บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การแปรรูปผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค หมายถึงการปฏิบัติใดๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การทำความสะอาด การปอก การตัดแบ่ง การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ และการบรรจุ โดยที่ผักยังเป็นเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ การแปรรูปในลักษณะเช่นนี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับของสดปรกติ แต่มีความบอบบางมากขึ้น จุลินทรีย์มีโอกาสเข้าทำลายได้ง่ายทำให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วกว่าปรกติ ปัจจุบันการแปรรูปผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคได้แพร่หลายและพัฒนาไปมาก เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคโดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่ที่มีชีวิตค่อนข้างรีบเร่ง ต้องการความสะดวกสบาย (จริงแท้และธีรนุต, 2543)

ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค บรรจุถุงพลาสติกส่งขายตามภัตตาคารหรือร้านอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการทำสลัดบาร์และแซนวิช ในปี ค.ศ. 1988 ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา อุตสาหกรรมผลิตผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีมูลค่าถึง 850,000,000 เหรียญสหรัฐ และขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ จาก 3.2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ในปี ค.ศ. 1986 ถึง 1990 (King *et al.*, 1991) ซึ่งผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจะเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และมีการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องป้องกันปัญหาเหล่านี้โดยการบรรจุในสภาพปรับบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เช่น บรรจุในถุงพลาสติก และสิ่งที่สำคัญคือต้องเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิต่ำใกล้ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา เพื่อช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจะเก็บรักษาได้ประมาณ 1 สัปดาห์ (จริงแท้และธีรนุต, 2543) ผักกาดหอมห่อที่ใช้สำหรับการผลิตต้องเลือกขนาดที่เหมาะสม ขณะผลิตต้องมีอุณหภูมิต่ำ เอาใบนอกและใจผักออกทิ้ง หั่น และล้างด้วยสารละลายคลอรีน หลังจากนั้นทำให้สะเด็ดน้ำและบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาไว้ในห้องเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.1 องศาเซลเซียส (King *et al.*, 1991) ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจะมีอายุการวางจำหน่ายได้นานประมาณ 2 สัปดาห์ ถ้าเก็บรักษาในภาชนะบรรจุและอุณหภูมิที่เหมาะสม (Kader *et al.*, 1973) ผักกาดหอมห่อหั่นฝอยสามารถเก็บรักษาโดยการใช้อุณหภูมิต่ำ เพื่อลดอาการบาดเจ็บเนื่องจากเครื่องมือ การไหลออกของของเหลว และลดการเจริญของจุลินทรีย์โดยการล้างผักกาดหอมห่อหั่นฝอย และเครื่องมือที่ใช้ในการหั่น (Bolin *et al.*, 1977)

อย่างไรก็ตาม หากวิธีการผลิตผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่ถูกสุขลักษณะ หรือมีสภาพการวางจำหน่ายที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น และอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (Watada *et al.*, 1990) ในการเก็บรักษาผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ จำเป็นจะต้องมีวิธีการใช้เทคนิคอื่นช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา เช่น การเติมสารยับยั้งการเจริญของ

จุลินทรีย์ (Preservatives) การลดพีเอช และเทคนิคอื่นเข้าเสริมกัน (Anon, 1990) การใช้เทคนิคต่างๆ ช่วยในการเก็บรักษาเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งเรียกว่า Hurdle technology (Scott, 1989)

Hurdle technology คือ เทคนิคการถนอมอาหารที่ผสมผสานระหว่างวิธีการดั้งเดิมกับวิธีการที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ โดยใช้ปัจจัยที่เป็นอุปสรรค (Hurdle) ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระดับที่มากพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารไม่สามารถเอาชนะได้ โดยการควบคุมระดับปัจจัยต่างๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนี้

ปัจจัยที่จำเป็นต้องควบคุม

การเน่าเสียของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในผักเอง และเอนไซม์ที่มาจากจุลินทรีย์ (Buren, 1991; Brackett, 1994)

1. **จุลินทรีย์**
   - จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (Foodborne pathogen)
   - จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Spoilage organism)
2. **เอนไซม์**

   เอนไซม์ที่ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมคุณภาพ ได้แก่
   - โพลีฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดส
   - ไลเพส
   - โปรตีเอส
   - เพกติเนส
   - เซลลูเลส

ปัจจัยที่เป็นอุปสรรค (Hurdle) ต่อการเจริญของจุลินทรีย์

1. **ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคภายใน (Intrinsic Hurdle)**
   - **ความเป็นกรด-ด่าง หรือค่าพีเอช**

จุลินทรีย์เจริญได้ดีที่พีเอชเป็นกลาง (ประมาณ 6.6 – 7.5) แบคทีเรียเจริญได้ในช่วงพีเอชที่แคบกว่ายีสต์และรา ความเป็นกรดของผักมีผลต่อชนิดและความสามารถในการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา ค่าพีเอชของผักที่ต่ำกว่า 4.6 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตสารพิษซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เช่น *Clostridium botulinum* (Day, 1993; Brackett, 1994 ; Alli and Boye, 1996) ผักบางชนิดที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 4.6 อาจทำให้จุลินทรีย์เกือบทุกชนิดสามารถเจริญได้ดี โดยเฉพาะแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีกว่ารา ในภาวะพีเอชเช่นนี้ (Brackett, 1987) King *et al.* (1991) ทดลองเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 2.8 องศาเซลเซียส วันที่ 1 ถึง

วันที่ 15 พีเอชของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคมีค่าสูงขึ้นจาก 6.0 ถึง 6.5 และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น

- **Water activity (a_w)**

เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้น้ำส่วนที่เป็นน้ำอิสระ (Free water) ในอาหาร เพื่อการเจริญ ผักส่วนใหญ่มีปริมาณความชื้นสูง มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.97 ถึง 0.99 ซึ่งภาวะเช่นนี้เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์มาก (Day, 1993; Wiley, 1994) จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญในอาหารที่มีค่า a_w ได้แตกต่างกัน คือ แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w อย่างน้อย 0.9 ยีสต์สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w อย่างน้อย 0.87 และราสามารเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w ประมาณ 0.80 (Robertson, 1993; Brackett, 1994)

- **Redox potential**

ปฏิกิริยาการเติมก๊าซออกซิเจน และการลดก๊าซออกซิเจนในอาหาร เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ประกอบด้วยการรับอิเล็กตรอน (Reduction) และให้อิเล็กตรอน (Oxidation) ซึ่งสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเคมี (Eh) ได้ในหน่วย millivolt (mV) จุลินทรีย์พวก Aerobes หายใจโดยใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ (Respiratory chain) ดังนั้น พวก Aerobes นี้ ต้องการสภาวะที่มี Eh เป็นบวก (+) ได้แก่ Bacillus, Pseudomonads, Acinetobacters, Moraxellae และจุลินทรีย์พวก Anaerobes หายใจโดยใช้สารตัวรีดิวซ์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้โดยไม่ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจน ดังนั้น พวก Anaerobes นี้ ต้องการสภาวะที่มี Eh เป็นลบ (-) ได้แก่ พวก Clostridia

- **โครงสร้างของพืช (Microstructure)**

โครงสร้างของพืชที่ใช้เป็นอาหารบางชนิดสามารถป้องกันการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ หรือมีสภาวะตามธรรมชาติที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์

- **Competitive flora**

จุลินทรีย์บางชนิดผลิตสารที่มีผลไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น หรือไปทำลายจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น แอนติไบโอติค แบคเทอร์ริโอซิน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดอินทรีย์

2. ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคภายนอก (Extrinsic Hurdle)

- **อุณหภูมิ**

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสามารถแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. Psychrophiles เจริญได้ดีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส
2. Mesophiles เจริญได้ดีช่วงอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส
3. Thermophiles เจริญได้ดีช่วงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส

การใช้อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อัตราเร็วของกระบวนการเมแทบอลิซึมช้าลง ชะลอการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อ เมื่ออุณหภูมิลดลงทุก 10 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตจะลดลง 2-4 เท่า และการลดอุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส เหลือ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลงได้ครึ่งหนึ่ง (Wiley, 1994) และชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Busta, 1994) ตลอดจนชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์เนื่องจากมีการลดลงของระดับฮอร์โมนไซโตไคนินช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง (Lipton, 1987) ลดการสูญเสียวิตามินซี เนื่องจากปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา และวิตามินซียังเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพทางโภชนาการของสารอาหารในผักสดภายหลังการเก็บเกี่ยว (Barth *et al.*, 1993) อุณหภูมิต่ำช่วยลดอัตราการคายน้ำเนื่องจากสภาพบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะอุ้มน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำจึงมีการดึงน้ำออกจากผลิตผลสู่บรรยากาศข้างนอกน้อยลง (ดนัยและนิธิยา, 2533) ดังนั้นอุณหภูมิต่ำจึงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจะต้องเหมาะสมกับชนิดของผักนั้นๆ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักที่ปลูกในเขตกึ่งร้อน คือ 5-10 องศาเซลเซียส (สายชล, 2528)

- **ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)**

ความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสิ่งสำคัญมาก โดยมีผลกระทบ 2 ประการ คือ

1. การเปลี่ยนแปลง a_w
2. การเจริญของจุลินทรีย์บริเวณผิวนอกของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค

- **การควบคุมหรือดัดแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศ**

นิยมนำมาใช้กับผักที่มีราคาแพง โดยทั่วไปมักใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ในการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อหั่นฝอยในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ ประกอบด้วยปริมาณก๊าซออกซิเจน 1-3 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5-6 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อหั่นฝอยได้ (Ballantyne and Selman, 1988) การควบคุมส่วนประกอบของบรรยากาศยังสามารถช่วยลดการเกิดโรคในผักได้ แต่จะต้องลดปริมาณก๊าซออกซิเจนลงให้เหลือในปริมาณที่ต่ำมาก และเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีปริมาณสูงพอ จึงสามารถชะลอการเกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษาผักได้ เช่น การควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุให้ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากกว่า 15-20 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราได้ (King and Bolin, 1989) ในภาชนะบรรจุปรับสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซออกซิเจน 18 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไนโตรเจน 79 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมกับการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งบรอคโคลี และกระหล่ำดอก (Berrang *et al.*, 1989) ก๊าซออกซิเจน 3 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไนโตรเจน 97 เปอร์เซ็นต์ ใช้เก็บรักษาผักกาดหอมหั่นฝอย (Larry and Robert, 1990) Siriphanich and Kader (1986)

พบว่าในสภาพอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดสีน้ำตาล ซึ่งทำความเสียหายแก่ผักกาดหอมห่อ โดยในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเช่นนี้ส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ให้สูงขึ้น และสภาพอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ทำให้เหมาะสมและดีต่อการเจริญของแบบทีเรีย facultative anaerobe เช่น lactic bacteria และเกิดความเป็นพิษหรือบาดเจ็บต่อเซลล์พืช เกิดจากรั่วไหลของสารอิเลคโตรไลต์ และสารอาหารออกนอกเซลล์ แต่ไม่มีผลยับยั้งหรือเร่งการเจริญของยีสต์ และมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้บ้างเล็กน้อย ส่วนปัญหา foodborne pathogens พบว่ามีน้อยมากเพราะผักกาดหอมห่อเป็นแหล่งอาหารที่ไม่ดีสำหรับจุลินทรีย์พวกที่ทำให้เกิดโรค และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นข้อจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้

- **ภาชนะบรรจุ (Packaging)**

หน้าที่สำคัญของภาชนะบรรจุ คือบรรจุอาหาร และป้องกันไม่ให้อาหารสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมภายนอก ในขณะเดียวกันก็ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ให้ความสะดวกสบายในการขนส่งและการจำหน่าย (Downes, 1989)

สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุอาหารกับผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค เพราะผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อที่ยังมีชีวิตอยู่ มีการหายใจ มีปฏิกิริยาทางชีวเคมี และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา (Zerbini, 1990) การใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอก และยืดอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ Kader *et al.* (1973) กล่าวว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัวและผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุในภาชนะบรรจุมีอายุการวางจำหน่ายนาน 2 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา และลักษณะการบรรจุ

ลักษณะของภาชนะบรรจุอาหารที่ดี (Hui, 1992 ; Schlimme and Rooney, 1994)

1. ต้องมีความปลอดภัย
2. สามารถป้องกันหรือชะลอการสูญเสียคุณภาพ
3. สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์
4. ควบคุมการผ่านเข้า-ออกของความชื้นและก๊าซ
5. สามารถเก็บรักษากลิ่นของอาหารไว้ได้
6. สามารถป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการกระทบกระเทือนจากภายนอกระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการตลาด
7. ง่ายต่อการบรรจุ ปิดมิดชิด และสะดวกต่อการเก็บรักษา
8. ทนต่ออุณหภูมิในการเก็บรักษา
9. สะดวกต่อการนำไปบริโภค
10. มีรูปร่าง ลักษณะ ขนาดเหมาะสมกับอาหารที่บรรจุ

11. มีรายละเอียดบนฉลากเป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

12. มีราคาถูก

ชนิดของภาชนะบรรจุพลาสติก

พลาสติกสามารถแบ่งตามสมบัติเมื่อได้รับความร้อนได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หมายถึง พลาสติกซึ่งอ่อนตัวได้เมื่อได้รับความร้อน และกลับคืนเป็นสภาพเดิมได้เมื่อเย็นลง จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากความร้อนไม่ได้ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป

2. เทอร์โมเซ็ท (Thermoset) หมายถึง พลาสติกซึ่งเมื่อขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนและความดันแล้วจะไม่อ่อนตัวลงอีก จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนไป (Robertson, 1993)

ฟิล์มพลาสติกเป็นรูปแบบหนึ่งของการบรรจุหีบห่อที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะจุดเด่นของฟิล์มพลาสติกคือ มีความใสสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในได้ มีน้ำหนักเบา มีความเหนียวสูงสามารถป้องกันความชื้นและอากาศได้ดี (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2538) ฟิล์มพลาสติกได้ถูกนำมาใช้บรรจุอาหารมาช้านานเพื่อช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก ช่วยลดอัตราการหายใจของผัก ลดการสูญเสียน้ำระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา การวางจำหน่าย ฟิล์มพลาสติกสามารถรักษาสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัสของผักไว้ได้นานกว่าผักที่ไม่ได้ถูกหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกอย่างน้อย 2 เท่า (Barmore, 1987) การพัฒนาวิธีการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยลดอัตราการหายใจให้ช้าลง ชะลอการเจริญและลดจำนวนจุลินทรีย์ ชะลอการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ ลดการเสียหายทางกล ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้สามารถป้องกันปฏิกิริยาการย่อยสลายเพกติน และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ชะลอการเสื่อมสลาย และชะลอการเสื่อมเสียคุณค่าทางอาหาร และวิตามินซี (Schlimme and Rooney, 1994 ; Barth *et al*., 1993) ซึ่งการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคในฟิล์มพลาสติกจึงมีข้อดี คือ จะช่วยดัดแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุได้ ซึ่งจะทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ หากอากาศหรือก๊าซผ่านเข้า-ออกภาชนะบรรจุที่เป็นฟิล์มพลาสติกได้ยาก จะทำให้ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการหายใจของเนื้อเยื่อผัก จึงต้องระวังไม่ให้ก๊าซออกซิเจนลดต่ำลง จนทำให้เนื้อเยื่อผักขาดก๊าซออกซิเจน หรือทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจนเกิดภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ซึ่งผลกระทบที่ตามมา คือ เซลล์ของเนื้อเยื่อจะขาดก๊าซออกซิเจน เร่งการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น หรือเกิดการสะสมของเอทธานอลและอะซิทัลดีไฮด์ ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปรกติ ดังนั้นส่วนประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุควรมีปริมาณก๊าซออกซิเจนมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า 1-2 เปอร์เซ็นต์ (Schlimme and Rooney, 1994)

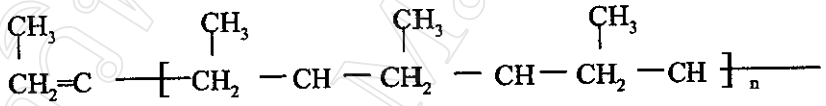
ฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุ ได้แก่

1. โพลีเอทธิลีน
2. โพลีไวนิลคลอไรด์
3. โพลีโพรไพลีน
4. โพลีสไตรีน

ฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเหล่านี้มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างของโมเลกุลสารที่ผ่านเข้า-ออก ความเป็นผลึกและความยาวของสายโพลีเมอร์ภายในเนื้อฟิล์ม อัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซและไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 (Schlimme and Rooney, 1994)

ฟิล์มพลาสติกโพลีโพรไพลีน

ฟิล์มพลาสติกโพลีโพรไพลีนผลิตโดยกระบวนการโพลีเมอไรเซชันของโพรไพลีนโมโนเมอร์ (CH_2=CH-CH_3) ที่ความดัน 5-40 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียสโดยมีคะตะลิสต์ และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนอีกเล็กน้อย (น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์) โพลีโพรไพลีนที่ได้เป็นโฮโมโพลีเมอร์ และมีโครงสร้างเป็นผลึกประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นประมาณ 0.900-0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีสูตรโครงสร้างดังนี้ (Yam *et al.*, 1992)



สมบัติของฟิล์มพลาสติกโพลีโพรไพลีน (Athalye, 1992; Yam *et al.*, 1992)

1. โปร่งใส มีผิวหน้าเป็นมันวาว ฝุ่นไม่เกาะติดง่าย
2. มีความเหนียว
3. มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี ไม่ว่าจะเป็นกรด ด่างหรือตัวทำละลาย
4. ดูดซึมน้ำได้ต่ำมาก
5. ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
6. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ
7. ป้องกันการซึมผ่านของน้ำมัน/ไขมันได้ดี
8. ทนทานต่อความร้อนสูง สามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส
9. มีความต้านทานการขีดข่วนสูง
10. มีความทนทานต่อการพับ
11. มีความคงรูป
12. มีความปลอดภัยสามารถใช้กับอาหารและยาได้

ตารางที่ 2.1 อัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ

ชนิดของฟิล์ม	อัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซ		
	ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์	ไอน้ำ
Linear low-dinsety polyethylene	7,000-9,300	-	16-31
Low-density polyethylene	3,900-13,000	7,700-77,000	6-23.2
High-density polyethylene	520-4,000	3,900-10,000	4-10
Polyvinyl chloride	620-2,248	4,263-8,138	-
Polypropylene	1,300-6,400	7,700-21,000	4-10.8
Polystyrene	2,000-7,700	10,000-26,000	108.5-155

ที่มา : ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย

หมายเหตุ : อัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำ มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์

- **Preservatives / Antioxidant**

การใช้สารเคมีหรือวัตถุเจือปนในผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค มีจุดประสงค์เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา หรือช่วยรักษาคุณภาพให้คงที่ ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อ และลักษณะปรากฏ ช่วยให้ผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีลักษณะชวนบริโภคยิ่งขึ้น (Huxoll and Bolin, 1989) สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่

• แคลเซียม

ประจุบวกของแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ โดยประจุของแคลเซียมสามารถทำให้เนื้อเยื่อภายในผักมีความแข็งได้ เพราะประจุบวกของแคลเซียมทำปฏิกิริยากับกรดเพกติกเกิดเป็นแคลเซียมเพกเตตอยู่ที่ผนังเซลล์ แคลเซียมช่วยรักษาสภาวะการซึมผ่านเข้า-ออกระหว่างผนังเซลล์โดยการสร้างประจุไฟฟ้าขึ้นระหว่างผนังเซลล์ สามารถลดอัตราการหายใจ และยังมีผลช่วยลดการผลิตก๊าซเอทธิลีนลงได้ นอกจากนี้การแช่ผักลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Huxsoll and Bolin, 1989)

• กรดชนิดต่าง ๆ

การใช้กรดชนิดต่างๆ มีจุดประสงค์เพื่อลดพีเอช เนื่องจากพีเอชที่ต่ำกว่า 4.6 สามารถช่วยควบคุมอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (Splittstoesser, 1996) และป้องกันการสร้างสปอร์ของจุลินทรีย์ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เช่น *Clostridium botulinum* กรดที่ใช้กันมาก คือ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดซอร์บิก และกรดเบนโซอิก ซึ่งกรดเหล่านี้สามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร (Deshpande *et al.*, 1994; Wiley, 1994) และสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้ คือ เมื่อพีเอชต่ำลงจะทำให้พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของโปรตีนแยกออก เป็นผลให้โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัว ซึ่งจะทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดน้อยลง (King and Bolin, 1989)

Pao and Petracek (1996) ได้ทดลองเก็บรักษาผลไม้ตระกูลส้มโดยการพ่นด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดค่าพีเอชที่ผิวของส้ม ลดการเจริญของจุลินทรีย์ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังมีการเติมกรดแอสคอร์บิกซึ่งมีสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และสารจับโลหะ (metal-sequestering compound) กรดแอสคอร์บิก และกรดอีรีโทรบิก ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักชนิดต่างๆ ได้ (Wiley, 1994) สารละลายกรดซิตริก 1.0 หรือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกรดแอสคอร์บิก 0.25 เปอร์เซ็นต์ในน้ำสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของมะเฟืองหั่นชิ้นได้ (Weller *et al.*, 1997) สารละลายกรดอะซิติกที่ระดับพีเอช 2.30 - 2.81 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในก้านผักกาดหอมห่อได้ดีกว่าสารละลายกรดซิตริกที่ระดับพีเอช 1.67 - 2.25 (Castaner *et al.*, 1996)

• การใช้สารซัลไฟต์

สารประกอบซัลไฟต์ที่นิยมใช้ คือ เกลือโซเดียมและโปแตสเซียมซัลไฟต์ต่างๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมและโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ซึ่งสารเหล่านี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้ ประสิทธิภาพการยับยั้งขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและการแตกตัวของกรดในอาหาร (Splittstoesser, 1996) ซึ่งพบว่าเมื่อระดับพีเอชลดลงประสิทธิภาพการทำงานของสารประกอบกลุ่มนี้ยิ่งสูงขึ้น เพราะเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเกลือต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดกรดซัลฟิวรัส (สายสนม, 2539) นอกจากนี้ยังมีการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอาหารบางชนิด แต่มีข้อจำกัดในการใช้กับอาหารสด เนื่องจากอาหารสด เช่น ผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคประกอบด้วยน้ำเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริกซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ก๊าซอื่นๆ ที่ได้มีการทดลองใช้ เช่น ก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้เช่นเดียวกัน (King and Bolin, 1989)

• การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนซึ่งเรียกว่า คลอริเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและยังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน สารที่ใช้ได้แก่ ก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการทำคลอริเนชันเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ มีดังนี้ (มั่นสิน, 2538 ; Jay, 1992)

- ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ
- ความเข้มข้นของคลอรีน
- พีเอช
- เวลาสัมผัสระหว่างคลอรีนกับน้ำ
- ความขุ่นของน้ำ

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำเมื่อมีการเติมก๊าซคลอรีนลงในน้ำบริสุทธิ์ จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนี้ (มั่นสิน, 2538)

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow H^+ + Cl^- + HOCl \qquad (1)$$

กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้บางส่วน

$$HOCl \longrightarrow H^+ + OCl^- \qquad (2)$$

ด้วยเหตุนี้ ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูปกรดเกลือที่แตกตัว HOCl, OCl^- และมีก๊าซคลอรีนเหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้นทำให้พีเอชของน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง HOCl และ OCl^- รวมเรียกว่า Free available chlorine หรือ คลอรีนอิสระ ซึ่งเป็นส่วนที่ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแตกตัวเป็นประจุของกรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับพีเอช ดังแสดงในสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าถ้าพีเอชต่ำน้ำจะมี HOCl มาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมี พีเอชสูง จะมี OCl^- มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า การทำคลอริเนชันที่พีเอชต่ำ จึงได้ผลมากกว่าที่พีเอชสูง เหตุผลที่ HOCl มีประสิทธิภาพมากกว่า OCl^- ก็เพราะว่า HOCl มีความสามารถในการออกซิไดสูงกว่า นอกจากนี้อาจเนื่องจาก OCl^- มีประจุลบเหมือนกับเซลล์ กรดไฮโปคลอรัสไม่มีประจุ จึงสามารถสัมผัสกับเซลล์ได้ง่าย (มั่นสิน, 2538)

การเติมสารประกอบคลอรีน เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ให้กับน้ำบริสุทธิ์ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังนี้

$$Ca(OCl)_2 \longrightarrow Ca^{++} + 2\,OCl^- \quad (3)$$

$$2\,OCl^- + H_2O \longrightarrow HOCl + OCl^- + OH^- \quad (4)$$

$$Ca(OCl)_2 + H_2O \longrightarrow Ca^{++} + HOCl + OCl^- + OH^- \quad (5)$$

จะเห็นว่า มี OCl^- เกิดขึ้นทั้งสองตัว เช่นเดียวกับในกรณีของการเติมก๊าซคลอรีนให้กับน้ำ สิ่งที่แตกต่างกันคือ $Ca(OCl)_2$ ทำให้น้ำมีพีเอชสูงขึ้น แต่คลอรีนทำให้พีเอชของน้ำลดลง Anon (1988) กล่าวว่าสารละลายคลอรีนเหมาะสมกับการใช้ล้างผักมากที่สุดเนื่องจากสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์และระเหยออกจากผลิตผลได้เมื่อสิ้นสุดการล้าง ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ล้างผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อที่ยังคงมีชีวิตอยู่ จึงมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดขึ้น ซึ่งอาจมีผลทำให้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Watada *et al.*, 1990)

การเปลี่ยนแปลงของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของเนื้อเยื่อพืชที่มีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค มีรายละเอียดดังนี้

1. การหายใจ

ผักกาดหอมห่อมีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยว การวัดอัตราการหายใจอาจทำโดยการวัดอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการหายใจของผักสามารถบ่งชี้ได้ว่าผักชนิดนั้นมีอายุการเก็บรักษาได้นานมากน้อยเท่าใด ผักที่มีอัตราการหายใจสูงจะเน่าเสียได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักที่มีอัตราการหายใจต่ำๆ (Day, 1993) ผักที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักที่มีขนาดใหญ่ เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศภายนอกมากกว่า ทำให้มีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้มากกว่า จึงมีอัตราการหายใจสูงกว่า (Tucker, 1993) ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค ซึ่งมีการตัดแต่ง และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัว จึงเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัว (Huxsoll and Bolin, 1989) แครอทที่หั่นเป็นชิ้นมีอัตราการหายใจสูงกว่าแครอทที่ไม่ได้หั่นชิ้นถึง 5 เท่า (Day, 1993) การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคนานขึ้น ภายในภาชนะบรรจุจะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพผักตัดแต่งพร้อมบริโภค (Ryall and Lipton, 1982) ส่วนต่างๆ ของพืชมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน เช่น ส่วนยอดจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าส่วนอื่นๆ (Day, 1993) ในการผลิตผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค มีการตัดแต่งและหั่นชิ้นเป็นการเร่งอัตราการหายใจ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการอย่างรวดเร็ว โดยมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ เกิดขึ้น เช่น กระตุ้นการสลายตัว

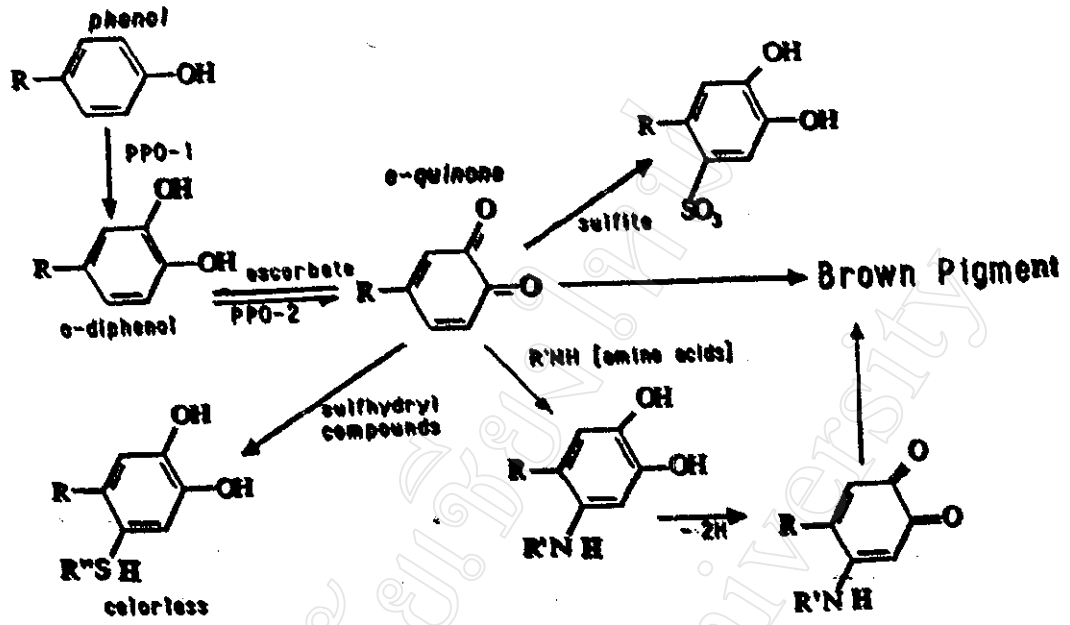
ของคาร์โบไฮเดรต กระตุ้นวิถีไกลโคไลซิส และเพนโตสฟอสเฟตให้เกิดเร็วขึ้น กระตุ้นการทำงานของไมโตคอนเดรีย เพิ่มการสังเคราะห์โปรตีน และการทำงานของเอนไซม์ (Rolle and Chism, 1987 ; King and Bolin, 1989)

2. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

ในระหว่างกระบวนการผลิตผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจะมีการตัดแต่ง หั่นชิ้น ก่อนเสมอ เซลล์ภายในจะสัมผัสกับอากาศภายนอกทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ดังนี้

- **การเกิดสีน้ำตาล**

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ลักษณะปรากฏของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคเปลี่ยนแปลงไป คือ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ โดยเมื่อเซลล์ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการผลิตผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคจะทำให้เอ็นไซม์ภายในเซลล์สามารถทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้อย่างอิสระทำให้เกิดสารประกอบที่มีสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคบางชนิดได้ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Friedman, 1996) เอนไซม์สำคัญที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งทำงานได้ดีขึ้นกับอุณหภูมิ พีเอช และก๊าซออกซิเจนที่ผิวของเนื้อเยื่อ ซึ่งพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 4 ถึง 7 (Vamos-Vigyazo, 1981) โดยเมื่อผักสดถูกหั่นเป็นชิ้น เนื้อเยื่อเซลล์ถูกทำลาย ทำให้เอนไซม์ PPO เร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) กับก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดสีน้ำตาลของเมลานิน (melanin) (Walker, 1995) พีเอชที่ต่ำกว่า 4 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (Vamos-Vigyazo, 1981) สารละลายกรดซิตริกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO (Mattila *et al.*, 1995) เอนไซม์ PPO ในแอปเปิลจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง *O*-dihydroxy phenol ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของชิ้นแอปเปิล เอนไซม์ PPO ในผักกาดหอมห่อทำงานได้ดีที่ระดับพีเอช 5 ถึง 8 และอุณหภูมิระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส (Fujita *et al.*, 1991) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จะถูกเร่งให้เกิดมากขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตที่เซลล์ของผักเกิดบาดแผล เช่น ระหว่างการปอก และหั่นเป็นชิ้น นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์เพกติไลเอสเร่งให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องต่อไปในระหว่างการเก็บรักษาผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วย (King and Bolin, 1989) ผักกาดหอมห่อทั้งหัวและผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคอาการเสื่อมเสียที่พบบ่อยคือ " pinking" ซึ่งมีสาเหตุมาจากผลของเอนไซม์ PPO (Kader *et al.*, 1973)



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO (Labuza *et al.*, 1992)

- **การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส**

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดขึ้นเนื่องจากรอยแผลที่เกิดจากการตัด และหั่นชิ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คือ เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้ก๊าซผ่านเข้า-ออกมากขึ้น องค์ประกอบภายในเซลล์รวมกันไม่สามารถแยกออกเป็นส่วนๆ เร่งอัตราการหายใจ และการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น เร่งการทำงานของเอนไซม์ กระตุ้นให้มีการสร้างสารเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผลไม้นุ่มเร็วขึ้น (Abe and Watada, 1991) ส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คือ กลูแคน กาแลกแตน และโปรโตเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนประกอบของผนังเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผักเริ่มแก่ และสุก คือ โปรโตเพกตินที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นเพกตินที่ละลายน้ำ (Buren, 1991) ปริมาณของเซลลูโลสที่เป็นผลึกลดลง กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) ลดลง ปริมาตรของเซลล์ลดลงและผนังเซลล์บางลง มีการหดตัวของผนังเซลล์ มีปริมาณของกรดยูโรนิกที่อยู่ร่วมกับผนังเซลล์ลดลง และเกิดยูโรไนด์ที่ละลายน้ำได้ (soluble uronide) เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ผักนิ่มลง (Labavich, 1981)

สารประกอบเพกตินจะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์โพลีกาแลกตูโรเนส (polygalacturonase, PG) และเอนไซม์เบต้า-กาแลกโตซิเดส (β-galactosidase) เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพกตินชนิดที่ไม่ละลายน้ำได้เป็นสารประกอบเพกตินชนิดที่ละลายน้ำได้ ทำให้ผนังเซลล์สลายตัว มีผลให้เนื้อผักนิ่มลง (Lazan *et al.*, 1993) โดยเอนไซม์ exo-PG ซึ่งทำงานได้ดีที่พีเอช 4.6-6.0 เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์กรดกาแลคตูโรนิคจากปลายด้านที่เป็น reducing ของโมเลกุล

ให้แตกออก ส่วนเอนไซม์ endo-PG ซึ่งทำงานได้ดีที่พีเอช 3.6-5.5 จะเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโมเลกุลสายโพลีอูโรไนด์ให้แตกออก (Buren, 1991) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของท้อชนิดเนื้อไม่ติดเมล็ดเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ endo-PG ในขณะที่ท้อชนิดเนื้อติดเมล็ดไม่มีเอนไซม์ endo-PG และในแอปเปิลก็มีเฉพาะกิจกรรมของเอนไซม์ exo-PG เท่านั้น (Lazan and Zainon, 1993) และจากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 7 วันแรกมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยมาก แต่หลังจากนั้นเนื้อแอปเปิลจะนิ่มลงอย่างรวดเร็ว (Kim *et al.*, 1993) ดังนั้นการรักษาผนังเซลล์ให้มีความคงทนแข็งแรงจะช่วยชะลอการเสื่อมสลาย และรักษาคุณภาพของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ (King and Bolin, 1989)

3. การปนเปื้อนของจุลินทรีย์

Cleather (1999) รายงานว่าปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตผักสดพร้อมบริโภคกำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว อันตรายที่ผู้บริโภคจะได้รับพร้อมๆ กับอาหารนั้นคืออันตรายจากสารตกค้างหรืออันตรายจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโทษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะอันตรายจากจุลินทรีย์ เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตควรจะคำนึงถึงให้มากที่สุด จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปัญหาใหญ่ เช่น *E.coli* 0157, Cryptosporidium parpo และ Cyclospora เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ในสภาพอุณหภูมิต่ำ หรือ สภาพเย็นจัด ที่เรียกว่า Psychrotropic bacteria จุลินทรีย์ที่รู้จักกันดีเช่น *Listeria* sp. , *Pseudomonas* sp. และบางสายพันธุ์ของ *Clostridium botulinum* การปนเปื้อนของจุลินทรีย์เหล่านี้อาจจะเกิดจากดิน เช่น ในกรณีของ *Listeria* sp. , *Clostridium botulinum* และ *Bacillus* spp. นอกจากนั้นเชื้อแบคทีเรียอาจปนเปื้อนจากของเสียที่มาจากระบบทางเดินอาหารของสัตว์ เช่น Salmonella, Shigella, Campylobacter และ *E. coli* เป็นต้น ในประเทศอังกฤษมีรายงานว่า ตรวจพบ *Shigella sonnei* ในข้าวโพดอ่อน พบ *E. coli* 0157 ใน radish sprout และนอกจากนี้ยังตรวจพบ *L. monocytogenes* ปนเปื้อนอยู่ในผักต่างๆ King *et al.* (1991) รายงานว่า ยีสต์ที่พบในผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคได้แก่ Pseudomonas, Erwinia และ Serratia และแบคทีเรียแกรมลบพวก Cryptococcus, Pichia, Torulaspora และ Trichosporon

Salmonella เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารแบบเฉียบพลัน เช่น บิด และไข้ไทฟอยด์ เป็นต้น และสามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ตั้งแต่ 6.5-45.5 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมกับการเจริญอยู่ในช่วง 4.7-9.6 เป็นแบคทีเรียชนิดอันตรายที่อยู่ในกลุ่ม Enterobacteriaceae เช่นเดียวกับ *E. coli* 0157 ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นเชื้อสำคัญที่บ่งบอกถึงสภาพที่ไม่ถูกสุขลักษณะในการผลิตอาหาร ส่วนเชื้อแบคทีเรีย *L. monocytogenes* เป็นเชื้อที่พบได้ทั่วไปทั้งในอาหารสดและอาหารแปรรูป สามารถเจริญได้ในสภาพเย็นจัดอุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบครั้งแรกในประเทศแคนาดา ในผักกะหล่ำปลี นอกจากนี้ Blenden and Szatalowicz (1967) ยังรายงานว่าระหว่างปี 1933 ถึง 1966 ตรวจพบ *L. monocytogenes* ในผักสลัด เช่น ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค เข้าใจว่าปนเปื้อนมากับปุ๋ยหมัก แบคทีเรียชนิดนี้ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์หลายชนิด เช่น

โรคหลอดเลือดอักเสบ โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ เป็นต้น ในช่วงฤดูร้อนปี 1979 พบผู้ป่วย 23 คน มีสาเหตุมาจาก *L. monocytogenes* เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลในเมืองบอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา แพทย์ลงความเห็นว่าปนเปื้อนมาจากมะเขือเทศ และผักกาดหอมห่อ (Ho *et al.*, 1986)

การเน่าเสียของเนื้อเยื่อผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปัจจัยภายในของผักเอง และความสามารถของจุลินทรีย์ที่จะเจริญได้ในผักนั้น (Brackett, 1987) สิ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิต คือการรักษาความสะอาด เช่น เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และภาชนะบรรจุรวมทั้งสภาพแวดล้อมระหว่างการผลิต ก็สามารถช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ในผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ (Kader *et al.*, 1989 ; Alli and Boye, 1996) Bolin *et al.*(1977) ได้ทดลอง inoculate เชื้อที่เตรียมได้จากใบผักลงในผักกาดหอมห่อหั่นฝอย โดยใช้การเจือจางระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่าการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มากขึ้น และอาการผิดปรกติต่างๆ ของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด การสูญเสียความกรอบ เกิดจากการเสื่อมสลายของเซลล์เนื่องจากการหายใจของเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อภายหลังการเก็บเกี่ยว มีสาเหตุเกิดจากผลของจุลินทรีย์ (King and Bolin, 1989) ซึ่งจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์มาเร่งการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อ เช่น เอนไซม์เพกติโนไลติกจากพวกจุลินทรีย์แกรมลบ psychrophilic bacteria ซึ่งพบในผักกาดหอมห่อ (Maxcy, 1982)

การลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนอยู่ด้านนอกของผัก ทำได้โดยการล้างทำความสะอาดผักก่อนนำมาผลิต การล้างผักอาจทำได้โดยใช้สารละลายคลอรีนเข้มข้น 200 ส่วนต่อล้านส่วน หรือใช้สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 300 ส่วนต่อล้านส่วน หลังจากนั้นควรทำให้สะเด็ดน้ำโดยเร็ว เนื่องจากน้ำจะไปเพิ่มปริมาณความชื้นให้เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้ผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้นเน่าเสียได้ง่าย (Yildiz, 1994) การตัดแต่ง และการหั่นเป็นชิ้น ควรใช้ใบมีดที่สะอาด มีความคม ควรมีการลับ และเปลี่ยนใบมีดอยู่เสมอระหว่างการผลิต การตัดแต่ง หรือหั่นชิ้นผักในขณะที่เย็นโดยใช้ใบมีดที่คมมากๆ จะทำให้เซลล์บริเวณรอยตัดของผักถูกทำลายน้อยลงและลดปริมาณของเหลวที่ไหลออกมาจากเซลล์ให้น้อยลงด้วย เช่น การหั่นผักกาดหอมห่อโดยใช้ใบมีดที่คมมากๆ ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าการหั่นโดยใช้ใบมีดที่ไม่คมถึง 2 เท่า (Bolin *et al.*, 1977) และหลังการใช้งานควรมีการล้าง ทำความสะอาดใบมีดทุกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตครั้งต่อไป (Yildiz, 1994)