	295	20.3	223	19.4	NA	NA
รวม	11,272	293.6	15,476	354.2	23,837	484.6	21,373	444.3

NA : ยังไม่มีข้อมูล

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553

การเก็บรักษามะม่วง

การเก็บรักษามะม่วงมีหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเหมาะสมที่แตกต่างกัน แต่ไม่ว่าจะเป็นการเก็บรักษาด้วยวิธีใดก็ตาม หลังจากเก็บรักษาแล้วทั้งมะม่วงดิบและสุกต้องมีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญคือผลมะม่วงก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาจะต้องมีสภาพสมบูรณ์ดี ปราศจากโรคและแมลง ไม่บอบช้ำหรือมีบาดแผล ผลต้องสะอาดและถ้าเป็นมะม่วงดิบต้องแก่สมบูรณ์ วิธีการเก็บรักษาที่นิยมปฏิบัติกัน ได้แก่ การใช้อุณหภูมิต่ำ การควบคุมบรรยากาศ หรือการตัดแปลงสภาพบรรยากาศ การฉายรังสี และการเคลือบผิว

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาเป็นการปรับปัจจัยต่างๆ รอบผลิตผล เพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันก็ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะเข้าทำลายผลิตผลนั้น ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในกรณีนี้ได้แก่ อุณหภูมิ ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผลตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาลึกลง

ดังนั้น การเก็บผลิตผลทุกชนิดจึงควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ผักและผลไม้ในเขตร้อนมักมีอุณหภูมิการเก็บรักษาสูงกว่าผักและผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาวตามลำดับ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตผลได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า) น้ำในเซลล์จะแข็งตัว ผลึกของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และออร์แกเนลล์ (organelle) ต่างๆ ฉีกขาดและทำให้เซลล์ตายได้ งานทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ปิยฉัตร (2542) กล่าวว่า การเก็บรักษาขนุนทั้งผลพันธุ์ทองสุคใจในระยะสุกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะช่วยรักษาคุณภาพและความสดของเนื้อขนุนได้ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 14 วัน และสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บผลสุกที่ 13 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส จะพบโรคเกิดที่ผลมาก เช่นเดียวกับกานดาและคณะ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์มหาชนก พบว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้เพียง 7 วัน ส่วนผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 13 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าเป็นเวลา 21 วัน โดยผลมีการสุกตามปกติที่อุณหภูมิห้องและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดอาการระส่ำระสาย คือ ผลมีอาการสุกที่ผิดปกติ เปลือกและเนื้อผลมีสีเหลืองน้อยกว่า

ปกติ แต่ไม่พบในผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Whangchai *et al.* (2000) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ผ่านการอบไอน้ำ (vapour heat treatment; VHT) เพื่อส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นในสภาพสุกเต็มที่ที่สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ได้เกิน 21 วันโดยไม่เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง

การสุกของผลมะม่วง

มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีการสุกซึ่งในระหว่างการสุกมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและทางสรีรวิทยาของผล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลหลังจากผลนั้นเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว โดยการเปลี่ยนแปลงสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเหล่านี้ ได้แก่ อัตราการหายใจ อัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส (สมบุญ, 2538)

1. อัตราการหายใจ (respiration rate)

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit คือเมื่อผลแก่จัดหรือเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ซึ่งอัตราการหายใจแตกต่างกันไปตามพันธุ์ อายุของผล ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเก็บรักษาและอัตราการผลิตเอทิลีน การหายใจเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผล (สายชล, 2528) ผลมะม่วงที่มีอัตราการหายใจสูงจะเก็บได้ไม่นาน เพราะมีการใช้อาหารสะสมมากทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพและเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการสุกเร็วขึ้น (Kays, 1991)

ในระหว่างที่ผลไม้ประเภท climacteric สุก อัตราการหายใจของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ (1) pre-climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak (4) post-climacteric โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจดังกล่าวเกิดขึ้นโดยมีการควบคุมหลายขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งกระบวนการที่เป็นการสร้าง (anabolic process) เช่นการสร้างสารสีและกลิ่น และกระบวนการสลาย (catabolic process) เช่นการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลและการอ่อนนุ่มของผล (จริงแท้, 2538) โดยอัตราการหายใจของผลในขณะสุกจะแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์ จากรายงานการทดลองในผลมะม่วงพันธุ์ Kitchner, Dr Knight และ Abu-Samaka ที่วางให้เกิดการสุกที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการหายใจในผลมะม่วงทั้งสามสายพันธุ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการสุกของผล โดยมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงสุดในวันที่ 6 หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นอัตราการหายใจจึงลดต่ำลง โดยพันธุ์ Kitchner มีค่าอัตราการหายใจสูงสุด รองลงมาคือพันธุ์ Dr. Knight และพันธุ์ Abu-Samaka ตามลำดับ (Abu-Sara and Abu-Goukh, 1992) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าพบลักษณะการหายใจเช่นเดียวกันในผลมะม่วงพันธุ์อื่นๆ เช่น พันธุ์

Kent และ Haden รวมทั้งในผลไม้หลายชนิดเช่น กั้ววย มะละกอและสับปะรด (กนกมณฑล, 2526) และในผลทุเรียนพันธุ์หอมทองและชะนี (ธีรา, 2538)

2. อัตราการผลิตเอทิลีน (ethylene production rate)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสุกและการเสื่อมสภาพ (senescence) โดยเอทิลีนจะไปกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้ผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีส้มในระหว่างการสุกของผลและเอทิลีนมีผลส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเช่น pectin methyl esterase (PME) และ cellulase ทำให้เนื้อผลภายในอ่อนนุ่มลง รวมทั้งเอทิลีนช่วยการกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การลดลงของปริมาณกรด และทำให้ผลไม้มีรสชาติดีขึ้น (จริงแท้, 2538)

ผลมะม่วงมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างที่ผลสุกแตกต่างกันตามสายพันธุ์ โดยในพันธุ์น้ำดอกไม้ที่แก่จัดเมื่อนำมาวางที่ 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการสุก พบว่ามีการผลิตเอทิลีนสูงที่สุดในวันที่ 4 ซึ่งเป็นวันที่ผลเริ่มสุก (Ketsa *et al.*, 1999) ในพันธุ์ Kent และ Haden พบว่าในระหว่างการสุกของผลมีการผลิตเอทิลีนสูงที่สุดในวันที่ 8 และวันที่ 10 ตามลำดับ หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทิลีนจึงค่อยๆ ต่ำลง (กนกมณฑล, 2526) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีนมีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดหรือพันธุ์ อายุทางสรีรวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (Wills *et al.*, 1981)

3. กลิ่นและรสชาติ (flavour)

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับรสชาติในผลมะม่วงก็คล้ายกับผลไม้ประเภท climacteric ทั่วไปคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะน้ำตาลมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดอินทรีย์ลดลงเนื่องจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยในขณะที่ผลดิบจะมีแป้งสะสมอยู่ในผลแต่เมื่อผลสุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวาน (ศิริพร, 2539) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อาจลดลงเนื่องจากในผลิตผลมีการหายใจตลอดเวลาจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำตาลที่ใช้ไปในกระบวนการหายใจจะเป็นน้ำตาลกลูโคส (Biale, 1950) นอกจากนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ที่วัดโดย hand refractometer พบว่าเพิ่มสูงขึ้น อาจเป็นผลจากการสูญเสียน้ำไประหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ภายในผลสูง ส่วนปริมาณกรดอินทรีย์ในผลมะม่วงจากวันแรกของการทดลองซึ่งเท่ากับ 13 %Brix ในวันที่ 8 จะเพิ่มเป็น 20 %Brix ระหว่างการสุก ส่วนปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้มีการลดลงจากวันแรก 20 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 8 ของการสุกมีค่าเหลือ

0.2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณลดลงหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งปริมาณกรดในผลมะม่วงส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริก การลดลงของปริมาณกรดก็เป็นผลจากกระบวนการหายใจที่ต้องใช้กรดซิตริกในกระบวนการ Krebs cycle ของกระบวนการหายใจ (คิวพร, 2539) จากการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าเมื่อผลสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้รสชาติของผลเปลี่ยนไป โดยเมื่อผลสุกจะมีรสหวานมากขึ้น ความเปรี้ยวจากกรดลดลงหรือไม่มีรสชาติเปรี้ยวเลย (สุกัณยา, 2539) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในมะม่วงพันธุ์อื่นๆ ได้แก่ พันธุ์ Kent พบว่าในระหว่างการสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-15 %Brix และปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.0-2.6 เปอร์เซ็นต์ (ดิสร, 2541) รวมทั้งในพันธุ์หนึ่งกลางวัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้นเรื่อยๆ ในระหว่างการสุก โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.88 %Brix และส่วนปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ลดลงต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.11 เปอร์เซ็นต์ (ธีระ, 2532)

การเปลี่ยนแปลงกลิ่นในระหว่างการสุกของผล พบว่าโดยทั่วไปผลไม้แต่ละชนิดมีกลิ่นเฉพาะของผลซึ่งเกิดจากสารระเหยซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น ชนิดและปริมาณของสารระเหยในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตของผลแตกต่างกัน มีทั้งที่เป็น aldehyde, ketone, lactone, alcohol, กรดและ hydrocarbon เป็นต้น โดยปกติเมื่อผลสุกจะมีทั้งปริมาณและชนิดของสารระเหยมากขึ้น (จริงแท้, 2538) มีรายงานการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์ Jaffian, Wilard และ Parrot พบว่าสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเป็นสารระเหยจัดอยู่ในกลุ่ม terpenes เป็นกลุ่มหลักในมะม่วงทั้งสามพันธุ์ (Macleod and Pieris, 1984) ในผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso มีสารระเหยอยู่ถึง 152 ชนิด โดย 90 เปอร์เซ็นต์ ของสารนี้เป็นสารในกลุ่ม mono-terpene hydrocarbon และ sesqui-terpene hydrocarbon (Idstein and Schreier, 1985) และในมะม่วงพันธุ์ Kensington พบว่ามีสารระเหยอยู่ 58 ชนิด โดยกลุ่มหลักที่มีอยู่มากที่สุดคือสารกลุ่ม mono-terpene hydrocarbon (Macleod *et al.*, 1988)

4. สี (colour)

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลในระหว่างการสุกที่เห็นได้ชัดเจน โดยผลที่อยู่ในระยะแก่จัดเมื่อเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากเขียวไปเป็นเหลืองรวมทั้งสีเนื้อด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์และอาจมีการสร้างแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เปลือกผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (คิวพร, 2539) การเปลี่ยนแปลงสีของผลในมะม่วงแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกัน โดยในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลเข้าสู่การสุก สีเปลือกผลจะเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม ส่วนสีเนื้อก็จะเปลี่ยนจากสีเหลืองขาวเป็นสีเหลืองขุ่น (สายชลและสุนทร, 2535) ในพันธุ์ Harumaris และ Katchamita

สีเขียวของผิวเปลือกจะหมดไปและกลายเป็นสีเหลืองเมื่อผลสุกเต็มที่ (Lizada, 1993) ส่วนในพันธุ์ Kent พบว่าเมื่อผลเข้าสู่กระบวนการสุกที่เปลือกของผลจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเขียวมาเป็นสีเหลือง และสีแดงเมื่อผลสุกเต็มที่ (วารุณี, 2543) จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสีผลในขณะผลดิบและผลสุกในมะม่วงพันธุ์ต่างๆ พบว่าแตกต่างกัน โดยในพันธุ์ Kent ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณเบตาแคโรทีนมีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการพัฒนาผล (ดิสร, 2541) ส่วนในพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณเบตาแคโรทีนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายและสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ซึ่งได้แก่ peroxidase และ chlorophyllase ตามลำดับในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองคำ โดยเอนไซม์ chlorophyllase มีปริมาณลดลงแต่เอนไซม์ peroxidase มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงในระหว่างการสุกของผล (Ketsa *et al.*, 1999)

5. เนื้อสัมผัส (texture)

การอ่อนนุ่มของผลในระหว่างการสุกอาจเกิดจาก 2 สาเหตุ สาเหตุแรกคือการสูญเสียน้ำออกจากผลผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ของผล ทำให้ผลเกิดการเหี่ยวและอ่อนนุ่ม โดยพบว่า เมื่อผลเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่า 5-10 เปอร์เซ็นต์ ผลจะเกิดการเหี่ยวทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลง (สุรพงษ์, 2529; ทวี, 2533) ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการอ่อนนุ่มคือการเสียสภาพของผนังเซลล์จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเช่น cellulase, glucosidase, mannosidase, α -D-galactosidase, β -D-galactosidase และ xylase ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผล โดยมีผลทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในขณะผลดิบหลุดแยกออกจากกันเมื่อผลสุก โดยเอนไซม์ที่สำคัญที่มักพบในผลไม้ทั่วไปที่ทำให้เกิดการอ่อนนุ่มมี 2 ชนิดคือ PG และ PME เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์โดยเฉพาะสารประกอบเพคติน (pectin compounds) เปลี่ยนรูปจาก protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำไปเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการสุกของผล (Brett and Waldron, 1990)

การควบคุมการสุกเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษา (จริงแท้, 2538)

1. การระบายอากาศออกจากห้องเก็บรักษา วิธีที่ง่ายที่สุด ได้แก่ การจัดให้มีการระบายอากาศออกจากห้องเก็บรักษา การระบายอากาศออกจากห้องในปริมาณเท่ากับ 1 ห้องทุกๆ 1 ชั่วโมงจะช่วยลดปริมาณเอทิลีนลงได้เพียงพอ

2. การใช้สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbant) เช่น การใช้ด่างทับทิม (KMnO_4) โดยด่างทับทิมสามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ Manganese dioxide (MnO_2) ซึ่งมีสีน้ำตาลรวมทั้งได้คาร์บอนไดออกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ตามสมการ



เนื่องจากด่างทับทิมเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง จะออกซิไดซ์อินทรีย์วัตถุ หลักสำคัญในการใช้ด่างทับทิมคือ วัสดุที่ใช้เป็นที่เกาะของด่างทับทิมต้องมีพื้นผิวมาก ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมได้แก่ ซอล์ก celite, vermiculite, perlite หรือก้อนอิฐหุบเป็นก้อนเล็กๆ ก็ได้ ส่วนที่มีขายในทางการค้านั้น ใช้วัสดุจำพวก activated alumina นอกจากนั้นการใช้ด่างทับทิมให้ได้ผล จำเป็นต้องให้มีด่างทับทิมกระจายอยู่ในภาชนะบรรจุผลผลิตให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ส่วนในกรณีห้องเก็บรักษานั้นอาจใช้วิธีดูดอากาศในห้องให้ผ่านไปยังวัสดุที่เคลือบด้วยด่างทับทิมจึงจะเห็นผลชัดเจน แต่ปัญหาที่สำคัญในการใช้ด่างทับทิมก็คือ ปัญหาวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด เนื่องจากไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ความยุ่งยากในการใช้ และอาจก่อให้เกิดมลพิษขึ้นได้จากแมงกานีสที่เป็นโลหะหนักอย่างหนึ่ง

นอกจากนี้ยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) เพื่อใช้ดูดซับเอทิลีนซึ่งให้ผลที่ดีพอสมควร และถ้าใช้โบรมีน (bromine) เคลือบด้วยจะช่วยให้ทำงานได้ดีขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีนี้แพงกว่า KMnO_4 จึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

3. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในระบบนี้อากาศที่มีเอทิลีนจะผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น platinumized asbestos ที่อุณหภูมิสูง เอทิลีนจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนได้เป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ จะต้องเปลืองพลังงานในการลดอุณหภูมิของอากาศหลังจากการกำจัดเอทิลีนแล้ว

4. การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน ได้แก่

4.1 สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน ได้แก่ AOA (aminoxy acetic acid) และ AVG (L-2-amino-4(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid) ซึ่งการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีนโดยใช้ AOA และ AVG พบว่ามีการทดลองเฉพาะบางพืชเท่านั้น เช่น การพ่น AVG ก่อนการเก็บเกี่ยวแอปเปิลจะสามารถชะลอการสุกได้ การยับยั้งการสุกของสาลี และการยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้บางชนิด เป็นต้น การยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในช่วง SAM เปลี่ยนไปเป็น ACC หรือการใช้โคบอลต์ (Co^{2+}) ไปยับยั้งการสังเคราะห์ในช่วง ACC ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีน (Abeles *et al.*, 1992)

4.2 สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ได้แก่ สารพวก cyclic olefin บางชนิด เช่น 2,5-norbornadiene ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ แต่ต้องให้อย่าง

ต่อเนื่องจึงจะมีประสิทธิภาพดี และพบว่าความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนสัมพันธ์กับความสามารถในการจับกับ Ag^+ และการมีวงแหวนเป็นองค์ประกอบของสารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่น cis-butene และ cyclopentene (Sisler and Yang, 1984) และสารประกอบพวก heterocyclic สามารถแสดงคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และอีกหลายชนิดไม่สามารถยับยั้งการทำงานได้

นอกจากนี้ยังมีสารอื่นที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในระดับ receptor ได้แก่ 2,5-norbormadiene (2,5-NBD) ซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (จุดเดือด 89 องศาเซลเซียส) ออกฤทธิ์ในสถานะก๊าซ เป็นสารยับยั้งการทำงานของ receptor กลุ่มแรกที่ค้นพบ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ต้องใช้อย่างต่อเนื่องและระดับความเข้มข้นที่ใช้ต้องสูงกว่าปริมาณเอทิลีนในบรรยากาศในสภาวะนั้นๆ สาร silver thiosulphate (STS) จัดเป็นตัวยับยั้งที่มีประสิทธิภาพ เป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมดอกไม้ในปัจจุบัน ซึ่งข้อจำกัดของ silver คือ ทำให้เกิดของเสียที่กำจัดยาก และสามารถสร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมได้ (Sisler and Serek, 1999) และสาร 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ปัจจุบันพบว่า มีการใช้สาร 1-MCP ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม cyclopropene มีโครงสร้าง cyclic olefin ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผลิตภัณฑ์หลายชนิดทั้งในไม้ดอกและผลไม้สด ในระยะแรกมีการนำ 1-MCP มาใช้ในการยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้ที่มีความไว (sensitive) ต่อเอทิลีน เช่น คาร์เนชัน (Sisler *et al.*, 1996)

โอโซน

โอโซน (ozone: O_3) เป็นก๊าซสีฟ้า ประกอบด้วยออกซิเจนจับตัวกัน 3 อะตอมในภาวะกึ่งเสถียร (meta-stable state) มีกลืนจูนเฉพาะตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 (ตาราง 2) จุดเดือดที่ -111.9 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ -192.7 องศาเซลเซียส (ที่ 1 สภาพบรรยากาศปกติ) โอโซนมีน้ำหนักประมาณ 0.135 ปอนด์ต่อตารางฟุต โดยคุณสมบัติของโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง โดยเมื่อสัมผัสสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว โอโซนมีค่า oxidation potential เท่ากับ 2.07 mVolt ซึ่งมากกว่าการใช้สารประกอบคลอรีนต่างๆ (ตาราง 3)

ตาราง 2 ข้อมูลเฉพาะของโอโซน

1. คุณสมบัติผลิตภัณฑ์	รายละเอียด	
	ชื่อผลิตภัณฑ์	OZONE
ชื่อพ้อง	Activated Oxygen, Triatomic Oxygen	
คุณสมบัติทางเคมี	เป็นตัว Oxidize	
สูตรโมเลกุล	O ₃	
น้ำหนักโมเลกุล	48	
2. องค์ประกอบ	ลักษณะ	สภาพก๊าซ
	ความเข้มข้น	0-4% โดยน้ำหนัก
3. ข้อมูลความปลอดภัย	ความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้	0.1 ppm ในอากาศ
	อาการ	ทำให้ระคายเคืองกับดวงตา จมูก ลำคอ ถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานหรือได้รับในอัตราความเข้มข้นที่สูงเกินไป

ที่มา: บริษัท โอโซนิก กรุ๊ป จำกัด, 2011

ตาราง 3 สารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ และค่า oxidation potential

สารออกซิไดซ์	ค่า Oxidation potential (mV)
Fluorine	3.06
โอโซน	2.07
ด่างทับทิม	1.67
Chlorine dioxide (ClO ₂)	1.50
Hypochlorous acid	1.49
Chlorine gas	1.36

ที่มา : Zeynep *et al.*, 2003

หลักการผลิตโอโซน

การผลิตโอโซนใช้หลักการของพลังงานไฟฟ้า ที่เรียกทั่วไป คือ โอโซนเนเตอร์ (ozonator) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถผลิตและควบคุมระดับของก๊าซโอโซนได้ หลักการ

ทั่วไปคือ อะตอมของออกซิเจนจะได้รับการถ่ายพลังงานจนทำให้เกิดเป็น โมเลกุลที่เร่งสภาพหรือมีพลังงานสูง และในที่สุดก็เกิดการรวมเป็น โมเลกุลของ โอโซน ทฤษฎีของการทำ corona discharge หรือการเร่งประจุไฟฟ้าให้ออกมาเป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นประกายในบรรยากาศ จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา และเร่งปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจน ดังนั้น ทฤษฎีของโคโรน่าจึงใช้เป็นบรรทัดฐานในการผลิตอุปกรณ์โอโซน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการผลิตโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เพราะแสงอัลตราไวโอเล็ตไม่สามารถควบคุมปริมาณละเอียดได้ และจะมีการผลิตได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ

ด้วยคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ โอโซนจึงมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคที่เหนือกว่าสารเคมีจำพวกคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลายประเทศในยุโรปได้มีการเลือกใช้ก๊าซโอโซนแทนสารเคมีดังกล่าว ในต่างประเทศได้มีการค้นคว้าหาสารเคมีที่จะนำมาเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคในผัก และผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ในบางผลิตภัณฑ์หรือในบางขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ได้มีการนำเอาโอโซนมาใช้ฆ่าเชื้อโรคเพื่อทำน้ำบริสุทธิ์ สำหรับใช้ล้างผลิตภัณฑ์ที่ปอกเปลือกและยังไม่ได้ปอกเปลือก หรืออาจใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผลิตผล ซึ่งได้รับการรับรองว่าปลอดภัยว่าเป็นสารจำพวก Generally Recognized As Safe (GRAS) ในการผลิตน้ำดื่มจะใช้โอโซนเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอัตรา 0.5-2.0 ppm โอโซนส่วนใหญ่ละลายในน้ำ ทั้งนี้โอโซนเป็นก๊าซที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน และหากได้รับเกินกว่า 4 ppm จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ (ตาราง 4) สามารถไต่กลับเมื่อ โอโซนมีความเข้มข้นในช่วง 0.01-0.04 ppm ซึ่งสมาคมนักสุขศึกษาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยได้กำหนดระดับสูงสุดของก๊าซโอโซนไว้ 0.1 ppm สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง และมาตรฐานนี้เท่ากับมาตรฐานที่สมาคม American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังได้มีมาตรฐานช่วงระยะเวลาสั้นๆ คือ อนุญาตให้สัมผัสได้ 0.3 ppm ในช่วงระยะเวลา 15 นาที

โอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าคลอรีนถึง 52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างดี โอโซนมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเร็วกว่าคลอรีนถึง 5,000 เท่า ในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันฆ่าเชื้อโรค โดยปราศจากสารตกค้างพวกฮาโลเจนที่มีผลต่อการปนเปื้อนในน้ำสะอาด ส่วนคลอรีนซึ่งนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะมีผลทำให้เกิดสารตกค้างซึ่งเรียกว่า ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethane; THM) ซึ่งสาร THM นี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้

ตาราง 4 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีผลทางด้านสุขภาพ

ระดับของก๊าซโอโซน (ppm)	ข้อมูลด้านสุขภาพ
0.02-0.05	สามารถได้กลิ่น
0.1-0.3	ใน 2-3 ชม. จะรู้สึกแสบจมูกและคอ
0.6-0.8	ใน 2-3 ชม. จะมีการกระตุ้นระบบทางเดินหายใจ
1.0-2.0	ใน 2-3 ชม. จะทำให้ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ
10	อันตรายต่อสุขภาพไม่ควรสัมผัสเกิน 60 นาที
20	อันตรายต่อสุขภาพไม่ควรสัมผัสเกิน 10 นาที

ที่มา : ชมพูศักดิ์และเทพนม, 2540

การนำก๊าซโอโซนไปใช้ประโยชน์

ด้วยคุณสมบัติในการออกซิไดส์ โอโซนจึงมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่าสารเคมี ชมพูศักดิ์และเทพนม (2540) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของโอโซนดังนี้

1. การควบคุมสาหร่าย

ในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศตามฤดูกาล การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการปนเปื้อนของสารอาหารในน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่าย และโอโซนจะช่วยยับยั้งระบบการเผาผลาญอาหารของสาหร่ายหลายชนิด โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับส่วนประกอบของสารอินทรีย์นั้นๆ

2. การควบคุมกลิ่นและรสชาติ

โดยปกติส่วนประกอบของรสและกลิ่นเป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติ แม้ว่าจะมีการปะปนของสารอินทรีย์บางตัวเป็นพวกซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นฉุนอย่างรุนแรง สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดก่อให้เกิดรสชาติไม่สามารถจะรับได้ เช่นเดียวกับกลิ่น ซึ่งเกิดจากการสะสมจากการเน่าเปื่อยของบรรดาพืชผักในธรรมชาติ

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีต่อธาตุเหล็กที่ละลายได้ และแมงกานีส

ธาตุเหล็กจะถูกทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วโดยโอโซนในสภาพความเป็นต่างปกติจนกลายเป็นประจุธาตุเหล็ก ซึ่งจะรวมตัวและตกตะกอนได้เช่นเดียวกัน สารแมงกานีสจะถูกออกซิไดส์

เป็น manganese ions ซึ่งทำให้สามารถแตกตัวเป็นสารแมงกานีสไดออกไซด์ และมีผลในการทำให้เกิดการตกตะกอนและสามารถกรองได้ง่าย

4. การขจัดสารแขวนลอย

ตะกอนต่างๆ เกิดขึ้นจากการรวมตัวสารแขวนลอยที่มีอนุภาคเล็กและมีพื้นที่ผิวมาก ตะกอนเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก และด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการสะสมของปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อตะกอนเหล่านี้ผ่านขั้นตอนในการกรองจึงไม่สามารถกักเก็บไว้ได้

ก๊าซโอโซนสามารถเปลี่ยนประจุพื้นผิวและช่วยให้สารแขวนลอยและตะกอนรวมตัวได้ดีกว่า และสามารถกรองทิ้งได้ง่าย เช่น เมื่อมีประจุของธาตุเหล็กเกิดขึ้น โอโซนจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์ให้กลับเป็นธาตุเหล็กดั้งเดิม

5. การขจัดกลิ่นและอากาศเสีย

โมเลกุลของโอโซนค่อนข้างมีความไวสูง ทำให้มีความสามารถในการทำความสะอาดได้เป็นอย่างดีประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ของอากาศเสีย (กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ก๊าซต่างๆ) เกิดขึ้นจากโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว โมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวนี้มีความต้องการที่จะจับโมเลกุล หรืออะตอม หรือประจุไฟฟ้าเพื่อให้อิ่มตัว ดังนั้นโมเลกุลเหล่านี้จะจับกับโมเลกุลของโอโซนได้ง่าย

6. ช่วยทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

โดยการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนเกิดขึ้นได้สองลักษณะ อย่างแรกคือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Hunt and Marinas, 1999) และอีกลักษณะคือ อนุมูลตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย การเข้าทำลายของโอโซนมีผลต่อเซลล์ เมมเบรน ไซโทพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์จับตัวกันเป็นก้อน เซลล์แตก บางครั้งพบว่าโอโซนจะเข้าทำลายระบบหายใจ (respiratory system) ของเซลล์ ตลอดจนทำลายเอนไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของเซลล์ และในบางกรณีโอโซนจะทำลาย DNA และ RNA ของเซลล์จุลินทรีย์ด้วย (สิริพร, 2543)

โอโซนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (Restaino *et al.*, 1995) รวมทั้งฆ่าสปอร์ของแบคทีเรียได้ด้วย ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของโอโซนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซน ระยะเวลาที่สัมผัสกับเชื้อแบคทีเรีย และสภาพ pH ที่เป็นกรดของอาหารเลี้ยงเชื้อจะช่วยให้โอโซนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้น สำหรับยีสต์จะอ่อนแอต่อโอโซนมากกว่าเชื้อรา (สิริพร, 2543)

โอโซนได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปใช้เพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ ลดค่า BOD (Biological Oxygen Demand) และ COD (Chemical Oxygen Demand) ในสภาพแวดล้อม โอโซนสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ไปเป็นสารที่ย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ โมเลกุลของโอโซนจะแตกตัวเป็นออกซิเจนได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นการใช้โอโซนจะช่วยลดการสะสมของอินทรีย์สารในสภาพแวดล้อมได้ การที่โอโซนมีสภาพเป็นสารออกซิไดซ์สูง และมีการสลายตัวโดยอัตโนมัติทำให้โอโซนเป็นสารกำจัดเชื้อได้อย่างปลอดภัยในอาหาร โดยคุณภาพของอาหารนั้นยังคงสภาพอยู่ จึงมีการนำโอโซนไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมนม เนื้อ เกลาติน และอัลบูมิน ตลอดจนโรงงานผลิตไวน์ เหล้า เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2525 นอกจากนี้ยังมีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม การประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือการใช้โอโซนลดแอมโมเนียและฆ่าเชื้อ *Vibrio harveyi* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง (Matsumura *et al.*, 1998; Whangchai, 2001) ซึ่งพบว่าการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและความเข้มข้นของโอโซน (Hunt and Marinas, 1999)

ได้มีการนำโอโซนมาใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้โดย Barth *et al.* (1995) ได้ศึกษาการใช้โอโซนในการเก็บรักษาแบล็คเบอร์รี่ (blackberries) ตั้งแต่ระยะการเก็บเกี่ยวจนถึงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของโอโซน 0.3 ppm พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ และไม่ทำให้สีของผลเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษานาน 12 วัน นอกจากนี้การเก็บรักษามันฝรั่ง โดยใช้โอโซนความเข้มข้น 3 ppm ที่อุณหภูมิ 6-14 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 93-97 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษามันฝรั่งได้นานถึง 6 เดือน โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของมันฝรั่ง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2553) นอกจากนี้โอโซนยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้ต่างๆ เช่น ในสตอร์เบอร์รี่ชุดที่ ได้รับโอโซน 0.35 มิลลิลิตรต่อลิตร พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น 3 เท่า ในวันที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) เพิ่มขึ้น (Pérez *et al.*, 1999) นอกจากนี้โอโซนสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เช่น การรมก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลา 60 นาที สามารถทำลายเชื้อราที่ผิวเปลือกลำไยได้ (Whangchai *et al.*, 2004) นอกจากนี้การรมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงกับผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Penicillium digitatum* และทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคในผลส้มต่ำที่สุด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลส้มได้ (ชนัญชิตา, 2551) เช่นเดียวกับการใช้โอโซนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง รมผลลิ้นจี่เป็นระยะเวลา 45 และ 60 นาที สามารถเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์

จักรพรรดิไว้ได้นาน 28 วัน โดยไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ความแน่นเนื้อ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (อรุโณทัย, 2546)

7. สามารถลดปริมาณเอทิลีนในห้องเก็บรักษา

โอโซนสามารถออกซิไดซ์เอทิลีนดังสมการ $C_2H_4 + O_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (จิ่งแท้, 2538) แต่ยังมีข้อเสียจากการกำจัดโอโซนที่เหลือจากการออกซิไดซ์เอทิลีน ออกจากห้องเก็บรักษาก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งการใช้โอโซนในการกำจัดเอทิลีนยังมีข้อมูลน้อยมากในต่างประเทศได้แก่ การใช้โอโซนในการผสมแอปเปิลและสาลี่ที่ ความเข้มข้น 0.4 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลีนหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ (Skog and Chu, 2001) หรือการใช้โอโซนสามารถในการลดปริมาณเอทิลีนในบร็อกโคลี่และแตงกวาไร้เมล็ดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 และ 17 วัน ตามลำดับ โดยบร็อกโคลี่ชุดควบคุมมีสีเหลืองกว่าชุดที่ได้รับโอโซน จากการศึกษาของ Tzortzakakis *et al.* (2007) พบว่า การใช้โอโซนความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลต่อโมลของผลมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และมีปริมาณ เบตา-แคโรทีน ลูทีน และ ไลโคพีนมากกว่าในชุดควบคุม และมีปริมาณการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าชุดควบคุม และการให้โอโซนที่เข้มข้น 0.05–1.00 มิลลิโมลต่อโมล ในมะเขือเทศทั้งผลและแบบหั่นชิ้น ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่าชุดควบคุมได้ ซึ่งโอโซนสามารถกำจัดเอทิลีนระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น โดยช่วยชะลอการสุกและความแน่นเนื้อ ได้ (Aguayo *et al.*, 2006)