บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แตงร้านและผักกาดหอม

2.1.1 แตงร้าน

ชื่อสามัญ แตงร้าน (Cucumber)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucumis sativua*

ประเภทผัก อายุปีเดียว(annual)

ขนาด ลำต้นเลื้อยยาวประมาณ 2-3 เมตร ขนาดผล 15×2.5 เซนติเมตร

ถิ่นกำเนิด เอเชียและแอฟริกา

ฤดูปลูก ปลูกได้ตลอดปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม

ภาพที่ 2.1 แตงร้าน (*Cucumis sativua*)

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

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

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

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของสารอาหารในแตงร้าน (ต่อ 100 กรัม)

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

ที่มา : Thompson and Kelly (1957)

2.1.2 ผักกาดหอม

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

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

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

2.2 ความหมายและคุณภาพของผัก

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

คุณภาพของผักสามารถพิจารณาได้จาก (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2548)

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

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

2.2.3 การประเมินรสชาติ (flavor) รสชาตินั้นขึ้นอยู่กับรสและกลิ่นของผลิตผลนั้นๆ การประเมินรสชาตินั้นควรกระทำทั้งวิธีวัดหาส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ควบคู่ไปกับการใช้มนุษย์เป็นผู้ชิม โดยวิธีการนี้จะทำให้สามารถประเมินรสชาติระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งการใช้มนุษย์ชิมนั้นทำให้สามารถทราบว่าสังคมนั้นชอบผลิตผลราชาติอย่างไร และการประเมินรสชาติจะต้องใช้ตัวอย่างและผู้ชิมเป็นจำนวนมาก

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

วิตามินซีสูญเสียง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง สัมผัสกับอากาศ หรือเก็บรักษาไว้นานเกินไป ตลอดจนการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ

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

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผัก (Kader et al. 1985)

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

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่

2.3.1.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์ ในผักเซลลูโลสจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ผนังเซลล์มีความหนามากขึ้น บางครั้งจะมีลิกนินเกิดร่วมไปกับเซลลูโลสด้วย เช่น ในหน่อไม้ฝรั่งทำให้อายุมากขึ้น มีลักษณะเป็นกากมากขึ้น ส่วนในผลไม้นั้นปริมาณเซลลูโลสเกือบจะคงที่จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุก จากนั้นผนังเซลล์จะเริ่มบางลงและเซลลูโลสจะอยู่ในรูปผลึกมากขึ้น ส่วนปริมาณเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.1.2 ปริมาณน้ำ โดยทั่วไปปริมาณน้ำในเซลล์จะลดลง ในพืชบางชนิดอาจใช้ความชื้นเป็นตัวบอกความแก่อ่อนได้ เช่น ข้าวโพดหวาน

2.3.1.3 คาร์โบไฮเดรต อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ โดยทั่วไปผักจะมีการสะสมสตาร์ชแต่ผลไม้จะเปลี่ยนสตาร์ชเป็นน้ำตาล

2.3.1.4 โปรตีน ส่วนใหญ่ปริมาณโปรตีนจะเพิ่มมากขึ้น ในผักผลไม้บางชนิดจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงแน่ชัด

2.3.1.5 สารประกอบไนโตรเจนโมเลกุลต่ำ จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้แก่ขึ้น

2.3.1.6 กรดอินทรีย์ ปริมาณกรดอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จากระยะแก่เต็มที่ซึ่งในช่วงนี้ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นสามารถเห็นได้ชัดในผลไม้

2.3.1.7 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนนอยด์ มีแนวโน้มจะถูกทำลายซึ่งขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณแคโรทีนนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น เช่น ในมะเขือเทศปริมาณไลโคพีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากระยะแก่จัด ปริมาณแคโรทีนนอยด์ที่เพิ่มขึ้นประกอบกับการถูกทำลายของคลอโรฟิลล์ จะทำให้สีของผักผลไม้เมื่อสุกหรือแก่จัดเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสีเขียวลดลงและมีสีแดงหรือสีเหลืองเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีนี้เป็นลักษณะที่ต้องการในผลไม้แต่เป็นที่ไม่ต้องการของผักที่มีสีเขียว

2.3.1.8 ฟลาโวนอยด์ ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น จึงทำให้มีรสฝาดน้อยลง

2.3.1.9 แร่ธาตุ จะขึ้นกับปริมาณแร่ธาตุในดินที่ปลูก ปริมาณแร่ธาตุจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อผักผลไม้ในด้านคุณภาพทางสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

2.3.2.1 การหายใจ

ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเซลล์ในเนื้อเยื่อยังคงมีการหายใจอยู่ การหายใจเป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์ซึ่งสะสมพลังงานศักย์ไว้มากให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานสะสมต่ำกว่าพร้อมกับพลังงานซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปฏิกิริยาการหายใจของพืชจะมีการสันดาปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส และคายคาร์บอนไดออกไซด์

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

การหายใจเป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์วัตถุ ที่สะสมของพืชในรูป คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยก๊าซออกซิเจนเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน จัดว่าเป็นกระบวนการทำลายอาหารที่สะสมไว้ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชตามมาคือ

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

5. มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ทำให้พืชเกิดการเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นอย่างสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการหายใจ

การหายใจของพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ปัจจัยภายใน จะเกี่ยวข้องกับพืชโดยตรง คือ

1.1 ชนิดของพืช พืชแต่ละชนิดมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน อัตราการหายใจจะแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายใน ในกรณีทั่วไปผักผลไม้จะถูกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีคุณภาพต่างๆ ใกล้จะเหมาะกับการบริโภค อัตราการหายใจของผักผลไม้สามารถวัดได้จากอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อ

1.2 อายุการเจริญเติบโต พืชขณะที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการหายใจสูงแต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีอัตราการหายใจลดลง

1.3 ขนาดของพืช หัวมันฝรั่งขนาดเล็กมีอัตราการหายใจมากกว่าหัวมันฝรั่งขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสก๊าซออกซิเจนมากกว่า

1.4 สารธรรมชาติเคลือบผิว พืชที่มีสารธรรมชาติเคลือบผิวมากจะมีอัตราการหายใจน้อยกว่าพืชที่มีสารเคลือบผิวน้อย

1.5 ชนิดของเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อที่มีอายุน้อยหรือกำลังเจริญเติบโตจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าเนื้อเยื่อที่มีอายุมากหรือกำลังพักตัว

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

2. ปัจจัยภายนอก

2.1 อุณหภูมิ ในสภาพอุณหภูมิ 32-95 องศาฟาเรนไฮต์ อัตราการหายใจของพืชเพิ่มขึ้น 2-5 เท่าทุกๆ 18 องศาฟาเรนไฮต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาฟาเรนไฮต์ อัตราการหายใจของพืชกลับลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูงมากจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

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

2.3 ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนจำเป็นสำหรับการหายใจของพืชผัก แม้จะเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็พืชตามยังคงมีการหายใจตลอดเวลาจนกว่าเซลล์จะ

ตาย เนื้อเยื่อของพืชจะใช้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิต ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองชนิดจะมีผลต่ออัตราการหายใจของพืช

2.4 สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดสามารถกระตุ้นหรือยับยั้งการหายใจได้

2.5 การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่างๆของพืช ไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตามจะทำให้มีการหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และความรุนแรงของบาดแผล ผักที่ช้ำจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น

2.3.2.2 การคายน้ำ

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของผักผลไม้ อัตราการคายน้ำหรือสูญเสียน้ำจะขึ้นกับพื้นที่ผิวและลักษณะโครงสร้างของผิว ผักที่มีใบมากจะมีอัตราการสูญเสียน้ำได้ง่าย อัตราการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อจะขึ้นกับความดันไอระหว่างภายนอกและภายในเนื้อเยื่อ โดยถ้าแตกต่างกันมากจะมีอัตราการคายน้ำมาก

2.3.2.3 การสร้างก๊าซเอธิลีน

ก๊าซเอธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาของพืช เนื่องจากก๊าซเอธิลีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้พืชแก่เร็วขึ้นทำให้พืชถึงระยะการเสื่อมสลายเร็ว ผลิตผลที่เกิดบาดแผลหรือได้รับอันตรายอื่นๆ เช่น ชอกช้ำหรือได้รับสารพิษ จะสามารถกระตุ้นให้พืชสร้างก๊าซเอธิลีนได้ และก๊าซเอธิลีนก๊าซจะไปกระตุ้นให้พืชนั้นมีการสร้างก๊าซเอธิลีนในปริมาณที่มากขึ้น

2.3.2.4 การเปลี่ยนสี

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

2.3.2.5 การเหี่ยว

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

2.3.2.6 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

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

2.3.3 การเน่าเสียของผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์

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

2.3.3.1 แหล่งที่มาของจุลินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนในอาหาร

แหล่งของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจาก

1. ดินและน้ำ สภาพแวดล้อมทั้งสองนี้แยกกันไม่ออกมักจะถูกจัดให้อยู่ด้วยกัน แบคทีเรียและเชื้อราในระยะเริ่มต้นของการเติบโตมักจะอยู่ร่วมกันในดิน จากนั้นเชื้อจะแพร่กระจายในอากาศโดยการพัดพาของกระแสลม ที่ช่วยทำให้เชื้อเกิดการฟุ้งกระจาย หลังจากนั้นเชื้อจะตกลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำโดยน้ำฝนที่ตกลงมาไหลสู่แหล่งน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ที่พบในดินสามารถพบได้ในแหล่ง

น้ำด้วย ซึ่งจะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลา แต่ในบางครั้งจุลินทรีย์ที่มาจากแหล่งน้ำไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ในดินได้โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากน้ำทะเล

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

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบอาหาร การนำอาหารไปบรรจุในภาชนะภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าจุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ในผลิตภัณฑ์ และอาจมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ตรงบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับภาชนะ ซึ่งในภาชนะเดียวกันนั้นจะมีผักที่มาจากหลายๆต้น โดยมักจะพบจุลินทรีย์ลักษณะคล้ายๆกัน การตัดหรือหั่น จะทำให้มีเชื้อปนเปื้อน ที่มาจากการหั่นตัดด้วยมีดหรืออุปกรณ์ประกอบอาหารที่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อน

4. ผู้สัมผัสอาหาร จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารอาจมาจากจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่บริเวณผิวหนัง มือ โพรงจมูก และเครื่องแต่งกายของบุคคลที่สัมผัสอาหารนั้น เป็นต้น

5. อากาศและฝุ่นละออง ในอากาศและฝุ่นละอองมีสปอร์ของแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ที่สามารถปนเปื้อนในอาหารได้ โดยเชื้อส่วนใหญ่มาจากสภาพแวดล้อมต่างๆ

2.3.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

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

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

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของสารอาหารในผัก

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

ที่มา : Watt and Merrill (1950)

ตารางที่ 2.3 ค่าพีเอชของผักและผลไม้

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

ที่มา : Jay (1992)

2.4 ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้น (Minimally Processed Fruit and Vegetables)

2.4.1 ความหมาย

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

การแปรรูปลักษณะนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคและเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ ซึ่งตรงกันข้ามกับการแปรรูปโดยทั่วไป

2.4.2 จุดมุ่งหมายของการผลิตผักผลไม้ แปรรูปเบื้องต้น

จุดมุ่งหมายของการผลิตผักผลไม้แปรรูปเบื้องต้น มีดังนี้

2.4.2.1 ให้ผู้บริโภคได้บริโภคผักผลไม้ในสภาพใกล้เคียงอาหารสด (like fresh) เนื่องมาจากความต้องการของผู้บริโภคในด้านคุณค่าอาหารและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

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

2.4.2.3 เพิ่มความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ในการล้างโดยน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจะลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้

2.4.2.4 เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้บริโภค

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

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

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

ที่มา : Izumi et al. (1996)

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักแปรรูปเบื้องต้น

2.5.1 การหั่นผักเป็นขนาดชิ้นต่างๆกัน

2.5.1.1 ประโยชน์ของการหั่นตัด

การหั่น การตัด เป็นรูปแบบหนึ่งของการแปรรูปเบื้องต้นเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ผักผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปเบื้องต้นโดยการหั่นตัดมีประโยชน์ดังนี้คือ

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

2.5.1.2 ผลเสียเนื่องจากการหั่นตัด

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

1. การหายใจ เมทาบอลิซึม และการผลิตเอธิลีน

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

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

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

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

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

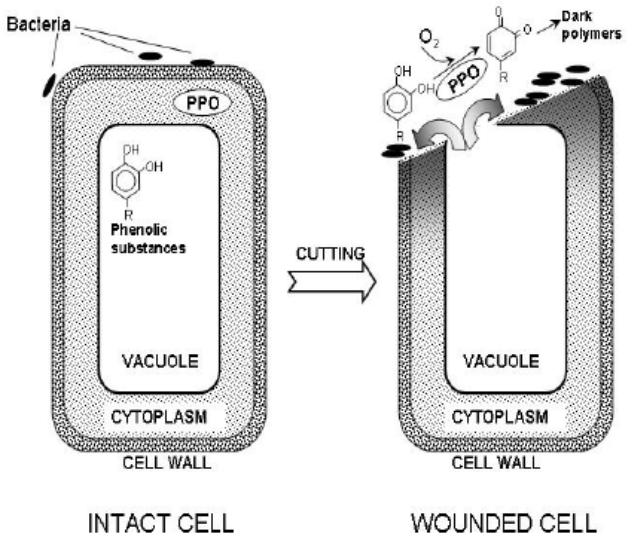
ที่มา : Rocha et al. (1995)

2. ปฏิกิริยาของเอนไซม์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการหั่นตัดผักผลไม้จะทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้เกิดความชอกช้าและบาดแผล เกิดการสูญเสียของเหลวในเซลล์ออกมาซึ่งของเหลวในเซลล์ประกอบด้วยเอนไซม์ที่พร้อมจะทำงานทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) นอกจากนั้นบาดแผลจากการหั่นตัดจะทำให้เซลล์สัมผัสกับออกซิเจนได้เพิ่มขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งทำให้คุณภาพของผักผลไม้สดลดลง

3. จุลินทรีย์

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



ภาพที่ 2.3 แสดงการจำลองบาดแผลของเซลล์ที่กระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันของผนังเซลล์ เป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาล และเชื้อจุลินทรีย์เจริญบนผิวของบาดแผลและเนื้อเยื่อที่เสียหาย

ที่มา : Irtwange (2006)

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

2.5.2 การบรรจุ

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

อัตราต่ำที่สุดโดยไม่เกิดกลิ่นหรือรสผิดปกติ ฟิล์มพลาสติก PVC มีคุณสมบัติดังกล่าวบ้างพอสมควร แต่ฟิล์ม PVC ยอมให้น้ำผ่านออกไปได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากเกินไป ถ้าเก็บรักษาไว้ในสถานที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

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

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

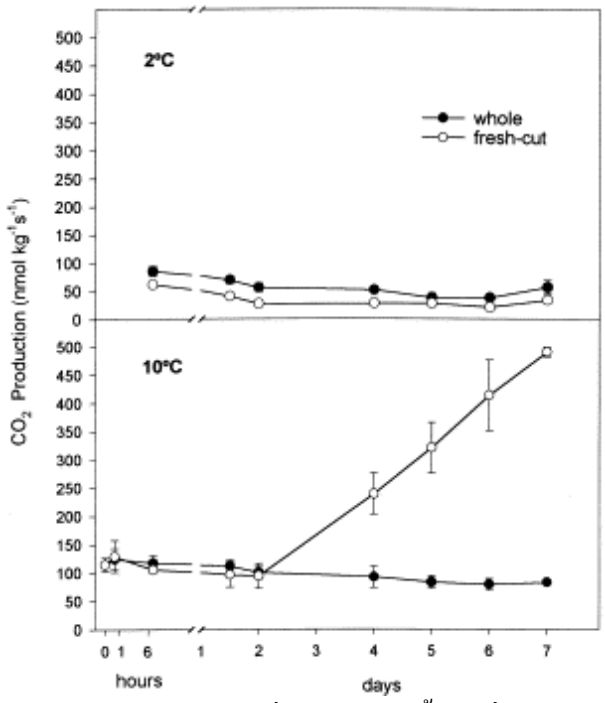
2.5.3 อุณหภูมิการขนถ่าย การขนส่งและการเก็บรักษาในช่วงๆสั้นก่อนการจำหน่าย

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

ตารางที่ 2.6 แสดงการประเมินและการทดลองช่วงอายุของผักแปรรูปเบื้องต้น

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

ที่มา : Piagentini (2005)



ภาพที่ 2.4 แสดงอัตราการหายใจของมะเขือเทศหั่นสไลด์และทั้งผล ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 10°ซ

ที่มา : Art s et al. (1999)

2.5.4 การเปลี่ยนสี

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

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

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

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

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

2.5.5 จุลชีววิทยาของผักสด

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

แบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับสลัดผักได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ

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

2. พวกแซบโพรไฟต์ (saprophyte) ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียและมักมีบทบาทหรือเข้ามาทำลายหลังจากที่ผักและผลไม้นั้นเป็นโรคแล้ว

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

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนผักและไม้ (B = bacteria, F = fungi, Y = yeast)
ที่มา : Buck, J.W. et al. (2003)

2.5.5.1 จุลินทรีย์ที่ทำให้ผักเน่าเสีย

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

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

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

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

2. สาเหตุจากเชื้อรา เชื้อราที่ทำให้ผักเน่าเสียมีหลายชนิด เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545)

2.5.5.2 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

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

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

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

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

ตารางที่ 2.7 แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคที่พบและปะปนในผักผลไม้และน้ำผลไม้

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

ที่มา : Novak et al. (2003)

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

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

*The products had a 7-day recommended shelf life

ที่มา : Odumeru et al. (1997)

2.6 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

2.6.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ชื่อทางการ : ไดไฮโดรเจน ไดออกไซด์ (Dihydrogen dioxide)

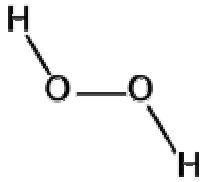
ชื่อสามัญ : ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)
ไฮโดรเจนไดออกไซด์ (Hydrogen dioxide)

สูตรโมเลกุล : H_2O_2

มวลโมเลกุล : 34.0146 กรัม/โมล

ลักษณะที่ปรากฏ : เป็นของเหลวไม่มีสี

ลักษณะโครงร่างโมเลกุล



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

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

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

2.6.2 การลดปริมาณจุลินทรีย์โดยการล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

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

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

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

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

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

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

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

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

ข้อดีของการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีดังนี้คือ

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

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

ตารางที่ 2.9 การทำลายสปอร์และเซลล์ของ *B. subtilis* โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10%

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

[b]Cell in the log phase of growth. Similar results have been obtained with wild-type or -β- cells.

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

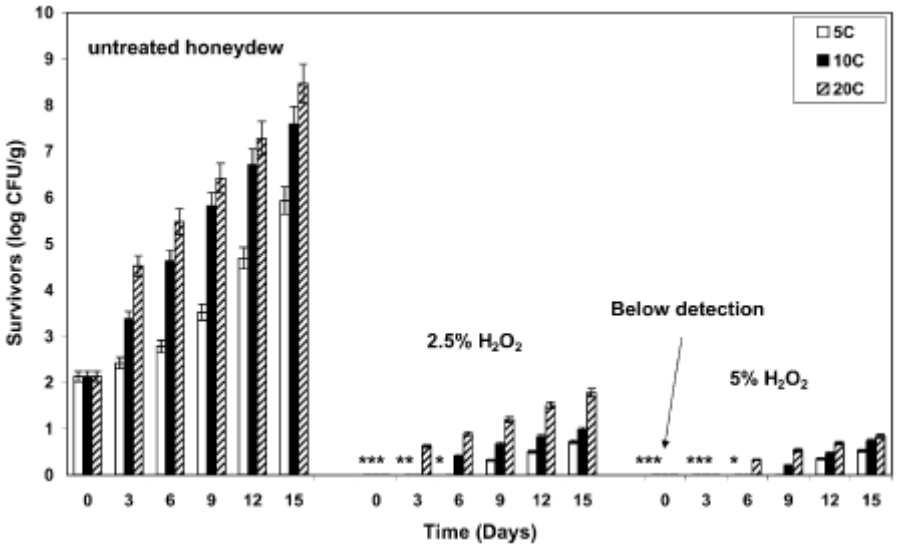
ที่มา : Doyle et al. (1997)

ตารางที่ 2.10 แสดงผลของการล้างแอปเปิลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารทำความสะอาดในการลดปริมาณเชื้อ *E.coli* (ATCC25922)

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

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

ที่มา : Sapers et al. (1997)



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

ที่มา : Ukuku (2004)

2.6.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้าง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างที่ใช้การล้างผักและผลไม้ อาจถูกกำจัดได้เอง โดยการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์คะตะเลสภายในเซลล์ โดยให้มีเวลาเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา หรือการล้างออกทันทีหลังจากการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอาหาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

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

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

ตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างในผักและแคนตาลูป

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

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

Dewatered after treatment

nd = not determined

ที่มา : Sapers and Simmon (1998)

ตารางที่ 2.12 แสดงผลของการล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างต่อปริมาณเชื้อ *E.coli* ในแอปเปิล

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

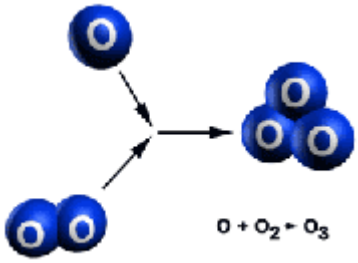
[a]Determined within 2 min of sample treatment.

ที่มา : Sapers et al. (1999a)

2.7 โอโซน

2.7.1 โอโซนและคุณสมบัติของโอโซน

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



ภาพที่ 2.7 แสดงโมเลกุลของโอโซน

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

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

ตาราง 2.12 แสดงอุณหภูมิและการละลายของโอโซนในน้ำ (pH 7)

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

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

2.7.2 ความเป็นพิษของโอโซนในมนุษย์

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

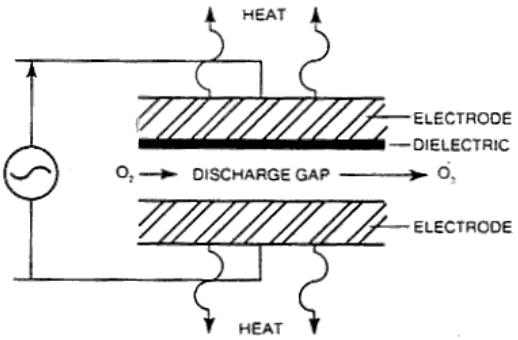
2.7.3 การผลิตโอโซน

เนื่องจากโอโซนเป็นสารเคมีที่ไม่เสถียรเพราะสามารถเปลี่ยนไปเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่ผลิตขึ้น ดังนั้นเราจึงต้องผลิตโอโซนและใช้งานทันที วิธีผลิตโอโซนในปัจจุบันคือ การใช้อิเล็คตริคคลอ โคโรนา ดิสชาร์ (electrical corona discharge)

เครื่องมือที่ออกแบบมาในการผลิตโอโซนโดยใช้ corona discharge แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 แสดงการย่อยสลายโอโซนจะขึ้นอยู่กับความร้อน และความเข้มของโอโซนที่เพิ่มขึ้นเพราะอิเล็คตรอนใน

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

วิธีการขั้นพื้นฐานในการผลิตนี้ก็คือ ความไม่มีประสิทธิภาพในตัวของมันเองของออกซิเจน พลังงานที่ให้ไปเพียงแค่ 10% ถูกใช้ในการสร้างโอโซน พลังงานส่วนใหญ่นั้นสูญเสียไปในรูปของแสง เสียง และความร้อน



รูปที่ 2.8 แสดงพื้นฐานในการผลิตโอโซน

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

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

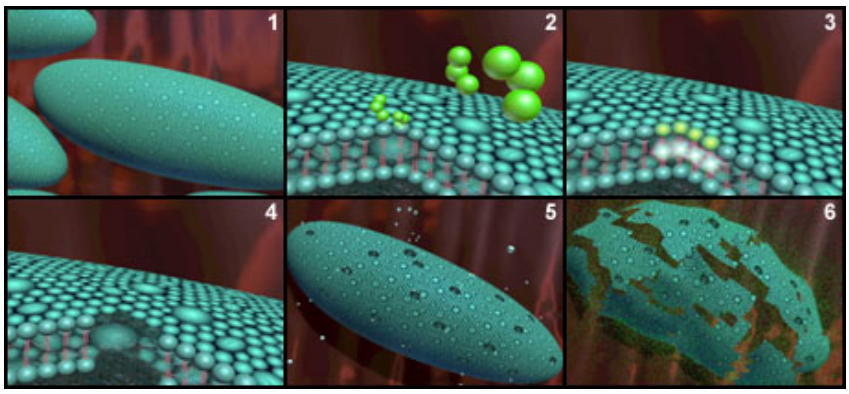
2.7.4 การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโอนโซน

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

โอโซนมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อเซลล์ของแบคทีเรีย (vegetative cell) ได้ง่ายกว่าสปอร์ของแบคทีเรีย ซึ่งสปอร์ของแบคทีเรียจะมีความทนทานสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.13

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

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



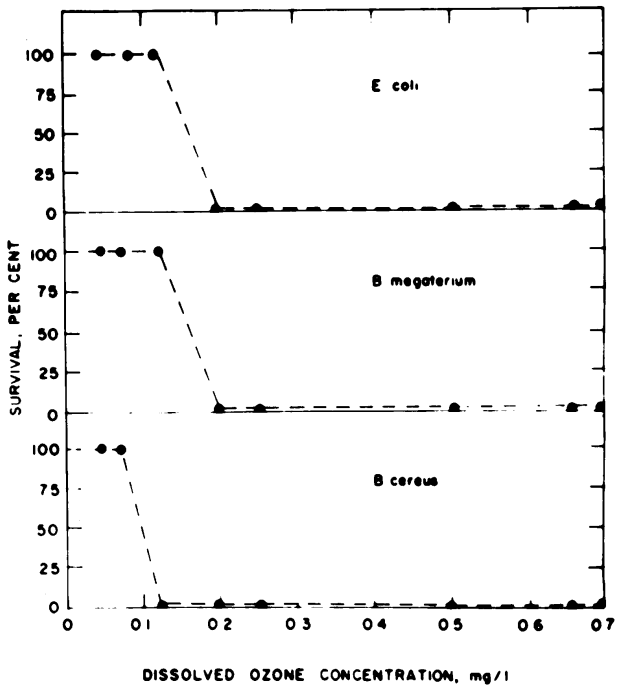
ภาพที่ 2.9 แสดงผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย 1) ภาพจำลองของแบคทีเรียเซลล์ 2) โมเลกุลของโอโซนเข้าทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 3) โอโซนแทงทะลุและทำให้เกิดรูบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 4) ผลกระทบของโอโซนต่อผนังเซลล์ 5) แบคทีเรียเซลล์หลังจากโมเลกุลของโอโซนเข้าทำลาย 6) หลังจากโอโซนเข้าทำลาย (เกิดการแตกตัวของเซลล์)

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

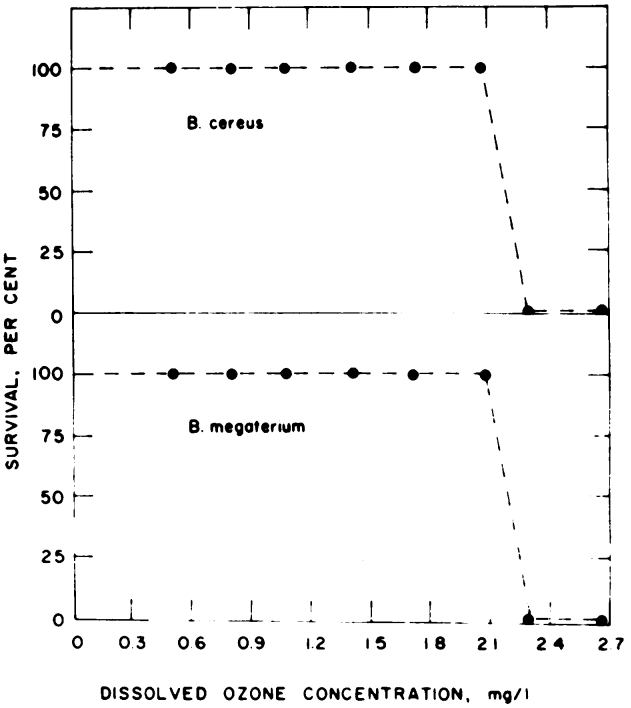
ตารางที่ 2.13 ตารางแสดงปริมาณโอโซนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

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

ที่มา : Inoue (2545)

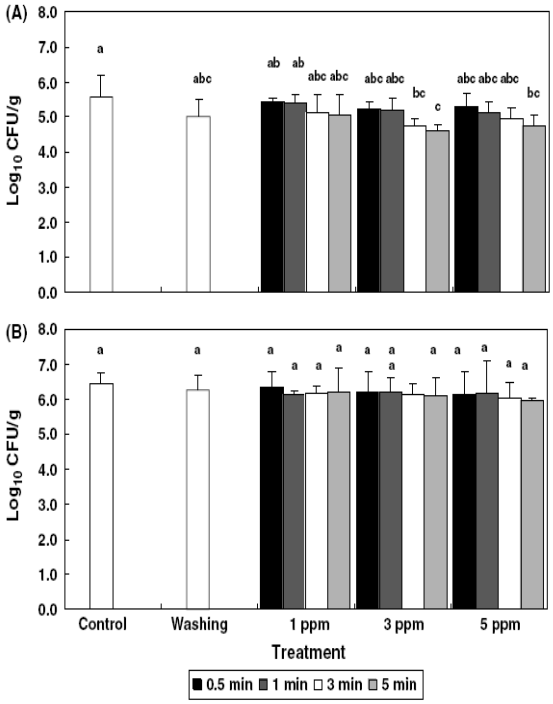


ภาพที่ 2.10 แสดงผลของการล้างด้วยโอโซนต่อเซลล์ของ *E.coli*, *B. megaterium* และ *B. cereus* ในน้ำ



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

ที่มา : Broabwater et al. (1973)



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

ที่มา : Hyun-Gyun et al. (2006)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ที่มา : Bialka and Demirci (2006)