

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

หน่อไม้มีหลากหลายสายพันธุ์ที่ใช้ในการรับประทาน ซึ่งมีขนาดและรสชาติที่แตกต่างกัน และมีหน่อไม้เพียงไม่กี่พันธุ์เท่านั้นที่เป็นที่ต้องการของท้องตลาด ในหลายๆ ประเทศมีการบริโภคหน่อไม้กันเป็นประจำ ซึ่งมีปริมาณการผลิตอยู่ในปริมาณมาก เช่น ประเทศไต้หวันมีการผลิตเป็นอันดับสอง และมักจะใช้ในการบริโภคสด นอกจากนั้นเมื่อในท้องตลาดขาดแคลนจะมีการนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นจะมีการขาดแคลนหน่อไม้ในเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ซึ่งจะตรงกับช่วงที่ประเทศออสเตรเลียมีการผลิตที่สูงที่สุด ทำให้สามารถส่งออกได้ถึง 250 ตัน/เดือน โดยที่ประเทศญี่ปุ่นจะมีการนำเข้าทั้งหน่อไม้สด และหน่อไม้กระป๋อง ประชาชนชาวจีนที่อาศัยอยู่ในประเทศต่างๆ เช่น สิงคโปร์ มาเลเซีย เวียดนาม สหรัฐอเมริกา แคนาดา และประเทศในทวีปยุโรป มีการบริโภคหน่อไม้ในรูปแบบหน่อไม้กระป๋อง และอาจจะมีการบริโภคหน่อไม้สดมากขึ้นในอนาคต (David, 2002)

ไม้ไผ่ที่พบในประเทศไทย มีประมาณ 15 สกุล 82 ชนิด สามารถพบกระจายพันธุ์อยู่ทั่วไปในทุกภาค โดยเฉพาะในป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบและขึ้นเป็นป่าไผ่ล้วน มูลค่าผลผลิตจากไม้ไผ่ที่ทำรายได้เข้าประเทศส่วนใหญ่มาจากไผ่ตง แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2537-2539 ไผ่ตงได้ออกดอกตายขุยเป็นพื้นที่กว้างส่งผลให้ผลผลิตจากหน่อและลำที่ทำรายได้เข้าประเทศลดลง ทำให้เกิดคำถามว่าจะมีไม้ไผ่เศรษฐกิจชนิดอื่นที่สามารถทดแทน และให้ผลผลิตคุณภาพของหน่อและลำเช่นเดียวกันกับไผ่ตงหรือไม่ จากการสำรวจและศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ และลักษณะเฉพาะของไม้ไผ่ที่มีศักยภาพด้านการค้าพบว่ามียูอยู่ 6 ชนิด คือ ไผ่บงใหญ่ (*Dendrocalamus brandisii*), ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana*), ไผ่เลี้ยง (*Dendrocalamus sp.*), ไผ่รวกดำ (*Thyrsostachys oliveri*), ไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) และไผ่หมาจู (*Dendrocalamus latiflorus*) ซึ่งเป็นไผ่นำเข้าจากประเทศจีน หน่อไม้มีสายพันธุ์มากกว่า 1,200 ชนิด แต่ที่นิยมปลูกเพื่อผลประโยชน์ในทางการค้ามีไม่มากนัก ได้แก่ *Dendrocalamus latiflorus*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa oldhamii* และ *Phyllostachys heterocycla f. pubescens* ซึ่งให้หน่อไม้ที่มีขนาดใหญ่และมีสี และเนื้อสัมผัสดี และมีรสขมน้อย ซึ่งเหมาะกับที่ตลาดต้องการ

ชื่อพื้นเมือง : ไผ่ห่อจู หรือ ไผ่หยก, 绿竹 (lǜ zhú), Oldham's Bamboo

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Bambusa oldhamii* Munro

แหล่งที่พบ : เป็นพันธุ์ไม้ที่มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ทางตอนใต้ของประเทศจีน นำมาปลูกครั้งแรกในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2529 โดยมูลนิธิโครงการหลวง ณ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (จรัสและคณะ, 2548)

ลักษณะทั่วไป : เป็นไม้ที่มีระบบเหง้าแบบกอ สูงราว 6-12 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-12 เซนติเมตร ลำอ่อนมีสีเขียวจนแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม ถึงสีเหลืองปนเขียวเมื่อลำแก่



ภาพที่ 1 ลักษณะกอและลำต้นของหน่อไม้หวานพันธุ์หมี



ภาพที่ 2 หน่อไม้หวานพันธุ์หมี

2.1 การปลูกและการดูแลรักษา

2.1.1. สภาพพื้นที่

ควรเป็นพื้นที่ราบ หรือลาดเอียงเล็กน้อยน้ำไม่ท่วมขัง ดินระบายน้ำดี ไม้จะขึ้นได้ดีในดินร่วนปนทราย ควรเป็นดินกรดหรือดินเปรี้ยว มีค่า pH ประมาณ 4.5-5.5 ถ้าเป็นดินเหนียวจัดหรือค่อนข้างเหนียวควรปรับปรุงให้อยู่ในสภาพร่วนซุยดีเสียก่อน

2.1.2. ฤดูที่ปลูก

ควรปลูกช่วงต้นฤดูฝน ประมาณเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม เนื่องจากในช่วงนี้จะมีฝนตกชุกดินจะได้รับน้ำและความชุ่มชื้นสม่ำเสมอ ไม้จะตั้งตัวได้เร็วถ้าปลูกปลายฤดูฝนต้องให้น้ำจนพ้นช่วงฤดูแล้ง

2.1.3. การเตรียมพื้นที่

การเตรียมดินควรทำในช่วงก่อนฤดูฝนประมาณเดือนเมษายน-พฤษภาคม โดยทำการกำจัดวัชพืชออกจากแปลงปลูกให้หมด ไถพรวนดิน 2 ครั้งแล้วตากดินไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ หากดินปลูกไม่ค่อยดีควรปรับปรุงดิน โดยการใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกเพื่อให้ร่วนซุยและระบายน้ำได้ดี

2.1.4. ระยะปลูกและการขุดหลุมปลูก

- หากปลูกเชิงเดี่ยวมักจะใช้ระยะปลูก 5*5 เมตร 64 กอ /ไร่
- หากปลูกในระบบวนเกษตรใช้ระยะปลูก 6*8 เมตร 45 กอ /ไร่
- หากปลูกในรูปสวนป่าผสมใช้ระยะปลูก 8*8 เมตร 25 กอ /ไร่

เมื่อวางระยะปลูกเรียบร้อยแล้วทั้งแปลงแล้วจึงลงมือขุดหลุมปลูก ควรขุดให้มีขนาด

กว้างยาวลึกประมาณ 50 เซนติเมตร

2.1.5. วิธีปลูก

นำกิ่งพันธุ์มาปลูกในหลุมที่เตรียมไว้ วางกิ่งพันธุ์ให้เอียง 45 องศากับพื้นดิน โดยมุมที่เอียงควรให้ส่วนปลายเอียงไปทางทิศตะวันตก หลังจากปลูกแล้วกลบดินเหยียบให้แน่น ใช้ไม้ปักยึดค้ำลำต้นกันลมโยก อาจใช้ฟางหรือหญ้าแห้งคลุมดินรอบๆ โคนต้นเพื่อรักษาความชื้น

2.1.6. การปลูกพืชแซม

ในระยะเริ่มปลูกปีแรกจนถึงปีที่ 3 ไร่ยังไม่เป็นกอใหญ่สัก จะมีพื้นที่ว่างในสวนอยู่มาก อาจปลูกพืชอื่นโดยเฉพาะพืชล้มลุก เช่น พริก, มะเขือ, ฟัก, แตงโม หรือจะเป็นมะละกอ กัญชง ก็ได้ เมื่อไร่โตขึ้นหรือให้หน่อแล้ว ภายในสวนจะร่มครึ้มแสงแดดส่องผ่านได้น้อย จึงเปลี่ยนมาเป็นพืชทนร่ม เช่น กระชาย

2.1.7. การขยายพันธุ์

ไผ่หลิ่งก็เช่นเดียวกับไผ่ชนิดอื่นๆ ที่สามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งโดยวิธีอาศัยเพศและวิธีไม่อาศัยเพศ การขยายพันธุ์โดยการอาศัยเพศ คือการขยายด้วยการเพาะเมล็ด ส่วนการขยายพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศกระทำได้ทั้งการแยกเหง้าปักชำ การตัดลำปักชำ การตอนกิ่งแขนงและการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

2.2 การขยายพันธุ์โดยวิธีการตอน

การตอนไผ่หลิ่งเป็นวิธีที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบันเพราะทำได้สะดวกรวดเร็ว อัตราการรอดตายสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ

2.2.1 การเตรียมตุ้มขุยมะพร้าว เพื่อนำไปหุ้มกิ่งแขนงไผ่ให้ออกรากโดยนำขุยมะพร้าวมาใส่ถุงพลาสติกขนาด 4×6 นิ้ว รัศปากถุงให้แน่น หากตอนหน้าแล้งจะใช้ตุ้มเปียก หน้าฝนจะใช้ตุ้มแห้ง

2.2.2 การเลือกกิ่งแขนง

กิ่งที่เหมาะสมที่จะตอนมีลักษณะดังนี้

- กิ่งที่ใบยอดคดแล้ว และกาบหุ้มตาเริ่มหลุดออก
- กิ่งที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป
- กิ่งที่เริ่มมีตุ้มรากออกมาข้างแล้ว

2.2.3 บากกิ่งแขนง โดยใช้เลื่อยบากกิ่งแขนงเข้าไป 3/4 ส่วนเพื่อให้ออกรากดีขึ้น

2.2.4 ทาสอร์โมนเร่งรากบริเวณรอยเลื่อยและตุ้มราก ใช้ตุ้มขุยมะพร้าวที่เตรียมไว้หุ้มโคนกิ่งแขนงที่บากเตรียมไว้เมื่อหุ้มแขนงไผ่ประมาณ 15 วัน รากแขนงไผ่จะเริ่มออกยาวจะสังเกตเห็น

ในตู้มยุมะพร้าวมีรากฝอยออกยาวเต็มถู่ ประมาณ 45 วันรากจะมีสีเหลือง จึงตัดกิ่งแขนง ไปปักชำในถู่พลาสติกดำขนาด 4×8 นิ้ว ประมาณ 30-45 วัน สามารถไปปลูกลงแปลงหรือจำหน่ายได้



(3ก.)

(3ข.)

(3ค.)

ภาพที่ 3 การขยายพันธุ์โดยวิธีการตอน (3ก.) กิ่งแขนงที่เหมาะสมกับการตอน (3ข.) และการย้ายกิ่งแขนงไปปักชำ (3ค.)

การใช้ประโยชน์ : หน่อสดมีรสอร่อย สามารถแปรรูปเป็นหน่อไม้กระป๋อง หน่อไม้แห้ง ใช้ในการก่อสร้าง หัตถกรรมและกระดาด

หน่อไม้หวานพันธุ์หลักนี้มีข้อได้เปรียบหน่อไม้พันธุ์อื่นๆ โดยจะมีออกซาเลตในปริมาณที่ต่ำกว่าหน่อไม้ทั่วไป ประกอบกับหน่อไม้สดจะให้คุณค่าทางอาหารสูงมากหน่อไม้สดมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก นอกจากมีโปรตีน ยังมีวิตามินบี 1 บี 2 และวิตามินซี ซึ่งวิตามินซีนั้นไม่ทนร้อน จึงหมดไปเมื่อนำหน่อไม้มาทำเป็นอาหาร ที่น่าสนใจ คือหน่อไม้มีกรดอะมิโนหลายชนิด รวมทั้งกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถผลิตเองได้ ต้องได้รับจากอาหาร จากการวิเคราะห์พบว่ามีกรดอะมิโนถึง 17 ชนิด ได้แก่ serine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine เป็นต้น (Yuming *et al.*, 2005) หน่อไม้สดมีคุณค่าทางอาหารสูง มีโปรตีน วิตามิน โดยใน ส่วนที่รับประทานได้ของหน่อไม้มีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 3.0 ถึง 12.9 mg/100g, tryptophan 0.4 ถึง 1.7 g/16 g N และ methionine 0.3 ถึง 0.8 g/16 g N (Bhatt *et al.*, 2005) และมีปริมาณแร่ธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น Fe, Zn, Mn, Cu, Co และ Ni (Yuming *et al.*, 2005) นอกจากนั้น หน่อไม้มีกากใยอาหารที่เข้าสู่ร่างกายแล้วจะช่วยให้ร่างกายนำกาก และสารพิษในร่างกายออกสู่ภายนอกได้เร็ว โดยคุณน้ำและเพิ่มปริมาตรให้ตัวกากเองให้มากขึ้น จนร่างกายต้องส่งออกขับปัสสาวะ หน่อไม้เป็นผักที่มีกากใยอาหาร (fiber) มากประมาณ 23.1 ถึง 35.5 เปอร์เซ็นต์อาหารต่างๆ ที่เรากินเข้าไปเมื่อผ่านการย่อยแล้ว ส่วนที่มีประโยชน์กับร่างกายก็จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ส่วนกากอาหารที่เหลือ หรือสารพิษต่างๆ เช่น ยาฆ่าแมลง โลหะหนักต่างๆ หรือพวกไนไตรท์ ก็จะไป

รวมตัวกันที่ลำไส้ใหญ่ รอเวลาที่ร่างกายจะขับถ่ายออก แต่ถ้าสิ่งเหล่านี้อยู่นานเท่าไรก็จะทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่มากขึ้น แต่ถ้ามักกินอาหารมากๆ กากใยเหล่านี้จะช่วยดูดน้ำและเพิ่มปริมาณ ทำให้มีการขับถ่ายของเสียได้ดีขึ้น และช่วยลดโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งประโยชน์ของหน่อไม้ที่ใช้เป็นอาหารสามารถสรุปได้ดังนี้

- มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยหน่อไม้บางชนิดมีปริมาณโปรตีนสูง (มากกว่า 15.23 เปอร์เซ็นต์) และมีกรดอะมิโนหลายชนิด รวมถึงแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ในปริมาณสูง
- หน่อไม้ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตในสภาพที่เป็นภูเขาซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีหรือยาฆ่าแมลง ดังนั้นหน่อไม้จึงเป็นผักที่สะอาดปราศจากสารพิษ
- หน่อไม้มีปริมาณไขมันต่ำ (น้อยกว่า 2.4 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณ edible cellulose สูง (6-8 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสามารถลดหรือความเสี่ยงในการเกิดโรคอ้วนได้
- หน่อไม้สดมีรสชาติดี และมีความกรอบและสด (Yuming *et al.*, 2005)

หน่อไม้สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด นอกจากนั้นยังมีการนำหน่อไม้ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้แก่ หน่อไม้แห้ง หน่อไม้กระป๋องและนำไปทำเครื่องดื่มน้ำจากหน่อไม้สด หรือทำเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีกลิ่นรสเฉพาะซึ่งช่วยบรรเทาอาการไอและขับเสมหะ หน่อไม้เป็นอาหารระดับโลก ในต่างประเทศมีการนำเข้าและบริโภคหน่อไม้กันอย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่มีการนำเข้าในลักษณะหน่อไม้กระป๋องจากประเทศไทย ได้หวัน และจีน ถึงแม้หน่อไม้จะมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ก็มีข้อด้อย คือมีกรดออกซาลิก ซึ่งสามารถจับกับแร่ธาตุต่างๆ ได้ ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำแร่ธาตุอาหารนั้นไปใช้ได้ Kunchit *et al.* (2006) ศึกษาปริมาณ oxalate content ในพืชผักของไทยหลายชนิด พบว่าหน่อไม้เป็นพืชที่มีปริมาณ oxalate content สูงมากกว่า 150 mg/100 g และสามารถลดลงได้โดยการนำไปปรุงสุกโดยการต้มเดือด oxalate พบโดยทั่วไปในพืชที่ใช้เป็นอาหาร ซึ่งเปลี่ยนสภาพมาจาก ส่วนที่ละลายน้ำได้ของ potassium, sodium และ ammonium oxalate กลายเป็น insoluble calcium oxalates เมื่อรวมตัวกับ dietary calcium จะทำให้เกิดสารประกอบที่ร่างกายไม่สามารถดูดซึมและย่อยสลายได้ ส่งผลให้เกิดการสะสมของ insoluble salts ในไต และทำให้เกิดการพัฒนาของโรคไตได้ นอกจากนั้นยังพบว่าหน่อไม้มีปริมาณสารพิวรีนในระดับปานกลางซึ่งแพทย์ไม่แนะนำให้ผู้ป่วยโรคเก๊าท์บริโภค สาเหตุของโรคเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีสารพิวรีนมาก บวกกับพิวรีนที่ร่างกายสร้างขึ้น พิวรีนเป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อมีการเผาผลาญอาหารแล้ว จะได้กรดยูริก คนปกติจะมีกรดยูริกประมาณ 1,000 มิลลิกรัม และสามารถขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ได้ประมาณ 700 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ป่วยโรคเก๊าท์

ปริมาณของกรดยูริกจะเพิ่มขึ้นเป็น 3-15 เท่าของคนปกติ แต่การขับถ่ายลดลง กรดยูริกจึงสะสมอยู่ตามข้อกระดูก ทำให้มีอาการปวดตามข้ออย่างรุนแรง โดยเฉพาะที่นิ้วเท้า (เอมอร์, 2548)

หน่อไม้มีการเสื่อมคุณภาพเร็วมาก โดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพืชผักที่อยู่ในระยะที่กำลังเจริญเติบโตและในขณะเดียวกันก็มีการสร้างเส้นใย และลิกนินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และเอนไซม์ฟีนิลอลานิน (Phenylalanine ammonialyse) การเก็บหน่อไม้ไว้ในอุณหภูมิต่ำจะทำให้เอนไซม์ทั้งสองทำงานได้ช้าลง อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บเพื่อรักษาคุณภาพประมาณ 5 องศาเซลเซียส และนอกจากนี้การนำหน่อไม้ไปต้มสุกก็สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้ได้ นอกจากนี้การเก็บหน่อไม้สดไว้ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เหลือส่วนที่รับประทานได้น้อยลงและขาดรสหวาน หน่อไม้ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 วันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะเหลือส่วนที่รับประทานได้เพียง 22.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่หน่อไม้ที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ มีส่วนที่รับประทานได้ถึง 44.90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บรักษาหน่อไม้ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพ และคุณค่าทางอาหารไว้ให้มากที่สุด David (2002) รายงานว่าหน่อไม้ที่งอกออกมาใหม่จะถูกเก็บเกี่ยวโดยตัดบริเวณรอยต่อของเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่ กับบริเวณเนื้อเยื่อที่เป็นเส้นใย หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 1 องศาเซลเซียส ในสภาพที่ใช้ลมเย็นในการลดอุณหภูมิ (force air cooling) หรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ถึง 8 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสูง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของหน่อไม้ให้นานขึ้น ก่อนที่จะนำไปวางขาย แต่การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวหน่อไม้ ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก และยังคงขาดผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้

2.3 ผักและผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภค (minimally processed fruits and vegetables; lightly processed) (Yildiz, 1994)

คือ ผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการต่างๆภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การล้าง ตัดแต่ง หั่น ตัด เพื่อให้ผักและผลไม้ดังกล่าวมีสภาพพร้อมสำหรับการนำไปบริโภค หรือการประกอบอาหารในขณะที่ยังมีสภาพสด การแปรรูปในลักษณะนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบางง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคและเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ ซึ่งตรงกันข้ามกับการแปรรูปโดยทั่วไป เช่น การตากแห้ง การบรรจุกระป๋อง หรือการแช่แข็ง วิธีเหล่านี้ล้วนเป็นวิธีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์คงทนเก็บรักษาได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคมีข้อดีที่สามารถรักษาคุณภาพไว้ใกล้เคียงกับผลสดปกติมากกว่าการแปรรูปวิธีอื่นๆ

โดยปกติผักและผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าที่มีเปลือก เนื่องจากเปลือกเป็น โครงสร้างของพืชที่จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และความเสียหายของ

เนื้อเยื่อที่เกิดจากแรงกระแทกบริเวณส่วนที่เป็นรอยตัดที่เกิดจากการปอกเปลือกการตัดแต่งและการหั่นให้เป็นชิ้น จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการแปรรูปผักและผลไม้จึงต้องมีการจัดการแนวทางในการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) อย่างเคร่งครัด และมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ขั้นตอนเหล่านี้ควรจะเป็นกรรมวิธีที่ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดการเสียหายน้อยที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์และเทคนิคในการตัดแต่งจึงจำเป็นที่ต้องใช้ใบมีด ที่มีความคมมากเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งให้คงลักษณะปรากฏที่ดึงดูดผู้บริโภคให้สนใจในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะลำดับต้นๆ (Watada and Ling, 1999) ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ใช้ตัดสินในการยอมรับหรือซื้อผลิตภัณฑ์ นอกเหนือไปจากรสชาติ เนื้อสัมผัสความสดกรอบของผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภค เนื้อเยื่อของพืชที่เกิดการเสียหายหรือฉีกขาดจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ มีผลทำให้ผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณภาพไป โดยทั่วไปผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดกว่าผักแปรรูปพร้อมบริโภค ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ผลไม้มีการตัดแต่งและรอยตัดมากกว่าผักและเนื้อเยื่อของผลไม้จะมีสีที่อ่อนกว่าจึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดมากกว่า การเปลี่ยนแปลงของผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคที่สำคัญได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวและการสูญเสียความกรอบไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในที่สุด (Soliva-Fortuny and Martin-Bellose, 2003) ได้มีการใช้กรรมวิธีการต่างๆ มากมายที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ดีของผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภค เช่น การใช้สารมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อในน้ำล้าง การควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำในระหว่างกระบวนการผลิต การแช่ในสารละลายกรด สารละลายแคลเซียม การใช้สารธรรมชาติเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ การบรรจุในภาชนะที่มีการปรับสภาพบรรยากาศ เป็นต้น ลักษณะของเนื้อผลไม้ภายหลังการตัดแต่งจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดและสายพันธุ์ของผลไม้ อุณหภูมิในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาการผลิตและการเก็บรักษาปริมาณ O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษา และสารยับยั้งต่างๆ ที่ใช้ชะลอการเสื่อมสภาพ (รัชฎาและนัญชรี, 2548) ในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักและผลไม้ตัดแต่งจะใช้กรรมวิธีมากกว่าหนึ่งวิธีการร่วมกันเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สภาวะที่รุนแรงหรือมีความเข้มข้นสูงของปัจจัยที่ใช้ชะลอการเปลี่ยนแปลงหรือที่เรียกว่า “Hurdle Technology” ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะกรรมวิธีการแช่ในสารละลายแคลเซียมเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงของผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคเท่านั้น

การเปลี่ยนแปลงความกรอบหรือเนื้อสัมผัสของผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการด้วยกันคือ 1) การสูญเสียน้ำโดยกระบวนการหายใจและการคายน้ำเป็นผลให้ความ

ดันเต่งภายในเซลล์ (cell turgor pressure) ลดลง ซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคให้ต่ำเพื่อลดการหายใจและการคายน้ำ 2) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุกเป็นเหตุให้ผนังเซลล์อ่อนแอและไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม (รัชฎาและนัญชรี, 2548) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายของสารประกอบเพคตินโดยเอนไซม์

การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้โดยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อและหลังการตัดแต่งได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการตัดแต่ง การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อและหลังการตัดแต่ง โดย Ca^{2+} สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุของ Ca^{2+} โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งไม่ละลายน้ำ (รัชฎาและนัญชรี, 2548) โดยถ้าใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นมาก ความกรอบก็เพิ่มมากและเวลาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-2 นาที อาจมีการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยให้แคลเซียมสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส (Luna-Gutzman *et al.*, 1999) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนทำให้สูญเสียความกรอบและลักษณะปรากฏที่สวยงามไปความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สูงเกินไปอาจทำให้เกิดรสขมในเนื้อผลไม้ได้ (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003)

นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้แช่ยังมีผลช่วยลดปริมาณสัตว์รบกวนและเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเปลือกของผลไม้สดด้วย การนำผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคไปแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากช่วยปรับปรุงความกรอบของผลไม้ตัดแต่งแล้ว สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของชิ้นผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคมีสาเหตุสำคัญมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO) Luna-Gutzman *et al.* (1999) รายงานว่า การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าขึ้น

แตงเมลอน (fresh – cut melon) ได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (denature) จนไม่สามารถเข้าจับกับซับสเตรท (substrate) ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเวลาในการแช่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1-5 นาที นอกจากนี้การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นการช่วยชะลอเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ผลไม้ได้ เนื่องจากการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ชั้นผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคมิอตราการหายใจต่ำลง

2.4 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีระหว่างการเก็บรักษา (दनัยและนริथा, 2548)

การเก็บรักษาผลิตผลไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลิตผลได้ ซึ่งจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล พันธุ์ ระยะเวลา และวิธีการเก็บรักษา

2.5 ผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลิตผลของผลิตผลดังนี้

2.5.1 คาร์โบไฮเดรต โดยปกติผลไม้จำพวก climacteric มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และจะลดลงในช่วงหลังการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น สตาร์ชสลายได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลฟรักโทสและซูโครส การเก็บรักษาผลไม้กลุ่มนี้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ปริมาณทั้ง 3 ชนิดลดลง สำหรับผลมะม่วงจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และจะสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสในเวลาต่อมา ส่วนผลไม้ที่เป็น nonclimacteric การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยและเกิดอย่างช้าๆ

2.5.2 กรดอินทรีย์ ในระหว่างการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงจะผันแปรไปตามระยะความแก่และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น ผลมะเขือเทศอ่อนจะมีปริมาณกรดอินทรีย์มากกว่าผลแก่ การเก็บรักษามะเขือเทศอ่อนที่มีขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นภายหลังจาก 2 สัปดาห์แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันและจะเกิดขึ้นภายหลังจาก 3 สัปดาห์ สำหรับผลมะเขือเทศแก่ที่มีผลสีเขียวและผลกำลังสุกเมื่อนำไปเก็บรักษา ปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนผลมะเขือเทศที่มีสีส้มแดงเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 วัน ปริมาณกรดอินทรีย์จะลดลง

ส่วนปริมาณวิตามินซีจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาผลผลิตผลไม้ที่อุณหภูมิสูง เช่น ผลมะเขือเทศ หน่อไม้ฝรั่ง มะนาว ส้ม และพลับ สำหรับมันเทศเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 2-3 เดือน ปริมาณวิตามินซีจะลดลงเหลือ 1/2 ถึง 2/3 ของผลผลิตเมื่อเริ่มต้นเก็บเกี่ยว

2.5.3 ไขมัน ผลไม้บางชนิดจะมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในรูปของคิวติเคิล (cuticle) หรือแวกซ์ ที่เคลือบอยู่ที่ผิว เช่น การเพิ่มขึ้นของคิวติเคิลที่เคลือบผิวของผลแอปเปิล เมื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบของแวกซ์ที่เคลือบผิวผลไม้ พบว่าส่วนที่เป็นน้ำมัน (oil) จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่า ursolic acid และมี non-volatile ester ถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษาด้วย ขณะที่ volatile ester จะปรากฏขึ้นในช่วงหลังของการเก็บรักษา และการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานจะมีส่วนที่เป็นแวกซ์ชนิด soft wax สะสมอยู่ในคิวติเคิลเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจะผันแปรตามชนิดของพันธุ์ ตัวอย่างเช่น แอปเปิลพันธุ์ Cox's Orange Pippin แวกซ์ที่ผิวจะคงที่ ขณะที่แอปเปิลพันธุ์ Bramley มีปริมาณแวกซ์และเอสเทอร์ที่เคลือบผิวเพิ่มขึ้น ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น กรดลิโนเลนิก กรดลิโนเลอิก และกรดโอเลอิก จะถูกเมแทบอลิซึมอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา ทำให้ได้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสะสมอยู่ภายใน ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติเมื่อนำผลผลิตไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

2.5.4 สารสีหรือรงควัตถุ ระหว่างการเก็บรักษาผักและผลไม้ส่วนใหญ่ ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง แต่สารสีชนิดอื่นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา ความแก่ และพันธุ์ เช่น กัลฉ่าย บางพันธุ์จะยังมีสีเขียวอยู่ถึงแม้ว่าจะสุกแล้วก็ตาม แต่การเก็บรักษาด้วยวิธีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้ผลกัลฉ่ายมีผิวสีเหลืองได้

2.5.5 สารประกอบเพกติน ในระหว่างการเก็บรักษาความแน่นเนื้อของผลผลิตจะลดลงเนื่องจากการสลายตัวของสาร โพรโทเพกตินซึ่งไม่ละลายน้ำ ได้เป็นกรดเพกตินและเพกตินซึ่งละลายน้ำได้ ถ้าระหว่างการเก็บรักษาไม่มีกระบวนการสุกเกิดขึ้น สารประกอบเพกตินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2.5.6 สารระเหย อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจะมีผลต่อการสังเคราะห์สารระเหย เช่น ในการเก็บรักษาผลแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จะมีการสังเคราะห์สารระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่เก็บรักษาไว้ที่

สภาพควบคุมบรรยากาศ จะสร้างสารระเหยได้น้อยกว่าแม้จะนำออกจากสภาพนั้นแล้วก็ตาม การเก็บรักษาในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำยังทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ เนื่องจากมีการสะสมของแอซีตัลดีไฮด์และเอทิลแอลกอฮอล์ภายในเนื้อผลไม้

2.5.7 กรดอะมิโน ปริมาณกรดอะมิโนจะลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา เช่นในถั่ว กรดอะมิโนอิสระจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาไว้นาน 2 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรือภายใน 5 วัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณจะคงที่เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 1.1 องศาเซลเซียส

2.5.8 เอนไซม์ ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์อะมิลเลส เพกตินเอสเทอเรส เซลลูเลส และอะไมเลส จะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา แต่ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดสจะลดลง โดยความสามารถในการทำงานของเอนไซม์จะผันแปรตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและระยะความแก่ของผลไม้ด้วย ผลไม้ที่แก่จัดตามธรรมชาติ ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์อะมิลเลส และเพกตินเอสเทอเรสจะสูงกว่า แต่เอนไซม์ออกซิเดสจะต่ำกว่าผลไม้ที่เก็บเกี่ยวขณะยังไม่แก่

2.6 ผลของการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศต่อเมแทบอลิซึม

การเก็บรักษาผลิตผลโดยการควบคุมบรรยากาศมีผลต่อกระบวนการทางชีวเคมี ดังนี้

2.6.1 การหายใจ การเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศมีผลต่อการหายใจ 3 ระดับ คือ การหายใจแบบใช้ก๊าซออกซิเจน ไม่ใช้ออกซิเจน และทั้งสองแบบรวมกัน โดยการหายใจแบบใช้ก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณก๊าซออกซิเจนเพียงพอได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน เกิดขึ้นในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดกระบวนการหมักมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์เกิดขึ้น แต่ในภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ จะเกิดการหายใจทั้งสองแบบรวมกันในสัดส่วนที่ผันแปรไปตามความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตาม กระบวนการเมแทบอลิซึมของผลไม้อ่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นหรือก๊าซออกซิเจนต่ำลง จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ และอาจเกิดกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป การอ่อนตัวของผลไม้อาจมีความผิดปกติ หรืออาจเกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อก่อนที่จะเกิดกระบวนการสุกอย่างปกติได้ อัตราการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตอันเนื่องมาจากการหายใจในบรรยากาศปกติของผลไม้อาจเร็วกว่าในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.2-1.4 เท่า และในบรรยากาศที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเร็วกว่าใน

บรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.35-1.55 เท่า ดังนั้น ผักและผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้ที่เก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ และเมื่อย้ายออกจากที่เก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศมีผลทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้หลายชนิดลดลงต่ำกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ เช่น อะโวคาโด สาเล่ แอปริคอต องุ่น ท้อ พลัม ผักกาดหอมห่อ และบรอกโคลี

2.6.2 กรดอินทรีย์ ผลการทดลองส่วนมาก พบว่าการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศซึ่งมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติ สามารถชะลอการลดลงของกรดอินทรีย์ เช่น การเก็บรักษาแครอท 3 วัน ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์เพียงเล็กน้อย แต่ถ้าเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีกรดซัคซินิกและกรดแอลฟา-อะมิโนบิวทีริกเพิ่มขึ้น ขณะที่กรดมาลิก กรดแอสปาร์ติก และอลานีนลดลง

ถั่วที่เก็บรักษาไว้ในบรรยากาศควบคุมมีพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์ แต่ก่อนข้างคงที่เมื่อเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ และลดลงเล็กน้อยในบรรยากาศควบคุม

ผักปวยเล้งที่เก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศมีพีเอชเพิ่มขึ้นและปริมาณกรดทั้งหมดลดลง ส่วนบรอกโคลีที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นแปรผกผันกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ลดลง และระดับก๊าซออกซิเจนไม่มีผลต่อค่าพีเอช ซึ่งการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

2.6.3 แอซีทัลดีไฮด์ เมื่อเก็บผักและผลไม้ไว้ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน เซลล์ของพืชจะสังเคราะห์แอซีทัลดีไฮด์เป็นจำนวนมาก และทำให้เซลล์เกิดเป็นสีน้ำตาล (browning) ได้

2.6.4 เพกติน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการสลายตัวของโพรโทเพกติน และในภาวะที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่อุณหภูมิสูง ปริมาณเพกตินที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก

2.6.5 คลอโรฟิลล์ ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของปวยเล้ง บรอกโคลี สตรอเบอร์รี่ และผักผลไม้อื่น ในระหว่างการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศและบรรยากาศปกติ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเล้งจะสัมพันธ์กับบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษา เวลา และอุณหภูมิ บรอกโคลีที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นและออกซิเจนลดลง จะช่วยให้บรอกโคลีมีสีเขียวอยู่ได้นานขึ้น เพราะคลอโรฟิลล์สลายตัวช้าลง และการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศมีผลทำให้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งช้าลง ด้วย ส่วนผักกาดหอมห่อพันธุ Great Lakes สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 75 วันในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 1.7 องศาเซลเซียส ถึงแม้จะห่อหรือไม่ห่อด้วยพอลิเอทิลีนก็ตาม

2.7 การแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

2.7.1 ผักสลัด

ในต่างประเทศการใช้ผักชนิดต่างๆนั้นเป็นริ้วหรือชิ้นเล็กๆเพื่อการบริโภคเป็นผักสลัด โดยตรง หรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารบางอย่างเป็นที่นิยมมาก แต่เนื่องจากปัญหาแรงงานซึ่งการหั่นผักสลัดตามร้านอาหารสิ้นเปลืองแรงงานพอสมควร จึงเกิดอุปสงค์ที่จะซื้อผักสลัดหั่นเรียบร้อยแล้วสำหรับใช้ทำอาหารได้ทันที ในปัจจุบันจึงมีผักหลายชนิดเช่น ผักกาดหอมห่อ, กะหล่ำปลี, มะเขือเทศ และหอมหัวใหญ่ หั่นเป็นชิ้นลักษณะต่างๆบรรจุถุงพลาสติกส่งขายให้ภัตตาคารหรือร้านอาหารต่างๆกันอย่างแพร่หลาย ปัญหาที่สำคัญของการเตรียมผักสลัดพร้อมบริโภคนี้คือ การเปลี่ยนสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันปัญหาเหล่านี้ให้ดี โดยการบรรจุในสภาพสุญญากาศเพื่อลดออกซิเจน ที่ปกติจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนั้นยังใช้ คาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ บรรจุลงในถุงบรรจุผักสลัดด้วย เพื่อช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วย แต่ที่สำคัญผักสลัดแปรรูปนี้ต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำใกล้ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา

2.7.2 ข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อนจำถูกนำมากรวมกันในโรงคัดบรรจุ โดยกองกับพื้นสูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร ถ้าสูงกว่านี้ความร้อนในกองจะสูงมากข้าวโพดอาจเกิดการตายนิ่งได้ ผักข้าวโพดจะถูกกรีดด้วยมีดตามยาวเพื่อเปิดเปลือกข้าวโพดออก ผู้บริโภคใช้มือดันให้ฝักไหล่ออกจากไหม ใช้มือหักฝักออกจากก้านแล้วรุคไหมที่ยังติดค้างอยู่ออก ขั้นตอนการปอกเปลือกลอกไหมข้าวโพดฝักอ่อนนี้ใช้เวลาเพียง 5-7 วินาทีต่อฝัก แต่ก็ยังนับว่าช้าเมื่อเทียบกับปริมาณข้าวโพดฝักอ่อนที่ผลิตได้และ

ปริมาณที่ลูกค้าต้องการ การปกนี้่เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพราะต้องใช้แรงงานมากซึ่งนับวันจะหาได้ยากและมีราคาแพง หลังจากปกเปลือกลอกไหมแล้ว ข้าวโพดฝักอ่อนควรได้รับการคัดเลือก บรรจุลงในภาชนะ และลดอุณหภูมิโดยเร็ว ความล่าช้าในการปฏิบัติจะทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อราได้ง่าย อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 2-4 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้นาน 2-3 สัปดาห์ นอกจากนี้การศึกษาวิจัยพบว่าบรรยากาศที่มี CO₂ 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อราบนฝัก และลดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฝักได้ด้วย

2.7.3 ทูเรียน

ผลทูเรียนมีขนาดใหญ่โดยทั่วไปหนัก 2-4 กิโลกรัม ถึงแม้ว่าราคาในปัจจุบันจะถูกลงมากเมื่อเทียบกับในอดีต แต่ก็ยังยังมีราคาแพง โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับปริมาณส่วนเนื้อที่รับประทานได้ซึ่งมีเพียง 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผลเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นคุณภาพภายในของผลทูเรียนยังแปรปรวนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในพันธุ์ขณะนี้เนื้อภายในอาจมีอาการแกรน ใส้ซึม หรือเผาเต่า ซึ่งตรวจสอบไม่ได้จากภายนอก และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาทูเรียนอ่อนในตอนต้นฤดูซึ่งผลิตผลมีราคาสูง ซึ่งทำให้ตลาดทูเรียนไทยในต่างประเทศเสียหายแล้วเป็นอันมาก แม้กระทั่งในปัจจุบันก็ยังเป็นปัญหาอยู่

การเปิดผลทูเรียนทำได้ไม่ถ้ง่ายนักเพราะทูเรียนมีหนามแหลมคม ถึงแม้ว่าในที่สุดทูเรียนจะแตกออกมาเอง แต่คนไทยไม่นิยมรับประทานที่ผลแตกแล้วเพราะเนื้อนิ่มและ กลิ่นรุนแรง หรือเป็นปลาร้า การเปิดผลทูเรียนในขณะที่ผลเพิ่งเริ่มสุกจึงต้องอาศัยความชำนาญพอสมควร ในระยะหลังการเปิดผลทูเรียนจึงมักใช้วิธีการผ่าเอาเนื้อทูเรียนออกมามากกว่าการฉีกเปิดออก หลังจากแกะเอาเนื้อออกจากพูแล้ว ผู้ขายมักใช้กระดาษสีขาวห่อปิดบริเวณรอยตัดออกจากไส้กลางผล แล้ววางลงบนถาดโฟม หรือถาดพลาสติก แล้วห่อด้วยพลาสติกใส

การเก็บรักษาผลทูเรียนทั้งผลพบว่า อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่จะเก็บรักษาผลทูเรียนได้โดยไม่เกิดอาการระส่ำระสนี้้น แต่สำหรับเนื้อทูเรียนแล้ว การศึกษาพบว่ามีความทนทานมากกว่าทูเรียนทั้งผล สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส นานถึง 6 สัปดาห์ โดยที่ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ ส่วนปัญหาสำคัญในการเก็บรักษาเนื้อทูเรียนคือ เชื้อราและแบคทีเรียที่มักเจริญเติบโตอยู่บริเวณแผลที่เกิดจากการแยกเนื้อออกจากไส้กลางของผล ส่วนบริเวณอื่นนั้นมักไม่ค่อยเป็นปัญหา เพราะมีชั้นเซลล์เอพิเดอมิส และมีคิวติเคิลปกคลุมอยู่ ยกเว้นแต่ว่ามีบาดแผลเกิดขึ้น เชื้อโรคอาจเจริญเติบโตขึ้นได้ในบริเวณนั้น

2.8 ปัญหาของผักและผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภค

2.8.1 การแปรรูป

ผลิตภัณฑ์แปรรูปพร้อมบริโภคอาจจะได้รับการปอกเปลือก ตัด หรือหั่นออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วแต่ลักษณะของผลิตภัณฑ์และความต้องการของผู้บริโภค การปฏิบัติดังกล่าวทำให้เซลล์ของผลิตภัณฑ์ถูกทำลาย สารต่างๆ รั่วไหลออกมา รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเมื่อได้ O₂ จากบรรยากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในที่สุด น้ำตาลและกรดต่างๆ ที่รั่วไหลออกมาด้วยกลายเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อาจปนเปื้อนได้ในขณะทำการแปรรูป ดังนั้นสารเหล่านี้ต้องถูกล้างออกด้วยน้ำสะอาดและใช้คลอรีนความเข้มข้น 200-300 ppm น้ำที่ใช้ล้างหากตกค้างอยู่บนผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้เช่นกัน จำเป็นต้องกำจัดออก ถ้าเป็นพวกผักนิยมใช้การเหวี่ยง (centrifuge) แต่ต้องระวังเพราะถ้าเหวี่ยงแรงเกินไปนอกจากจะทำให้ผักชำแล้ว อาจจะทำให้ผักเหี่ยวเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำมากเกินไป สำหรับผลไม้ น้ำอาจถูกกำจัดออกไปได้โดยการใช้พัลลมเป่า และการใช้สายพานจะช่วยได้มากเพราะผลไม้มีเนื้อนุ่ม บอบช้ำได้ง่าย นอกจากนี้การพ่นไอน้ำ (steamer jet-injection) ในผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ 10 นาที ทำให้มีอายุการวางจำหน่ายได้นาน 7-10 วัน โดยยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Rico *et al.*, 2008)

นอกจากการสูญเสียสารบางอย่างออกจากเซลล์แล้ว ผลิตภัณฑ์เองยังมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นภายในเพื่อรับกับสภาพที่ถูกแปรรูป การหายใจและการสร้างเอทิลีนมักสูงขึ้นสอดคล้องกับกระบวนการป้องกันตัวเองซึ่งถูกกระตุ้นโดยบาดแผล อาจมีการสร้างสารลิกนินในผนังเซลล์ การสร้างสารต่อต้านจุลินทรีย์ รวมไปถึงจนถึงการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาปิดบาดแผล ดังนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์จึงต้องทำด้วยความประณีตเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีดที่ใช้ควรเป็นมีดที่คม จากการศึกษาผักกาดหอมห่อ พบว่าการใช้มีดที่คมมากๆ ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าการใช้มีดที่ไม่คมถึง 2 เท่า (Bolin *et al.*, 1977) และหลังการใช้งานควรมีการล้างทำความสะอาดใบมีดทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตครั้งต่อไป ส่วนลักษณะของการตัดแต่งอาจมีผลต่ออายุการเก็บรักษาโดย Aguila *et al.* (2006) ศึกษาผลของความแตกต่างของลักษณะการตัดและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของแรดิชหั่นขึ้น โดยทำการตัด 2 ลักษณะ (slice และ shredded) และเก็บรักษา 3 อุณหภูมิ (1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 10 วัน แล้วทำการวัดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนทุกวัน และตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, การสูญเสียน้ำหนัก, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้, ปริมาณ ascorbic acid content และการเปลี่ยนแปลงสีต่างๆ 2 วัน พบว่ามีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงขึ้น และการตัดแบบ shredded radish มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และมีปริมาณ ascorbic acid ต่ำ

กว่าแบบ slice และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 5 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพของ fresh cut radishes. อีกทั้งผลไม้ที่ซั้มาก่อนหรือซั้ระหว่างการแปรรูปควรถูกคัดออกเพราะจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น

ผลิตผลที่เหมาะสมกับการแปรรูปพร้อมบริโภคไม่สามารถทำได้ในทุกๆปีฯ ขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้คือ (Siriphanich, 1993)

- ขนาดผลิตผลที่มีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สะดวกในการซื้อบริโภคและราคาสูง ผลิตผลในเขตร้อนหลายชนิดมีผลขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก บางชนิดมากกว่า 10 กิโลกรัม ทำให้ไม่สะดวกในการขนย้ายและมีปริมาณมากเกินไปสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก
- การดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ผลิตผลบางอย่างที่ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในได้ เช่น ทูเรียน เมื่อแกะเปลือกออกเนื้อภายในอาจไม่สามารถรับประทานได้ หรือฟักทองเมื่อผ่าดูภายในอาจพบหนอนเข้าทำลาย ดังนั้นการนำผลิตผลทางการเกษตรมาแปรรูปบางส่วนหรือพร้อมบริโภค จะสามารถเห็นคุณภาพภายในผลิตผลได้อย่างชัดเจน
- ความยุ่งยากในการปอกเปลือกและอาจมีอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น ทูเรียนซึ่งมีหนามแหลม ขนุนมียางเหนียว ฟักทองที่มีเปลือกแข็ง การที่ผู้ผลิตปอกเปลือกออกเหลือแต่ส่วนที่บริโภคได้เป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคด้วย
- ความสะดวกในการขนส่ง เป็นการลดน้ำหนักระหว่างการขนส่ง ทำให้ประหยัดค่าขนส่ง เช่น ทูเรียน ขนุน มีปริมาณเนื้อภายในที่บริโภคได้น้อย
- ความสะดวกในการผ่านด่านกักกันโรค ผลิตผลทางการเกษตรในเขตร้อนมักเกิดปัญหาจากโรคและแมลงขณะทำการส่งออก เพราะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ขณะเป็นผลิตผลสด แต่การแปรรูปผลิตผลบางส่วนจะช่วยลดปัญหานี้ได้ โดยผลิตผลที่ใช้ในการผลิตจะถูกคัดเลือกและตัดแต่งเรียบร้อยแล้ว จึงมั่นใจได้ว่าปราศจากโรคและแมลง

อย่างไรก็ตาม หากวิธีการปฏิบัติที่ไม่ถูกลักษณะ หรือมีสภาพการวางจำหน่ายที่ไม่เหมาะสมก็อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดการเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

การแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเหล่านี้มีปฏิบัติกันมานาน แต่ในปัจจุบันได้แพร่หลายและพัฒนากันไปมาก เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะในสังคมเมือง

ใหญ่ซึ่งการใช้ชีวิตค่อนข้างรีบเร่ง ต้องการความสะดวกสบายในทุกๆเรื่อง รวมทั้งเรื่องการเตรียมอาหารที่ช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมหรือการประกอบอาหารได้ (อรอนงค์, 2550) ในต่างประเทศธุรกิจด้านนี้กำลังขยายตัวไปอย่างมาก คาดกันว่าในปี ค.ศ. 2000 จะมีมูลค่าถึง 4000 ถึง 8000 ล้านดอลลาร์ต่อปี สำหรับประเทศไทยธุรกิจของผักแปรรูปพร้อมบริโภคกำลังมีการขยายตัวและได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นจากผู้บริโภค อย่างไรก็ตามข้อมูลและการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับต่างประเทศ เพื่อเป็นการรองรับการขยายตัวของธุรกิจของผักแปรรูปพร้อมบริโภคที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ สมควรได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง (จิ่งแท้, 2542)

2.8.2 การหายใจ

ผลไม่มีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยว การวัดอัตราการหายใจอาจทำได้โดยการวัดอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตผลชนิดนั้นๆ อัตราการหายใจของผลิตผลสามารถบ่งชี้ได้ว่าผลิตผลชนิดนั้นมีอายุการเก็บรักษาได้นานมากน้อยเท่าใด ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงจะเน่าเสียได้ง่ายและมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผลไม้มันที่มีอัตราการหายใจต่ำ ซึ่งผักผลไม้สดพร้อมบริโภคที่มีการปกปิดห่อหุ้ม และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอากาศ จึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักผลไม้สด ดังนั้นจึงเน่าเสียได้ง่ายกว่าด้วย ตัวอย่างเช่น แครอทที่หั่นชิ้นมีอัตราการหายใจสูงกว่าแครอทที่ไม่หั่นชิ้นถึง 5 เท่า (Day, 1993) การวัดอัตราการหายใจทำได้โดย

- วัดการใช้งาน substrate ทำได้โดยการหาน้ำหนักแห้งที่สูญหายไปเนื่องจากการหายใจ แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องทำลายผลิตผลในการวัด (destructive method) จึงไม่นิยมกัน โดยทั่วไปจะวัดอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่า
- วัด product (คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ) โดยการวัดคาร์บอนไดออกไซด์หรือการใช้ออกซิเจนจะง่ายกว่ามากและทำได้ 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 ใช้ระบบปิด ด้วยการบรรจุผลิตผลลงในภาชนะปิด แล้ววัดปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในช่วงเวลาต่างๆการใช้ระบบนี้ผิดพลาดได้ง่ายเพราะปริมาณออกซิเจนที่ลดลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นในภาชนะ จะส่งผลให้อัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงได้

วิธีที่ 2 ใช้ระบบเปิด วิธีนี้จะผ่านอากาศไปบนผลิตผลที่เก็บไว้ในภาชนะ แล้วดักเอาคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ออกมาจากการหายใจ ซึ่งอาจใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดักคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้ หรืออาจจะใช้วิธีวัดความเข้มข้นของแก๊สทั้งก่อนเข้าไปในภาชนะและเมื่อออกมาแล้ว วิธีหลังนี้จะสามารถวัดการหายใจได้โดยละเอียด สำหรับการวัดความเข้มข้นของ

แก๊สนั้นทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ gas chromatograph, infrared spectrophotometer หรือ colorimeter สำหรับหน่วยของอัตราการหายใจนิยมใช้เป็นหน่วยน้ำหนักของแก๊สที่ใช้หรือผลิตได้ ต่อหน่วยน้ำหนักของแก๊สที่ใช้หรือที่ผลิตได้ต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์และเวลา คือ

$$\text{mgCO}_2/\text{kg.hr} \text{ หรือ } \text{mgO}_2/\text{kg.hr}$$

จากอัตราการหายใจที่วัดได้จากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เราสามารถกลับไปได้อีกว่าการหายใจจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักแห้งไปเท่าไร ดังนี้

จากสมการของการหายใจ น้ำตาลจะถูกใช้ไป 180 กรัม (1 กรัมโมเลกุล) ต่อทุกๆ 264 กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมา เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสูญเสียน้ำหนัก} &= \frac{\text{อัตราการหายใจ (mgCO}_2/\text{kg.hr)} \times 180 \times 1 \text{ g}}{264 \times 1000\text{mg}} \end{aligned}$$

เช่น หอมหัวใหญ่เก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส หายใจในอัตรา 35 mg/kg.hr

$$\begin{aligned} \text{จะมีอัตราสูญเสียน้ำหนักแห้ง} &= \frac{35 \times 180 \times 1}{264 \times 1000} \\ &= 0.024 \text{ g/kg.hr หรือ } 1.71 \text{ เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือน} \end{aligned}$$

2.8.3 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการสุกของผลิตผล มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลค่อนข้างมาก (คณัยและนิธิยา, 2535) จริงแท้ (2542) ได้อธิบายว่า เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสร้างเอทิลีนได้ โดยปกติจะมีปริมาณน้อยแต่เมื่อผลิตผลสุกหรือเมื่อผลิตผลถูกกระทบกระเทือน เช่น การมีบาดแผล การสัมผัสความเย็น จะไปกระตุ้นกระบวนการสุก การเหี่ยวและเกิดการเน่าเสียเร็วขึ้นซึ่งลำดับสุดท้ายของการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชต้องใช้ออกซิเจน ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะขัดขวางการทำงานของ เอทิลีนโดยการแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ ดังนั้นการปรับสัดส่วนระหว่างก๊าซออกซิเจนและคาร์บอน ไดออกไซด์ให้เหมาะสมอาจเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้

สารหรือโมเลกุลที่เป็นต้นกำเนิดของเอทิลีนนั้น คือ กรดอะมิโนที่มีชื่อว่า methionine ซึ่งพืชสังเคราะห์ได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเซลล์ methionine นี้สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง ต้องอาศัยจากพืชจึงจัดเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ขั้นตอนต่างๆ ในการสังเคราะห์เอทิลีนจาก methionine แสดงไว้ในภาพที่ 4

ในลำดับแรก methionine ถูกเปลี่ยนเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ทั้ง methionine และ SAM นี้จะถูกใช้ไปในการสังเคราะห์โปรตีนบางอย่าง แต่ SAM จะถูกใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลิกนิน และเพกทินด้วย ในลำดับต่อมา SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid ด้วย ACC synthase ACC นั้นไม่ปรากฏว่าถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น นอกจากถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ที่เรียกกันว่า Ethylene Forming Enzyme (EFE) หรือ ACC oxidase และอาจถูกเปลี่ยนไปเป็น Malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร แหล่งที่เอทิลีนถูกผลิตขึ้นนั้นยังไม่ทราบกันแน่ชัด แต่ไม่พบว่าเอทิลีนถูกผลิตขึ้นในออร์แกเนลล์ (organelle) ใดๆ แต่มีหลักฐานบางอย่างบ่งบอกว่า เยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) และ tonoplast เป็นที่อยู่ของ ACC oxidase

ก. กลไกควบคุมการทำงานของเอทิลีน

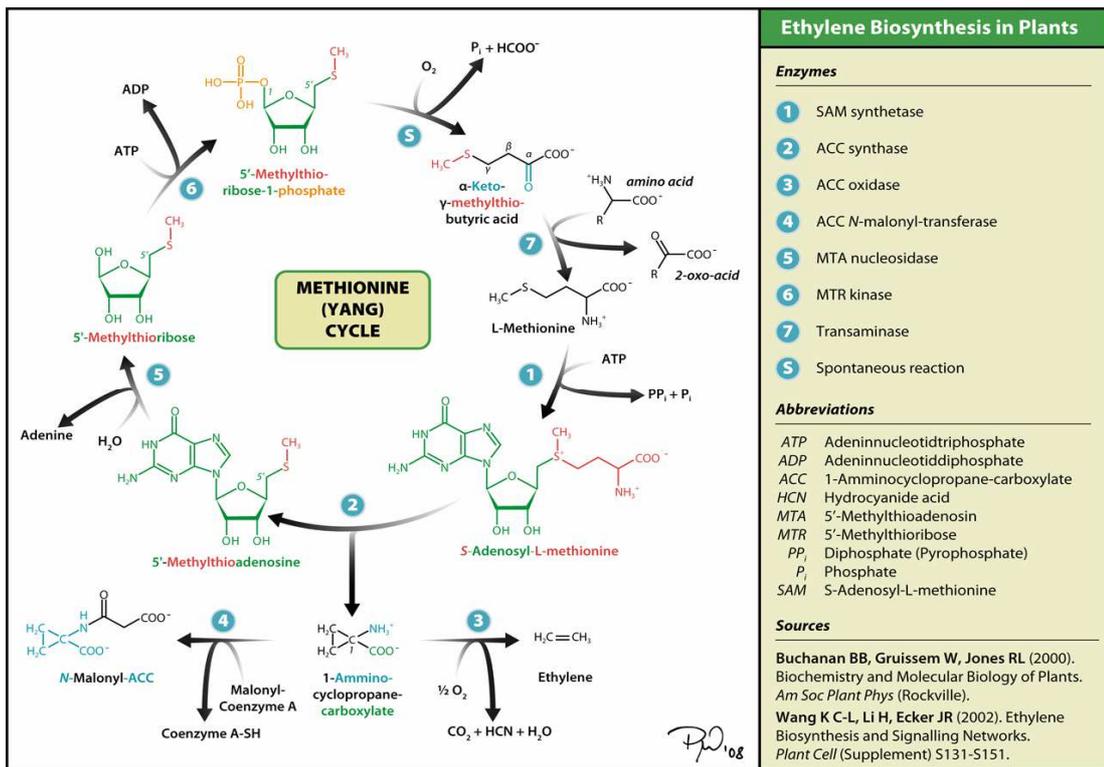
เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถผลิตเอทิลีนได้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 แต่ปริมาณการผลิตจะอยู่ในอัตราต่ำ อัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้นกว่าปกติ เช่น เมื่อมีบาดแผลนั้น เกิดจากการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งเปลี่ยน SAM เป็น ACC การควบคุมการผลิตเอทิลีนในลำดับนี้เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด และจัดว่าเป็นลำดับการควบคุมอย่างหยาบ (coarse control) อัตราการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นจะสูงไม่มากนัก (system I) ส่วนการควบคุมการผลิตเอทิลีนอีกลำดับหนึ่งเกิดขึ้นเมื่อ EFE เปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทิลีน (fine control) การควบคุมที่ลำดับนี้พบเฉพาะในกระบวนการสุกของผลไม้ประเภท climacteric และในการชราภาพของกลีบดอกไม้เท่านั้น เมื่อผลไม้ประเภท climacteric สุก ทั้ง ACC synthase และ EFE จะถูกกระตุ้นทำให้มีอัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่าตัว (system II) นอกจากนี้แล้ว การเปลี่ยน ACC ไปอยู่ในรูปของ MACC ก็อาจมีผลในการควบคุมการผลิตเอทิลีน เพราะ MACC ไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น ACC หรือเอทิลีนได้

ข. การทำงานของเอทิลีน

เอทิลีนทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นซึ่งจะทำงานหรือแสดงอิทธิพลโดยผ่านตัวกลางหรือตัวรับ (receptor) เอทิลีนจะจับตัวกับ โมเลกุลของตัวรับซึ่งเป็น โปรตีนชนิดหนึ่งมีอะตอมของโลหะบางชนิดเป็นองค์ประกอบ (เชื่อกันว่าทองแดง คือโลหะที่ตัวนี้แม้จะไม่มีหลักฐานยืนยันแน่นอน) จากนั้น โมเลกุลดังกล่าวจึงจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยาของพืช

การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีน (dose response) ของเนื้อเยื่อประเภท vegetative ส่วนใหญ่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือมีระดับความเข้มข้นที่เริ่มจะแสดงผล (threshold) หรือขีดเริ่มเปลี่ยน

ประมาณ 0.01 ppm ระดับที่ให้ผลประมาณครึ่งหนึ่งของอิทธิพลสูงสุดประมาณ 0.1 ppm และระดับอิมตัวประมาณ 10 ppm สำหรับในเนื้อเยื่ออื่น เช่น ผลไม้ การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับชนิดพืช เช่น การบ่มกล้วยหอมให้สุกต้องการเอทิลีนเพียง 0.1 ppm และระดับอิมตัวประมาณ 10 ppm ในขณะที่เตงเทศ honey dew ต้องการเอทิลีนถึง 3 ppm ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตหรือการบริบูรณ์ ตลอดจนขึ้นอยู่กับว่าผลไม้ผู้นั้นอยู่ติดกับต้นหรือไม่ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการทำงานของเอทิลีนไม่ได้ขึ้นอยู่กับการจับตัวของเอทิลีนกับตัวรับโดยตรงไปตรงมาเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างอื่นด้วย ตัวรับเองอาจจับตัวกับสารอื่นๆ และทำให้การตอบสนองต่อเอทิลีนของพืชเปลี่ยนไปได้ อย่างไรก็ตามการทำงานของเอทิลีนคงจะต้องเกี่ยวข้องกับการแสดงออกของยีนส์ (gene expression) และการสังเคราะห์โปรตีนด้วย เพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นล้วนมีการสร้างโมเลกุลใหม่ ๆ ให้เกิดขึ้นซึ่งจำเป็นต้องอาศัยโปรตีนหรือเอนไซม์ที่ไม่เคยมีอยู่ในเนื้อเยื่อมาก่อน หรือมีอยู่ในปริมาณน้อย



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทิลีนในพืช

2.8.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

เซลล์พืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างแตกต่างกัน เพราะส่วนประกอบของผนังเซลล์ไม่เหมือนกัน และส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย เช่นใน แอปเปิล ลักษณะเนื้อจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของผลมีความแตกต่างกันมากกว่า 30-40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แม้ในพืชชนิดเดียวกันในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันด้วย การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้สดพร้อมบริโภคขึ้นเนื่องจากรอยแผลที่เกิดจากการปอกและหั่นขึ้นจะกระตุ้นให้มีกรสร้างสารเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ คือ เพิ่มการซึมผ่านของผนังเซลล์ (cell permeability) ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์สูญเสียโครงสร้าง (compartmentation) เร่งอัตราการหายใจและการเสื่อมสลาย (senescence) ให้เกิดเร็วขึ้น เร่งการทำงานของเอนไซม์ทำให้ผักผลไม้สุกเร็วขึ้น

ส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คือ กลูแคน กาแลคแตน และโปรโตเปคตินที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนประกอบของผนังเซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผลิตผลเริ่มแก่และสุก โดยโปรโตเปคตินที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นเปคตินที่ละลายน้ำ ปริมาณของเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึก (crystallinity) ลดลง กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ลดลง ปริมาณของเซลล์ลดลงและผนังเซลล์บางลง มีการหดตัวของผนังเซลล์ มีปริมาณของ cell wall-bound uronic acid ลดลง และเกิด soluble uronide เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ผลิตผลนุ่มลง (Labavich, 1981)

สารประกอบเปคตินจะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase, PG) และเอนไซม์เบตา-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) โดยเนื้อเยื่อพืชมีความไวต่อเอนไซม์อย่างมาก เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์สารประกอบเปคตินที่ไม่ละลายน้ำได้เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ทำให้ผนังเซลล์สลายตัว มีผลทำให้เนื้อผลิตผลนุ่มลง (Lazan and Zainon, 1993) โดยเอนไซม์ exo-PG ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH 4.6-6.0 เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์กรดกาแลคทูโรนิก จากปลายด้านที่เป็น non-reducing ของโมเลกุลให้แตกออก ส่วนเอนไซม์ endo-PG ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH 3.6-5.5 จะเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสาย polyuronide ให้แตกออก ดังนั้นการรักษาให้ผนังเซลล์มีความคงทนแข็งแรง จะช่วยชะลอการเสื่อมสลายและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคได้ (นิธิยาและคณะ, 2538)

2.8.5 การเกิดสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญในการแปรรูปผักและผลไม้หลายชนิดที่มีสารประกอบฟีนอลอยู่มาก เช่น แอปเปิล ท้อ สาลี่ กัลฉ่าย มันฝรั่ง เป็นต้น เมื่อผลิตผล

สัมพันธ์กับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็นออร์โทไดฟีนอล (o-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปให้เป็นออร์โทควิโนน (o-quinone) จากนั้นควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์นี้จะรวมตัวกัน และเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล เมื่ออาหารเกิดสีน้ำตาลจะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง และมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ทำได้หลายวิธี ได้แก่

ก. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ PPO หรือ โพลีฟีนอลออกซิเดส เช่น การลวกผักด้วยไอน้ำ Valle *et al.* (1998) ศึกษาการใช้ high temperature short time ในการ blanching แอปเปิ้ลหั่นชิ้น พบว่าการใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้มากที่สุดถึง 89 เปอร์เซ็นต์

ข. ใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO หรือ โพลีฟีนอลออกซิเดส Son *et al.* (2001) ศึกษาการใช้ anti-browning agent ในแอปเปิ้ลหั่นชิ้น โดยใช้สารเคมี 5 กลุ่ม ได้แก่ carboxylic acid, ascorbic acid derivative, sulfur containing amino acid, phenolic acid และสารประกอบอื่นๆอีกมากมาย พบว่า oxalic acid, oxalacetic acid, ascorbic acid-2-phosphate, cysteine, glutathione, N-acetylcysteine, Kojic acid และ 4-hexyl resorcinol สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลหั่นชิ้นได้ และให้ผลดีกว่าสารประกอบชนิดอื่นๆ ส่วนการแช่มะม่วงแปรรูปพร้อมบริโภคในสารละลาย ascorbic acid, citric acid และ calcium chloride และเก็บรักษาไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่าเสียดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้แช่สารละลาย ทั้งยังมีเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า รวมถึงยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ด้วย (Robles-Sanchez *et al.*, 2009)

ค. เติมสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก Guerrero-Beltran *et al.* (2005) ศึกษาการยับยั้ง PPO ในน้ำมะม่วงโดยเติมส่วนผสมของ 4-hexyl resorcinol, cysteine และ ascorbic acid โดยปรับให้น้ำผลไม้มี pH 3.5 และ 4 พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ 95.5 และ 91.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ง. กำจัดออกซิเจน Escalona *et al.* (2004) ศึกษาผลของการเก็บรักษาแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (MAP) ต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดของหัวเฟนเนล พบว่ากรรมวิธีที่มีการใช้ MAP (6-7 kPa O₂ และ 10-12 kPa CO₂) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดได้ และช่วยชะลอกระบวนการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

จ. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสับสเตรตที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (นิธิยา, 2543)

2.8.6 การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

การปกปิดเปลือกและหั่นชิ้นจะช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีและยังทำให้เกิดการปนเปื้อนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย (Splittstoesser, 1996) นอกจากนี้สารอาหารภายในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ไหลออกมาตามรอยตัด เป็นแหล่งอาหารสำคัญทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ผักผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคเกิดการเน่าเสีย ตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ที่พบบ่อย ได้แก่ *Aureobasidium pullulans*, *Fusarium* spp., *Mucor* spp. และ *Rhizopus nigricans* (Huxsoll and Bolin, 1989) การควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จะทำได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถชะลอการเน่าเสียได้ Rosario and Beuchat (1995) รายงานว่ามีปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในแคนตาลูปและแตงโมหั่นชิ้นเป็นลูกเต๋าระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การใช้สารเคมีในการควบคุมโรคโดยการใช้คลอรีนและไฮโปคลอไรท์ (sodium และ potassium hypochlorite) ซึ่งเป็นสารเคมีราคาถูก ใช้ได้ผลดีในการฆ่าสปอร์และชิ้นส่วนของเชื้อราและแบคทีเรียที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของคลอรีนมีหน่วยเป็น ppm ของ available คลอรีน ช่วงที่ใช้ได้ผลคือ 50-1000 ppm แต่ส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นประมาณ 200 ppm สำหรับความหมายของ available คลอรีนของสารละลายชนิดหนึ่งหมายถึง น้ำหนักคลอรีนที่จะเตรียมสารละลายให้ active คลอรีน (HOCl และ OCl) ได้เท่าสารละลายนั้น เช่น สารละลาย NaOCl (210 mg/l) ที่แตกตัวให้ active คลอรีน 100 mg/l มี active คลอรีนเท่ากับสารละลายคลอรีน 200 mg/l ซึ่งจะแตกตัวได้ active คลอรีน 100 mg/l ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสารละลาย NaOCl นี้มี available คลอรีนเท่ากับ 200 mg/l (ppm) นอกจากนี้คลอรีนยังทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุได้ดี ดังนั้นการใช้คลอรีน และไฮโปคลอไรท์ ให้ได้ผล จึงต้องระวังรักษาให้สารละลายมีความเข้มข้นของ available คลอรีน ตามที่ต้องการ น้ำล้างผลิตภัณฑ์ครั้งแรกต้องมีคลอรีนและไม่ใช้สารละลายคลอรีนหมุนเวียน หากน้ำที่ใช้มีอินทรีย์วัตถุมากต้องเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนขึ้น แต่ก็ต้องระวังเพราะอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ได้ อรอนงค์ (2550) พบว่าผักกาดหวานหั่นชิ้นที่จุ่มสารละลาย Sodium hypochlorite ความเข้มข้น 100 ppm เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส มีจำนวนเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่จุ่มสารละลาย Sodium hypochlorite ส่วนการทดลองของ Ralph *et al.* (2005) ที่ทำการทดลองใช้น้ำเย็น และน้ำอุ่น (4 และ 50 องศาเซลเซียส) ที่มีการเติมและไม่เติมคลอรีนในการล้างแครอทปกปิดเปลือกพบว่าการใช้คลอรีนมีความปลอดภัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยลดปริมาณ aerobic mesophilic bacteria ได้ และทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสดีขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้รักษาความสดและลดอัตราการหายใจของเนื้อเยื่อที่มีชีวิตอีกด้วย

2.8.7 การบรรจุ และภาชนะบรรจุ

เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวยังเป็นสิ่งมีชีวิตมีกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เช่น การหายใจ, การคายความร้อน การคายน้ำและการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาต่างๆ การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดกระบวนการดังกล่าวให้ช้าลง เมื่อนำผลิตผลที่มีคุณภาพสูงบรรจุใส่ในภาชนะ จะช่วยรักษาคุณภาพที่ดีของผลิตผลให้คงอยู่นานยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าภาชนะบรรจุจะไม่ได้เป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตผลให้ดีขึ้นก็ตาม (คณัยและนิธิยา, 2535)

ประโยชน์ของภาชนะบรรจุ

- ป้องกันผลิตผลไม่ให้เสียหายอันเนื่องมาจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว โดยต้องถือหลักว่าผลิตผลที่อยู่ในภาชนะจะต้องอยู่นิ่ง เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการเคลื่อนไหว ทำให้มีรอยแผลจากการเสียดสีระหว่างผลิตผลหรือระหว่างผลิตผลกับภาชนะบรรจุ ดังนั้นการบรรจุผลิตผลลงในภาชนะบรรจุนั้นจะต้องเต็มพอดี ไม่แน่นหรือน้อยเกินไป การบรรจุจะต้องคำนึงถึงการวางทับกันของผลิตผลภายในภาชนะบรรจุด้วย ถ้าเป็นผลิตผลที่ชำรุดได้ง่ายไม่ควรวางทับกันหลายชั้น ควรใช้ภาชนะบรรจุที่ไม่ลิกเกินไป และภาชนะบรรจุที่ใช้จะต้องแข็งแรงพอที่จะป้องกันไม่ให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ด้วย
- ป้องกันการสูญเสียน้ำ ผลิตผลที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุจะสูญเสียน้ำน้อยกว่าผลิตผลที่ไม่ได้อยู่ภายในภาชนะบรรจุ บางครั้งอาจใช้แผ่นพลาสติกห่อผลิตผลก่อนนำไปใส่ในภาชนะบรรจุหรือใช้แผ่นพลาสติกกรุภายในภาชนะบรรจุก่อนที่จะใส่ผลิตผลลงไป จะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีขึ้น
- สะดวกในการเคลื่อนย้าย เพราะภาชนะบรรจุทำหน้าที่รวบรวมผลิตผลให้เป็นหน่วยเดียวกัน ทำให้สะดวกในการขนย้ายในระบบการตลาดและการจำหน่าย
- ช่วยให้กระบวนการหรือขั้นตอนที่ต้องการดำเนินการภายหลังการเก็บเกี่ยวสะดวกขึ้น เช่น ผลิตผลที่ใส่ในภาชนะบรรจุจะทำให้การใช้สารเคมีฆ่าเชื้อรา หรือการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือการรม หรือการลดความร้อนทำได้สะดวกยิ่งขึ้น
- ภาชนะบรรจุช่วยแยกผลิตผลที่มีชั้นมาตรฐานแตกต่างกันออกจากกัน และต้องบรรจุผลิตผลที่มีชั้นมาตรฐานเหมือนกันเท่านั้นไว้ในภาชนะบรรจุเดียวกัน
- ผลิตผลที่อยู่ในภาชนะบรรจุดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ภาชนะบรรจุเพื่อขายปลีกแก่ผู้บริโภคโดยตรง

การใช้ภาชนะบรรจุจะเพิ่มต้นทุนของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น จึงทำให้ราคาขายของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้ภาชนะบรรจุจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดว่าควรเลือกใช้ภาชนะบรรจุชนิดใด

ก. ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยพลาสติก (มลิวรรณ, 2547)

พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์จำพวกโพลิเมอร์ ประกอบด้วยสารหลายอย่างโดยใช้กรรมวิธีดัดแปลงให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานที่ใช้ เช่น กันการซึมของอากาศ น้ำ หรือไขมัน ทนต่อความร้อนหรือเย็น ทนกรดหรือด่าง มีลักษณะแข็งหรือเหนียว ฯลฯ โดยทั่วไปพลาสติกที่น้ำหนักเบา ไม่นำความร้อน ไม่นำไฟฟ้าและทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ ได้

ข. ประเภทและคุณสมบัติพลาสติก

พลาสติกแบ่งตามรูปแบบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติก (plastic film) และภาชนะพลาสติก (plastic container)

ประเภทที่ 1 พลาสติก คือพลาสติกที่เป่ารีดเป็นแผ่นบาง ซึ่งมักใช้ทำถุงหรือใช้ห่อ

ประเภทที่ 2 ถุงพลาสติกธรรมดา ได้แก่

- ถุงเย็น ทำมาจากเม็ดพลาสติกโพลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ถุงมีลักษณะค่อนข้างใส นิ่ม ยืดหยุ่นพอสมควร ใช้บรรจุของทั่วไปรวมทั้งอาหารแช่แข็งได้
- ถุงร้อน ส่วนใหญ่ทำมาจากเม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypylene; PP) ถุงมีลักษณะใสมาก และมีความกระด้างกว่าถุงเย็น สามารถบรรจุของร้อนได้ถึงจุดน้ำเดือด แต่ไม่เหมาะกับการบรรจุอาหารแช่แข็งเพราะพลาสติกจะเปราะ อีกชนิดหนึ่งทำมาจากเม็ดพลาสติกโพลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene Film; HDPE) ถุงจะมีลักษณะบางๆ มีความแข็งแรงสูง มีความหนาประมาณ 10 ไมโครเมตร ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำ และไม่ทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติ ทำให้การเสื่อมสลายของผลิตภัณฑ์เกิดช้าลงด้วย นิยมใช้กับผลไม้ตระกูลส้ม
- ถุงพลาสติกอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ถุงชนิดนี้มีมากมายให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม มีที่ทำจากฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวและประเภทหลายชั้นเรียกว่า ลามิเนท (laminate)
- ถุงประเภทหลายชั้น การที่จะบรรจุอาหารเพื่อเก็บถนอมอาหารไว้ในระยะนาน โดยไม่ให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงนั้น ควรใช้ถุงบรรจุอาหารที่ทำด้วยฟิล์มพลาสติกต่างชนิดประกบกัน หรือระหว่างฟิล์มพลาสติกกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษ แผ่น

เปลวอลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งเรียกลามิเนตเพื่อให้มีคุณสมบัติครบถ้วนตามต้องการ ดังนี้

- ถุงพลาสติกที่ต้มได้ ทำจากแผ่นประกบของแผ่นโพลีเอสเตอร์และแผ่นโพลีเอทิลีน
- ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ ทำจากแผ่นประกบของแผ่นไนลอน และแผ่นโพลีเอทิลีน
- ภาชนะพลาสติก คือ พลาสติกที่มีการขึ้นรูปทรงต่างๆ เช่น ถาด กล่องโฟม เป็นต้น ชนิดของภาชนะพลาสติก แบ่งตามรูปทรงได้ ดังนี้
 - ถาดและกล่องพลาสติก มีทั้งแบบมีฝาและไม่มีฝานิยมใช้บรรจุอาหารสำเร็จรูป อาหารกึ่งสำเร็จรูป ประเภทที่ปรุงสำเร็จได้ในเวลารวดเร็วที่เรียกว่า ฟาสต์ฟู้ด (fast food) และอาหารสด ซึ่งมักห่อรัดด้วยฟิล์มพลาสติก
 - ที่นิยมใช้ทำถาด คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และโพลิสไตรีน (PS) โฟม (expanded polystyrene)

ค. บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ในการใช้แผ่นพลาสติกห่อผลิตภัณฑ์นั้น พลาสติกแต่ละชนิดมีความสามารถในการยอมให้ก๊าซซึมผ่านเข้าออกได้แตกต่างกัน ตามปกติฟิล์มมักจะยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าออกได้ง่ายกว่าออกซิเจน ดังนั้นอัตราการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจจึงน้อยกว่าอัตราการหายใจของออกซิเจน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการสะสมและการหายใจของก๊าซ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดผลเสีย เช่น เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเจาะรูเล็ก ๆ บนแผ่นฟิล์มนั้น ถ้าปิดผนึกหมดเมื่อได้รับแสงแดดจะเกิดก๊าซเอทิลีนสะสมอยู่ในถุง จึงต้องระมัดระวังปัญหานี้ด้วย เพราะจะทำให้ผลไม้ที่อยู่ภายในสุกเร็วขึ้น หรือใบผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร็วขึ้นได้

ถ้าออกซิเจนหายใจไปหมดจากบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารระเหยต่าง ๆ เช่น แอลกอฮอล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดการสะสม เช่น การใช้ถุง Pilo film เก็บรักษาข้าวโพดหวาน ซึ่งมีอัตราการหายใจสูงทำให้ก๊าซออกซิเจนถูกใช้จนหมด และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนทำให้ถุงมีลักษณะโป่งออกมา ถ้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ หรือสูงกว่า จะทำให้เกิดพิษได้โดยเฉพาะ

เมื่อเปิดถุงและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง การใช้ประโยชน์จากการใช้แผ่นฟิล์มห่อผลิตผลเพื่อให้เกิดบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงและออกซิเจนต่ำ หรือมีสภาพบรรยากาศดัดแปลงนั้นยังมีปัญหาอีกมาก จะต้องคำนึงถึงปริมาณและชนิดของผลิตผลด้วย นอกจากนั้นชนิดและความหนาของแผ่นพลาสติกที่ใช้ก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกัน ผลิตผลแต่ละชนิดมีความทนต่อการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการลดลงของก๊าซออกซิเจนแตกต่างกันด้วย ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง เช่น ถั่วแขก เมื่อเก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีนที่ปิดสนิทจะเกิด Modified Atmosphere อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถั่วแขกจะใช้ออกซิเจนหมดเหลือเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่าภายในเวลา 1 วัน และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 3 วัน ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงเกินไปจนเกิดเป็นพิษขึ้นได้

ง. การระบายอากาศของแผ่นพลาสติก

แผ่นพลาสติกหรือถุงพลาสติกที่ใช้นั้นมีรูระบายอากาศ การบรรจุในถุงขนาดเล็กควรมีรูอย่างน้อย 2-4 รู ขนาด 0.2-0.5 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศ ผลิตผลจะไม่ขาดก๊าซออกซิเจนและไม่เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะวางขายในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ในบางครั้งการเก็บรักษาในสภาพถุงที่ไม่มีรูอาจจะผลดี เพราะเกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงขึ้นมาได้ แต่จะต้องระวังการเกิดกลิ่นที่ผิดปกติ หรือมีรสชาติของแอลกอฮอล์เกิดขึ้น เช่น บรอกโคลีและกะหล่ำปลี ซึ่งเก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิสูงๆ จะสดและเขียวอยู่ได้นานในสภาพบรรยากาศของถุงพลาสติกที่ไม่เจาะรู แต่ถ้านานเกินไปจะเกิดรสชาติผิดปกติ ดังนั้นการรักษาสีเขียวของผักโดยใช้ความเย็นจึงปลอดภัยและเกิดการเสียหายน้อยกว่า ดอกกะหล่ำที่เก็บรักษาไว้ในถุงที่ปิดสนิทจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปปรุงอาหารดอกกะหล่ำจะเปลี่ยนเป็นสีเทาและนิ่มกว่าปกติ

จ. ความชื้นภายในภาชนะบรรจุ

ผลิตผลจะเก็บรักษาได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ใช้แผ่นพลาสติกหรือถุงพลาสติกจะเกิดการสะสมความชื้น บางกรณีอาจสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ผักที่เก็บรักษาอยู่ในถุงพอลิเอทิลีนหรือในถุงพอลิสไตรีนจะสูญเสียน้ำน้อยกว่าและเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามการสะสมความชื้นของถุงพลาสติกจะมีผลเสียต่อส้ม, มันฝรั่ง, มันเทศ และหัวหอม ดังนั้นผลิตผลดังกล่าวจึงนิยมใช้ถุงตาข่ายในการเก็บรักษา นอกจากนั้นในผลิตผลอื่นๆ การสะสมความชื้นมาก ๆ จะทำให้เกิดอาการเน่าเสียได้ง่ายด้วย ดังนั้น

ถ้าต้องใช้ถุงพลาสติกควรเจาะรูขนาด 0.5-1 เซนติเมตร เพื่อควบคุมความชื้นภายในซึ่งจะช่วยให้เก็บรักษาส้ม หัวหอม และพืชอื่นๆ ได้นานขึ้น

ผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคจะต้องได้รับการปกป้องอย่างดีภายหลังการแปรรูป ทั้งนี้เพราะสิ่งป้องกันตัวเองตามธรรมชาติ เช่น เปลือก ได้ถูกนำออกไปแล้ว โดยทั่วไปผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคมักถูกบรรจุลงในภาชนะ เช่น ถาดพลาสติกหรือโฟม แล้วห่อด้วยฟิล์มใสอีกทีหนึ่ง ทำให้สามารถขนส่งได้ง่าย และวางขายได้ด้วย สิ่งสำคัญประการแรกในการบรรจุก็คือผลิตผลต้องได้รับการทำให้เย็นก่อนการบรรจุเพื่อป้องกันการควบแน่นเป็นหยดน้ำใต้พลาสติกฟิล์ม การคัดเลือกชนิดของพลาสติกสำหรับการบรรจุผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคนับว่าสำคัญมากเพราะสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะถูกดัดแปลงไปเนื่องจากเมแทบอลิซึมของผลิตผล โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้บรรจุควรยอมให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ มากพอที่จะทำให้การหายใจแบบใช้ O_2 อยู่ในระดับต่ำที่สุด โดยไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 (anaerobic respiration) ขึ้น ในสภาพดังกล่าวผลิตผลจะมีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ในอัตราต่ำที่สุด โดยไม่เกิดการกลืนหรือรสที่ผิดปกติ (จริงแท้, 2542) Watada *et al.* (1996) รายงานว่า fresh cut produce มีลักษณะเช่นเดียวกับ minimally processed product ก็ยังสามารถเกิดความเสียหายได้ง่าย เนื่องจากมีผิวภายนอกที่ปราศจากเชื้อหุ้ม และการปกป้องจากเนื้อเยื่อชั้นนอก ในการผลิต fresh cut ควรมีการกำหนดอุณหภูมิ, สภาพบรรยากาศ, ความชื้น และการทำความสะอาด เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลตัดแต่ง จากการศึกษาพบว่า ผักและผลไม้ตัดแต่งหลาย ๆ ชนิดที่เก็บรักษาในช่วงอุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียส มีค่า Q_{10} ของอัตราการหายใจอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 8.6 และการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มี O_2 ต่ำ และปรับ CO_2 ให้มีความเข้มข้นที่สูงขึ้นสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลได้ และการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุ หรือการเคลือบผิวช่วยรักษาความชื้นให้อยู่ในระดับสูง ผักกาดหอมที่บรรจุในกล่องพลาสติก มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย มีคุณภาพดี และมีอายุการเก็บรักษานานกว่าภาชนะบรรจุชนิดอื่น อันได้แก่ถุงพลาสติกเจาะรู, ถุงพลาสติกไม่เจาะรูและถาดโฟมปิดด้วยพลาสติก PVC แต่ก็มีข้อเสียคือ ภายในกล่องพบหยดน้ำเกาะที่บริเวณภายในกล่องและผิวของผลิตผล ต้องหาวิธีการที่จะซับน้ำออกจากผลิตผล (จารูวรรณ, 2548) ส่วนการทดลองของมนตรี (2545) ที่เปรียบเทียบการเก็บรักษาในภาชนะที่แตกต่างกัน พบว่าออเตอร์เครสที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกไม่เจาะรูและถุงพลาสติกที่บรรจุก๊าซไนโตรเจนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย มีคุณภาพดี และมีอายุการเก็บรักษานานกว่าเมื่อเทียบกับถุงพลาสติกเจาะรู และถาดโฟมปิดด้วยพลาสติก PVC ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ นพพล (2544) ที่พบว่าการบรรจุฟักทองญี่ปุ่นที่แปรรูปบางส่วนในถุงพลาสติกที่บรรจุก๊าซไนโตรเจนเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (5 และ 10 องศาเซลเซียส) ได้ผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่นอย่างไรก็ตามความเครียดจากกระบวนการผลิต และสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณ O_2 ต่ำเกินไปจะมีผลต่อ

สรีรวิทยาและชีวเคมีของ fresh cut products ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพ และอายุการใช้งานของผลิตผลได้ Merrero and Kader (2006) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และการดัดแปลงความเข้มข้นของ O_2 และ CO_2 ต่ออายุการเก็บรักษาหลังตัดแต่งของสับปะรดหั่นชิ้น พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา ซึ่งมีระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และมากกว่า 14 วัน ที่อุณหภูมิ 2.2 และ 0 องศาเซลเซียส ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ CO_2 อย่างรวดเร็ว ตามด้วยการเพิ่มขึ้นของ ethylene production นอกจากนี้ยังพบว่า การดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ให้ผลดีต่อสับปะรดหั่นชิ้น โดยการลดระดับ O_2 (8 kPa หรือต่ำกว่า) พบว่า มีผลดีในการช่วยรักษาสีเหลืองของชิ้นสับปะรดขณะที่ CO_2 (10 kPa) ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้น MAP สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ไม่ต้องการของชิ้นสับปะรดเป็นเวลามากกว่า 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากการทดลอง ที่กล่าวมามักจะมีการทำ fresh cut ควบคู่ไปกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากให้ผลดีต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ และช่วยลดอัตราการหายใจ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้โดยปกติก๊าซ O_2 ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์, CO_2 0.03 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็น N_2 สภาพแวดล้อมผลิตผลที่มีปริมาณ O_2 ลดลง และ CO_2 สูงขึ้นนั้น เกิดขึ้นได้เมื่อการถ่ายเทอากาศรอบ ๆ ผลิตผลไม่เพียงพอ การบรรจุในถุงพลาสติกอาจทำให้ O_2 ลดลงต่ำมาก และ CO_2 เพิ่มสูงขึ้นมากจนทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ ดังนั้นการบรรจุหีบห่อจึงเป็นการดัดแปลงบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตผลด้วย การเก็บรักษาในสภาพที่มี O_2 น้อยและ/หรือมี CO_2 มากกว่าปกติ เรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere, MA) ปริมาณ O_2 ในอากาศมีผลต่ออัตราการหายใจ การสร้างเอทิลีน และกระบวนการออกซิเดชันอื่น ๆ เช่น การออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลจนได้สารสี (pigment) สีน้ำตาล ปริมาณ CO_2 เป็นของเสียจากการหายใจของผลิตผล ถ้ามีปริมาณมากสามารถยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติขัดขวางการทำงานของเอทิลีนด้วย ดังนั้นการลดปริมาณ O_2 และเพิ่ม CO_2 จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลออกไปได้

ปริมาณก๊าซชนิดต่างๆในการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงนี้ไม่สามารถควบคุมให้อยู่คงที่ได้ เพราะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ และกระบวนการต่าง ๆ ภายในผลิตผลซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศอายุการเก็บเกี่ยว, อายุการเก็บรักษา, สภาพความเครียด และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทอากาศระหว่างสถานที่เก็บรักษา กับสภาพบรรยากาศภายนอกด้วย ถ้าการถ่ายเทอากาศดี ความเข้มข้นของก๊าซต่าง ๆ ในสถานที่เก็บจะใกล้เคียงกับสภาพบรรยากาศปกติ ถ้าการถ่ายเทอากาศไม่ดี ความเข้มข้นของก๊าซต่าง ๆ ก็จะต่างไป

จากปกติ ดังนั้นถ้าต้องการเก็บรักษาผลผลิตให้อยู่ได้นาน จำเป็นต้องมีการควบคุมความเข้มข้นของปริมาณก๊าซต่าง ๆ ภายในผลิตผลให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

2.9 การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere: EMA)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล ซึ่งภายในถุงบรรจุผลผลิตสด เป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่สามารถปรับสัดส่วนของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุต่ำลงและมีการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของผลิตผล และลดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับภายนอก เมื่อออกซิเจนลดต่ำลง การหายใจ และการสังเคราะห์เอทธิลีนจึงเกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากในขั้นตอนการสร้างเอทธิลีนจำเป็นต้องมีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง (Baldwin, 1994; Krochta *et al.*, 1994) โดยฟิล์มที่พัฒนาได้แบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ 1) ฟิล์มพลาสติกที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้ปานกลาง 2) ฟิล์มพลาสติกที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้สูง และ 3) ฟิล์มพลาสติกที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้สูงมาก ที่สำคัญฟิล์มที่ผลิตได้ยังช่วยควบคุมอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น จึงมีศักยภาพในการเก็บรักษาผลผลิตที่มีอัตราการหายใจสูงและมีอายุสั้นมาก เช่น เห็ด, กระจับปี่เขียว และหน่อไม้ฝรั่งได้

ดังที่มีรายงานว่าผักคะน้าที่บรรจุถุงพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซสูงสามารถสร้าง EMA ได้โดยมีองค์ประกอบของก๊าซเป็น 11.5 เปอร์เซ็นต์ O_2 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ CO_2 ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 24-36 วัน ที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส โดยแทบไม่สูญเสียน้ำหนัก (อิศรา และคณะ, 2549) สอดคล้องกับการศึกษาของ Serrano *et al.* (2006) รายงานว่า การเก็บรักษาบร็อคโคลี่ภายใต้สภาพ EMA โดยใช้ภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูง (macro-perforated : Ma-P, micro-perforated : Mi-P, non-perforated : No-P) และฟิล์มชนิดโพลีโพรพิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ฟิล์มชนิด Mi-P และ No-P ยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ได้ดีกว่าฟิล์มอื่น ๆ อีกด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ ชนิดและคณะ (2550) พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูง (ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ $12,000 \text{ cc.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และชะลออัตราการหายใจได้ สำหรับกะเพราที่บรรจุถุงโพลีโพรพิลีนเจาะรูและถุงอีก 3 ชนิดที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่างกัน คือ สูงมาก (IQ11) สูง (I5-2) และปานกลาง (I9-1) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถุงโพลีโพรพิลีนเกิดการสูญเสียน้ำหนักและเสื่อมเสียเร็วกว่าการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปลง ซึ่งเมื่อเข้าสู่สมดุล พบว่า ถุง IQ11, I5-2 และ I9-1 มีปริมาณออกซิเจน 18, 17 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน

คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณ 0.7, 0.8 และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ทศพลและคณะ, 2550) การศึกษาของ Chonhenchob *et al.* (2006) ทดลองเก็บรักษาพริกในถุงที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูง (C4, C5 และ C9) พบว่า พริกที่บรรจุในภาชนะ C4 และ C5 ใช้เวลาในการสร้าง EMA สั้นที่สุด โดยมีองค์ประกอบของก๊าซเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ O_2 , 2 เปอร์เซ็นต์ CO_2 และ 7 เปอร์เซ็นต์ O_2 , 3 เปอร์เซ็นต์ CO_2 ตามลำดับ และมีคุณภาพ การยอมรับสูงระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามพริกที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน (ฟิล์มชนิด PE และ PP, ก่อพลาสติกชนิด PS และ PVC) แล้วเก็บรักษาที่ 4 และ 8 °C พบว่าฟิล์มชนิด PP สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ (Chonhenchob and Surapat, 2001) หน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาพคัดแปลงบรรยากาศโดยภาชนะบรรจุ P-Plus (ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ $14,000 \text{ cc.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพภายนอกและชะลอการเกิดโรคได้ดีกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้บรรจุลงในภาชนะบรรจุ P-Plus (Villanueva *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Chonhenchob *et al.* (2006) ที่พบว่าผลไม้เขตร้อนคัดแต่งพร้อมบริโภค (มะม่วง สับปะรด และแตงเทศ) ที่เก็บรักษาในสภาพ EMA สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ดีโดยใช้ฟิล์มประเภท PET ส่วน Jacxsens *et al.* (2002) ยังพบว่าการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อและแตงกวาหั่นชิ้น (slice) ภายใต้บรรจุภัณฑ์ที่มีสภาพเป็น EMA ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ จากรายงานการวิจัยที่มีมาก่อนพบว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพ EMA นิยมใช้กับผลิตผลสดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาภายใต้สภาพ EMA นั้น ต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างครอบคลุมและถี่ถ้วน อันประกอบด้วย อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนัก บรรจุ ค่าการซึมผ่านของก๊าซ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำหนักบรรจุ ชนิดของฟิล์ม พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ รวมถึงอัตราส่วนของก๊าซต่างๆ ภายในภาชนะบรรจุ (Jacxsens *et al.*, 2000) ซึ่งการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซสูง เพื่อใช้เก็บรักษาหน่อไม้ไผ่หวานพันธุ์ห่อใหญ่ในสภาพ EMA ยังไม่มีการศึกษา ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และอายุการเก็บรักษาของหน่อไม้ไผ่หวานพันธุ์ห่อใหญ่ภายใต้สภาพ EMA โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซสูง