บทที่ 1
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) เป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมสูงในการบริโภค เนื่องจากผลมังคุดมีลักษณะสะดุดตาและสีสันสวยงาม ภายในมีเนื้อนุ่มรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอมชวนรับประทานจนได้รับการขนานนามว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ (Queen of fruit) ปัจจุบันมังคุดมีบทบาทมากขึ้นทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ โดยมีตลาดที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา ยุโรป จีน ไต้หวัน ฮ่องกง และญี่ปุ่น (นิวัตร์ ธรรมภิบาล, 2546) ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (2545-2549) ได้กำหนดให้มังคุดอยู่ในกลุ่มของไม้ผลที่ควรให้การสนับสนุนเร่งรัดพัฒนาการผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด มังคุดเป็นผลไม้ที่ต่างประเทศให้ความสนใจเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีศักยภาพในการส่งออกสูง การส่งออกมังคุดนอกจากจะอยู่ในรูปผลไม้สดแล้ว ยังมีการแปรรูปมังคุดในหลายรูปแบบ เช่น มังคุดแช่เยือกแข็ง มังคุดอบแห้ง มังคุดบรรจุกระป๋อง และมังคุดกวน (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2541) แต่อย่างไรก็ตามการส่งออกมังคุดจะอยู่ในรูปผลสดและแช่เยือกแข็งเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคในการบริโภคผลไม้สดหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตผลสด ซึ่งได้มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 6.5 เท่าตัวจากปี 2541 ถึง 2545 คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจาก 67.2 ล้านบาทเป็น 380 ล้านบาท (นิวัตร์ ธรรมภิบาล, 2546)

การแปรรูปผลไม้ขั้นต่ำจัดเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่เพิ่มความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี และกำลังขยายตัวอย่างต่อเนื่องรวดเร็ว รวมทั้งมีบทบาทมากขึ้นในวิถีชีวิตของคนยุคปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคในการบริโภคของสดใหม่ สะดวกและง่ายต่อการซื้อเพื่อการบริโภค อีกทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปด้วยกรรมวิธีอื่น เช่น การใช้ความร้อน การแช่เยือกแข็ง เป็นต้น นอกจากนี้ การแปรรูปขั้นต่ำผลไม้เป็นผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคยังเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาพัฒนาและแก้ไขปัญหาในเรื่องโรคและแมลงวันผลไม้ที่ติดไปกับผลิตผล ซึ่งอาจเกิดการแพร่ระบาดไปยังประเทศผู้นำเข้าได้

จากวิถีของคนในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นแหล่งปลูกมังคุดที่สำคัญในภาคใต้ได้มีการแปรรูปขั้นต่ำผลมังคุดที่แก่จัดแต่ยังไม่สุกให้เป็นผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยการตัดเปลือกส่วนหัวและส่วนท้าย หลังจากนั้นแกะเอาเปลือกออก แล้วแช่ในสารละลายผสม

ระหว่างโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 1 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 ภายหลังการแช่ประมาณ 30 นาที เนื้อมังคุดจะได้รับการทำความสะอาด และรับประทานในลักษณะหวานกรอบ ซึ่งมีจำหน่ายเฉพาะในท้องถิ่นเรียกว่า มังคุดคัด แต่อย่างไรก็ตาม มังคุดคัดที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวข้างต้นจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) อีกทั้งยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงและสูญเสียคุณภาพ เนื่องจากเนื้อมังคุดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง หลังจากผ่านกระบวนการตัดแต่งเพียง 5-6 ชม. ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเห็นว่ามังคุดคัดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจและควรให้การสนับสนุนเป็นอย่างยิ่ง แต่ยังประสบปัญหาในเรื่องของกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ซึ่งยังไม่มีรูปแบบของกระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมและการยืดอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิต และแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพ รวมทั้งการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้ยืดอายุการเก็บรักษามังคุดคัด เพื่อนำไปสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม และสามารถกระจายสินค้าสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากเนื้อมังคุด ตลอดจนเป็นการเพิ่มมูลค่าและการส่งออกในรูปผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งเพิ่มการยอมรับให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ส่งออก และเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศได้อีกด้วย

ตรวจเอกสาร

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมังคุด

มังคุด (mangosteen) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae เป็นผลไม้เขตร้อนชื้นที่มีสายพันธุ์เดียวเท่านั้น คือ พันธุ์พื้นเมือง เพราะมังคุดเป็นพืชที่ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด และเมล็ดก็ไม่ได้เกิดจากการผสมเกสร จึงทำให้มังคุดไม่มีการกลายพันธุ์ ลักษณะลำต้นของมังคุดมีขนาดกลางถึงใหญ่ เจริญเติบโตช้า แต่เมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 10-25 ม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25-35 ซม. อายุ 7-10 ปีจึงจะให้ผล ลักษณะผลเป็นแบบเบอรี่ ทรงกลมแป้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5-7.0 ซม. เปลือกหนาประมาณ 0.8-1.0 ซม. ผลอ่อนเปลือกจะมีสีเขียว พอเริ่มแก่จะมีลายเส้นสีแดง เรียกว่าสายเลือด เมื่อสุกจัดเปลือกจะมีสีม่วงดำ เมื่อปอกเปลือกภายในจะมีเนื้อสีขาวนวล แบ่งเป็นกลีบประมาณ 4-8 กลีบ ในแต่ละผลมีเมล็ดที่เจริญสมบูรณ์ 1-2 เมล็ดที่เหลือมักลีบ อย่างไรก็ตามจากการที่ได้มีผู้ศึกษาและให้ความสังเกตอย่างใกล้ชิด พบว่า มังคุดยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ มังคุดเมืองนนท์ และมังคุดปักษ์ใต้ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ มังคุดเมืองนนท์มีผลขนาดเล็กกว่า ส่วนของขั้วผลจะเล็กและยาว เปลือกผลค่อนข้างบาง สีของกลีบที่ปลายขั้วผลจะมีสีแดง ในขณะที่มังคุดปักษ์ใต้จะมีขั้วผลสั้น เปลือกผลหนา กลีบที่ปลายขั้วผลมีสีเขียวเข้ม และเปลือกผลจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงได้ช้ากว่ามังคุดเมืองนนท์ ความแตกต่างของมังคุดทั้งสองพวกดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเข้าใจว่าอาจเกิดจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะดิน ความสมบูรณ์ของดิน ปริมาณของน้ำ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (สุรพล มนัสเสรี, 2541; สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2541; คีรี อำพันสวัสดิ์, 2540; Bunsiri *et al*., 2003; Te-chato and Lim, 2000)

มังคุดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย และพม่า เจริญเติบโตดีในสภาพดินเหนียวปนทราย แหล่งปลูกมังคุดมีมากที่สุดทางภาคใต้นับตั้งแต่ชุมพรลงไปตลอดภาคใต้ ส่วนภาคกลางปลูกกันบ้างในจังหวัดนนทบุรี ระยะหลังมีผู้นำไปปลูกทางภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี นครนายก ระยอง ตราด และปราจีนบุรี ทางภาคเหนือมีปลูกบ้างในจังหวัดอุตรดิตถ์ ลำพูน และเชียงใหม่ โดยทั่วไปมังคุดจะออกผลปีละครั้ง เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศและพื้นที่ปลูก ทำให้ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมังคุดแตกต่างกัน โดยภาคตะวันออกจะเก็บเกี่ยวมังคุดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ส่วนทางภาคใต้จะเก็บเกี่ยวผลได้ตั้งแต่เดือนสิงหาคม-ตุลาคม (สุรพล มนัสเสรี, 2541) มังคุดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีศักยภาพในการส่งออกอย่างต่อเนื่อง นับ

ว่าเป็นผลไม้ที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น โดยมีประเทศที่เป็นคู่ค้าที่สำคัญสำหรับตลาดมังคุดสด คือ ฮ่องกงและจีน คิดเป็นร้อยละ 58 และไต้หวันคิดเป็นร้อยละ 36 (นิวัตร์ ธรรมภิบาล, 2546) ในปี พ.ศ. 2545 มีพื้นที่เพาะปลูกโดยรวมทั่วประเทศจำนวน 380,000 ไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) ซึ่งมีผลผลิตจำนวน 240,600 ตัน คิดเป็นผลผลิตจากภาคตะวันออกร้อยละ 45 จากภาคใต้ร้อยละ 54 และจากภาคอื่น ๆ เพียงร้อยละ 1 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีนุ่มนวลชวนรับประทาน และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคนอกจากการบริโภคสดแล้วยังมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรม ได้แก่ มังคุดกวน มังคุดแช่เยือกแข็ง โดยประเทศที่เป็นคู่ค้าที่สำคัญสำหรับตลาดมังคุดแช่เยือกแข็ง คือ ญี่ปุ่นคิดเป็นร้อยละ 78 และฮ่องกงและจีนคิดเป็นร้อยละ 21 (นิวัตร์ ธรรมภิบาล, 2546) และผลิตภัณฑ์บางประเภทจัดเป็นการใช้ประโยชน์มังคุดในส่วนเกินที่เหลือจากการบริโภคสดและการแปรรูป เช่น มังคุดกระป๋องซึ่งจะใช้มังคุดที่มีขนาดเล็กน้ำหนักประมาณ 40 กรัม/ผล บรรจุในน้ำเชื่อมเข้มข้น 18-22 บริกซ์ เป็นการผลิตเพื่อการส่งออก นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นของมังคุด เช่น เปลือกผล ซึ่งสามารถใช้ผลิตสีในทางการค้า เนื่องจากเปลือกผลมีสารแทนนิน (tannin) ร้อยละ 8.75-10.5 และยังมีฤทธิ์แก้อาการท้องเดินอีกด้วย จากการศึกษาพบว่า ในเปลือกผลยังมีสารเคมีอีกหลายชนิด เช่น แมงโกสทิน (mangostin), แซนโทน (xanthone), ครีแซนทีมิน (chrysanthemin), การ์ซิโนน (garcinone), วิตามินบีหนึ่ง (vitamin B1), วิตามินบีสอง (vitamin B2) วิตามินซี (vitamin C) และแคโรทีน (carotene) (Ahmad Sulaeman *et al*., 2001; Nakatani *et al*., 2002) สารในเปลือกมังคุดมีฤทธิ์กดประสาทส่วนกลาง เพิ่มความดันเลือด ช่วยสมานแผล ฆ่าเชื้อแบคทีเรียอันเป็นสาเหตุของหนอง และลดการอักเสบได้ เปลือกตากแห้งนำมาฝนรับประทานแก้ท้องร่วง เปลือกสดอาจใช้ทำเยลลี่ หรือวุ้นผลไม้ ส่วนอื่น ๆ เช่น ใบสดนำมาตำสามารถรักษาแผลสด ใบผสมเปลือกรักษาโรคบิด (dysentery) และผลิตโลชั่น ส่วนของยางสดสีเหลืองที่ได้จากผลสามารถใช้เป็นยาแก้บิดท้องร่วง และช่วยสมานแผลให้หายเร็วได้อีกด้วย (สมพร ภูติยานันท์, 2542)

ผลมังคุดมีส่วนเนื้อร้อยละ 25-30 ประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 80 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 19.8 มีน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 17.5 ในส่วนนี้ประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 4.3 โดยมีน้ำตาลหลัก คือ ฟรุกโตส กลูโคส และซูโครส นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่เพาะปลูก

มาตรฐานการซื้อขายผลมังคุดที่ตรงตามความต้องการของตลาด คือ ผลขนาดใหญ่ มีน้ำหนักผลตั้งแต่ 80-100 กรัม/ผลขึ้นไป ผิวผลสะอาดเป็นมันวาว ไม่มีร่องรอยการทำลาย

ของโรคและแมลง เปลือกผลมีความหนาปานกลางและไม่มีอาการเปลือกแข็งและยางไหล นอกจากนี้ภายในผลต้องไม่มีเนื้อแก้วหรือเนื้อช้ำ

2. การแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้

กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้พร้อมบริโภค หมายถึง การปฏิบัติการใด ๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยว โดยผ่านกระบวนการเตรียม และการจัดการที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียวหรือหลายอย่างตามความเหมาะสมของกระบวนการ เช่น การทำความสะอาด การปอก การตัดแต่งแบ่งซอยเป็นชิ้นเล็ก ๆ รวมถึงการบรรจุที่เหมาะสม โดยที่ผักและผลไม้นั้นยังคงมีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงกับของสด หรือกล่าวได้ว่าเซลล์เนื้อเยื่อของผักและผลไม้นั้นยังคงมีชีวิตนั่นเอง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546; Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003; Rocha and Morais, 2003)

วัตถุประสงค์ของการแปรรูปขั้นต่ำ เพื่อทำให้ผักและผลไม้ยังคงสภาพ คุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงผักและผลไม้สด พร้อมทั้งการใช้เทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ในการช่วยยืดอายุการเก็บให้นานขึ้น ซึ่งผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้นต้องมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค แต่การแปรรูปในลักษณะนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสี และง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค จึงส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ เนื่องจากผักและผลไม้เหล่านั้นมีรอยตัดแต่งที่เนื้อเยื่อถูกทำลายและเกิดการฉีกขาด ทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์สามารถออกมาภายนอกได้ นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำมีผลทำให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจ และการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นจึงสามารถเร่งการสุกและเสื่อมเสีย (senescense) ให้เกิดเร็วขึ้นได้ (Wiley, 1994; Lamikanra, 2002; Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) โดยทั่วไปการแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

<u>การคัดเลือกและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ</u>

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าคุณภาพของวัตถุดิบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพควรมีการควบคุมดูแลรักษาตั้งแต่อยู่ในแปลงปลูก นอกจากนี้กระบวนการระหว่างและหลังการเก็บเกี่ยวก็มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผลด้วยเช่นกัน พันธุ์ผักและผลไม้ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ ควรมีลักษณะดังนี้ คือ มีการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาเพียงเล็กน้อย เนื้อสัมผัสของผลิตผลไม่ควรนิ่มเกินไปเพราะเป็นการยากต่อการตัดแต่งทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ อัตราการหายใจไม่สูงเกินไป และสามารถทนทานต่อความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ลดลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นได้ สำหรับ

การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้สม่ำเสมอก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการตัดแต่งเป็นชิ้น ทำโดยคัดขนาดและน้ำหนักของผลิตผลที่มีความใกล้เคียงกัน และตัดส่วนที่มีรอยตำหนิออก อาจใช้เครื่องมือที่ออกแบบโดยเฉพาะหรือคนที่มีความชำนาญ (Varoquaux *et al*., 1996; Lamikanra, 2002)

<u>การตัดแต่ง</u>

เป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำที่ควรใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด เนื่องจากขั้นตอนนี้มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดบาดแผลขึ้น ส่งผลให้คุณภาพและอายุการเก็บของผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคสั้นลงได้ ในขั้นตอนนี้มีการแนะนำว่าควรใช้ใบมีดที่มีความคม มาก ๆ เพราะจะทำให้เกิดบาดแผลน้อยลง (Wiley, 1994; Lamikanra, 2002) จากการศึกษาของ Cantwell (1998 อ้างโดย Wiley, 1994) พบว่า การตัดแต่งแตงด้วยใบมีดที่อมีผลทำให้คุณภาพของแตงลดลงได้ โดยแตงจะเกิดลักษณะโปร่งแสง และมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลท์จากภายในเซลล์มากกว่าการใช้ใบมีดที่คมนั่นเอง

<u>การล้างทำความสะอาดด้วยสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์</u>

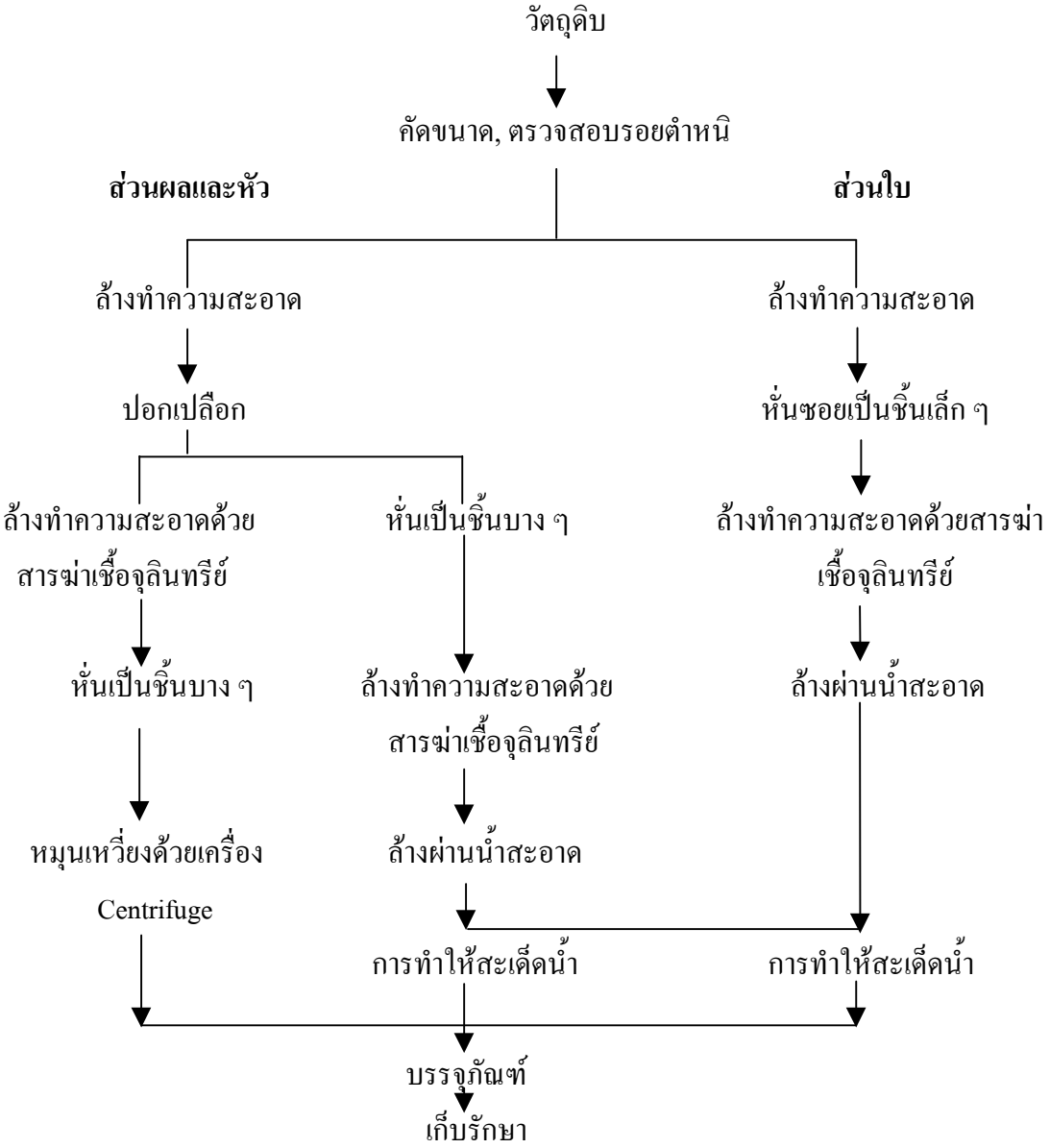
เป็นขั้นตอนที่สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคได้เป็นอย่างดี มีการนำสารเคมีหลายชนิดมาใช้ เช่น กรดเปอร์ออกซีอะซิติก (peroxyacetic acid) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และโอโซน (ozone) แต่ที่นิยมใช้กันมากอย่างแพร่หลาย คือ คลอรีน (chlorine) เนื่องจากสะดวกและง่ายต่อการเตรียม และยังมีราคาถูกอีกด้วย การล้างทำความสะอาดผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยทั่วไปจะใช้ที่ความเข้มข้น 50-200 พีพีเอ็ม ซึ่งถ้าใช้มากกว่านี้จะทำให้เกิดลักษณะปรากฏและสี รวมทั้งกลิ่นผิดปกติ นอกจากนี้มีรายงานว่า การใช้คลอรีนที่มีความเข้มข้นอย่างน้อย 8 พีพีเอ็ม สามารถป้องกันการปนเปื้อนจาก จุลินทรีย์ก่อโรคได้ (Ukuku and Saper, 2001; USFDA, 2001; Lamikanra, 2002; Delaquis *et al*., 2004; Vina and Chaves, 2005)

<u>การทำให้สะเด็ดน้ำ</u>

โดยทั่วไปจะใช้ผ้าขาวบางซับแต่ต้องระวังไม่ให้เนื้อเยื่อของผลไม้ชอกช้ำมากขึ้น ขั้นตอนนี้ช่วยไม่ให้มีน้ำที่ติดมากับผลิตผลจากขั้นตอนการล้างทำความสะอาดมีมากเกินไปในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียช้าลงนั่นเอง (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003)

การบรรจุและเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพของผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค และการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสะดวกและง่ายต่อการขนส่งและเก็บรักษาอีกด้วย (Wiley, 1994) ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ควรมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.5-4.0 กก. (Watada and Qi, 2000) กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้เป็นแผนผังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการแปรรูปขั้นต่ำของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค

Minimal processing of fresh-cut fruit and vegetable

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wiley (1994)

3. คุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค

สำหรับผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคควรมีลักษณะตรงตามความต้องการของผู้บริโภค คือ ปราศจากรอยตำหนิ ระยะการสุกเหมาะสำหรับการบริโภค อยู่ในสภาพสดทั้งด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Watada and Qi, 2000; Kader, 2002) คุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคประกอบด้วย คุณภาพด้านลักษณะปรากฏ คุณภาพด้านการบริโภค และคุณภาพด้านความปลอดภัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

คุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (Visual Quality)

ลักษณะปรากฏเป็นสิ่งแรกที่ดึงดูดใจผู้บริโภคให้มีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ คุณภาพด้านลักษณะปรากฏสำหรับผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ขนาด รูปร่าง สี ความมันวาว และความสะอาดของผิว รวมไปถึงปราศจากการเน่าเสีย นั่นหมายความว่า ผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคต้องปราศจากรอยช้ำ การเสียรูปของชิ้น การหดย่น การเหี่ยวเนื่องจากการสูญเสียน้ำเนื้อสัมผัสนิ่มเละ สีเปลี่ยน และเกิดเมือกลื่นที่ผิวเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Soliva-Fortuny *et al*., 2002; Lamikanra, 2002)

คุณภาพด้านการบริโภค (Eating Quality)

คุณภาพด้านการบริโภค ประกอบด้วย คุณภาพของเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งคุณภาพเหล่านี้มีผลต่อการซื้อผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคซ้ำในครั้งต่อไป คุณภาพของเนื้อสัมผัส คือ ความแน่นเนื้อ ความกรอบ ความฉ่ำ ความเหนียว ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะตัวของผลิตผลนั้น ๆ และผลไม้ที่มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนิ่มจะไม่สามารถขนส่งได้ในระยะทางไกล ๆ นอกจากนี้การนิ่มของเนื้อสัมผัสยังสัมพันธ์กับการสูญเสียความแน่นเนื้อ และการรั่วของน้ำภายในเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุแรกของคุณภาพที่ไม่ดี และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

คุณภาพของกลิ่นและรสชาติประเมินจาก รสหวานจากปริมาณน้ำตาล รสเปรี้ยวจากความเป็นกรด รสฝาดจากสารประกอบฟีนอลิก ความขม และสารให้กลิ่นรสที่สามารถระเหยได้ รวมไปถึงกลิ่นรสผิดปกติ การใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ชิมเป็นแนวทางที่ทำให้ทราบถึงระดับที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

คุณภาพทางโภชนาการ เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าผักและผลไม้เป็นแหล่งของวิตามิน (วิตามินซี เอ บีหก ไทอะมีน ไนอะซิน) และเกลือแร่ นอกจากนี้ยังมีไฟเบอร์ช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย รวมทั้งฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ สารแอนติออกซิแดนซ์ และแหล่งสารอาหารต่าง ๆ จากพืช สารอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ผู้บริโภคมีความเสี่ยงต่ำต่อการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคขาดสารอาหาร เป็นต้น (Lamikanra, 2002)

คุณภาพด้านความปลอดภัย (Safety Quality)

ความปลอดภัยเป็นคุณภาพที่สำคัญอีกอันหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่าอาหารที่บริโภคเข้าไปจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคต้องคำนึงถึงอันตรายจากจุลินทรีย์ รวมไปถึงอันตรายทางกายภาพและเคมีด้วยเช่นกัน

การเน่าเสียจากจุลินทรีย์ของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่า 4.6 และค่า a_w สูงกว่า 0.85 จะเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำ สำหรับจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น *Listeria monocytogenes, Salmonella* sp., *Shigella* sp., *S. sonnei, Escherichia coli* สายพันธุ์ O157:H7, *Aeromonas hydrophila*, *Yercinia enterocolitica, Staphylococcus aures, Cyclospora cayetanensis*, Hepatitis A virus และ Norwork virus (Lamikanra, 2002; Lanciotti *et al*., 2004) แต่อย่างไรก็ตามการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคจะถูกจำกัดเมื่อค่าความเป็นกรดด่างของผลิตผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.5 (Bhagwat *et al*., 2004)

ในประเทศไทยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารพร้อมบริโภค ซึ่งรวมถึงผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค (2536) ไว้ดังนี้ ยีสต์ต้องพบได้ไม่เกิน 4.00 log cfu/g (10^4 cfu/g) เชื้อราต้องพบได้ไม่เกิน 2.70 log cfu/g ($5x10^2$ cfu/g) เชื้อ *E.coli* ต้องพบได้ไม่เกิน 10 MPN/กรัม และต้องตรวจไม่พบเชื้อซัลโมเนลลา สำหรับอันตรายทางกายภาพและเคมีก็มีความสำคัญเช่นกัน เช่น การปนเปื้อนเศษแก้ว ชิ้นส่วนโลหะ ชิ้นส่วนของไม้ พลาสติก หิน กรวด ทราย ตลอดจนลวดโลหะที่เย็บถุงอาหาร หรือการปนเปื้อนสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว รวมไปถึงในขั้นตอนการผลิต เช่น มีการใช้ซัลไฟต์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์จนถึงปี 1986 FDA จึงได้ประกาศห้ามใช้ซัลไฟต์ในผักและผลไม้สด เนื่องจากผู้บริโภคเกิดอาการแพ้ซัลไฟต์ (Son *et al*., 2001)

4. การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค

กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้มีผลทำให้เซลล์เนื้อเยื่อของผักและผลไม้ถูกทำลายเกิดการฉีกขาด ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงหลายด้านตามมา เช่น การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา ชีวเคมี และจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต

สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว กระบวนการแปรรูป การบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษา (Gorny *et al*., 1998)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา

อัตราการหายใจ

กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้ ต้องผ่านการปอกเปลือก การหั่นหรือตัดเป็นชิ้น ซึ่งทำให้เกิดบาดแผลและมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศได้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคนี้มีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้สดทั้งผล เนื่องจากกระบวนการหายใจเป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ซึ่งสารตั้งต้นถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยออกซิเจนถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาดังกล่าว

Ahvenainen (1996) กล่าวว่า ผักและผลไม้สดที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้สด 1.2-7.0 เท่า จากการรายงานของ Artes และคณะ (1999) พบว่าหลังจากมะเขือเทศที่สุกเพียงบางส่วนผ่านการตัดแต่ง มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากวันแรก 5 เท่า เมื่อเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10°ซ เป็นเวลา 7 วัน Kang และ Lee (1997) พบว่า พริกเขียวตัดแต่งขนาด 2 ซม. มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากพริกเขียวทั้งผลร้อยละ 38 และ 41 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10°ซ ตามลำดับ

การที่ผักผลไม้ได้รับการตัดแต่งมากจะส่งผลให้เกิดบาดแผลมาก ทำให้อัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น จากรายงานของ Paull และ Chen (1997) พบว่า มะละกอที่ผ่านการตัดแต่งเป็น 2 ซีกมีอัตราการหายใจมากกว่าผลมะละกอทั้งผล แต่น้อยกว่ามะละกอที่ผ่านการตัดแต่งเป็น 2 ซีกและมีการนำเมล็ดออก นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดทั้งผลและที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการหายใจ (มก. CO_2/กก./ชม.) ของผลไม้สดทั้งผลและที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งในสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Respiration rate (mg CO_2/kg/hr) of intact and fresh-cut fruit during storage at several temperatures

Type of plant	Characteristic	Storage Temperature (^{o}C)			
		0	5	10	20
Tomato	intact	1.6	2.3	4.7	20.2
	fresh-cut	1.4	3	10	35
Kiwi	intact	3.2	4.6	8.6	22
	fresh-cut	7.2	11.6	23.3	76
Banana	intact	6.9	9	10.9	93.7
	fresh-cut	7.9	10.4	21.1	119
Peach	intact	4	8.1	15	72
	fresh-cut	6	10	18.6	120
Cantaloup	intact	2.1	4	6.8	22.5
	fresh-cut	1.2	3.2	9	77

ที่มา: ดัดแปลงจาก Watada และคณะ (1996)

การผลิตแก๊สเอทิลีน

โดยปกติผักและผลไม้ผลิตแก๊สเอทิลีนได้ต้องมีกรดอะมิโน methionine ที่พืชสังเคราะห์ได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเซลล์ หลังจากนั้น methionine จะถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ต่อมา SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ด้วยเอนไซม์ ACC synthase หลังจากนั้น ACC จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนโดยเอนไซม์ ethylene forming enzyme (EFE) หรือ ACC oxidase และอัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นกว่าปกติเมื่อผักและผลไม้เกิดบาดแผลที่ได้รับจากการแปรรูปขั้นต่ำ เพราะว่าการเกิดบาดแผลส่งผลให้มีการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งเปลี่ยน SAM เป็น ACC นั่นเอง (Yang, 1985) Saltveit (1997) กล่าวว่า เมื่อผักและผลไม้มีบาดแผลทำให้มีการสังเคราะห์เอทิลีนภายใน 1 นาทีหรือ 1 ชม. และบาดแผลที่เกิดมากขึ้นส่งผลให้มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นเช่นกัน จากการศึกษาของ Paull และ Chen (1997) พบว่ามะละกอที่ผ่านการตัดแต่งเป็น 2 ซีก จะมีการ

ผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น 5 เท่า ในขณะที่การตัดแต่งผลมะละกอออกเป็น 2 ซีก และมีการนำเมล็ดออกมีผลทำให้การผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นถึง 9 เท่า

การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี

โดยทั่วไปในผักและผลไม้จะมีเอนไซม์และสารตั้งต้นอยู่ในส่วนของเซลล์แต่ละเซลล์ ในกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำมีผลทำลายผิวของเซลล์จึงส่งผลให้เอนไซม์พบกับสารตั้งต้นและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่าง ๆ ได้ เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังทำให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีความแน่นเนื้อลดลง (Wiley, 1994)

<u>การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ</u>

การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เกิดจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ และการผลิตแก๊สเอทิลีน ส่งผลให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้นนั่นเอง และจากการรายงานของ Bengtsson และคณะ (1967) พบว่า ความเข้มข้นของ n-hexanol และสารที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ มีผลต่อการเกิดกลิ่นรสในถั่ว ซึ่งสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียร อาจทำให้เกิดพิษต่อเซลล์ โปรตีน และเยื่อหุ้มเซลล์ของผักและผลไม้ได้ (Watada *et al*., 1990)

<u>การเปลี่ยนแปลงสี</u>

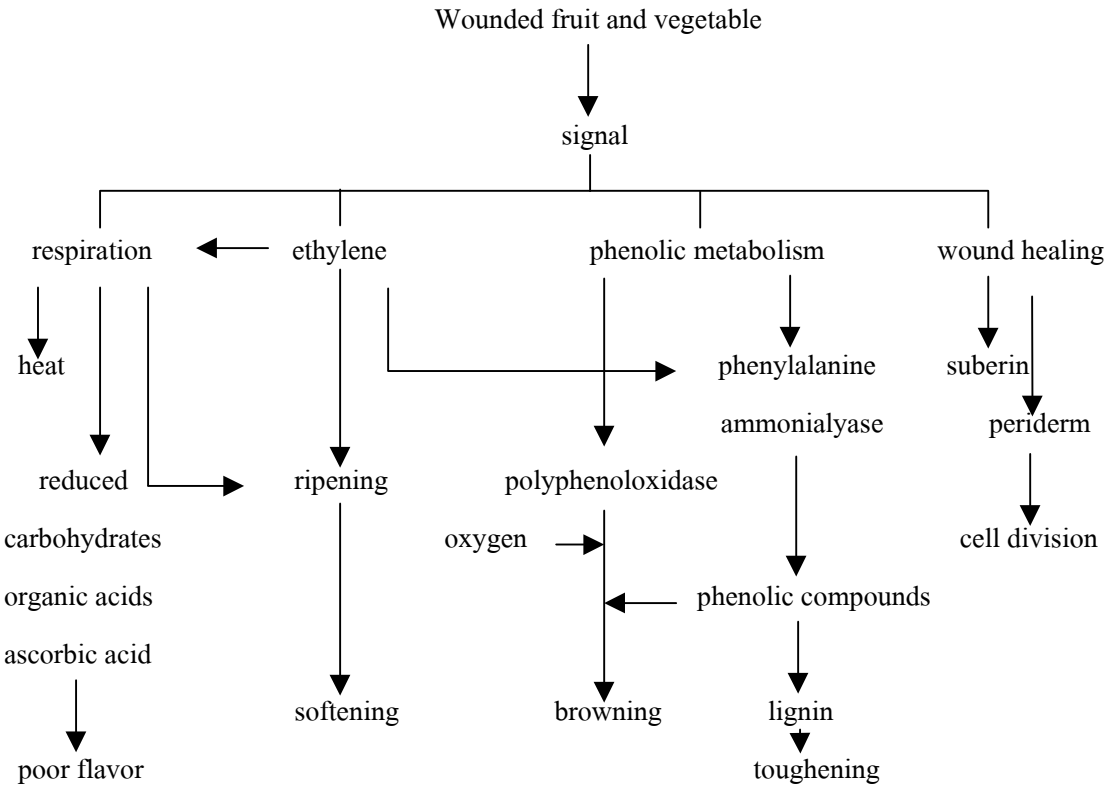
สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ซึ่งกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำมีผลทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ไหลออกมาที่ผิวหน้า เช่น สารประกอบฟีนอล และเมื่อสารโมโนฟีนอลถูกเติมหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ในสภาวะที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และออกซิเจน เกิดเป็นสาร O-diphenol หลังจากนั้นถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กลายเป็น O-quinone และเมื่อ O-quinone รวมกับสารตัวอื่น เช่น กรดอะมิโน โปรตีน สารประกอบฟีนอล ส่งผลให้เกิดสารสีน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อน ทำให้ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Saper, 1993)

<u>การลดลงของความแน่นเนื้อ</u>

การตัดแต่งผักและผลไม้เป็นชิ้นมีผลทำให้เซลล์เนื้อเยื่อของผักและผลไม้เกิดการฉีกขาด ทำให้กลุ่มเอนไซม์ pectinolytic และ proteolytic จากภายในเซลล์ที่ถูกทำลายถูกปล่อยออกมาภายนอก จึงมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายส่วนประกอบของผนังเซลล์ข้างเคียงได้ (Wiley, 1994) เอนไซม์ polygalacturonase เป็นเอนไซม์ในกลุ่มเอนไซม์ pectinolytic สามารถย่อยสลาย

ส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ตำแหน่ง β-1, 4-D-galacturonic acid ในโมเลกุลของ galacturonans และ rhamnogalactonans ในขณะที่เอนไซม์ proteolytic ย่อยสลายส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนของ pectin/protein matrix ในผนังเซลล์ ทำให้โมเลกุลของสารดังกล่าวกลายเป็นสายสั้น ๆ ความแน่นเนื้อของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคจึงลดลง นอกจากนี้การสูญเสียน้ำภายในเซลล์เป็นสาเหตุให้เนื้อสัมผัสของผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคนิ่มลงได้เช่นกัน (Beaulieu and Gorny, 2001) มีรายงานว่า ผลกีวีหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°ซ มีความแน่นเนื้อลดลงร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาไม่ถึง 2 วัน (Wiley, 1994) จากการศึกษาของ Karakurt และ Huber (2003) พบว่า ความแน่นเนื้อของมะละกอตัดแต่งลดลงเกือบร้อยละ 36 หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วันที่อุณหภูมิ 5°ซ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีผลเนื่องจากบาดแผลสรุปได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีผลเนื่องจากบาดแผล

Effect of wounding to physiological and biochemical changes of fresh-cut fruit and vegetable

ที่มา: Saltveit (1997)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์

การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลง แหล่งของจุลินทรีย์อาจมาจากอากาศ พื้นผิวอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำหรือติดมากับผักผลไม้ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผักจะต่างกันกับในผลไม้ เนื่องจากผลไม้มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำ แบคทีเรียส่วนใหญ่จึงไม่สามารถเจริญได้ ส่วนใหญ่จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย คือ ยีสต์ เชื้อราและแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดแลกติก (Jayas and Jeyamkondan, 2002) ดังตารางที่ 2 โดยทั่วไปการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (2-4°ซ) จุลินทรีย์กลุ่มที่มีผลต่อการเน่าเสียมาก คือ แบคทีเรีย ยีสต์ รา ประเภทไซโครโทรป ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญประมาณ 20°ซ แต่สามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิตู้เย็นเช่นกัน นอกจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียแล้วยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่ควรให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง คือ จุลินทรีย์ชนิดที่ก่อให้เกิดโรคเนื่องจากอาหารเป็นพาหะ เช่น *Salmonella* sp., *Shigella* sp. และ *Listeria monocytogenes* เนื่องจากมีการระบาดของแบคทีเรียทั้งสามชนิดนี้ในผักกาดแก้วหั่นชิ้น มะเขือเทศ และโคลสลอว์ ตามลำดับ (Brackett, 1992) และในแอปเปิลตัดแต่งอาจเกิดการปนเปื้อน *Escherichia coli* O157: H7 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรค hemolytic uremic syndrome ซึ่งมีผลทำให้ไตทำงานล้มเหลวฉับพลันในเด็ก จุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดได้บนชิ้นแอปเปิลที่เก็บในบรรยากาศปกติและที่อุณหภูมิต่ำ ($\geq$ 10°ซ) รวมทั้งในสภาพที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ (Gunes and Hotchkiss, 2002) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ขึ้นกับปัจจัยภายใน เช่น a_w ค่าความเป็นกรดด่าง สารยับยั้งจุลินทรีย์ องค์ประกอบของอาหาร และปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิการเก็บรักษา และความชื้น เป็นต้น (Soliva-Fortuny *et al*., 2004)

ตารางที่ 2 จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค

Microbial spoilage in fresh-cut fruit and vegetable

Microorganisms	Effect on product
Fresh fruit	
Mould	
Alternaria, Aspergillus, Botrydiplodia, Botrilis, Cladasporium, Colletotrichum, Diplodia, Diaporthe, Fusarium, Phomopsis Geotrichum, Penicillin, Phytophotora, Rhizopus, Trichroderma	Product is unacceptable for consumers
Yeast	
Saccharomyces, Pichia, Hanseniaspora, Candida,Torulopsis, Kloeckera, Rhodotorula	Product is unacceptable for consumers
Lactic acid bacteria	
Lactobacillus brevis, L. plantarum, L. pastorianus, L. leichmanii, Leuconostoc spp., L. arabinosus, L. mesenteroides, L. dextrannicum, Streptococcus fecalis, S. faecium	Lactic acid and CO_2 were produced causing damage and off-flavor of fruit's tissue
Fresh-cut fruit	
Psychrophile	Pectinolytic
Pseudomonas, Enterobacter, Cryptococcus, Micrococcus	and cellulolytic enzyme were produced causing damage and off-flavor of fruit's tissue

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tapia de Daza และคณะ (1996)

5. การยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค

ทัศนคติของผู้บริโภคต่อผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ต้องการให้มีลักษณะและคุณภาพ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับของสด แต่เนื่องจากกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค ดังนี้

5.1 การใช้ความร้อนขั้นต่ำ (mild heat treatment)

การใช้ความร้อนในระดับต่ำกว่า 70°ซ กับผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด นอกจากนี้ยังมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น polyphenoloxidase, peroxidase, lipoxygenase, polygalacturonase และ pectin esterase เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้อยู่ในช่วง 30-50°ซ (Wiley, 1994) จากการศึกษาของ Li และคณะ (2001) พบว่า การจุ่มใบผักกาดหอมในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 90 วินาที สามารถลดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ 1.73- 1.96 log cfu/g

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ความร้อนขั้นต่ำร่วมกับสารละลายแคลเซียมเพื่อช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อและรักษาเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น แคลเซียมแลกเตต แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ แคลเซียมคลอไรด์ (Bhagwat, 2004)

Luna-Guzman และคณะ (1999) พบว่า การใช้ความร้อนขั้นต่ำแก่แคนตาลูปตัดแต่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ที่อุณหภูมิ 20 40 และ 60°ซ เป็นเวลา 1 นาที พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแน่นเนื้อของแคนตาลูปตัดแต่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

Smout และคณะ (2005) พบว่า การใช้ความร้อนขั้นต่ำแก่แครอทตัดแต่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°ซ เป็นเวลา 1 ชม. ทำให้ความแน่นเนื้อของแครอทตัดแต่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากความร้อนจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ methyl esterase ที่มีตามธรรมชาติในผลไม้และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานอยู่ในช่วง 55-70°ซ โดยเอนไซม์นี้มีหน้าที่กำจัดหมู่เมทิล (CH_3) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของ galacturonic acid ในโมเลกุล galacturonans ของเพคตินทำให้เกิดหมู่คาร์บอก

ซิลอิสระ (COO^-) ขึ้น เมื่อมีหมู่ COO^- เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Ca^{2+} เกิดเป็นโครงสร้างแคลเซียมเพกเตต หรือความร้อนอาจมีผลในการเพิ่มการแพร่ของแคลเซียมอิออนเข้าไปยังเนื้อเยื่อพืช ส่งผลให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Garcia *et al*., 1996; Luna-Guzman and Barrett, 2000)

5.2 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (cold preservation)

การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 10°ซ ส่งผลให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Q_{10} อยู่ในช่วง 3.4-8.3 ในผักและผลไม้ตัดแต่งหลายชนิด (Watada *et al*., 1996) จากการศึกษาของ Roura และคณะ (2000) พบว่า การเก็บรักษา หัวบีทตัดแต่งในกล่องอะคริลิคโปร่งแสงขนาด 0.4 x 0.3 x 0.3 ม. หนา 0.6 ซม. ที่อุณหภูมิ 4°ซ ความชื้นร้อยละ 98 สามารถเก็บได้นานถึง 11 วัน นอกจากนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ประเภท mesophile และ thermophile และสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ได้เช่นกัน (Wiley, 1994)

5.3 การใช้สารให้กลิ่นจากธรรมชาติ (natural aroma compound)

สารให้กลิ่นจากธรรมชาติที่ใช้ในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เช่น hexanol, 2-(*E*)-hexenal, hexyl acetate, methyl jasmonate, ethanol และ citrus essential oil สกัดได้จากผลไม้บางชนิด เช่น มะเขือเทศ สตอเบอรี่ องุ่น แอปเปิล ลูกแพร์ ส้ม และมะนาว เป็นต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากการเจริญของจุลินทรีย์ และลดการใช้สารเคมีในอาหาร (Lanciotti *et al*., 2004) จากการรายงานของ Wang และ Buta (2003) พบว่า การใช้ methyl jasmonate ที่ระดับความเข้มข้น 2.24×10^{-6}, 11.2×10^{-6} และ 22.4×10^{-6} ล./ล. สามารถรักษาคุณภาพของกีวีตัดแต่งได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่อุณหภูมิ 10°ซ แม้ระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปนาน 3 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าสาร methyl jasmonate ที่ระดับความเข้มข้น 2.24×10^{-6} ล./ล. มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของคื่นไฉ่และพริกไทย เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°ซ (Buta and Moline, 1998)

5.4 การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere storage)

การเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ เป็นการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศของแก๊สชนิดหนึ่ง หรือหลายชนิดโดยอัตราส่วนของแก๊สชนิดต่าง ๆ นั้นแตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ อาจทำได้โดยการลดปริมาณแก๊สออกซิเจน และ/หรือเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา การใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊สสูงหรือต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลได้ (Jayas and Jeyamkondan, 2002) ซึ่งการดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าร้อยละ 20 อาจทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหายจากสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในผลผลิตสูงเกินไป และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่ำกว่าร้อยละ 2 อาจก่อให้เกิดกระบวนการหมักหรือการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติต่อผลิตผลขึ้นได้ (Jacxsens *et al*., 2001; Abbott *et al*., 2004)

ปัจจุบันการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคในสภาพดัดแปลงบรรยากาศเป็นวิธีการเก็บรักษาที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งทำให้ผู้บริโภคยอมรับในความสด และเป็นวิธีธรรมชาติที่ไม่มีการเติมแต่งสารลงไปในอาหาร (Rocculi *et al*., 2004) อย่างไรก็ตามสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคจะแตกต่างกันไปในผลิตผลแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผลิตผลและความทนทานต่อระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ เป็นต้น มีการศึกษาการเก็บรักษาเนื้อมังคุดตัดแต่งภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่ต่างกันโดยใช้บรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ควบคู่กับการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าสภาพบรรยากาศดัดแปลงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพเนื้อมังคุดอย่างมีนัยสำคัญ และเก็บรักษาได้นาน 3 วันที่ 15°ซ ในขณะที่ 4°ซ เก็บได้นาน 9 วัน (ทรรศวุท ศุภอักษร และสุนทร แก้วคง, 2543) นอกจากนี้พบว่า การเก็บรักษามังคุดสดตัดแต่งพร้อมบริโภค (มังคุดคัด) ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ภายใต้บรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9 ที่อุณหภูมิ 4°ซ สามารถเก็บรักษาได้นาน 8 วัน (Manurakchinakorn *et al*., 2004) สำหรับการเก็บรักษาชิ้นแอปเปิลตัดแต่งขนาด 1 ซม.^{3} ในบรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7 ที่อุณหภูมิ 4°ซ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 2-3 สัปดาห์ (Robert *et al*., 2001) และการเก็บรักษาชิ้นแคนตาลูปตัดแต่งขนาด 2 ซม.^{3} ในบรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊ส

ออกซิเจนที่มีความเข้มข้น 4 kPa ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 10 kPa ที่อุณหภูมิ 5°ซ สามารถเก็บรักษาได้นาน 9 วัน (Bai *et al*., 2001)

ประโยชน์ของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพผักและผลไม้

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศช่วยยืดอายุของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคในแง่ของการชะลออัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำ ชะลออัตราการผลิตเอทิลีน ลดการเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลบนผิวหน้า และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งชะลอการเจริญของจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของผลิตผล (Gorny, 1997; Jayas and Jeyamkondan, 2002)

ชะลออัตราการหายใจ

เนื่องจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของพืชต้องการออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เมื่อมีการควบคุมระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนให้ต่ำลง และ/หรือความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้เพิ่มขึ้นจากสภาพบรรยากาศปกติ ทำให้อัตราการหายใจของพืชลดลงเป็นผลให้คุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเสื่อมช้าลงด้วยเช่นกัน ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำภายในเซลล์พืชทำให้สารละลายในเซลล์มีสภาพเป็นกรด ค่าความเป็นกรดด่างในเซลล์ต่ำลง ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสโฟฟรุคโต-ไคเนส (phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ควบคุมกระบวนการไกลโคไลซิส มีกิจกรรมลดลง และมีผลในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ซักซินิคดีไฮโดรจีเนส (succinicdehydrogenase) ในวัฏจักรเครบส์ เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง นอกจากนี้ การลดลงของค่าความเป็นกรดด่างสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (อินทิรา ลิจันทร์พร, 2542) และจากการศึกษาของ Izumi และคณะ (1996) พบว่า การเก็บรักษาชิ้นแครอทตัดแต่งในบรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 0, 5 และ 10°ซ สามารถลดอัตราการหายใจของชิ้นแครอทตัดแต่งได้ 3.94 2.70 และ 2.27 เท่า ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาชิ้นแครอทตัดแต่งในสภาพบรรยากาศปกติ

ชะลอการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน

การทำงานของแก๊สเอทิลีนชักนำให้เกิดกระบวนการสุกของผลไม้ กระบวนการหายใจของผักและผลไม้นั้นต้องอยู่ในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนปกติ ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของเอทิลีนจะต่ำลงหรือไม่สามารถเกิดขึ้นได้ และในขณะเดียวกันถ้าสภาพบรรยากาศที่ความเข้มข้นของออกซิเจนปกติแต่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้เลย เนื่องจากแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับสารประกอบประเภทแอลลีน เช่น เอทิลีน อะเซติ-ลีน และโพรพิลีน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงสามารถเข้าไปแทนที่เอทิลีนส่งผลให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง หรือต่ำเกินไปมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้เช่นกัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

ลดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศสามารถลดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิก ทำให้ความเป็นกรดด่างของผลไม้เปลี่ยนแปลงไปโดยมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ลดลง จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในผักและผลไม้ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ เมื่อมีแก๊สออกซิเจนต่ำในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศจึงส่งผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ชนิดนี้ลดลงด้วยเช่นกัน (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538)

จากการศึกษาของ Zagory (1999) พบว่า การเก็บรักษาใบผักโขมที่อุณหภูมิ 5°ซ ในบรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ลดลง 10 ถึง 100 เท่าจากสภาพบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ Gunes และ Hotchkiss (2002) พบว่า การเก็บรักษาชิ้นแอปเปิลตัดแต่งที่อุณหภูมิ 15°ซ ในสภาพบรรยากาศที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30 และ 15 ร่วมกับแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 สามารถยับยั้งเชื้อยีสต์และราได้ใน 3 วันแรกของการเก็บรักษา และหลังจากเก็บรักษานาน 9 วันพบเชื้อยีสต์และราน้อยกว่าสภาพบรรยากาศปกติประมาณ 1.00 log cfu/g นอกจากนี้สภาวะดังกล่าวยังสามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* O157: H7 ให้อยู่ที่ 3.70 log cfu/g ในขณะที่สภาพบรรยากาศปกติเชื้อเจริญถึง 5.00 log cfu/g หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน

ลดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของผลไม้

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเนื่องจากการเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศ จะแสดงออกมาในรูปของการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ การดัดแปลงบรรยากาศช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดจากความเสียหายของเนื้อเยื่อได้ และทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนนิ่มช้าลง (Kader, 1986) จากการศึกษาของ Agar และคณะ (1999) พบว่า การเก็บรักษากีวีตัดแต่งที่อุณหภูมิ 0°ซ ในสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 0.5, 2 และ 4 kPa ทำให้มีการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 7, 12 และ 18 ตามลำดับ ซึ่งมีการลดลงน้อยกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

5.5 การใช้สารเคมี (chemical preservative)

การใช้สารเคมีที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ และคงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงของสด เช่น ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การสูญเสียกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ สำหรับการเลือกใช้สารเคมีในการป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ขึ้นกับชนิด และสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังขึ้นกับระยะการเจริญของเอนโดสปอร์ (endospore) สภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง a_w อุณหภูมิ สภาพบรรยากาศ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (Wiley, 1994) สารเคมีที่นิยมใช้ เช่น กรดซิตริก กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์หลักของผลไม้ตระกูลส้ม สตรอเบอรี่ มะเดื่อ และในผัก เช่น มะเขือเทศ ถั่ว เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการใช้กรดซิตริกในอาหารเพื่อเป็นสารป้องกันการเน่าเสีย ปรับค่าความเป็นกรดด่าง ให้กลิ่นรส รวมทั้งป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ โดยกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นตัวดักจับโลหะโดยไปจับกับคอปเปอร์ในเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Paos and Petracek, 1997) และสามารถดักจับโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และจุลินทรีย์ก่อโรคได้เช่นกัน (Beuchat and Golden, 1989)

เนื่องจากกรดซิตริกมีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะหนัก (chelating agent) ที่ได้จากธรรมชาติ จึงมีการนำมาใช้ในผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค จากการศึกษาของ Jiang และคณะ (2004) พบว่า การใช้กรดซิตริก 0.1 โมลาร์ในการเตรียมแห้วตัดแต่งพร้อมบริโภคมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นต่ำกว่านี้จะมีผลไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสแทน และการใช้กรดซิตริกควรใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก หรือกรดอีรีธอบิก มีผลเพื่อเสริมฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Wiley, 1994) จากการศึกษาของ Moline และคณะ (1998) พบว่า การใช้กรดซิตริก 0.5 โมลาร์ร่วมกับการใช้ N-acetyl-cysteine 0.05 โมลาร์ให้ผลดีในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของกล้วยตัดแต่งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 15°ซ เป็นเวลา 7 วัน

ชื่นใจ ศรีพงศ์พันธุ์กุล (2533) ได้ทำการศึกษาในมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล พบว่าการแช่มังคุดในสารละลายผสมของกรดซิตริกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 ที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 1 นาที สามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ พรพงษ์ สุทธิรักษ์ (2540) พบว่าการใช้สารเคมีดังกล่าวสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้ดีเช่นกัน

กรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซีโดยส่วนใหญ่จะใช้ในผักและผลไม้เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอื่น ๆ กรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลไม้แต่ต้องใช้ในปริมาณมากพอจึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ซึ่งอาจเติมลงในน้ำเชื่อมหรือแช่ผลไม้ลงในสารละลายกรดก่อนนำไปแปรรูป ซึ่งกลไกการทำงานของกรดแอสคอร์บิก คือ สามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารโพลีฟีนอลจากการกระทำของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนเป็นสารสีน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก สารควิโนนเกิดการสะสมมากขึ้นและดำเนินปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารสีน้ำตาลได้ (อินทิรา ลิจันทร์-พร, 2542)

จากการศึกษาของ Rocha และคณะ (1996) พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.75 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของชิ้นแอปเปิลเมื่อทำการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4°ซ และด้วยเหตุผลที่ว่ากรดแอสคอร์บิกมีราคาสูง และมีความคงตัวต่ำจึงมีการทดลองใช้สารอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก เช่น กรดอีรีธอบิก แทน จากการศึกษาของ Manurakchinakorn และคณะ (2004a) พบว่า การใช้โซเดียมอีรีทรอเบทร้อยละ 2 ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 30 นาที มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดสดตัดแต่งพร้อมบริโภค (มังคุดคัด) และจากการศึกษาของ Saper และ Miller (1992) พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2.5 ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก-2-ฟอสเฟตร้อยละ 1.9 และกรดแอสคอร์บิกไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 1.5 สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันฝรั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้พบว่า การใช้สารละลายไอโซแอสคอร์บิก 0.1 โมลาร์ให้ผลดีที่สุด รองลงมาเป็นอะซิตัลซีสเตอีน 0.05 โมลาร์และแอสคอร์บิก 0.05 โมลาร์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในชิ้นสับปะรดเมื่อทำการเก็บรักษาในถาดพลาสติกโพลีสไตรีนหุ้มด้วยพาราฟินเป็นเวลา 14 วันที่อุณหภูมิ 10°ซ (Gonzalez-Aguilar *et al*., 2004)

5.6 การใช้หลายปัจจัยร่วมกัน

การใช้หลายปัจจัยร่วมกันในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นวิธีที่ได้นำแนวคิดมาจากเทคโนโลยีเฮอเดิล (hurdle technology) เช่น การใช้ความร้อน การควบคุม a_w การแช่เย็น การควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการเจริญของ จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เน่าเสีย และจุลินทรีย์ก่อโรคโดยที่ยังคงคุณลักษณะความสดมากที่สุด (Casey and Condon, 2002) ซึ่งแต่ละปัจจัยที่นำมาใช้มีกลไกการทำลาย

จุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 รวมทั้งมีระดับความรุนแรงต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการทำลายไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของแต่ละปัจจัย ระยะเวลาในการสัมผัสอาหาร และชนิดของอาหารนั้น ๆ เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดไวต่อความร้อน จึงถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ในขณะที่จุลินทรีย์บางชนิดมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้ดีแต่ไวต่อสารเคมีหรือเมื่อค่าความเป็นกรดด่างของอาหารต่ำลง

ตัวอย่างการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคชนิดต่าง ๆ โดยใช้หลายปัจจัยร่วมกัน เช่น การเก็บมะละกอตัดแต่งพร้อมบริโภคในสารละลายที่ปรับค่า a_w ให้เท่ากับ 0.98 ด้วยน้ำตาลซูโครส พร้อมทั้งปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เท่ากับ 3.5 ร่วมกับการเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ คือ โพแทสเซียมซอร์เบตความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม และโซเดียมไทโอซัลไฟต์ความเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°ซ พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 5 เดือนตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1.00 log cfu/g นอกจากนี้ยังมีการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคชนิดอื่นโดยใช้หลายปัจจัยร่วมกัน ดังตารางที่ 4 (Tapia de Daza *et al*., 1996) ซึ่งการเลือกใช้แต่ละปัจจัยควรคำนึงถึงความปลอดภัย และคงคุณภาพใกล้เคียงกับของสด รวมทั้งการยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยเช่นกัน (Wiley, 1994)

ตารางที่ 3 ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการทำลายเซลล์และสปอร์ของจุลินทรีย์

Effect of various factors on the damage of cell and spore of microorganism

Effect	Effect on microorganism
Cell	
1. Reducing a_w value	Loss of water
2. Reducing pH value	
strong acid	Enzyme on surface cell membrane was damaged and pH value of cytoplasm was decreased due to the proton diffusing into inside of the cell
weak acid	Non-ionize weak acid diffuses to the inside of the cell causing pH value of cytoplasm to decrease which result in DNA protein and amino acid when was ionized
3. Low temperature	Growth rate decreased
4. Heating	Cell membrane DNA RNA damaged and inhibited activity of enzyme
5. Irradiation	DNA damaged
Spore	
1. Heat	Purine and pyrimidine in DNA of spore damaged

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tapia de Daza และคณะ (1996)

ตารางที่ 4 การเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคและทั้งผลโดยใช้ปัจจัยร่วม

Using combination inhibition factors on preservation fresh-cut and intact fruit

Fruit	Combination inhibition factors	Storage temperature (^{o}C)	Shelf life (months)
slice peach, halves	blanching (vapor, 2 min) a_w = 0.98 (sucrose) pH 3.7 150 ppm of Sodium hydrogen sulfite 1000 ppm of Potassium sorbate	35	3
mango	blanching (vapor, 4 min) a_w = 0.97 (sucrose) pH 3.0 150 ppm of Sodium hydrogen sulfite 1000 ppm of Potassium sorbate	35	4.5
papaya	blanching (vapor, 3 min) a_w = 0.98 (sucrose) pH 4.1 1000 ppm of Potassium sorbate	35	4
passion fruit	blanching (vapor, 3 min) a_w = 0.98 (sucrose) pH 3.0 150 ppm of Sulfurdioxide 400 ppm of Potassium sorbate	30	4
plum	blanching (vapor, 3 min) a_w = 0.98 (sucrose) pH 3.0 1000 ppm of Potassium sorbate	25	4

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tapia de Daza และคณะ (1996)

6. การบรรจุและบรรจุภัณฑ์

การบรรจุจัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตที่นับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อธุรกิจการค้าในปัจจุบัน จากการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารและการขยายตัวของตลาดอาหารในประเทศขณะนี้ ทำให้อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มีความสำคัญโดดเด่นมากขึ้นและได้กลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป สำหรับหน้าที่พื้นฐานของบรรจุภัณฑ์มีรายละเอียดดังนี้

1. เพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ให้สามารถขนถ่ายเป็นหน่วยเดียวกัน โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายตลอดการขนส่ง การเก็บรักษา และมีความสะดวกรวดเร็วในการขนส่งและขนถ่าย หากเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการวางจำหน่าย บรรจุภัณฑ์ควรดึงดูดใจผู้ซื้อ ณ จุดขาย

2. เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์จากอันตรายระหว่างการขนส่ง ขนถ่าย และการเก็บรักษาเพื่อลดการสูญเสีย อีกทั้งช่วยรักษาผลิตภัณฑ์ให้คงสภาพมีคุณภาพดีและยังเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

3. เพื่อบอกถึงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ เช่น ชนิด คุณภาพ ขนาด แหล่งผลิต อันเปรียบเสมือนผู้ขายเงียบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สัมพันธ์กับเครื่องหมายการค้า หากผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีก็จะเป็นการสร้างความเชื่อถือให้กับผู้ซื้อได้

การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกบรรจุอาหารเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากราคาถูก มีลักษณะใสหรือขุ่นได้ตามต้องการ ป้องกันไอน้ำและอากาศ ไม่เปราะหรือแตกหักง่าย มีน้ำหนักเบาในการสะดวกในการขนส่ง สามารถออกแบบให้สวยงาม และรูปร่างขนาดพอเหมาะกับการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการถนอมอาหารได้ดี

สำหรับการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศในเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคกับอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ เพื่อการได้มาซึ่งสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่ต้องการและรักษาสภาวะนั้นไว้ได้ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาผลิตผลภายในบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมควรคำนึงถึง อัตราการหายใจของผลิตผล ปริมาณผลิตผลที่บรรจุภายในบรรจุภัณฑ์ พื้นที่ของบรรจุภัณฑ์ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ เป็นต้น สำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการใช้ร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีศักยภาพในการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาวะดัดแปลงบรรยากาศ

Permeability characteristics of several plastic films with potential for use as modified atmosphere packaging of fresh-cut fruits and vegetables

Film type	Transmission rates		
	O_2*	CO_2*	Water vapor**
Low-density polyethylene (LDPE)	3,900 - 13,000	7,700 - 77,000	6 - 23.2
Linear low density polyethylene (LLDPE)	7,000 - 9,300	-	16 - 31
Medium-density polyethylene (MDPE)	2,600 - 8,293	7,700 - 38,750	8 - 15
High-density polyethylene (HDPE)	520 - 4,000	3,900 - 10,000	4 - 10
Polypropylene (PP)	1,300 - 6,400	7,700 - 21,000	4 - 10.8
Polyvinylchloride (PVC)	620 - 2,248	4,263 - 8,138	> 8
Polystyrene (PS)	2,000 - 7,700	10,000 - 26,000	108.5 - 155
Ethylene vinyl acetate copolymer	8,000 - 13,000	35,000 - 53,000	60
Rubber hydrochloride (Pliofilm)	130 - 1,300	520 - 5,200	> 8
Polyvinylidine chloride (PVDC)	8 - 26	59	1.5 - 5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wiley (1994)

* O_2 and CO_2 transmission rates are expressed in terms of $cm^3/m^2/day/atm$ at 22-25 ^oC and various or unreported RH.

** Water vapor transmission rates are expressed in terms of $g/m^2/day$ at 37.8^oC and 90% RH.

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคควรพิจารณาจากสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ที่สำคัญ ได้แก่

อัตราการซึมผ่านของแก๊ส (gas permeability)

โดยทั่วไปเมื่อต้องการเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคควรเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำ ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติต่อผลิตผลได้ และควรมีอัตราส่วนระหว่างการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนมากกว่าหรือเท่ากับ 3-6 เท่า เพราะจะทำให้เกิดสภาวะสมดุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งหากต้องการใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดีมาก ควรเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนไม่เกิน 2 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ ส่วนวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของแก๊สดีปานกลาง จะมีค่าอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนประมาณ 20-30 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)

ผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยทั่วไปมีน้ำประมาณร้อยละ 80-95 และจะสูญเสียไประหว่างการเก็บรักษา ซึ่งทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อได้ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคควรคำนึงถึง อัตราการหายใจของผลิตผลเป็นสำคัญ ถ้าผลิตผลเป็นผลไม้กลุ่มนอนไคลแมคเทอริก ซึ่งอัตราการหายใจไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการสุก ควรเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ (มากกว่าหรือเท่ากับ 4 กรัม/ม.^{2}/วัน) (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538) เนื่องจากผลิตผลมีการคายน้ำน้อย ในขณะที่ผลิตผลกลุ่มไคลแมคเทอริกซึ่งมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นระหว่างกระบวนการสุกจึงมีการคายน้ำมาก ดังนั้นควรเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีพอสมควรในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียความชื้นของผลิตผล แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียความชื้นของผลิตผลยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยเช่นกัน ซึ่งหากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 85-90 จะส่งผลต่อการสูญเสียความชื้นได้ ในทางกลับกัน ถ้าเพิ่มมากเกินจนถึงจุดอิ่มตัวร้อยละ 100 ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่ายขึ้นนั่นเอง

ตัวอย่างงานวิจัยที่เก็บรักษาชิ้นแอปเปิลตัดแต่งหนาประมาณ 1/4 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 1°ซ ในถุงพีวีซี ที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สเท่ากับ 15 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ สามารถ

ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 9 วัน โดยไม่เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (Bett *et al*., 2001) และเสาวคนธ์ บุญนา (2545) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดในการเก็บรักษาเนื้อขนุนสดตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ฟิล์มยืดพีวีซี และถุงพลาสติกไนลอน/แอลแอลดีพีอี ที่มีอัตราการซึมผ่านแก๊สเท่ากับ 11,220 และ 95 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 5^{o}ซ พบว่า เนื้อขนุนสดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกไนลอน/แอลแอลดีพีอีเกิด chilling injury ได้ช้ากว่าฟิล์มยืดพีวีซี 2 วัน

และเนื่องจากการดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจาก chilling injury ได้ เสาวคนธ์ บุญนา (2545) จึงทำการทดลองเก็บรักษาเนื้อขนุนสดตัดแต่งพร้อมบริโภคในถุงพลาสติกไนลอน/แอลแอลดีพีอี ร่วมกับซองบรรจุสารดูดซับออกซิเจน และให้คาร์บอนไดออกไซด์ (ซึ่งประกอบด้วย ผงเหล็ก เกลือแกง โซเดียมไบคาร์บอเนต และกรดแอสคอร์บิก ในอัตราส่วน 2 : 2 : 1 : 1) ที่อุณหภูมิ 5^{o}ซ พบว่า เนื้อขนุนสดตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่ปรากฏการเกิด chilling injury และกลิ่นผิดปกติตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน

นอกจากนี้ Kim และคณะ (2004) ได้ทำการเก็บรักษากะหล่ำปลีตัดแต่งขนาด 5 x 5 ซม. ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สเท่ากับ 8.0, 16.6 และ 21.4 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 5^{o}ซ เป็นเวลา 25 วัน พบว่า อัตราการซึมผ่านของแก๊สมีผลต่อคุณภาพของกะหล่ำปลีตัดแต่ง โดยเมื่อทำการเก็บรักษากะหล่ำปลีตัดแต่งในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สเท่ากับ 16.6 และ 21.4 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ จะทำให้กะหล่ำปลียังสดและมีคะแนนการยอมรับรวมจากผู้บริโภคในระดับชอบมาก นอกจากนี้พบว่า ปริมาณของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 10 จนสิ้นสุดการเก็บรักษา (ประมาณ 1.4 และ 3.6 กับ 3.8 และ 6.3 kPa ในถุงพลาสติกโพลี เอทิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สเท่ากับ 16.6 และ 21.4 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ ตามลำดับ) แต่เมื่อเก็บรักษาในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สเท่ากับ 8.0 ซม.^{3}/ม.^{2}/วัน/ความดันบรรยากาศ ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำเกินไปและเมื่อทำการวัดปริมาณแก๊สออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ พบว่า แก๊สออกซิเจนลดลงอย่างต่อเนื่องและเหลือ 0 kPa เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลาเพียง 10 วัน

นอกจากอัตราการซึมผ่านแก๊สของวัสดุบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคแล้ว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำก็มีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลด้วยเช่นกัน ตัวอย่างงานวิจัยที่เก็บรักษาลูกแพร์ตัดแต่ง (น้ำหนัก 150 กรัม/ถาด) หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี หนา 15 x 10^{-6} ม. ที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 10 กรัม/ม.^{2}/วัน ที่

อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า สามารถรักษาความชื้นในบรรจุภัณฑ์ได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนัก โดยจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพียง 0.15 กรัม/100 กรัม เมื่อเทียบจากน้ำหนักเริ่มต้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน (Piga *et al*., 2003) และการใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากก็จะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาของ Pirovani และคณะ (1997) ทำการเปรียบเทียบวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิดในการเก็บรักษากะหล่ำปลีตัดแต่งยาว 3 มม. ที่อุณหภูมิ 3°ซ เป็นเวลา 8 วัน คือ (1) ถุงพลาสติกโพลีโพรพีลีนขนาด 170 x 150 ซม. หนา 30×10^{-6} ม.ที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 3-5 กรัม/ม.^{2}/วัน (2) ถาดโพลีเอทิลีนแบบกึ่งแข็งขนาด 130 x 100 x 40 มม. หุ้มด้วยฟิล์มยืดโพลีโอลีฟีน หนา 15 x 10^{-6} ม. ที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 25-33 กรัม/ม.^{2}/วัน (3) ถาดโพลีเอทิลีนแบบกึ่งแข็งขนาด 130 x 100 x 40 มม. หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี หนา 13 x 10^{-6} ม. ที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 460 กรัม/ม.^{2}/วัน ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 0.08 0.40 และ 0.93 ตามลำดับเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของชนิด ความเข้มข้น และระยะเวลาการใช้สารป้องกันการเสื่อมคุณภาพของมังคุดคัด
2. ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามังคุดคัดโดยการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงและบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิต และแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของมังคุดคัดในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและรักษาเนื้อสัมผัส โดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกกับแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม รวมทั้งการยืดอายุการเก็บรักษามังคุดคัดในบรรจุภัณฑ์และสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 10^{o}ซ