บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย (*Dimocarpus longan* Lour.) เป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย จีน อินเดีย และเวียดนาม ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลลำไยรายใหญ่ของโลก ลำไยมีชื่อสามัญว่า longan หรือ lungan, longyen และ linkeng จัดอยู่ในตระกูล Sapindaceae สกุล Euphoria และสายพันธุ์ Longana ลำไยเป็นไม้ผลยืนต้นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับไม้ผลชนิดอื่นที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน ได้แก่ ลิ้นจี่ และเงาะ พันธุ์ลำไยที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีดังนี้ (กลุ่มเกษตรสัญจร , 2545; วิชา, 2545; พาวินและคณะ, 2547)

1. พันธุ์ดอหรืออีดอ เป็นพันธุ์ที่ชาวสวนในภาคเหนือนิยมปลูกกันมากที่สุด สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์อื่นๆ ทำให้จำหน่ายได้ราคาสูง (ต้นฤดู) และสามารถส่งจำหน่ายตลาดต่างประเทศได้ ผลมีรูปทรงกลมแป้นและเบี้ยวเล็กน้อย ผิวเปลือกสีน้ำตาล ลักษณะผิวเปลือกเป็นกระหรือเป็นตาห่างๆ เนื้อในหนา 0.5 เซนติเมตร ไม่กรอบหรือค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น รสหวาน กลิ่นหอม และเมล็ดขนาดใหญ่ปานกลาง ประมาณ 1.17 เซนติเมตร
2. พันธุ์เบี้ยวเขียวหรืออีเบี้ยว เป็นลำไยที่ออกดอกและติดผลช้ากว่าพันธุ์อื่นๆ มีผลขนาดใหญ่กว่าทุกพันธุ์ รูปทรงของผลเบี้ยวมากอย่างเห็นได้ชัด เปลือกหนาและเหนียว ผิวเปลือกเรียบ สีเขียวอมน้ำตาล เนื้อหนา 0.6 เซนติเมตร แห้งกรอบ สีขาวขุ่น รสหวานจัด กลิ่นหอม และมีขนาดของเมล็ดค่อนข้างเล็ก ประมาณ 1.07 เซนติเมตร
3. พันธุ์สีชมพูหรืออีออน รูปทรงของผลค่อนข้างกลมแต่เบี้ยวเล็กน้อย ผิวเปลือกเรียบไม่ขรุขระ สีน้ำตาลอมแดง เปลือกหนา แข็ง และเปราะ ส่วนเนื้อหนาปานกลาง มีสีชมพูเรื่อๆ เมื่อผลแก่จัดสีของเนื้อจะมีสีชมพูเข้มมากขึ้น มีรสหวาน กลิ่นหอม และมีขนาดของเมล็ดค่อนข้างเล็ก ประมาณ 1.12 เซนติเมตร

แหล่งผลิตลำไยในประเทศไทยที่สำคัญ คือจังหวัดที่อยู่ในเขตภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน และพะเยา (พาวินและคณะ, 2547) เนื่องจากผลลำไยมีรสหวานและกลิ่นหอม จึงเป็นที่นิยมบริโภคของทั้งคนไทยและต่างประเทศ ผลลำไยมีคุณค่าทางโภชนาการดังแสดงในตารางที่ 2.1

ผลลำไยที่ผลิตในประเทศไทยสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลลำไยสด : ฮ่องกง อินโดนีเซีย จีน สิงคโปร์

ผลและเนื้อลำไยอบแห้ง : จีน ฮ่องกง เกาหลีใต้ สิงคโปร์

เนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง : ฮ่องกง สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน

เนื้อลำไยกระป๋อง : มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฝรั่งเศส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง

สารอาหาร	หน่วย	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น	ร้อยละ	81.10	17.80
ไขมัน	ร้อยละ	0.11	0.40
เส้นใย	ร้อยละ	0.28	1.60
โปรตีน	ร้อยละ	0.97	4.60
เถ้า	ร้อยละ	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	16.98	72.70
ค่าพลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี/100 กรัม	72.79	311.80
แคลเซียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	5.70	27.70
เหล็ก	มิลลิกรัม/100 กรัม	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม/100 กรัม	35.30	159.50
วิตามินซี	มิลลิกรัม/100 กรัม	69.20	137.80
โซเดียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	4.50
โพแทสเซียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	2,012.00
ไนอะซิน	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	3.03
กรดแพนโททินิก	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	0.57
วิตามินบีสอง	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	0.37

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยสดมีคาร์โบไฮเดรต 16.98% โดยส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรักโทส และซูโครส (Jiang *et al*., 2002) นอกจากนี้ยังมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดกลูโคนิก กรดมาลิก กรดซิตริก และอื่นๆ รวมทั้งมีกรดแอมิโนอีก 9 ชนิด ส่วนเนื้อลำไยแห้งประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น มีโพแทสเซียมสูง และยังมีทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ลำไยเป็นผลไม้ประเภทที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกพร้อมบริโภค (non-climacteric) ไม่สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่จัดแล้วนำมาบ่มให้สุกเพื่อเพิ่มรสหวานให้มากขึ้นเหมือนผลไม้ที่สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่และนำมาบ่มให้ผลสุก (climacteric fruit) เช่น กล้วย มะม่วง และมะละกอได้ ปริมาณน้ำตาลของผลลำไยจึงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวลำไยที่เหมาะสม (ดนัย, 2535) การเก็บเกี่ยวผลลำไยจะใช้วิธีสังเกตด้วยสายตา วิธีวัดปริมาณน้ำตาลหรือชิมรส การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาเพื่อชะลอการสูญเสียและรักษาคุณภาพ ต้องกระทำด้วยความระมัดระวังและมีประสิทธิภาพ (Jiang *et al*., 2002) ลำไยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจปานกลาง อัตราการหายใจของผลลำไยอยู่ในช่วง 11-20 มิลลิลิตร CO_2 ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5 องศา-เซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลลำไย คือที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส ซึ่งเก็บรักษาได้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ (Kader, 2002)

แนวทางการพัฒนาลำไยของประเทศไทยกำลังได้รับการสนับสนุนให้มีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล เน้นการผลิตลำไยที่มีคุณภาพในทุกขั้นตอนของการผลิตตามระบบ Good Agricultural Practice (GAP) และส่งเสริมให้มีการแปรรูปให้มีผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ มากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลลำไย และลดปัญหาผลลำไยล้นตลาด

2.2 ผลไม้สดพร้อมบริโภค

ผลไม้สดพร้อมบริโภค (minimally processed fruit) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปตามขั้นตอนต่างๆ เช่น การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัดแต่ง การหั่นชิ้น การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ การบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่ผลไม้สดพร้อมบริโภคยังคงเป็นเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ ดังนั้นในขั้นตอนการแปรรูปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีบาดแผล เกิดความบอบช้ำ และเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่าย ส่งผลทำให้เน่าเสียได้เร็วและมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผลไม้สดทั้งผล ซึ่งตรงข้ามกับการแปรรูปโดยการอบแห้ง หรือการบรรจุกระป๋อง แต่การแปรรูปของผลไม้สดพร้อมบริโภคมีข้อดี คือสามารถรักษาคุณภาพไว้ได้ใกล้เคียงกับผลไม้สดมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การแปรรูปด้วยวิธีอื่นๆ (จริงแท้, 2549) ปัจจุบันผลไม้สดพร้อมบริโภคกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เพราะผู้บริโภคสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น อีกทั้งยังต้องการความรวดเร็ว และความสะดวกสบายในการบริโภค (Allende *et al*., 2006) ผลไม้สดพร้อมบริโภคจึงเป็นที่นิยมกันมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ผ่านขั้นตอนในกระบวนการผลิตเพียงเล็กน้อย จึงมีชื่อภาษาอังกฤษเรียกว่า minimally processed fruit

แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศไทยผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้จะวางจำหน่ายในตลาดสด และซูเปอร์มาเกต โดยในตลาดสดพบว่าผู้ผลิตจะวางผลิตภัณฑ์ใส่ถาดวางจำหน่ายไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรือวางไว้บนก้อนน้ำแข็ง ส่วนในซูเปอร์มาเกตมีการนำผลไม้สดพร้อมบริโภคบรรจุในถาดโฟมและหุ้มด้วยแผ่นฟิล์ม และมีระบบควบคุมอุณหภูมิระหว่างจำหน่ายโดยวางไว้ในตู้แช่เย็น (จันทร์สุดา, 2540)

กระบวนการผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคมีจุดประสงค์ 2 ประการคือ

1. รักษาผลิตภัณฑ์ให้มีความสด มีปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด
2. ยืดอายุการเก็บรักษาให้นานพอที่จะจำหน่ายได้อย่างเหมาะสมและยังมีคุณภาพสำหรับการบริโภคที่ดี (Laurila and Ahvenainen, 2002)

ผลิตภัณฑ์ผลไม้สดพร้อมบริโภคที่ผ่านการปอกเปลือก ตัด หรือหั่นออกเป็นชิ้นเล็กๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และความต้องการของผู้บริโภค การปฏิบัติดังกล่าวทำให้เซลล์ของผลไม้ถูกทำลาย สารต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์จะรั่วไหลออกมา รวมทั้งน้ำตาลและกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งสารที่รั่วไหลออกมาจะเป็นอาหารสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนได้ในขั้นตอนการแปรรูป (จริงแท้, 2549) โดยที่ผลิตภัณฑ์ผลไม้สดพร้อมบริโภคนั้นจะมีความชื้นสูง มีสารอาหาร เช่น น้ำตาลมาก และมีพื้นที่ผิวตามรอยตัดหรือการหั่นชิ้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไวต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าผลไม้ทั้งผล (Jay, 2000)

Rocha และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคและอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจในแครอทหั่นชิ้นแบบต่างๆ ที่เก็บรักษาไว้ในขวดแก้วที่อุณหภูมิ 4 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งอัตราการหายใจได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นอย่างดี ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และการหั่นแครอทเป็นชิ้นขนาดเล็กๆ จะทำให้มีอัตราการหายใจสูงกว่าการหั่นชิ้นขนาดใหญ่ จึงมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง

ในต่างประเทศมีรายงานการเจ็บป่วยเนื่องจากการบริโภคผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคหลายครั้ง และบางครั้งมีอันตรายถึงกับทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิตด้วย ดังนั้นขั้นตอนในกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคจึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด จึงควรนำหลักการ Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) ที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมาใช้กับกระบวนการผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคด้วย เริ่มตั้งแต่ศึกษาการเขียนลำดับขั้นตอนต่างๆ ในการเตรียมวัตถุดิบ การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนอย่างละเอียด เพื่อหาขั้นตอนที่เป็นปัญหา ดัดแปลงขั้นตอนนั้นให้ปลอดภัย และคอยเฝ้าระวังขั้นตอนที่เป็นปัญหานี้ และใช้หลักการนี้ตลอดทั้งกระบวนการผลิต มาตรการป้องกันการปนเปื้อนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคถือว่าเป็นธุรกิจใหม่ที่อาจเปิดตลาดใหม่ได้อย่างกว้างขวาง หากมีปัญหาเรื่องความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค อาจทำให้ธุรกิจนี้ทั้งหมดต้องหยุดลง (จริงแท้, 2549)

ผักและผลไม้สดบางชนิดมีอายุการเก็บรักษาได้นานหลายสัปดาห์หรืออาจเป็นเดือน แต่ผลของกระบวนการผลิตอาจทำให้ผักและผลไม้สดนั้นมีอายุการเก็บรักษาสั้นลงโดยเก็บรักษาได้เพียง 1-3 วันในห้องเย็น และผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคจะมีคุณภาพลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลทำให้สี เนื้อสัมผัส และรสชาติเปลี่ยนไป (Laurila and Ahvenainen, 2002) Durigan และคณะ (2005) ได้ศึกษากระบวนการผลิตฝรั่งสดพร้อมบริโภค โดยนำฝรั่งพันธุ์ Paluma มาปอกเปลือกและไม่ได้ปอกเปลือกหั่นชิ้นครึ่งผล และคว้านเมล็ดออก บรรจุในถาดพอลิสไตรีน ปิดทับด้วยฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) หรือกล่องพลาสติกพอลิเอทิลีนทีเลฟทาเลต (polyethylene terephtalate, PET) ที่มีฝาปิด เก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5, 10 และอุณหภูมิห้อง (22.6 องศาเซลเซียส) พบว่าการปอกเปลือกไม่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำหนัก แต่การปอกเปลือกทำให้ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง การเก็บรักษาเนื้อฝรั่งสดที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน มีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำมาก ($<10^3$ cfu/กรัม) และไม่มีโคลิฟอร์ม ส่วนเนื้อฝรั่งสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการเจริญของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วและมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นคือประมาณ 3-4 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 คุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภค

ปัจจัยที่กำหนดคุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภคมีดังนี้

1. คุณภาพที่ปรากฏให้เห็น เช่น ขนาด รูปร่าง สี ปราศจากจุดด่างดำ และการเน่าเสีย ลักษณะปรากฏเหล่านี้อาจเกิดได้ตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น ได้รับความเสียหายจากแมลง โรค และนก เป็นต้น
2. คุณภาพเนื้อสัมผัส เช่น ความแน่นเนื้อ ความกรอบ ความฉ่ำน้ำ ความแห้ง และความเหนียว คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลไม้สดพร้อมบริโภคไม่เพียงแต่มีความสำคัญต่อคุณภาพการบริโภคเท่านั้น ยังมีความสำคัญต่อการขนส่งสินค้าอีกด้วย
3. คุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น รสหวาน รสเปรี้ยว (ความเป็นกรด) รสขม รสฝาด กลิ่น และรสชาติที่ผิดปกติ คุณภาพทางประสาทสัมผัสจะเกี่ยวข้องกับสารประกอบที่ระเหยได้ และสารที่ให้รส ซึ่งรับรู้ได้ด้วยการดมกลิ่นและการชิม
4. คุณค่าทางโภชนาการ ผักและผลไม้สดเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งของวิตามินต่างๆ (เช่น วิตามินซี แคโรทีน วิตามินบีหก ไทอะมีน ไนอะซิน) แร่ธาตุต่างๆ (เช่น แมกนีเซียมและโพแทสเซียม) เส้นใยอาหาร และสารอื่นๆ ส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ เหล่านี้อาจช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่างๆได้ เช่น เส้นใยอาหารช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง และโรคหัวใจ อย่างไรก็ตาม ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้สดจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะวิตามินซีสามารถสูญเสียได้เนื่องจากมีการเสียหายทางกายภาพ การเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และเกิดอาการสะท้านหนาว (Kader, 2002)

2.4 วัตถุเจือปนอาหาร

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 119 (พ.ศ. 2532) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ดังนี้

“วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง วัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีในการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือมาตรฐาน หรือลักษณะของอาหาร และให้หมายความรวมถึงวัตถุที่มิได้ใช้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย”

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหารตามที่คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission, CAC) ให้การรับรอง ในปี ค.ศ. 1972 ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า

“วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงสารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางโภชนาการ หรือไม่มีคุณค่าทางโภชนาการก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหารก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมถึงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส) กรรมวิธีในการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้น และมีผลหรืออาจมีผลทั้งทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้นกลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึงสารปนเปื้อนหรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร” (ศิวาพร, 2546)

ปัจจุบันความต้องการใช้วัตถุเจือปนอาหารในอุตสาหกรรมอาหารได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวัตถุเจือปนอาหารมีประโยชน์หลายประการ เช่น มีส่วนช่วยในการถนอมหรือยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ช่วยป้องกันการเน่าเสียของอาหาร นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ทำให้ต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ๆ ขึ้น ซึ่งการที่จะพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น วัตถุเจือปนอาหารมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก

2.5 การเน่าเสียของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

ในการผลิตและจำหน่ายอาหารนั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมคุณภาพเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ดี เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตาม ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นหน้าที่ของผู้ผลิตด้วยเช่นกัน ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตของผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงต้องมีความรู้อย่างเพียงพอเกี่ยวกับการผลิตอาหารให้ปลอดภัยตาม Food Sanitation Law และ Product Liability Law ด้วย นอกจากนี้อาหารที่ผลิตยังต้องมีความสมบูรณ์ (wholesomeness) ด้านคุณลักษณะที่อาหารพึงมี เช่น คุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ ดังนั้นการผลิตอาหารจึงต้องควบคุมด้านคุณภาพที่มีลักษณะพิเศษเพิ่มเติม ซึ่งแตกต่างจากธุรกิจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อื่นๆ เช่น การมีสุขลักษณะการผลิตที่ดี เพื่อให้อาหารนั้นปลอดภัยและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เป็นต้น

จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา มักจะปนเปื้อนอยู่ทั่วไปทั้งในวัตถุดิบ และในสภาพแวดล้อมของกระบวนการผลิต ซึ่งบางครั้งผู้ผลิตไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตาว่ามีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในอาหารหรือไม่ จึงต้องคำนึงอยู่เสมอว่าจุลินทรีย์เหล่านี้มีโอกาสที่จะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารได้

ลักษณะการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. การปนเปื้อนของสารพิษ (intoxication) ที่สร้างโดยจุลินทรีย์ เมื่อบริโภคอาหารที่มีสารพิษจึงทำให้เกิดโรคอันเนื่องจากสารพิษนั้น
2. การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และทำให้อาหารเน่าเสีย (Inoue, 2546)

ปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค คือ เมื่อจุลินทรีย์เจริญในอาหารจะไม่ทำให้อาหารเกิดการแปรสภาพ เช่น ไม่ทำให้กลิ่นหรือรสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถทราบถึงความผิดปกติได้ ซึ่งแตกต่างจากการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา ดังนั้น เป้าหมายสำคัญของการควบคุมจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร คือ การควบคุมจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเป็นพิษไม่ให้มีการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค (Inoue, 2546)

ผลไม้สดหลายชนิดมีน้ำตาล และกรดอินทรีย์อยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการเน่าเสียโดยยีสต์และรา นอกจากนั้นราจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วเมื่อผลไม้มีบาดแผล (Hsu, 1986) อย่างไรก็ตาม ผลไม้มักเกิดการเน่าเสียได้โดยจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา เนื่องจากผลไม้มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.97-0.99 จึงเหมาะสมที่จุลินทรีย์หลายชนิดจะสามารถเจริญได้ จุลินทรีย์ที่อยู่ในผลไม้และผลิตภัณฑ์ของผลไม้เหล่านี้ เป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจากดินและน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่มีจุลินทรีย์ไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่สามารถเจริญได้ในผลไม้ ซึ่งจุลินทรีย์ที่เจริญได้นั้น มักเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถยึดเกาะอย่างเหนียวแน่นที่บริเวณผิวของผลไม้ โดยจุลินทรีย์จะไม่หลุดออกมาภายหลังการล้าง และยังเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถใช้ผลไม้เป็นอาหารได้ ตัวอย่างเช่น กรดแล็กทิกแบคทีเรีย ยีสต์ และแบคทีเรียก่อโรคในพืช (บุษกร, 2550)

เมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการผลิต กรรมวิธีการผลิตยังอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนเพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น การปอกเปลือก และการหั่นชิ้น ซึ่งการกระทำดังกล่าวทำให้เซลล์พืชสูญเสียความแข็งแรง สารอาหารภายในเซลล์จึงไหลออกมาภายนอก ทำให้จุลินทรีย์ที่ผิวพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญและเพิ่มจำนวน หากกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเหล่านี้ไม่หมดในระหว่างกระบวนการผลิตหรือระหว่างการประกอบอาหาร เมื่อนำไปบริโภคจะทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากอาหารที่เป็นพิษ (นภาพร, 2546) ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่มักพบอยู่ในสภาพแวดล้อมของโรงงานแปรรูปผักและผลไม้สด ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่พบในผลลำไย และตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและทำให้เกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่พบอยู่ในผลไม้สดพร้อมบริโภค รวมทั้งตารางที่ 2.5 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ที่พบในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในสภาพแวดล้อมของโรงงานแปรรูปผักและผลไม้สด

จุดที่พบจุลินทรีย์	ชนิดของจุลินทรีย์		
	แบคทีเรีย	ยีสต์	รา
ผักและผลไม้ และสภาพแวดล้อมในระหว่างการแปรรูป	*Aerobacter* spp.	*Candida* spp.	*Cladosporium* spp.
	Alcaligenes spp.	*Torula* spp.	*Alternaria* spp.
	Bacillus spp.	*Rhodotorula* spp.	*Botrytis* spp.
	Bacterium spp.	*Saccharomyces* spp.	*Epicoccum* spp.
	Achromobacter spp.	*Schizosaccharomyces* spp.	*Fusarium* spp.
	Chromobacterium spp.		*Glomerella* spp.
	Flavobacterium spp.		*Diaporthe* spp.
	Lactobacillus spp.		*Rhizopus* spp.
	Leuconostoc spp.		*Mucor* spp.
	Micrococcus spp.		*Aureobasidium* spp.
	Streptococcus spp.		*Trichoderma* spp.
	Staphylococcus spp.		*Sclerotinia* spp.
	Sarcina spp.		*Phomopsis* spp.
	Serratia spp.		*Aspergillus* spp.
			Phoma spp.

ที่มา: Inoue (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่พบในผลลำไย

จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค	ชนิดของจุลินทรีย์
แบคทีเรีย	*Enterobacter* sp.
	Acinetobacter sp.
รา	*Botryodiplodia* sp.
	Geotrichum candidum Link ex Pers.
	Penicillium sp.
	Rhizopus sp.
	Alternaria sp.
	Aspergillus sp.
	Fusarium spp.
	Lasiodiplodia theobromae
	Pestalotiopsis sp.
	Cladosporium spp.

ที่มา: Jiang *et al*. (2002)

ตารางที่ 2.5 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ที่มีรายงานว่าพบในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคชนิดต่างๆ เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มิใช่อาหารควบคุมเฉพาะ โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้มีการกำหนดสำหรับอาหารพร้อมบริโภคที่เป็นผักและผลไม้สดที่ล้างแล้วให้มียีสต์น้อยกว่า 4 log cfu/กรัม ราน้อยกว่า 2.70 log cfu/กรัม *E.coli* น้อยกว่า 1 log cfu/กรัม และต้องไม่พบ *Salmonellae* ต่อ อาหาร 25 กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2551) และข้อกำหนดคุณภาพทางจุลินทรีย์สำหรับอาหารพร้อมบริโภคของ PHLS Central Public Health Laboratory กำหนดให้ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด น้อยกว่า 7 log cfu/กรัม (Gilbert *et al*., 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 ชนิดของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและทำให้เกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่พบในผลไม้สดพร้อมบริโภค

ชื่อจุลินทรีย์	ปี ค.ศ. ที่ระบาด	ชนิดของผลไม้	จำนวนครั้งที่เกิด	สถานที่
E. coli O 157:H7	2005	สลัดผลไม้	18	บ้าน
Salmonella ser. Braenderup	2005	มะเขือเทศ	84	ภัตตาคาร หรือร้านขายอาหารสำเร็จรูป
Salmonella ser. Braenderup	2004	มะเขือเทศ	137	ภัตตาคาร หรือร้านขายอาหารสำเร็จรูป
Salmonella multiserotypes	2004	มะเขือเทศ	429	-
Salmonella spp.	2003	สตรอเบอรี	13	-
Salmonella ser. Muenchen	2003	แคนตาลูป, เมลอน	58	-
Salmonella ser. Newport	2003	เมลอนพันธุ์ฮันนีดิว	68	-
Salmonella ser. Berta	2002	แตงโม	29	-
Salmonella ser. Poona	2002	แคนตาลูป	26	-
Salmonella ser. Newport	2002	มะเขือเทศ	510	-
Salmonella ser. Newport	2002	สลัดผลไม้	51	-
Salmonella ser. Poona	2001	เมลอน, แตงโม	23	ภัตตาคาร
Salmonella ser. Saintpaul	2001	มะม่วง	26	บ้าน
Salmonella ser. Poona	2001	แตงโม	23	-
Salmonella ser. Poona	2001	แคนตาลูป, เมลอน	50	บ้าน
Salmonella ser. Senftenberg	2001	องุ่นเขียว	40	บ้าน
E. coli O 157:H7	2001	สาลี่	14	โรงเรียน
E. coli O 157:H7	2000	แตงโม	736	ภัตตาคาร
E. coli O 157:H7	2000	องุ่นแดง	14	ร้านขายของชำ
Salmonella ser. Poona	2000	แคนตาลูป	46	-
Salmonella ser. Newport	1999	มะม่วง	79	หลายแห่ง

ที่มา: Raybaudi-Massilia *et al*. (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค	จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/กรัม)			
	Total Count (Mesophilic)	Coliform Count	Lactic Acid Bacteria	Yeast and Molds
บรอกโคลี	4.70	2.10	-	3.25
แคนตาลูป	6.15	-	-	-
แครอทแท่ง	5.13	-	-	-
สลัดกะหล่ำปลี	4.07-7.08	-	ไม่พบ-2.40	ไม่พบ-2.20
เซเลอรีหั่นชิ้น	5.70	-	-	-
ผักกาดหอมหั่นชิ้น	5.30	-	-	-
ผักกาดหอม	6.39-7.69	4.14-5.29	-	-
ผักกาดหอมหั่นฝอย	4.85	-	-	-
สลัดผักกาดหอม	7.23-7.61	-	-	-
เห็ดตัดแต่ง	8.30	-	-	-
มันฝรั่งหั่นชิ้นบาง	2.00	-	-	-
มันฝรั่งหั่นลูกเต๋า	5.00	-	-	-
สลัดมันฝรั่ง	5.41-4.98	-	-	-
หัวผักกาดญี่ปุ่นหั่นชิ้น	3.9	-	-	-
ใบปวยเล้งตัดแต่ง	4.00	-	-	-

ที่มา: Heard (2002)

2.6 สารฆ่าเชื้อ

สารฆ่าเชื้อ คือสารเคมีที่ทำลายจุลินทรีย์ หรือยับยั้งให้จุลินทรีย์ไม่สามารถมีกิจกรรมของเมแทบอลิซึมใดๆ ได้อีก สารเคมีบางชนิดเป็นทั้งสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสารฆ่าจุลินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ใช้ ถ้าสารมีความเข้มข้นมากจะเป็นสารฆ่าจุลินทรีย์ ถ้าความเข้มข้นเจือจางอาจมีประสิทธิภาพเพียงยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยพบว่าสปอร์ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรียมีความทนทานต่อการถูกทำลายมากที่สุด สปอร์ของราทนทานต่อสารฆ่าเชื้อมากกว่าเซลล์ปกติ และราถูกทำลายได้ง่ายกว่ายีสต์ (บุษกร, 2550)

ตัวอย่างของสารฆ่าเชื้อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น

1. กรดแอซีติก (acetic acid)

กรดแอซีติก เป็นกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำ กรดนี้นำมาใช้ในการถนอมอาหารเนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย และมีความเป็นพิษน้อย กรดแอซีติกรวมทั้งเกลือโซเดียมแอซีเทต (sodium acetate) แคลเซียมแอซีเทต (calcium acetate) โซเดียมไดแอซีเทต (sodium diacetate) และแคล-เซียมไดแอซีเทต (calcium diacetate) ได้รับการยอมรับว่าใช้แล้วมีความปลอดภัย จึงสามารถนำมาใช้เป็นสารฆ่าจุลินทรีย์ เมื่อมีค่าพีเอช 4.5 หรือต่ำกว่า จัดเป็นสารแบคเทอริไซด์สำหรับฆ่าโคลิฟอร์มและซาลโมเนลลา โดยมีประสิทธิภาพในการฆ่าราได้น้อยกว่ายีสต์ (บุษกร, 2550)

การศึกษาผลของกรดอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ กรดแอซีติกและกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0 (น้ำกลั่น) 0.25 และ 0.5% ต่อคุณภาพของดอกกะหล่ำตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยแช่เป็นเวลา 5 นาที บรรจุลงในถาดโฟม หุ้มด้วยฟิล์มพอลิไวนิลคาร์บอเนต (PVC) และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และแบคทีเรีย-โคลิฟอร์มในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่การใช้กรดแอซีติกและกรดซิตริกสามารถชะลอการเจริญของยีสต์และรา และแบคทีเรียโคลิฟอร์มได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกรดแอซีติกและกรดซิตริกสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ผ่องเพ็ญและกฤษณ์ , 2550) ในขณะที่กรดแอซีติกความเข้มข้น 1% มีประสิทธิภาพในการลด *Listeria monocytogenes* ได้น้อยกว่ากรดแล็กทิก 1% เมื่อใช้แช่ผักกาดหอมเป็นเวลา 10 นาที โดยกรดแล็กทิกลดจุลินทรีย์ได้ 0.5 log cfu/กรัม และกรดแอซีติกลดได้ 0.2 log cfu/กรัม (Zhang and Farber, 1996)

2. กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์อ่อนๆ และเป็นสารกันเสียตามธรรมชาติ มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ กรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้น้อยกว่ากรดอื่นๆ และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม กรดซิตริกพบมากในผลไม้ตระกูลส้มโดยมีความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.005 โมลต่อลิตร และผลไม้ตระกูลมะนาวโดยมีความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.30 โมลต่อลิตร ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดซิตริกขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสถานที่ปลูกด้วย (บุษกร, 2550 และ Wikipedia, 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาผลของโอโซนร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ต่อการเน่าเสียและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยพันธุ์ดอ โดยนำผลลำไยไปแช่ในน้ำโอโซนความเข้มข้น 200 ไมโครลิตรต่อลิตร ที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และแช่ผลลำไยในสารละลายกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 0, 5 และ 10% น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าผลลำไยพันธุ์ดอที่แช่ในน้ำโอโซนสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์บนผิวของผลลำไยได้ และผลลำไยพันธุ์ดอที่ใช้น้ำโอโซนร่วมกับกรดออกซาลิกหรือกรดซิตริกสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) ดังนั้นการใช้น้ำโอโซนร่วมกับกรดออกซาลิก หรือกรดซิตริก จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการควบคุมการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Whangchai *et al.*, 2006)

ผลการศึกษาการใช้สารละลายกรดซิตริก 1.0% ในผักกาดหอมห่อพร้อมบริโภค โดยแช่สารละลายกรดซิตริก 1.0% เป็นเวลา 5 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าการแช่ผักกาดหอมห่อพร้อมบริโภคในสารละลายกรดซิตริก 1.0% สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองได้ประมาณ 3.10-4.76% (ธีรศักดิ์และดนัย, 2545) และการใช้กรดซิตริก 1 โมล ในการยืดอายุการเก็บรักษาแห้วพร้อมบริโภค พบว่าการแช่แห้วในสารละลายกรดซิตริก 1 โมล ใส่ถาดหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายกรดซิตริก 1 โมล สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Jiang *et al.*, 2004)

3. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่ทำลายจุลินทรีย์ได้ดี เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ H_2O_2 ในการฆ่าจุลินทรีย์ ได้แก่ ความเข้มข้นของ H_2O_2 ปริมาณจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ไอออนของสารอนินทรีย์ ระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าจุลินทรีย์ และวิธีการฆ่าจุลินทรีย์ เช่น การใช้ความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต หรือใช้สารกันเสียต่างๆ (บุษกร, 2550)

การใช้ H_2O_2 ร่วมกับไนซิน โซเดียมแล็กเทต และกรดซิตริก เพื่อลดจำนวนแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในเมลอน 2 พันธุ์ คือ แคนตาลูป และฮันนีดิว พบว่าการใช้ H_2O_2 1% ร่วมกับไนซิน 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โซเดียมแล็กเทต 1% และกรดซิตริก 0.5% ในผลเมลอน มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ (*Escherichia coli* O157:H7 และ *Listeria monocytogenes*) มากกว่าการใช้ H_2O_2 2.5% เพียงอย่างเดียว ซึ่งส่งผลให้เมลอนหั่นชิ้นปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค และทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมลอนหั่นชิ้นมีคุณภาพที่ดี (Ukuku *et al*., 2005) นอกจากนี้ผลการศึกษาการใช้ H_2O_2 ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0% เป็นเวลา 5 นาที บนแคนตาลูปทั้งผลและแคนตาลูปหั่นชิ้น พบว่าสามารถลดจุลินทรีย์ทั้งหมดบนผลแคนตาลูปได้ประมาณ 3 log cfu/ตารางเซนติเมตร และเมื่อเพาะเชื้อ *Salmonella* spp. $4.47x10^4$ cfu/ตารางเซนติเมตร บนผลแคนตาลูป สามารถลด *Salmonella* spp. ได้ 3 log cfu/ตารางเซนติเมตร และเมื่อเพาะเชื้อ *Salmonella* spp. $1.35x10^3$ cfu/ตารางเซนติเมตร บนแคนตาลูปหั่นชิ้น สามารถลด *Salmonella* spp. ในแคนตาลูปหั่นชิ้น เหลือ 1 log cfu/ตารางเซนติเมตร (Ukuku, 2004) และผลการศึกษาการใช้ H_2O_2 ความเข้มข้น 5.0% ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หรือการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที บนผลแคนตาลูป พบว่าสามารถลด *Salmonella* spp. บนผลแคนตาลูปได้ (Ukuku *et al*., 2004) และผลการศึกษาการใช้ H_2O_2 ความเข้มข้น 20 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แช่สับปะรดหั่นชิ้นพันธุ์ Perola เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทดแทน โซเดียมไฮโพคลอไรต์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการลดจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า H_2O_2 ไม่มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ (mesophile aerobic, ยีสต์และรา) (Anotniolli *et al*., 2004)

4. คลอรีน (chlorine)

สารละลายคลอรีนใช้ประโยชน์ในการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพโดยช่วยทำลายจุลินทรีย์ได้ Souza และคณะ (2005) ได้ศึกษาการล้างผักกาดแก้วหั่นชิ้น ในสารละลาย โซเดียมไฮโพคลอไรต์ ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 2 และ 4% แล้วนำไปบรรจุในถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน พบว่าสารทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ แต่ เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏโดยรวม พบว่าการ ใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 4% และสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลดีกว่าสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2% และสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้การใช้สารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดเพอร์ออกซีแอซิติกความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลาย acidified sodium chlorite ความเข้มข้น 100, 200 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการลดจำนวน *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. และ *Listeria monocytogenes* บนแครอทหั่นชิ้น พบว่าสารละลายทุกชนิดสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเหล่านี้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำ และไม่ได้ล้าง เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จำนวนแบคทีเรียในทุกการทดลองเพิ่มขึ้นในจำนวนที่แตกต่างกัน โดยพบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

acidified sodium chlorite มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่าสารชนิดอื่นๆ จึงเป็นสารฆ่าเชื้อที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการล้างแครอทหั่นชิ้น (Ruiz-Cruz *et al*., 2007)

ผลการศึกษาการใช้ความร้อนและน้ำคลอรีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการล้างเนื้อมะม่วงโชคอนันต์หั่นชิ้น เป็น เวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 12 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่ไม่ได้ล้างเป็นชุดควบคุม พบว่าเนื้อมะม่วงที่ไม่ได้ล้างเปลือกก่อนปอกเปลือกและหั่นชิ้นมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่าเนื้อมะม่วงที่ล้างเปลือกก่อนปอกเปลือกและหั่นชิ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิที่ใช้ล้างทั้ง 2 อุณหภูมิ สามารถชะล้างจุลินทรีย์ออกจากเปลือกผลมะม่วงได้เท่าๆ กัน และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่ไม่ได้ล้างเปลือกก่อนหั่นมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่าเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่ล้างเปลือกก่อนหั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Ngarmsak *et al*., 2005) ในขณะที่การใช้สารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แช่ผักกาดหอมและกะหล่ำปลี เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 และ 22 องศาเซลเซียส สามารถลด *Listeria monocytogenes* ในผักกาดหอมได้ 1.30 log cfu/กรัม และ 1.70 log cfu/กรัม และในกะหล่ำปลีได้ 0.90 log cfu/กรัม และ 1.20 log cfu/กรัม ตามลำดับ (Zhang and Farber, 1996)

คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม มีรายงานพบว่าสารประกอบอินทรีย์บางชนิดในผักและผลไม้หั่นชิ้น อาจทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เป็นสารประกอบที่มีพิษและเป็นสารพิษต่อร่างกาย เช่น ไตรฮาโลมีเทน และก๊าซคลอรีน ยังมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย เช่น ดวงตา และระบบหายใจ อาการของผู้ป่วย คือมีอาการแสบตา จมูก ปาก และผิวหนัง มีน้ำมูก น้ำตาไหล ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ไอ แน่นหน้าอก และหายใจลำบาก ในรายที่มีอาการรุนแรงอาจทำให้เกิดหลอดลมและปอดอักเสบ อาการเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ทันทีภายหลังจากได้สูดดมหรือสัมผัสกับคลอรีน (Antoniolli *et al*., 2004; Richardson *et al*., 2000; Tharratt, 2004; ศูนย์พิษวิทยา, 2552)

5. กรดเพอร์ออกซีแอซีติก (peroxyacetic acid)

กรดเพอร์ออกซีแอซีติก เป็นสารเคมีที่เกิดจากการรวมกันระหว่างไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และกรดแอซีติก ดังภาพที่ 2.1 มีหน้าที่เป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ และเป็นหนึ่งในกรดเพอร์ออกซี-คาร์บอกซิลิกที่นิยมใช้มาก กรดเพอร์ออกซีแอซีติก เป็นสารออกซิได ซิงเอเจนต์ ที่แรง โดยจะไปออกซิไดส์ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ กลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดจากการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกที่ผนังเซลล์จุลินทรีย์กับประจุลบของกรด โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิเล็กตรอนจะเข้าไปในจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วในรูปของเพอร์ออกไซด์ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทออร์แกนิกเพอร์ออกไซด์ สารกลุ่มนี้ประกอบด้วยอนุมูลเพอร์ออกไซด์เป็นแหล่งของออกซิเจน โดยจะไปออกซิไดส์ที่พันธะคู่ของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลและซัลเฟอร์ในโมเลกุลของโปรตีน เอนไซม์ และเมแทบอไลต์อื่นๆ กรดเพอร์ออกซีแอซีติกจะไปทำลายการทำงานของไลโพโปรตีน ไซโตพลาสมิกเมมเบรน และการขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย นอกจากนี้ยังพบว่ากรดเพอร์ออกซีแอซีติกมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่รวดเร็วกว่าสารเคมีชนิดอื่น (Lenntech, 2009; Kitis, 2004)

กรดเพอร์ออกซีแอซีติกได้นำมาประยุกต์ใช้เป็นสารลดจำนวนจุลินทรีย์อย่างกว้างขวางในการเกษตร โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และโรงพยาบาล การผลิตสารชำระล้างบางชนิดได้นำกรดเพอร์ออกซีแอซีติกมาเป็นส่วนผสมด้วย และเนื่องจากสมบัติของกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ซึ่งสลายตัวให้กรดแอซีติกที่ไม่เป็นพิษ จึงได้รับความสนใจจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารฆ่าเชื้อ อย่างไรก็ตาม กรดเพอร์ออกซีแอซีติกมีฤทธิ์กัดกร่อนมาก อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ตา และเยื่อบุจมูก (Klaas *et al*., 2002) ข้อดีของกรดเพอร์ออกซีแอซีติก คือมีราคาไม่แพง แต่ข้อเสีย คืออาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนสีได้ถ้าใช้ที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ และอาจทำให้มีสารตกค้างเหลืออยู่และเกิดการออกซิเดชันของไขมันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ (Food Science Australia, 2006) สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงเมื่อใช้กรดเพอร์ออกซีแอซีติก คือ ไม่ควรสัมผัสกับความร้อนสูง เปลวไฟ และการปนเปื้อนกับสารอื่นที่สามารถเกิดปฏิกิริยากันได้ เช่น โลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก ทองแดง โครเมียม และโคบอลต์ (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ , 2551) กรดเพอร์ออกซีแอซีติกได้รับการรับรองจาก USFDA ว่าสามารถใช้สัมผัสได้โดยตรงในผักและผลไม้สด โดยมีความเข้มข้นไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่อลิตร (Code of Federal Regulations Title 21, Part 173.315, 2007)

ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาระหว่างสารไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และกรดแอซีติกได้เป็นกรดเพอร์ออกซีแอซีติกและน้ำ (Wikipedia, 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของกรดเพอร์ออกซีแอซีติกในการลด *Salmonella* sp. ในผลส้มพันธุ์ Hamlin โดยการเพาะ *Salmonella* sp. ที่ทราบจำนวนลงบนผลส้ม จากนั้นนำไปแช่ใน กรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 0, 50 และ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 นาที นำไปหาจำนวนจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ พบว่า กรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 85 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดจำนวน *Salmonella* sp. บนผิวส้มพันธุ์ Hamlin ได้ 99.99% (Parra, 2007) ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพของกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ต่อ *Monilinia laxa* ในผลไม้ชนิดเมล็ดแข็ง ได้แก่ เนคทารีนและพลัม โดยเพาะเชื้อ *Monilinia laxa* ลงบนผลไม้ทั้ง 2 ชนิด จากนั้นนำผลไม้ไปแช่ในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ความเข้มข้น 500 หรือ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 20 วินาที หรือ 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นำไปหาเปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย พบว่า การแช่ผลไม้ในสารละลาย กรดเพอร์ออกซีแอซีติกไม่มีผลในการลดเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของเนคทารีน แต่มีผลในการลดเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของพลัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การแช่พลัมในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 20 วินาที และ 1 นาที สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเนื่องจากราได้ถึง 22.7 และ 24% ตามลำดับ (Mari *et al*., 1999) และการแช่ผลเชอรี่หวาน ท้อ แอพริคอท และเนคทารีน ในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลด *Monilinia laxa* ได้ และการแช่ผลไม้ในสารละลาย กรดเพอร์ออกซี แอซีติกความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลด *Rhizopus stolonifer* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้ล้าง (Mari *et al*., 2004)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสาร ฆ่าเชื้อชนิดต่างๆ ต่อจำนวนจุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่ง หั่นชิ้น โดยการล้างในสารละลาย ที่แตกต่างกัน 6 ชนิด คือ น้ำ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมไฮโพคลอไรต์ กรดเพอร์ออกซีแอซีติก น้ำโอโซน และการรวมกันของโอโซน -กรดเพอร์ออกซี แอซีติก แล้วเก็บ รักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere) หรือบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (vacuum packaging) พบว่าการใช้โอโซน-กรดเพอร์ออก-ซีแอซีติก ร่วมกับบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น) (Beltran *et al*., 2005)

การ ศึกษาผลกระทบของสาร ฆ่าเชื้อ ชนิดต่างๆ ได้แก่ คลอรีน กรดแล็ก ทิก น้ำโอโซน acidified sodium chlorite และกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ที่มีผลต่อจุลินทรีย์ สารอาหาร และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผักสลัดพันธุ์รีอคเก็ต พบว่าสารละลายทุกชนิด ยกเว้นกรดแล็กทิกมีผลช่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดการเจริญของจุลินทรีย์ในวันที่ เริ่มต้นการทดลอง แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า กรดเพอร์ออกซี แอซีติก และ acidified sodium chlorite เท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา (Martinez-Sanchez *et al*., 2006)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อในการล้างผลมะม่วงและเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น โดยนำผลมะม่วงมาแช่ในสารละลาย กรดเพอร์ออกซี แอซีติก ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำผลมะม่วงมาปอกเปลือกและหั่นชิ้น จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่แช่ผลมะม่วงในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกก่อนการปอกเปลือก มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่แช่ผลมะม่วงในสารละลาย โซเดียมไฮโพคลอ-ไรต์ (Narciso and Plotto, 2005)

2.7 การอ่อนนุ่มของผลไม้สดพร้อมบริโภค

ผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต ซึ่งยังคงมีปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ เกิดขึ้นภายในเซลล์เหมือนกับผลไม้สด เช่น มีการหายใจอยู่ตลอดเวลา มีกระบวนการสุกตามธรรมชาติซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในทางเสื่อมสภาพ เช่น เนื้อผลไม้นิ่มและมีสีซีดลง และมีการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ขั้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น การปอกเปลือก การเจาะแกน การตัดแต่ง และการหั่นชิ้น มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดความเสียหาย ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์ ส่งผลให้มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น และเนื้อผลไม้เน่าเสียเร็วขึ้น เนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจะไปเร่งการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภค (นัฏชรีและรัชฎา, 2551)

เนื้อเยื่อของพืชที่เกิดความเสียหายหรือฉีกขาดจะเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ มีผลทำให้ผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยผลไม้หั่นชิ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าผักสดหั่นชิ้น อาจเนื่องมาจากผลไม้มีการปอกเปลือกและหั่นชิ้น จึงมีรอยตัดมาก รวมทั้งเนื้อเยื่อของผลไม้มักจะมีสีอ่อน จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย การสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของผลไม้สดพร้อมบริโภคที่สำคัญ และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ (นัฏชรีและรัชฎา, 2551)

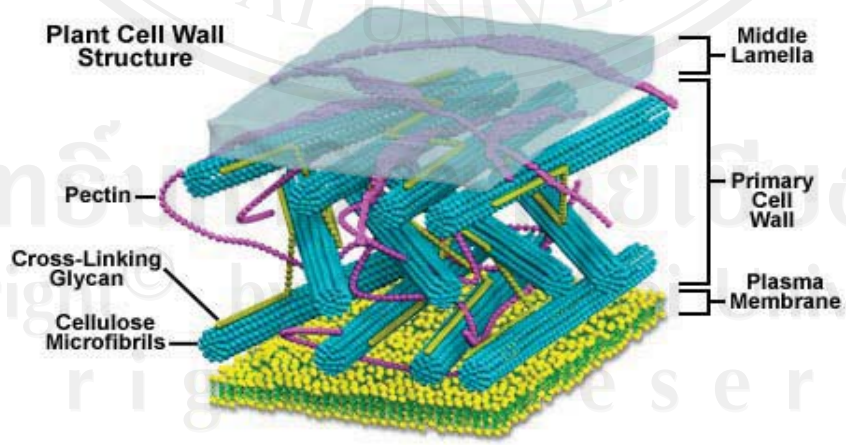
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้สดพร้อมบริโภคเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ

1. การสูญเสียน้ำในกระบวนการหายใจและการคายน้ำ เป็นผลให้ความดันเต่งภายในเซลล์ลดลง ซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำลงเพื่อลดอัตราการหายใจและการคายน้ำ
2. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบเพกทินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุก ทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม และไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพกทินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายตัวของสารประกอบเพกทินโดยกิจกรรมของเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส (polygalacturonase, PG) (นัฏชรีและรัชฎา, 2551)

โครงสร้างผนังเซลล์ของพืช ดังภาพที่ 2.2 ประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็กของเซลลูโลส ที่เรียกว่าไมโครไฟบริล ซึ่งมีสมบัติแข็งแรง ย่อยสลายได้ยาก และไม่สามารถยืดขยายตัวได้ แต่ยึดเกาะติดกันอยู่เป็นผนังเซลล์ด้วยโครงข่ายของโมเลกุลของไกลแคน เพกทิน และไกลโคโปรตีน องค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไป สำหรับผนังเซลล์ของผลไม้มีเพกทินเป็นองค์ประกอบสำคัญประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของผนังเซลล์ทั้งหมด เช่น ในผลมะเขือเทศ และพืชในวงศ์ Solanaceae อื่นๆ

ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างของเซลล์ที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์และเนื้อเยื่อโดยรวม ดังนั้นปัจจัยใดๆ ที่จะทำให้ผนังเซลล์อ่อนแอลง หรือทำให้การยึดตัวระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่อยู่ติดกันอ่อนแอลงย่อมทำให้เกิดการอ่อนนุ่มของผลไม้ได้ (จริงแท้, 2549)

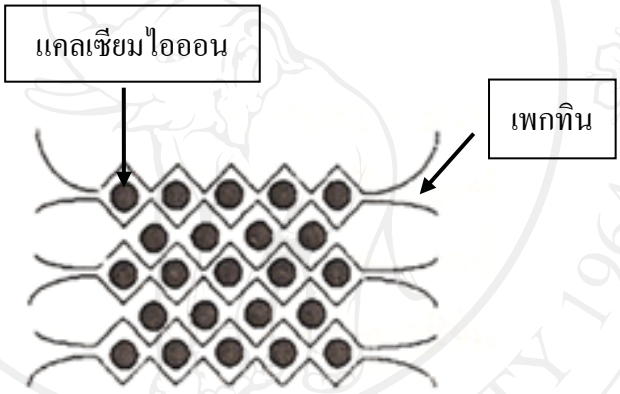


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างผนังเซลล์ของพืช (Davidson, 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 ผลของแคลเซียมต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

โมเลกุลของพอลิกาแล็กทูโรไนด์ หรือเพกทินที่ยึดเกาะกันอยู่ด้วยพันธะโคเวเลนซ์ผ่านแขนงของโมเลกุลซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลที่เป็นกลาง (neutral sugar) ได้แก่ อะราบิโนกาแล็ก-แทน (arabinogalactan) อะราบิแนน (arabinan) และกาแล็กแทน (galactan) นอกจากนั้นบนแกนโมเลกุลของเพกทินยังมีหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic) ที่เป็นอิสระ ซึ่งแคลเซียมไอออนสามารถสร้างพันธะระหว่างหมู่ของคาร์บอกซิลิกได้ในลักษณะที่เรียกว่ากล่องไข่ (egg box) (ภาพ 2.3) และช่วยให้ผนังเซลล์มีความเสถียรคงที่อยู่ได้ ดังนั้นหากขาดแคลเซียมไอออนแล้วโครงสร้างของผนังเซลล์จะอ่อนแอลงทำให้ผลไม้อ่อนนุ่ม ในทางปฏิบัติพบว่าการให้แคลเซียมไอออนกับผลไม้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวจะช่วยให้ผลไม้รักษาความแน่นเนื้อไว้ได้นานกว่าปกติ นอกจากนั้นกระบวนการสุกต่างๆ จะช้าลงด้วย (จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง egg box model (Grant *et al*., 1973)

การให้แคลเซียมไอออนจากภายนอกอาจช่วยรักษาความแน่นเนื้อไว้ได้ โดยแคลเซียมไอออนจะเข้าไปเชื่อมระหว่างสายโมเลกุลของเพกทินที่หมู่คาร์บอกซิลอิสระ ทำให้ลดอัตราการสลายตัวของเพกทิน เนื่องจากจะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนสโดยตรงหรือทางอ้อม ซึ่งผลการศึกษาในหลอดทดลองพบว่าแคลเซียมไอออนในระดับความเข้มข้นมิลลิ-โมลาร์ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นในผนังเซลล์ยับยั้งการทำงานของทั้งเอนไซม์ exo และ endo PG แต่ในขณะเดียวกันแคลเซียมไอออนที่ระดับความเข้มข้นนี้จะไปกระตุ้นการทำงานของ เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส (PME) ซึ่งไปดึงเอาหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพกทิน ทำให้แคลเซียมเข้าไปเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของเพกทินเข้าด้วยกันได้มากขึ้น และทำให้เอนไซม์พอลิกาแล็กทู-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โรเนสไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนั้นยังพบว่าแคลเซียมไอออนมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสด้วย (จริงแท้, 2549)

Pinheiro และ Almeida (2008) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมไอออนและค่าพีเอชต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะเขือเทศ และปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 4.5 และ 7.0 พบว่ามีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในมะเขือเทศสุกที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ค่าพีเอช 7.0

ในอุตสาหกรรมอาหาร สารปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิยมใช้ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในผลไม้ทั้งผล โดยการแช่ผลท้อในแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 30 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าผลท้อที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ดีกว่าผลท้อที่ไม่ได้แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา (Prussia *et al*, 2005)

ผลการศึกษาการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์แช่ผลไม้สดพร้อมบริโภค มีงานวิจัยของ Luna-Guzman และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และความร้อนต่อความแน่นเนื้อของแคนตาลูปหั่นชิ้น โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5% และเวลาในการแช่ 1, 2.5, และ 5 นาที พบว่าแคนตาลูปหั่นชิ้นที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ มีค่าความแน่นเนื้อดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อแช่แคนตาลูปหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2.5% และใช้ร่วมกับการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะช่วยในการปรับปรุงความแน่นเนื้อ และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่สูงขึ้นจะปรับปรุงค่าความแน่นเนื้อได้ดีขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าความแน่นเนื้อเมื่อใช้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นเท่ากันแต่ระยะเวลาในการแช่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยให้แคลเซียมไอออนสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น

ผลของความร้อนและเกลือแคลเซียมชนิดต่างๆ (แคลเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.46% แคลเซียมแล็กเทต ความเข้มข้น 1.42% แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.50% และแคลเซียม-โพรพิโอเนต ความเข้มข้น 0.9%) ที่แช่เป็นระยะเวลา 1 นาที ต่อคุณภาพของเมลอนพันธุ์ Amarillo หั่นชิ้น พบว่าเมลอนหั่นชิ้นที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้สูญเสียความแน่นเนื้อช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส กลุ่มควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อลดลง 26% และที่แช่ในสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าความแน่นเนื้อลดลง 18.4% ส่วนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแล็กเทต แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมโพรพิโอเนต มีค่าความแน่นเนื้อลดลง 7.7%, 3.2% และ 1.3% ตามลำดับ (Aguayo *et al*., 2007) ส่วน Rico และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมแล็กเทตร่วมกับการใช้ความร้อนต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแครอทหั่นชิ้น พบว่าแครอทหั่นชิ้นที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแล็กเทตมีผลช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ดีขึ้น คือมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าชุดควบคุมที่แช่เฉพาะในสารละลายคลอรีน นอกจากนี้การใช้แคลเซียมแล็กเทตร่วมกับความร้อนจะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.1-1% หากใช้ความเข้มข้นมากเกินไปอาจทำให้เนื้อผลไม้เกิดรสขมได้ เช่น Luna-Guzman และ Barrett (2000) ได้เปรียบเทียบระหว่างผลของแคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมแล็กเทตที่มีต่อคุณภาพของแคนตาลูปหั่นชิ้น โดยแช่แคนตาลูปหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมแล็กเทต ความเข้มข้น 2.5% เป็นเวลา 1 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแล็กเทต ให้ผลต่อค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันในระยะเริ่มต้น แต่แคลเซียมแล็กเทตมีแนวโน้มสูงในการรักษาค่าความแน่นเนื้อได้ดีกว่าแคลเซียมคลอไรด์ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทุกๆความเข้มข้น (1% และ 2.5%) เป็นเวลา 1 นาที มีความขมมากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายแคลเซียม-แล็กเทต (1% และ 2.5%) เป็นเวลา 1 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าแคลเซียมแล็กเทตมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนแคลเซียมคลอไรด์ในการยืดอายุการเก็บรักษาแคนตาลูปหั่นชิ้น โดยช่วยเพิ่มค่าความแน่นเนื้อได้ใกล้เคียงกันหรือดีกว่าโดยปราศจากรสขม

ผลการศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และการรักษาความแน่นเนื้อของเนื้อมังคุดสดพร้อมบริโภค โดยแช่ในสารละลายที่ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสี น้ำตาล คือ สารละลาย 4-hexylresorcinol (0.005 M) หรือ sodium erythorbate (2%) หรือ N-acetylcysteine (0.05%) และสารช่วยรักษาความแน่นเนื้อ คือ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (0.2%) พบว่าเนื้อมังคุดที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปรบรรยากาศ ที่มีระดับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่าเนื้อมังคุดทุกชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อลดลง อย่างไรก็ตาม เนื้อมังคุดที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับ sodium erythorbate มีส่วนสำคัญในการชะลอการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลงของความแน่นเนื้อข องเนื้อมังคุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน (Manurakchinakorn *et al*., 2005)

ผลของการใช้สารเคมี (1% calcium chloride, 0.75% ascorbic acid และ 0.75% cysteine) ร่วมกับการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (edible coating) และบรรจุภัณฑ์ควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere, CA) ต่อคุณภาพของกล้วยหั่นชิ้น เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าทำให้ความแน่นเนื้อเปลี่ยนแปลงจากปกติเพียงเล็กน้อย (Bico *et al*., 2008) ส่วนการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1% ร่วมกับ 1-เมทิลไซโครโพรพีน (1-methylcyclopropene, 1-MCP) และบรรจุภัณฑ์ควบคุมบรรยากาศสามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรีสดพร้อมบริโภคได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาได้ 6 วัน แต่เมื่อใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% ร่วมกับ 1-เมทิลไซโครโพร-พีนและบรรจุภัณฑ์ควบคุมบรรยากาศ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอรีสดพร้อมบริโภคได้เป็นเวลา 9 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Aguayo *et al*., 2006) และผลของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% ต่อคุณภาพของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นพันธุ์ Kensington แช่เป็นเวลา 3 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าแคลเซียมคลอไรด์ชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อได้ แต่ไม่ได้ยับยั้งการสูญเสียความแน่นเนื้อ (Souza *et al*., 2006)

นอกจากเกลือแคลเซียมคลอไรด์แล้วยังมีเกลือแคลเซียมชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้แช่ผลไม้ทั้งผลและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ เช่น Manganaris และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมไอออนต่อสมบัติของผนังเซลล์ และคุณภาพของผลท้อ โดยใช้เกลือแคลเซียมแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแล็กเทต และแคลเซียมโพรพิโอเนต ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน 62.5 และ187.5 มิลลิโมล โดยแช่เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเกลือแคลเซียมมีผลในการปรับปรุงความแน่นเนื้อของผลท้อ แต่แคลเซียมแล็กเทตและแคลเซียมโพรพิโอเนต ที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ผิวของท้อเกิดสีที่ผิดปกติและเป็นหลุม ส่วน Gorny และคณะ (2002) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมแล็กเทตร่วมกับกรดแอสคอร์บิก และซิสเตอีนกับผลสาลี่หั่นชิ้นพร้อมบริโภค และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ควบคุมบรรยากาศ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ โดยไปยับยั้งการสูญเสียความแน่นเนื้อ และป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ส่วนการใช้แคลเซียมกลูโคเนต (CaGlu) ร่วมกับไคโทซาน 1% ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรีเพิ่มมากขึ้น และทำให้ลักษณะปรากฏดีกว่าผลสตรอเบอรีชุดควบคุม (Hernandez-Munoz *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved