บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์ของลิ้นจี่

ลิ้นจี่เป็นไม้ผลเขตกึ่งร้อน (subtropical fruit) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนใต้ของประเทศจีน จัดอยู่ในตระกูล *Sapindaceae* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litchi chinensis* Sonn. และมีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Litchi, Litchee, Leechee, Lichee, Laichi, Lychee, Leet-jee โดยชื่อที่นิยมใช้กันมากคือ Litchi และ Lychee (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2545) ผลลิ้นจี่มีลักษณะทรงผลคล้ายรูปไข่หรือกลม หรือรูปหัวใจ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ส่วนเนื้อที่บริโภคได้มีสีขาว ขาวขุ่น หรือขาวนวล เนื้อด้านนอกมีผิวเรียบ และเมล็ดมีลักษณะกลมรี รูปไข่ สีน้ำตาลเป็นมันวาว เนื่องจากผลลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีลักษณะเฉพาะตัว มีกลิ่นและรสชาติหอมหวาน หรือหวานอมเปรี้ยว ผลลิ้นจี่จึงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในตลาดโลก (Jiang *et al*., 2003) ประเทศที่ผลิตผลลิ้นจี่ออกจำหน่ายยังตลาดโลก ได้แก่ ประเทศไทย จีน ไต้หวัน เวียดนาม อินโดนีเซีย อินเดีย ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ สหรัฐอเมริกา (รัฐฮาวายและฟลอริดา) บราซิล อิสราเอล แอฟริกาใต้ และออสเตรเลีย (Holcroft and Mitcham, 1996) ในปี ค.ศ. 2001 ผลผลิตลิ้นจี่ในตลาดโลกมีประมาณ 2,000,000 ตัน ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตจากประเทศจีน อินเดีย และไทย (Jiang *et al*., 2003)

ลิ้นจี่จัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric คือ เป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มให้สุกได้ ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวในระยะผลแก่และสุกพร้อมบริโภคได้ เพื่อให้ได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดี (นพดลและคณะ, 2543) ผลลิ้นจี่ในระยะเก็บเกี่ยวที่มีความแก่บริบูรณ์จะมีปริมาณกรดลดลง และมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ผลลิ้นจี่ที่มีรสชาติดี คือมีรสหวานอมเปรี้ยวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Holcroft and Mitcham, 1996)

ในประเทศไทยมีการปลูกลิ้นจี่กันมากในแถบภาคเหนือตอนบน ซึ่งมีอากาศหนาวเย็น แต่ปัจจุบันได้มีการขยายพื้นที่การปลูกลิ้นจี่ไปยังภาคอื่นๆ ของประเทศไทยด้วย ยกเว้นภาคใต้ จังหวัดที่มีการปลูกลิ้นจี่มาก คือ เชียงใหม่ เชียงราย น่าน พะเยา และสมุทรสงคราม (พัชรา, 2549) พันธุ์ลิ้นจี่ที่นิยมปลูกแบ่งตามแหล่งที่ปลูกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในภาคกลาง ส่วนใหญ่ไม่ต้องการความหนาวเย็นในการชักนำให้ออกดอก ปลูกกันมากในที่ราบต่ำแถวอำเภออัมพวา และอำเภอบางคณที จังหวัดสมุทรสงคราม ได้แก่ พันธุ์ค่อม (ค่อมลำเจียก) กะโหลกใบยาว สำเภาแก้ว กระโถนท้องพระโรง เขียวหวาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สาแหรกทอง จีน ไทยธรรมดา ไทยใหญ่ กะโหลกใบไหม้ กะโหลกในเตา ช่อระกำ และพันธุ์ทิพย์ เป็นต้น (นพดลและคณะ, 2543)

2. กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือ เป็นพันธุ์ที่ต้องการความหนาวเย็นต่ำเป็นเวลานาน เพื่อกระตุ้นให้ออกดอกมากกว่าพันธุ์ที่ปลูกทางภาคกลาง ได้แก่ พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ กิมเจง กิมจี้ โอวเฮียะ กวางเจา และบริวสเตอร์ เป็นต้น (นพดลและคณะ, 2543)

ลักษณะประจำพันธุ์ของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย กิมเจง และจักรพรรดิ

พันธุ์ฮงฮวย เป็นพันธุ์ลิ้นจี่ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดทางภาคเหนือ เจริญเติบโตเร็ว ต้นมีทรงพุ่มใหญ่ ใบหนา สีเขียว ขอบใบบิด ยอดสีเหลืองอ่อนปนเขียว จัดเป็นพันธุ์กลาง ออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงมกราคม ผลแก่เดือนพฤษภาคม จัดเป็นพันธุ์ที่ติดผลดีสม่ำเสมอ ผลดก ผลผลิตสูง ผลโต ขนาดผลกว้าง 3.44 เซนติเมตร ยาว 3.83 เซนติเมตร มีน้ำหนักหนักผลประมาณ 25-35 กรัม ผลทรงรูปหัวใจยาว เมื่อผลสุกหนามจะห่างออกและไม่ค่อยแหลม เปลือกบาง ผลที่แก่เต็มที่จะมีเปลือกเป็นสีแดงอมชมพู เนื้อผลมีสีขาวขุ่นและนิ่ม เนื้อหนาปานกลางและหนาไม่สม่ำเสมอกัน ตั้งแต่ขั้วผลถึงก้นผล เนื้อตรงส่วนที่สัมผัสกับเมล็ดและรอยประสานของเนื้อจะมีสีน้ำตาล เนื้อจะแห้งกว่าพันธุ์อื่นๆ กลิ่นหอม รสชาติหวานอมเปรี้ยว หากผลลิ้นจี่ยังไม่แก่จัดจะมีรสชาติอมฝาดเล็กน้อย เมล็ดโต ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยอาจแบ่งออกได้เป็น พันธุ์ฮงฮวยไหล่กว้าง และฮงฮวยธรรมดา สำหรับพันธุ์ฮงฮวยไหล่กว้างจะสุกช้ากว่าพันธุ์ฮงฮวยธรรมดา (นพดลและคณะ, 2543 ; อนันต์, 2547)

พันธุ์กิมเจง เป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมาช้านานในภาคเหนือ จัดเป็นลิ้นจี่พันธุ์หนัก ต้องการความหนาวเย็นยาวนาน ต้นมีทรงพุ่มขนาดเล็กและเจริญเติบโตช้า ใบเล็กสั้นยอดอ่อนสีแดง จำนวนผลในช่อประมาณ 3-5 ผล/ช่อ ช่อผลสั้น ผลมีรูปทรงกลม ขนาดผลกว้าง 3.18 เซนติเมตร ยาว 3.12 เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 20-25 กรัม หนามใหญ่และห่าง เปลือกผลมีสีแดงอมชมพูหรือสีแดง เนื้อผลสีขาวขุ่น เนื้อแน่น เนื้อหนาและอ่อนนุ่ม ไม่เละ เนื้อมีรสหวาน เมล็ดมีขนาดเล็กและมักจะลีบ เมล็ดที่ไม่ลีบมีสีน้ำตาลอ่อน ออกดอกประมาณปลายเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ เก็บเกี่ยวผลกลางเดือนมิถุนายน พันธุ์กิมเจงอาจแบ่งออกได้เป็น กิมเจงหนามแหลม และกิมเจงหนามราบ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ (นพดลและคณะ, 2543 ; อนันต์, 2547)

พันธุ์จักรพรรดิ เป็นลิ้นจี่อีกพันธุ์หนึ่งที่ปลูกกันมากทางภาคเหนือ โดยเฉพาะที่อำเภอฝางจังหวัดเชียงใหม่ จัดเป็นพันธุ์หนักมาก ทรงพุ่มใหญ่ ลักษณะทรงพุ่มเป็นแบบครึ่งวงกลม เปลือก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำต้นเรียบและมีสีเทาแกมเขียว ใบมีขนาดใหญ่ โคนใบกว้าง แล้วค่อยๆ เรียวไปด้านปลายใบ ใบอ่อนมีสีเหลืองปนเขียว ใบแก่มีสีเขียวเข้มเป็นมัน ออกดอกประมาณเดือนมกราคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ผลแก่และสุกประมาณปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม รูปทรงของผลเป็นรูปหัวใจ ขนาดผลภายในช่อไม่ค่อยสม่ำเสมอ ผลมีขนาดใหญ่ ผลกว้าง 4.48 เซนติเมตร มีน้ำหนักผล 40-50 กรัม ผิวหยาบ ขรุขระ เปลือกหนา เนื้อผลหนา 1.14 เซนติเมตร ฉ่ำน้ำ มีสีขาวขุ่น และรสชาติดี เมล็ดมีขนาดโตสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดเป็นรูปรี มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ (นพดลและคณะ, 2543 ; อนันต์, 2547)

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่

ผลลิ้นจี่มีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแก่-อ่อน สายพันธุ์ พื้นที่ปลูก ปลูก และการดูแลในระหว่างการเพาะปลูก ผลลิ้นจี่ที่สุกแล้วมีส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย น้ำ 77-83% โปรตีน 0.8-0.9% และไขมันน้อยกว่า 1% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 14-20.3% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 15.3% ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส ฟรักโทส และกลูโคส ปริมาณกรดทั้งหมดที่พบในผลลิ้นจี่มีประมาณ 0.52% ซึ่งอยู่ในรูปกรดมาลิก 80% อีก 20% ประกอบด้วยกรดซิตริก ซักซินิก ลีวูลินิก กลูตาริก มาโลนิก และแล็กทิก นอกจากนี้ในผลลิ้นจี่ยังเป็นแหล่งของกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีซึ่งมีปริมาณ 0.4-1.0 มิลลิกรัมต่อกรัม (Holcroft and Mitcham, 1996 ; Kadam and Deshpande, 1995) สำหรับผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจงมีสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตาราง 2.1

การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีระหว่างการสุกของผลลิ้นจี่เมื่อมีระยะความแก่เพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดลดลง ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้บ่งถึงระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมได้ เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่อยู่ในกลุ่ม non-climacteric ซึ่งไม่สามารถบ่มให้สุกภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ จึงต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสมต่อการบริโภค ซึ่งอาจพิจารณาได้จากปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด ผลลิ้นจี่ที่มีคุณภาพดีควรจะมีอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด (sugar : acid ratio) อยู่ระหว่าง 30-40 (Holcroft and Mitcham, 1996) คุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม แสดงดังตาราง 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจง

พันธุ์	% เปลือก	% เมล็ด	% เนื้อ	ค่า L* (เนื้อ)	% TSS	ค่า พีเอช	% ปริมาณกรดทั้งหมด*	TSS/TA
ฮงฮวย	15.80	16.48	67.72	74.79	17.93	4.51	0.39	45.97
จักรพรรดิ	17.50	13.50	69.00	84.52	18.53	4.25	0.41	45.20
กิมเจง	17.75	9.20	73.05	-	17.87	4.76	0.25	71.48

* ในรูปกรดมาลิก ที่มา : Rattanapanone and Boonyakiat (2000) ; ศุภรัตน์ (2544)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	**ปริมาณ**
พลังงาน	63.00-64.00
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์/100 กรัม)	81.91-84.83
โปรตีน (กรัม/100กรัม)	0.68-1.00
ไขมัน (กรัม/100กรัม)	0.30-0.58
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100กรัม)	13.31-16.40
เส้นใยอาหาร (กรัม/100กรัม)	0.23-0.40
เถ้า (กรัม/100กรัม)	0.37-0.50
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	8.00-10.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100กรัม)	30.00-42.00
เหล็ก (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.40
โซเดียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	3.00
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	170.00
วิตามินบี 1 (ไทอะมิน) (ไมโครกรัม/100กรัม)	28.00
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) (ไมโครกรัม/100กรัม)	0.40
ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) (ไมโครกรัม/100กรัม)	0.05
วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) (ไมโครกรัม/100กรัม)	24.00-60.00

ที่มา: *www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/lychee.html* โดย Purdue University Center for New Crops and Plant Produces (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่เปลือกนอกของผลลิ้นจี่ระหว่างการสุกนั้น จะมีการพัฒนาเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง คลอโรฟิลล์ที่เปลือกของผลลิ้นจี่จะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะความแก่เพิ่มมากขึ้น ขณะที่แอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสีแดงในเปลือกผลลิ้นจี่มีปริมาณเพิ่มขึ้น อนุพันธุ์ของแอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ประกอบด้วย ไซยานิดิน-3-รูติโนไซด์ (cyaniding-3-rutinoside) ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyaniding-3-glucoside) ไซยานิดิน-3-กาแล็กโทไซด์ (cyanidin-3-galactoside) มัลวิดิน-3-แอซีทิลกลูโคไซด์ (malvidin-3-acetylglucoside) พีลาร์โกนิดิน-3-ไกลโคไซด์ (pelargonidin-3-glycoside) พีลาร์โกนิดิน-3,5-ไดกลูโคไซด์ (pelargonidin-3,5-diglucoside) (Holcroft and Mitcham, 1996)

2.3 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่

2.3.1. การเกิดสีน้ำตาลของเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่จะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเปลือกจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง การเกิดสีน้ำตาลในเปลือกผลลิ้นจี่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแอนโทไซยานิน โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่มีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase ; PPO) และ/หรือ เพอร์-ออกซิเดส (peroxidase ; POD) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญในทางการค้า เพราะจะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงและลดมูลค่าของผลลิ้นจี่ (Jiang *et al*., 2004) ถึงแม้ว่าเนื้อในส่วนที่บริโภคได้ยังมีรสชาติดีอยู่ก็ตาม (Singh Shah and Nath, 2008) ภายหลังการเก็บเกี่ยวความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน บริเวณเปลือกผลลิ้นจี่จะลดลงอย่างช้าๆ ขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศา-เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสและดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Zhang *et al*., 2005) การสูญเสียความชื้นของเปลือกเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่โดยตรง การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (60 และ 70% RH) จะทำให้เปลือกลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วและไม่เป็นที่ยอมรับ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน โดยมีการสูญเสียน้ำที่เปลือกมากที่สุด เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อบริเวณเปลือกผลลิ้นจี่ และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงกว่าการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% (Jiang and Fu, 1999)

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์เพื่อรักษาสีเปลือกของผลลิ้นจี่

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลไฟต์ เช่น โซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ เป็นสารที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning) และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของผลลิ้นจี่ได้ และทำให้เปลือกของผลลิ้นจี่เปลี่ยนจากสีแดงสดเป็นสีเหลืองซีดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน anthocyanin-SO_3H แต่ระหว่างเก็บรักษาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลลิ้นจี่ที่ถูกฟอกสีจะมีสีแดงกลับคืนมาอีกครั้ง (Kremer-Konno and Lonsdale, 1990) ถึงแม้ว่าสีของเปลือกผลลิ้นจี่จะกลับคืนมาภายใน 24-48 ชั่วโมง แต่สีที่ได้จะเป็นสีส้มคล้ำ (dull orange) ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา อุณหภูมิในการเก็บรักษา และอัตราการไหลของอากาศรอบๆ ผลไม้ด้วย (Underhill, 1992) การนำผลลิ้นจี่ไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกภายหลังการรมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะช่วยให้สีแดงของผลลิ้นจี่กลับคืนมา เนื่องจากที่ค่าพีเอชต่ำจะมีประจุบวกของ flavylium ที่ให้สีแดง (Lichter *et al*., 2004) โดยการจุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอชต่ำคือ 0.2 เป็นเวลา 15 นาที จะช่วยรักษาสีแดงของเปลือกให้คงไว้ได้ดีที่สุด (Kesta and Leelawatana, 1992) ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาคือ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในผลลิ้นจี่ ผลลิ้นจี่ที่ผ่านการรมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะดูดซับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ประมาณ 30-65% แต่ปริมาณแก๊สจะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการรมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2-3 วัน (Underhill, 1992) การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ร่วมกับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในส่วนเนื้อลิ้นจี่ที่บริโภคได้ให้เหลือน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Paull *et al*., 1998) สองสามปีที่ผ่านมามีการพิจารณาถึงผลของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งออกผลลิ้นจี่ไปในแถบประเทศยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ปัจจุบัน CODEX ได้กำหนดมาตรฐานให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในส่วนเนื้อที่บริโภคได้ต้องมีปริมาณไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อกรัม (Sivakumar *et al*., 2007)

ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย กิมเจง และจักรพรรดิที่รมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1.5% บรรจุกล่องกระดาษแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยมีสีแดงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนผลลิ้นจี่พันธุ์กิมเจงและจักรพรรดิมีสีแดงเพิ่มขึ้นในระยะแรกและลดลงในระยะหลัง และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราได้ โดยพบการเจริญของเชื้อราภายหลังการเก็บรักษา 4, 5 และ 6 สัปดาห์ สำหรับพันธุ์ฮงฮวย กิมเจง และจักรพรรดิ ตามลำดับ และเนื้อลิ้นจี่บริเวณขั้วผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (นิธิยา และคนัย, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อมาจึงได้มีการศึกษาหาวิธีการต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพดีเพื่อใช้ทดแทนการรมด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เช่น การจุ่มผลลิ้นจี่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ตามด้วยกรดออกซาลิกความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 15 นาที จะช่วยรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ และลดการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 74% และพบว่าน้ำร้อนจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของกรดออกซาลิกได้ โดยไปลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดส และรักษาปริมาณแอนโท-ไซยานิน (Saengnil *et al*., 2006)

2.3.2. การเน่าเสียจากจุลินทรีย์

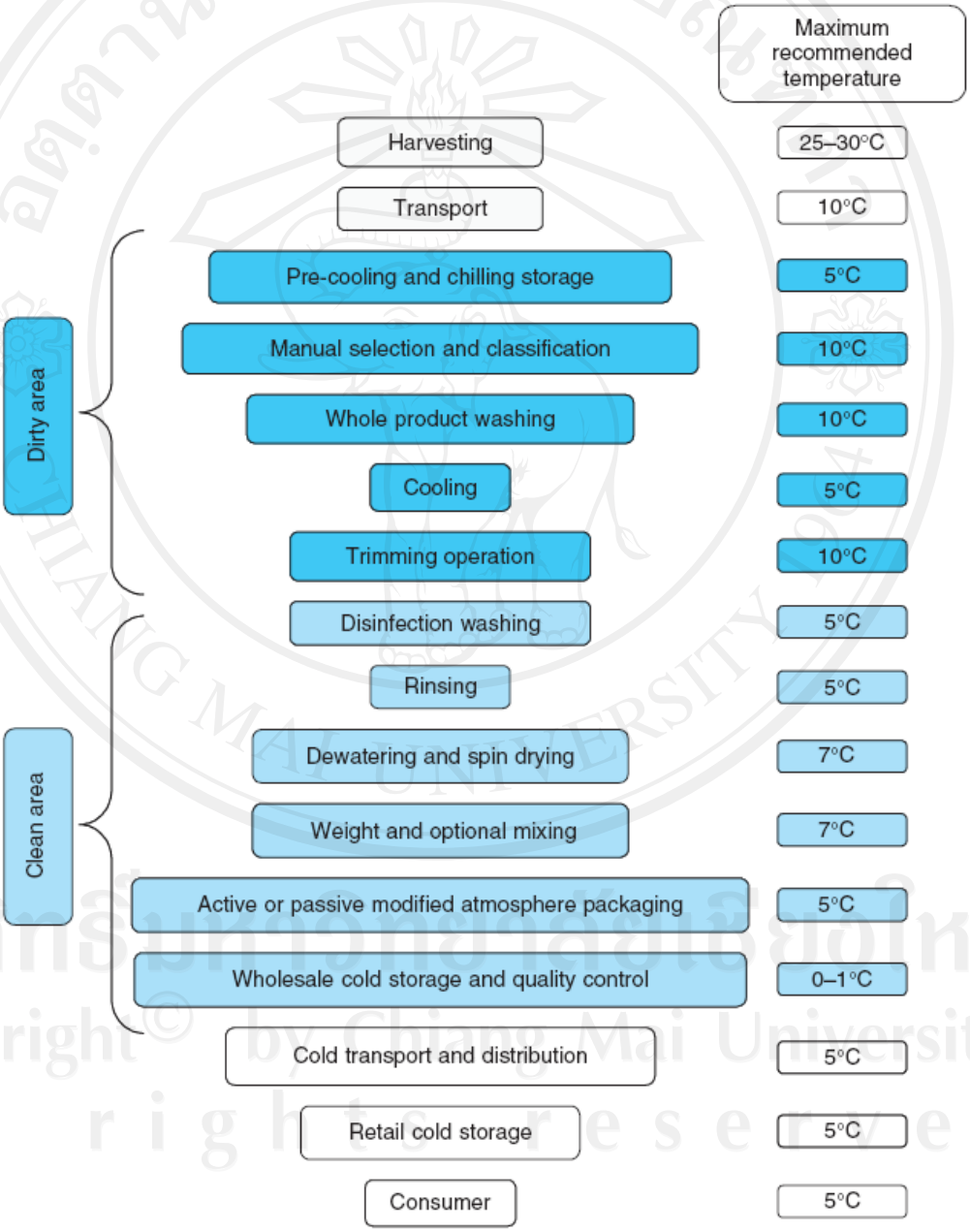
ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่สามารถถูกทำลายได้โดยแบคทีเรีย ยีสต์และรา จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคในผลลิ้นจี่ ได้แก่ *Aspergillus*, *Pestalotiopsis*, *Peronophythora* และยีสต์อีกหลายชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหมักในผลไม้อีกด้วย การควบคุมโรคสามารถทำได้โดยการควบคุมแมลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแมลงวันผลไม้ เนื่องจากแมลงจะเจาะเปลือกของผลไม้ ทำให้เกิดรอยแตกของเปลือก ส่งผลให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย อย่างไรก็ตาม รอยแตกของเปลือกผลลิ้นจี่นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว (Holcroft and Mitcham, 1996) ลักษณะอาการที่ราจะเข้าทำลายผลทำให้ผิวเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ โดยทั่วไปมักจะมีของเหลวไหลออกมาอยู่บนเปลือกของผลนั้น เมื่อปอกเปลือกออกจะพบว่าเนื้อเยื่อภายในของผลจะเปลี่ยนจากลักษณะใสมาเป็นลักษณะขุ่นเหมือนกระจกฝ้า อ่อนนุ่ม ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว แพร่ระบาดลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังผลใกล้เคียง (คีรี, 2540) การเจริญของจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0 จนถึง 42 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับราส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส ในขณะที่แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2544) การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 0-1 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเน่าเสียได้ และหากนำผลลิ้นจี่ออกจากอุณหภูมิห้องเย็นแล้วจะเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว (Holcroft and Mitcham, 1996)

2.4 ผลไม้สดพร้อมบริโภค (Fresh-cut fruit)

ผลไม้สดพร้อมบริโภค (fresh-cut fruit) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคในปัจจุบันมีการรับรู้ข้อมูลด้านสุขภาพที่กว้างขวาง ทำให้ผู้บริโภคยังต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความสดใหม่คงคุณค่าทางโภชนาการและสะดวกต่อการบริโภค (Ruiz-Cruz *et al*., 2007) การแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นการปฏิบัติใดๆ หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ เช่น การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การเอาเมล็ดหรือไส้ออก การตัดแต่ง การหั่นเป็นชิ้น และการบรรจุ ฯลฯ โดยสามารถรักษาคุณภาพไว้ใกล้เคียงกับผลไม้สดปกติมากกว่าการแปรรูปวิธีอื่นๆ (จริงแท้, 2544) กระบวนการแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนเหล่านี้มีอิทธิพลต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.1 กระบวนการแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภคทางอุตสาหกรรม

(ที่มา : Artes and Allende, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากผลิตผลทางการเกษตร วัตถุดิบมักจะสัมผัสกับดินในขณะเก็บเกี่ยว สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติในระหว่างการปลูกและการเก็บเกี่ยวจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ (Zagory, 1999 : Laurila and Ahvenainen, 2002) ขั้นตอนในการแปรรูป เช่น การปอกเปลือก การตัดแต่ง หั่นชิ้น จะทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนเกิดบาดแผล มีการหายใจสูงขึ้น ง่ายต่อการเข้าทำลายจากจุลินทรีย์ การใช้มีดที่คมจะช่วยลดการเกิดบาดแผลของเนื้อเยื่อพืชได้ (จริงแท้, 2544)

การทำความสะอาดวัตถุดิบโดยการล้างด้วยน้ำประปาจะเป็นการกำจัดเศษหิน ดิน และทรายเท่านั้น แต่การล้างด้วยสารฆ่าเชื้อจะเป็นลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นของวัตถุดิบ นอกจากนี้มักจะมีขั้นตอนการล้างภายหลังการตัดแต่งและหั่นชิ้นอีกครั้งด้วยสารฆ่าเชื้อเพื่อเป็นการกำจัดของเหลวจากเซลล์พืช ลดจำนวนจุลินทรีย์ และลดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา (Ahvenainen, 1996) โดยขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่มีความจำเป็นเพื่อความมั่นใจถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ต่อผู้บริโภค (Ruiz-Cruz *et al*., 2007) น้ำที่ใช้ล้างเหล่านี้หากตกค้างอยู่บนผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียเช่นกัน จำเป็นต้องกำจัดออก หากเป็นผักนิยมใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) แต่ควรระวังหากหมุนเหวี่ยงแรงเกินไปอาจทำให้ผักช้ำหรือเหี่ยวเนื่องจากสูญเสียน้ำมากเกินไป สำหรับผลไม้อาจกำจัดน้ำออกโดยวิธีการเป่าด้วยพัดลมหรือใช้สายพาน เพราะผลไม้มักอ่อนนุ่มบอบช้ำได้ง่าย (จริงแท้, 2544)

การบรรจุและการเก็บรักษาอาจกระทำร่วมกับการดัดแปรสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (modified atmosphere packaging) โดยการไปลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน และเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดอัตราการหายใจของเนื้อเยื่อ และลดการผลิตเอทิลีน ยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) การเลือกใช้ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยสำคัญ เพราะสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ที่ถูกดัดแปรไปเนื่องจากเมแทบอลิซึมของผลิตผล โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้บรรจุควรยอมให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สต่างๆ มากพอที่จะทำให้การหายใจแบบใช้แก๊สออกซิเจนอยู่ในระดับต่ำที่สุดโดยไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้แก๊สออกซิเจนขึ้น ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดกลิ่นหรือรสผิดปกติ (จริงแท้, 2544)

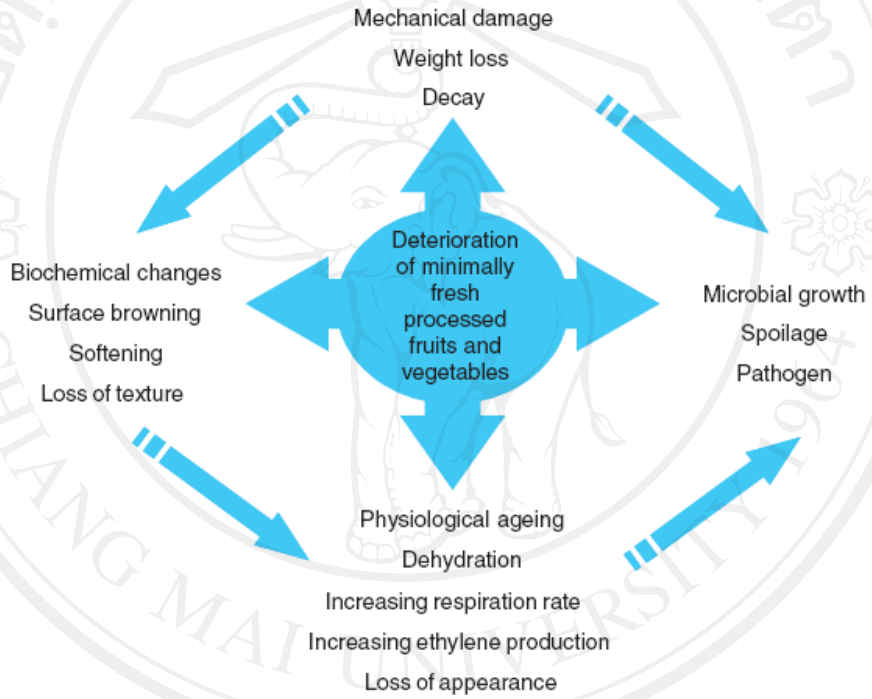
การเก็บรักษาผลไม้สดพร้อมบริโภคควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่สุดโดยไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับผลไม้สดพร้อมบริโภคส่วนใหญ่ แต่บางกรณีอาจสูงถึง 5 หรือ 10 องศาเซลเซียส (Watada, 1996) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้จุลินทรีย์ก่อโรคในคนจะสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็ว การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับการบรรจุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบสุญญากาศหรือดัดแปลงบรรยากาศ ดังนั้นการที่อุณหภูมิไม่คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นลงด้วย (Laurila and Ahvenainen, 2002)

2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภค

หลังการแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค มักมีการเปลี่ยนแปลงของสี เนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ สาเหตุเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ชีวเคมี และเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค
(ที่มา : Artes and Allende, 2005)

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี

ผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคที่ได้รับการปอกเปลือก ตัดแต่ง หรือหั่นออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วแต่ลักษณะของผลิตผลและความต้องการของผู้บริโภค การปฏิบัติดังกล่าวจะทำให้เซลล์ของผลิตผลถูกทำลายและมีสารต่างๆ รั่วไหลออกมา รวมทั้งสารประกอบฟีนอลเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น โดยมีเอนไซม์สำคัญที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ลิโพออกซิเดส (lipooxidase)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เร่งปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติจากแอลดีไฮด์และคีโทน นอกจากการสูญเสียสารบางอย่างออกมาจากเซลล์แล้ว ผลิตผลยังมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ การหายใจและการสร้างเอทิลีนที่มักเพิ่มขึ้นและการอ่อนนุ่มของผลไม้หั่นชิ้น (จริงแท้, 2544 ; Laurila and Ahvenainen, 2002)

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

ระหว่างการปอกเปลือก ตัดแต่ง และหั่นชิ้น ทำให้เนื้อของผลไม้สัมผัสกับอากาศ ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย ยีสต์และรา ประกอบกับน้ำตาลและกรดต่างๆ ซึ่งรั่วไหลออกมาจากเซลล์พืชเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนได้ขณะทำการแปรรูป เนื่องจากผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน จึงควรมีการปฏิบัติและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพื่อความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterolitica*, *Salmonella* spp. และ *Aeromonas hydrophila*

ผลไม้ส่วนใหญ่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.6 ซึ่งแบคทีเรียก่อโรคในคนส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ที่สภาพเป็นกรด และจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์แช่เย็นมักเป็นพวก psychrotrophic โดยปกติจุลินทรีย์ที่เป็นภัยต่อคนจะไม่สามารถเจริญแข่งกับจุลินทรีย์ตามธรรมชาติได้ แต่เมื่ออยู่ในสภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับการเจริญจึงทำให้เกิดปัญหาขึ้น เช่น สภาพที่มีอุณหภูมิในการเก็บรักษาและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นในบรรจุภัณฑ์ เหมาะสมต่อการเจริญของแล็กทิกแอซิดแบคทีเรีย ผลไม้บางชนิดและผักส่วนใหญ่มีค่าพีเอชสูงกว่า 4.6 มักมีปัญหาการปนเปื้อนได้ง่าย ดังนั้นการเตรียมผลิตผลแปรรูปจึงต้องระมัดระวังการปนเปื้อนเป็นอย่างมาก (จริงแท้, 2544 ; Laurila and Ahvenainen, 2002)

2.5.3 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร

กระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารเพียงเล็กน้อย เช่น วิตามิน น้ำตาล กรดแอมิโน ไขมัน และเส้นใยอาหาร (Laurila and Ahvenainen, 2002) ผลไม้ส่วนใหญ่จะมีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็ว (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) เช่น การเก็บรักษาเนื้อกีวีหั่นชิ้นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน 0.5, 2 และ 4 kPa เป็นเวลา 12 วัน ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีลดลง 7, 12 และ 18% ตามลำดับ ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงในสภาพแวดล้อมกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกหรือยับยั้งปฏิกิริยารีดักชันของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกไปเป็นกรดแอสคอร์บิก (Agar *et al*., 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การควบคุมจุลินทรีย์ด้วยสารเคมีในผลไม้สดพร้อมบริโภค

การใช้สารเคมีในการควบคุมจุลินทรีย์ในผลไม้สดพร้อมบริโภคมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความสะอาดผลิตผล ทำลายหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความปลอดภัยของผู้บริโภค (U.S. Food and Drug Administration, 2001) สารเคมีที่ใช้ควบคุมจุลินทรีย์ควรมีสมบัติ ดังนี้

1. มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ไม่มีพิษต่อคนและสัตว์อื่นๆ และทำลายจุลินทรีย์ได้หลายชนิดที่ความเข้มข้นต่ำ
2. สามารถละลายน้ำได้ดี
3. มีความคงตัวสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติในการทำลายจุลินทรีย์
4. มีสมบัติในการทำลายจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิปกติในร่างกายหรืออุณหภูมิห้อง
5. มีความสามารถในการซึมผ่านผนังเซลล์เข้าทำปฏิกิริยาภายในเซลล์
6. สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก
7. ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สัมผัส เช่น ไม่ทำให้เกิดการสึกกร่อนของโลหะต่างๆ
8. ไม่มีกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นที่รบกวน
9. มีสมบัติเป็นสารทำความสะอาดด้วย จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสารทำลายจุลินทรีย์ (นงลักษณ์ และปรีชา, 2548)

วัตถุประสงค์ของการทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อ

ประการที่ 1 เพื่อทำความสะอาดทางกายภาพ (physical cleaning) หมายถึง กิจกรรมที่มุ่งกำจัดสิ่งสกปรกออกไปจากเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตอาหาร (cleaning) โดยการล้างทำความสะอาด (สุมณฑา, 2549)

ประการที่ 2 เพื่อกำจัดหรือลดจุลินทรีย์ หมายถึง กิจกรรมที่มุ่งกำจัดหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ลงมาสู่ระดับที่ยอมรับได้ เรียกกิจกรรมที่มีจุดมุ่งหมายเช่นนี้ว่า sanitizing หรือ disinfection เป็นกิจกรรมที่ต่อเนื่องจากกิจกรรมการทำความสะอาดทางกายภาพ (สุมณฑา, 2549) โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อมีดังนี้

2.6.1 คลอรีนและสารประกอบของคลอรีน

คลอรีนได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อการฆ่าเชื้อในน้ำดื่ม น้ำทิ้ง และในกระบวนการแปรรูปอาหาร อุปกรณ์ และในบริเวณการผลิต (Beuchat, 2000) ในอุตสาหกรรมผลิตผักและผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สดพร้อมบริโภคนิยมใช้สารละลายคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อ ความเข้มข้นที่ใช้อยู่ในช่วง 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-2 นาที ในทั้งก่อนและหลังการตัดแต่ง (USFDA, 1998) โดยจะใช้ในรูปแบบของคลอรีนเหลว หรือสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ (Beuchat, 2000)

เมื่อเติมคลอรีนในน้ำ แก๊สคลอรีนจะแตกตัวได้ กรดไฮโพคลอรัส (HOCl) ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และคลอรีนไอออน (Cl^-) ดังสมการ

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$$

การเติมคลอรีนเหลว เช่น โซเดียมไฮโพคลอไรต์ (NaOCl) และแคลเซียมไฮโพคลอไรต์ $Ca(OCl)_2$ ในน้ำล้าง ทั้งโซเดียมและแคลเซียมไฮโพคลอไรต์จะแตกตัวได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$Ca(OH)_2$] ดังสมการ

$$NaOCl + H_2O \longrightarrow NaOH + HOCl$$

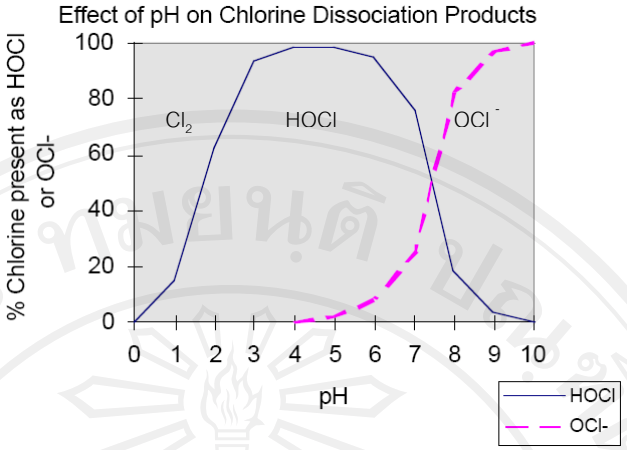
$$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + 2HOCl$$

เมื่อคลอรีนละลายในน้ำจะแทรกซึมผ่านเซลล์เมมเบรนโดยการออกซิไดส์พันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้เซลล์เมมเบรนถูกทำลาย รวมทั้งไปออกซิไดส์หมู่ซัลฟ์ไฮดริลในโมเลกุลโปรตีนทำให้เอนไซม์สูญเสียกิจกรรม นอกจากนั้นคลอรีนยังสามารถทำลายเยื่อหุ้มสปอร์ได้ (Beuchat, 2000) รูปของคลอรีนที่มีประสิทธิภาพทำลายจุลินทรีย์คือกรดไฮโพคลอรัสที่ไม่แตกตัว (HOCl) นอกจากนั้นประสิทธิภาพยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ระยะเวลาที่สัมผัส แสง อากาศ หรือโลหะ (Rivera, 2005)

ปริมาณของ HOCl ในน้ำ จะมีสัดส่วนขึ้นอยู่กับค่าพีเอช เมื่อละลายคลอรีนในน้ำสัดส่วนของ HOCl และ OCl^- จะมีปริมาณผันแปรตามค่าพีเอช ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อค่าพีเอชของสารละลายลดลงจะมีคลอรีนอิสระที่อยู่ในรูป HOCl ที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามคลอรีนสามารถกัดกร่อนอุปกรณ์ที่เป็นโลหะได้เมื่อค่าพีเอชลดลงน้อยกว่า 6.0 โดยประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงค่าพีเอช 6.0-7.5 เนื่องจากที่ค่าพีเอช 7.5 จะมีสัดส่วนของ HOCl และ OCl^- ที่สมดุลกัน และเมื่อค่าพีเอชสูงกว่า 8.0 ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์จะลดลง โดยปริมาณของ HOCl ที่ค่าพีเอช 6.0 และ 8.0 มีประมาณ 97% และ 23% ตามลำดับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 2.3 คลอรีนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ HOCl หากค่าพีเอชลดลง (ต่ำกว่า 4.0) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง HOCl และ Cl^- ทำให้เกิดคลอรีนในรูปของแก๊สคลอรีน (Cl_2) ที่เป็นพิษและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (Beuchat, 2000) ดังสมการ

$$HOCl + H^+ + Cl^- \longrightarrow Cl_2 + H_2O$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 ผลของพีเอชต่อรูปแบบของคลอรีนที่ละลายในน้ำ (ที่มา : Zagory, 1999)

นอกจากค่าพีเอช และอุณหภูมิแล้ว ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนเช่นกัน การมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพของคลอรีนลดลง สารอินทรีย์ที่พบในน้ำอาจเกิดจากของเหลวจากเซลล์ผักและผลไม้ที่ออกมาจากบาดแผลในขั้นตอนการหั่นชิ้น (Rivera, 2005) ผลการศึกษาการใช้คลอรีนความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการใช้ซ้ำในการจุ่มแครอทหั่นชิ้น เปรียบเทียบกับกรดเพอร์ออกซีแอซีติก (PAA) ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอซิดิไฟด์โซเดียมคลอไรต์ (ASC) ความเข้มข้น 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-2 นาที พบว่าการใช้คลอรีนในน้ำประปาสามารถลดจำนวน *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella* spp. และ *Listeria monocytogenes* ได้ถึง 2-3 log cfu/g ขณะที่การใช้ในน้ำที่ผ่านการใช้ซ้ำลดจุลินทรีย์ได้เพียง 0.5-1 log cfu/g โดยสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการใช้ซ้ำไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของ PAA และ ASC (Ruiz-Cruz *et al*., 2007)

ผลการศึกษาการจุ่มผักกาดหอมหั่นชิ้นในสารละลายคลอรีนที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50, 75 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 4 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในทุกระดับความเข้มข้น โดยสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 2 log cfu/g เนื่องจากจุลินทรีย์ในผักกาดหอมเป็นชนิดที่ไม่ทนความร้อน ได้แก่ *Pseudomonas, Serratia* และ *Erwinia* สำหรับการใช้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ลดจำนวนจุลินทรีย์ได้น้อยกว่า 1.0 log cfu/g ในทุกระดับความเข้มข้น (Delaquis *et al*., 2004) เช่นเดียวกับผลการศึกษาเพื่อลดจำนวน *Listeria monocytogenes* ในผักกาดหอมและกะหล่ำปลีหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 และ 22 องศาเซลเซียส พบว่าในผักกาดหอมหั่นชิ้นมีจำนวนจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลง 1.3 and 1.7 log cfu/g และในกะหล่ำปลีหั่นชิ้นลดลง 0.9 and 1.2 log cfu/g ตามลำดับ (Zhang and Faber, 1996)

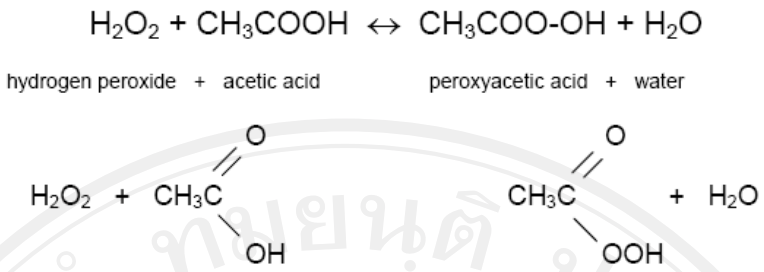
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีรายงานการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเพิ่มขึ้น ทำให้มีการพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อต่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังพบว่าคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ตามธรรมชาติทำให้เกิดสารก่อมะเร็งซึ่งเป็นผลิตผลข้างเคียง (disinfection by product, DBP) จากการใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อ โดยพบสารในกลุ่มของไตรฮาโลมีเทนและกรดฮาโลแอซีติก (Artes *et al*., 2009) ในน้ำทิ้งจากการใช้คลอรีนส่งผลให้มีค่า biological oxygen demand (BOD) อยู่ในระดับสูง ทำให้บางประเทศในยุโรปไม่อนุญาตให้ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์บางชนิด การลดปริมาณการใช้น้ำและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเป็นสิ่งที่สำคัญ พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราการใช้น้ำและน้ำทิ้งมากเป็นอันดับสามรองจากอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมฟอกหนัง ทำให้ต้องนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำ ซึ่งมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณมาก การจัดการวิธีการผลิตและปริมาณสารอินทรีย์ที่ดีจะทำให้น้ำล้างมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีโดยไม่ทำให้เกิดมลพิษและการปนเปื้อนจากสารเคมี (Olmez and Kretzschmar, 2008)

เนื่องจากปัญหาต่างๆ ตามที่กล่าวมา ทำให้ในปัจจุบันมีการหาสารฆ่าเชื้อชนิดอื่นเพื่อมาทดแทนคลอรีน เพื่อให้มีความมั่นใจต่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาได้ดีเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน และลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต สารฆ่าเชื้อที่เป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจในสองสามปีที่ผ่านมาได้แก่ คลอรีนไดออกไซด์ โอโซน กรดอินทรีย์ กรดเพอร์แอซีติก (เพอร์ออกซีแอซีติก) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Olmez and Kretzschmar, 2008) และกรดเพอร์ออกซีซิตริก (Ferdousi *et al*., 2008)

2.6.2 กรดเพอร์ออกซีแอซีติก

กรดเพอร์ออกซีแอซีติกหรือกรดเพอร์แอซีติก (PAA) เป็นสารในกลุ่มของออร์แกนิกเพอร์ออกไซด์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $C_2H_4O_3$ เกิดจากปฏิกิริยาของกรดแอซีติก (CH_3COOH) ซึ่งเป็นกรดหลักในน้ำส้มสายชู (vinegar) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสารละลาย ทำให้มีโมเลกุลของออกซิเจนเพิ่มขึ้นมา 1 อะตอม ในรูปของเพอร์ออกไซด์อยู่ภายในโมเลกุลของกรดแอซีติก ดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดกรดเพอร์ออกซีแอซีติก
(ที่มา : Envitro Tech Chemicals, 2007)

กรดเพอร์ออกซีแอซีติกมีสมบัติเป็นสารออกซิไดส์ที่รุนแรง และมีกำลังในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีนหรือคลอรีนไดออกไซด์ อยู่ในสถานะของเหลวใส ไม่มีสี ไม่ก่อให้เกิดโฟม มีกลิ่นฉุนของกรดแอซีติก ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.114 (NOSB TAP Materials Database Compiled by OMRI, 2000)

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้อนุญาติให้ใช้กรดเพอร์ออกซีแอซีติกเป็นสารฆ่าเชื้อที่สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยตรง ในน้ำล้าง ผักและผลไม้ (21CFR 173.315) และในภาชนะที่สัมผัสกับอาหาร (21CFR 178.1010) ความเข้มข้นที่ใช้จะอยู่ในช่วง 85-300 มิลลิกรัมต่อลิตร หากใช้สัมผัสกับอาหารโดยตรงจะใช้ได้ไม่เกิน 85 มิลลิกรัมต่อลิตร (USFDA, 1997) กลไกการทำลายเชื้อเป็นผลมาจากกำลังในการออกซิไดส์ที่รุนแรงร่วมกับค่าพีเอชต่ำ โดยสารออกซิไดส์จะไปออกซิไดส์เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย เอนโดสปอร์ สปอร์ของยีสต์และรา ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญและตายในที่สุด (NOSB TAP Materials Database Compiled by OMRI, 2000 ; Soliva-Fortuney and Martin-Belloso, 2003) สารละลายกรดเพอร์ออก-ซีแอซีติกสามารถนำมาเป็นสารฆ่าเชื้อสายพานการผลิต เครื่องปอกเปลือก เครื่องหั่นชิ้น เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก ผักและผลไม้ได้ (Parra, 2007)

กรดเพอร์ออกซีแอซีติกได้รับความสนใจมากขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อทดแทนคลอรีน เนื่องจากมีประสิทธิภาพทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ และเมื่อสลายตัวจะได้ กรดแอซีติก น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (Olmez and Kretzschmar, 2008 ; Artes *et al*., 2009) ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของกรดเพอร์ออกซีแอซีติก คือ สามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) (Nathan, 1998) สารอินทรีย์ในน้ำไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ ไม่กัดกร่อน และไม่เกิดผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และค่าพีเอช (ช่วงค่าพีเอช 1-8) (Rivera, 2005 ; Artes *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Wisniewsky (2000) ได้รายงานว่ากรดเพอร์ออกซีแอซีติกสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์บนผิวผลแอปเปิลได้ 5 log ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Narciso and Plotto (2005) ที่ได้จุ่มผลมะม่วงในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำผลมะม่วงมาหั่นชิ้นและจุ่มในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าชิ้นเนื้อมะม่วงที่จุ่มในสารละลายกรดเพอร์-ออกซีแอซีติกมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าเนื้อมะม่วงที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโพคลอ-ไรต์ เช่นเดียวกับ Kim *et al*. (2006) ได้รายงานว่า การจุ่มผลแอปเปิลและมะเขือเทศในกรดเพอร์-ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดจำนวน *Enterobacter sakazakii* ได้มากกว่า 4 log และ 3.7 log ตามลำดับ และการจุ่มผักกาดหอมหั่นชิ้นในกรดเพอร์ออก-ซีแอซีติกความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดจำนวน *E. sakazakii* ได้มากกว่า 5.31 log

นอกจากนี้ผลการศึกษาในใบร็อคเกตสลัด (rocket leave) ที่เก็บรักษาในสภาวะดัดแปรบรรยากาศ ยังพบว่ากรดเพอร์ออกซีแอซีติก 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารฆ่าเชื้อที่สามารถนำมาใช้ทดแทนคลอรีนได้ เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และยังรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยไม่ทำลายสารแอนติออกซิแดนต์ (Martinez-Sanchez *et al*., 2006) แต่ในการจุ่มแครอทหั่นชิ้นในกรดเพอร์ออกซี-แอซีติก 40 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ด้อยกว่าคลอรีน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอซิดิไฟด์โซเดียมคลอไรต์ 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามกรดเพอร์ออกซีแอซีติกจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าคลอรีนเมื่อผสมลงในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือน้ำที่ผ่านการใช้ซ้ำ โดยสามารถลด *Salmonella* ได้ 2.1 log cfu/g (Ruiz-Cruz *et al*., 2007)

2.6.3 โอโซน

โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อที่ใช้น้ำดื่มหลายปีมาแล้ว โดยได้รับสถานะให้อยู่ในรายชื่อ generally recognized as safe (GRAS) ในปี ค.ศ. 1997 ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 U.S. Food and Drug Administration (FDA) ได้อนุญาติให้ใช้โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารในรูปของแก๊สและของเหลวที่สัมผัสกับอาหารได้โดยตรง รวมไปถึงสามารถใช้กับวัตถุดิบ และการแปรรูปผักและผลไม้ได้ (Rivera, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โอโซนคือโมเลกุลของออกซิเจน 3 อะตอม (O_3) ที่ไม่เสถียร ซึ่งเกิดจากอะตอมเดี่ยวของออกซิเจน ($O^{\cdot}$) มารวมกับโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นโอโซน (Parson, 1997) โอโซนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เสถียรเมื่ออยู่ในรูปแก๊สหรือสารละลาย โดยจะสลายตัวไปเป็นแก๊สออกซิเจนในเวลาอันรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการผลิตโอโซนทันทีที่ใช้ ความเสถียรของโอโซนในสถานะของเหลว ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่ใช้ โอโซนสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ในน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือเครื่องดื่ม ส่งผลให้ครึ่งชีวิตของโอโซนสั้นลง (Rivera, 2005) เนื่องจากโอโซนมีความไม่เสถียร จึงไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างและทำให้สามารถนำน้ำในกระบวนการผลิตกลับมาใช้ซ้ำได้ โอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้หลายชนิด รวมทั้งยีสต์และรา ที่ความเข้มข้นต่ำ (1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ระยะเวลาในการสัมผัสน้อย (1-5 นาที) และประสิทธิภาพไม่ขึ้นกับค่าพีเอช จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่าพีเอชของน้ำโอโซนก่อนนำมาใช้ (Olmez and Kretzschmar, 2008) โอโซนมีประสิทธิภาพในการออกซิไดส์เร็วกว่าคลอรีน 3,000 เท่า กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์เป็นผลมาจากสมบัติในการเป็นสารออกซิไดส์ ซึ่งจะไปทำลายองค์ประกอบจำนวนมากภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Rivera, 2005)

Selma *et al*. (2007) ได้จุ่มผักกาดหอมหั่นชิ้นในน้ำโอโซนความเข้มข้น 1, 2 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำโอโซน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ ultraviolet-C เป็นเวลา 0.5, 2 และ 5 นาที พบว่าหลังจากการล้างด้วยโอโซนความเข้มข้น 2 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดจำนวน *Shigella sonnei* ได้ 1.4 และ 1.8 log ขณะที่การใช้โอโซนความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ ultraviolet-c ลดจำนวน *S. sonnei* ได้เพียง 0.9 log unit และการใช้โอโซน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดจำนวน *S. sonnei* ได้ 0.7 log เมื่อล้างเป็นเวลา 2 และ 5 นาที

2.6.4 กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ตามธรรมชาติมักพบในผักและผลไม้หรือเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ซึ่งส่งผลต่อการชะลอและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น แบคทีเรียชนิดที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษในคนไม่สามารถเจริญได้ที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 4.6 ดังนั้นค่าพีเอชที่เป็นกรดของเนื้อผลไม้จึงไปยับยั้งการเป็นสับสเตรตเพื่อการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ (Beuchat, 2000)

กรดอินทรีย์ที่พบในผักและผลไม้ตามธรรมชาติ ในเบื้องต้นมักจะแสดงความสามารถในการยับยั้งยีสต์และรา และกรดอินทรีย์ชนิดที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้นจะแสดงความสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ กรดอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มักพบตามธรรมชาติ ได้แก่ กรดแอซีติก ซิตริก ซักซินิก มาลิก ทาร์ทาริก เบนโซอิก และซอร์บิก กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์จะไปลดค่าพีเอช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ต่างๆ จะดูดซึมโมเลกุลของกรดอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวเข้าไปภายในเซลล์ หรือไปทำลายการขนส่งสับสเตรต โดยไปเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของสารที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Beuchat, 2000) ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ของกรดอินทรีย์อยู่ในช่วงกว้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอินทรีย์ที่ใช้ สำหรับระยะเวลาในการสัมผัสเพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะใช้เวลาประมาณ 5-15 นาที แต่การใช้กรดอินทรีย์อาจส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสสำหรับผักหรือผลไม้บางชนิด เนื่องจากกรดอินทรีย์มีสมบัติในการเป็นสารให้กลิ่นและรสชาติ (Olmez and Kretzschmar, 2008) เช่น การจุ่มใบร็อคเกตสลัด (rocket leave) ในสารละลายกรดแล็กทิก (Purac FCC 80) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้น้อยที่สุดในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษาในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ แต่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนการยอมรับต่ำหลังจากวันที่ 5 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Martin-Sanchez *et al*., 2006)

Velazquez *et al.* (2009) ได้ศึกษาการจุ่มผลมะเขือเทศในสารละลายกรดแล็กทิกความเข้มข้น 0.2% เป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าสารละลายคลอรีน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ (benzalkonium chloride) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถลดจำนวน *Yersinia enterocolitica* ได้ 5.08, 4.7 และ 4.21 log cfu ตามลำดับ

ผลการศึกษาของ Yuk *et al.* (2007) ได้เปรียบเทียบการใช้กรดอินทรีย์ความเข้มข้น 1% จำนวน 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอซีติก และกรดแล็กทิก ร่วมกับการใช้น้ำโอโซนความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ในเห็ด enoki ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้กรดซิตริกร่วมกับน้ำโอโซนมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว โดยสามารถลดจำนวน *E. coli* O157:H7 และ *L. monocytogenes* ได้ 2.26 และ 1.32 log cfu ตามลำดับ

2.6.5 คลอรีนไดออกไซด์

คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) มีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับโอโซน โดยทั่วไปสามารถผลิตได้ 2 วิธีคือ จากการทำปฏิกิริยาของกรดกับโซเดียม-คลอไรต์ หรือปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรต์กับแก๊สคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์มีความเสถียรสูงและมีกำลังในการออกซิไดส์มากกว่าแก๊สคลอรีน 2.5 เท่า ความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์อยู่ในช่วงค่าพีเอชกว้างระหว่าง 6-10 ความเข้มข้น 3-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่สารละลายคลอรีนต้องการค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (Olmez and Kretzschmar, 2008 ; Singh *et al* , 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้คลอรีนไดออกไซด์จะไม่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจนหรือแอมโมเนียอินทรีย์เกิดเป็นสารคลอรามีนที่เป็นอันตราย (Inatsu *et al*., 2007 ; Singh *et al*., 2002 ; Gomez-Lopez *et al*., 2008)

ข้อดีของคลอรีนไดออกไซด์คือประสิทธิภาพไม่ขึ้นกับค่าพีเอชและสารอินทรีย์ ไม่กัดกร่อนเหล็ก และสามารถใช้ได้ที่ความเข้มข้นต่ำ (Zagory, 1999) การนำมาใช้เพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อในผลิตผลทางการเกษตรอนุญาตให้ใช้ได้ที่ความเข้มข้นสูงสุด 3 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ U.S. Code of Federal Regulations แนะนำว่าต้องล้างผลิตผลด้วยน้ำสะอาดที่ดื่มได้ภายหลังการฆ่าเชื้อแล้ว (Olmez and Kretzschmar, 2008)

Lee *et al*. (2004) ได้จุ่มผลแอปเปิล 5 สายพันธุ์ ในสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที สามารถลดจำนวนสปอร์ของ *Alicyclobacillus acidoterrestris* ได้ 1.5, 3.2, 4.5 และมากกว่า 4.8 log ตามลำดับ ขณะที่การใช้คลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้น 120 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียง 1 นาที สามารถลดสปอร์ของ *Alicyclobacillus acidoterrestris* ได้มากกว่า 4.8 log โดยไม่มีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์

ผลการศึกษาของ Mahmoud *et al.* (2008) ได้ใช้แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 3.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์จุลินทรีย์บนผิวผลแคนตาลูป พบว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดและระยะเวลาการสัมผัสนานที่สุด คือ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที สามารถลดจำนวน *Escherichia. coli* O157:H7, *Listeria. monocytogenes* และ *Salmonella poona* ได้ 4.6, 4.3 และ 5.0 log และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลแคนตาลูปได้เป็นเวลา 9 วัน ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เก็บรักษาได้เพียง 3 วัน

2.6.6 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

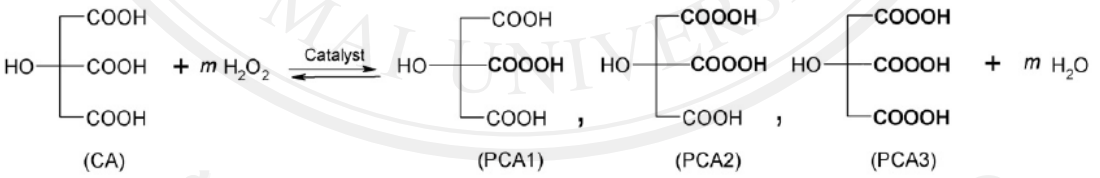
ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ที่รุนแรงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์ของแบคทีเรีย โดยได้รับสถานะ GRAS แต่ในหลายๆ ประเทศยังไม่อนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารฟอกสีซึ่งจะไปออกซิไดส์สารประกอบในอาหารได้ ในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อจำกัดในการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อและสารฟอกสี คือใช้กับอาหารได้บางชนิด (เช่น น้ำนม ไข่ผง สตาร์ช ชา และไวน์) ในระดับความเข้มข้น 0.04-1.25% นอกจากนั้นยังต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่อาจตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยวิธีทางกายภาพหรือเคมีที่เหมาะสม (Olmez and Kretzschmar, 2008 ; Hajmeer, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการศึกษาการจุ่มผลแคนตาลูปและฮันนี่ดิวเมลอนในสารละลายไฮโดรเจนเพอร์-ออกไซด์ เพื่อลดปริมาณ *Salmonella* ในเมลอนหั่นชิ้น พบว่าที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0% สามารถลดจำนวนแอโรบิกแบคทีเรียได้ดีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และการจุ่มชิ้นเมลอนอีกครั้งในไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1% สามารถยับยั้งการเจริญของ *Salmonella* ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Ukuku, 2004) นอกจากนี้การใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1% ร่วมกับไนซินความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โซเดียมแล็กเทตความเข้มข้น 1% และกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2.5% เพียงอย่างเดียวในการลดจำนวน *E. coli* O157:H7 และ *L. monocytogenes* ในแคนตาลูปและฮันนี่ดิวเมลอนหั่นชิ้น (Ukuku, 2005)

2.6.7 กรดเพอร์ออกซีซิตริก

สารเพอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ กรดเพอร์ออกซีแอซีติก ต่างเป็นสารที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และอุตสาหกรรมเคมี เมื่อเร็วๆนี้ Ferdousi *et al.* (2007) ได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมกรดเพอร์ออกซีซิตริก (PCA) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของกรดซิตริกกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ของกรดซิตริก (Cit-COOH) ได้เป็นหมู่เพอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก (-COOOH) ในโมเลกุลของกรดเพอร์ออกซีซิตริก (Cit-COOOH) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเกิดกรดเพอร์ออกซีซิตริก

(ที่มา : Ferdousi *et al*., 2008)

กรดเพอร์ออกซีซิตริกมีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ที่รุนแรง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของสารฆ่าเชื้อที่น่าสนใจ นอกจากนี้กรดเพอร์ออกซีซิตริกยังมีอนาคตที่ดีที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหารได้ (Ferdousi *et al*., 2008) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานถึงผลของกรดเพอร์ออกซี-ซิตริกในการนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อ (ธีรพร, 2546 ; Heard, 2002)

1. ความเข้มข้นของสารเคมี โดยทั่วไปพบว่าที่สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสารเคมีที่ความเข้มข้นต่ำและประสิทธิภาพของสารเคมีจะผันแปรแตกต่างกันไปตามกลุ่มของจุลินทรีย์

2. เวลาที่สารเคมีสัมผัสกับผลิตผล เมื่อระยะเวลาที่สารเคมีสัมผัสกับผลิตผลนานขึ้น จะทำให้จุลินทรีย์ถูกยับยั้งหรือทำลายได้มากขึ้นด้วย

3. ค่าพีเอชของสารฆ่าเชื้อและสภาพแวดล้อมจะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อ เช่น ประสิทธิภาพของสารละลายไฮโพคลอไรต์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสัดส่วนในรูปที่เป็นกรดไฮโพคลอรัสที่ไม่แตกตัวในสารละลาย และขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายกรดไฮโพคลอรัสในรูปที่ไม่แตกตัว สารละลายกรดไฮโพคลอรัสจะเข้าสู่ภายในเซลล์และทำลายเมแทบอลิซึมของเซลล์โดยการออกซิไดส์สารต่างๆ ถ้าค่าพีเอชของสารละลายลดลง ปริมาณของกรดที่อยู่ในรูปไม่แตกตัวจะสูงขึ้นตามไปด้วย

4. ความกระด้างของน้ำ มีผลต่อสารฆ่าเชื้อบางชนิด เนื่องจากผลของแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน อาจช่วยป้องกันไม่ให้สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไปทำลายเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้

5. ปริมาณของจุลินทรีย์ การมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นสูงจะทำให้การฆ่าเชื้อได้ยากขึ้นเมื่อใช้สารฆ่าเชื้อที่ความเข้มข้นเดียวกัน หากมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นสูงมากต้องใช้สารฆ่าเชื้อที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือใช้เวลาในการสัมผัสนานขึ้นจึงจะทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ชนิดของจุลินทรีย์ ความทนต่อสารฆ่าเชื้อของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น คลอรีนมีประสิทธิภาพในการทำลายแบคทีเรีย สปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์ รา และไวรัส โดยจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อที่ใช้

7. ปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ สารอินทรีย์อาจมีผลปกป้องจุลินทรีย์จากสารฆ่าเชื้อ สารเคมีที่มีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิงเอเจนต์ที่รุนแรงจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้หลายชนิดและมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ลดลง เช่น คลอรีน สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำได้ แต่ปริมาณที่เติมลงไปในน้ำจะต้องมีการคำนวณเพื่อให้มีปริมาณของคลอรีนในรูปคลอรีนที่เหลืออยู่ (residual chlorine) สามารถให้ผลในการทำลายจุลินทรีย์ได้

8. อุณหภูมิขณะที่ใช้สารฆ่าเชื้อ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นสารฆ่าเชื้อบางชนิดจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเฉพาะในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ เท่านั้น

สำหรับรายงานผลการวิจัยของสารฆ่าเชื้อชนิดต่างๆ ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคที่ผ่านมา สรุปดังแสดงในตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ผลของสารฆ่าเชื้อชนิดต่างๆ ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

สารฆ่าเชื้อ	ผลิตผล	จำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลง	ที่มา
สารละลายคลอรีน 200 mg/L อุณหภูมิ 4 และ 22°C เป็นเวลา 10 นาที	ผักกาดหอมและกะหล่ำปลีหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Listeria monocytogenes* ได้ 1.3 และ 1.7 log ในผักกาดหอมหั่นชิ้น และลดได้ 0.9 และ 1.2 log ในกะหล่ำปลีหั่นชิ้น ที่อุณหภูมิ 4 และ 22 °C ตามลำดับ	Zhang and Faber (1996)
สารละลายคลอรีน 100 และ 200 mg/L อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 นาที	ใบผักกาดหอม	ลดจำนวนแอโรบิกเพลทเค้าท์ (APC) ได้ 1.4 และ 2.0 log	Kim *et al.* (1999)
สารละลายคลอรีน 120 และ 200 mg/L อุณหภูมิ 22°C เป็นเวลา 10 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้นและมะเขือเทศหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Salmonella baildon* ได้ < 1.0 log ทั้งสองระดับความเข้มข้น	Weissinger *et al*. (2000)
สารละลายคลอรีน 100 และ 200 mg/L อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 10 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวนแอโรบิกเพลทเค้าท์ (APC) ได้ 0.9 และ 1.2 log	Garcia *et al*. (2003)
สารละลายคลอรีน 100 mg/L อุณหภูมิ 50 และ 4°C เป็นเวลา 3 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 2.0 และ <1.0 log	Delaquis *et al*. (2004)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 80 mg/L อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 3 นาที	ผักกาดหอมซอยและหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Listeria monocytogenes* ได้ ~1.0 log	Beuchat *et al*. (2004)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 40 mg/L เป็นเวลา 1 และ 5 นาที	ผลแอปเปิล	ลดจำนวน *Enterobacter sakazakii* ได้ 4.00 และ ≥4.25 log	Kim *et al*. (2006)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 80 mg/L เป็นเวลา 5 นาที	ผลแอปเปิล แคนตาลูป และสตรอเบอรี	ลดจำนวน *Escherichia coli* O157:H7 และ *Listeria monocytogenes* ได้ 4.4 log	Rodgers *et al*. (2004)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 60 mg/L เป็นเวลา 10 นาที	ผลแคนตาลูป	ลดจำนวน *Salmonella enteritidis* ได้ 1.15 log	Socorro Rocha Bastos *et al*. (2005)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 100 และ 50 mg/L เป็นเวลา 30 วินาที	ผลมะม่วงและเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น	ลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดให้เหลือ <1.0 cfu/g	Narciso and Plotto (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สารฆ่าเชื้อ	ผลิตผล	จำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลง	ที่มา
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 40 mg/L เป็นเวลา 1 และ 5 นาที	ผลมะเขือเทศ	ลดจำนวน *Enterobacter sakazakii* ได้ ≥3.59 และ ≥3.70 log	Kim *et al*. (2006)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 40 mg/L เป็นเวลา 1 และ 5 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Enterobacter sakazakii* ได้ 2.26 และ 5.31 log	Kim *et al*. (2006)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 40 mg/L อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 นาที	แครอทหั่นฝอย	ลดจำนวน *Salmonella* spp ได้ 2.1 log	Ruiz-Cruz *et al*. (2007)
สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 80 และ 40 mg/L อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวนมีโซฟิลิกแบคทีเรียได้ 1.2 และ 0.3 log ลดจำนวนโคลิฟอร์มได้ 1.4 และ 1.3 log	Allende *et al*. (2008)
สารละลายโอโซน 1.3 mg/L เป็นเวลา 5 นาที	ใบผักกาดหอม	ลดจำนวนมีโซฟิลิก และไซโครฟิลิกแบคทีเรียได้ 3.9 และ 4.6 log	Kim *et al*. (1999)
สารละลายโอโซน 20 mg/L ร่วมกับสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก 300 mg/L อุณหภูมิ 8°C เป็นเวลา 3 นาที	มันฝรั่งหั่นชิ้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	ลดจำนวนแล็คทิกแอซิดแบคทีเรีย โคลิฟอร์ม และแอนแอโรบิคแบคทีเรียได้ 3.3, 3.0 และ 1.2 log	Beltran *et al*. (2005)
สารละลายโอโซน 2 และ 5 mg/L เป็นเวลา 5 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Shigella sonnei* ได้ 1.4 และ 1.8 log	Selma *et al*. (2007)
แก๊สโอโซน 20,000 ppm เป็นเวลา 30 นาที	เมลอนหั่นชิ้น	ลดจำนวนโคลิฟอร์ม, *Pseudomonas fluorescens*, ยีสต์ และแล็กทิกแอซิดแบคทีเรีย ได้ 1.6, 1.6, 0.7 และ 1.1 log	Selma *et al*. (2008)
สารละลายโอโซน 1 mg/L อุณหภูมิ 10, 18 และ 26 °C เป็นเวลา 2 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวน *L. monocytogenes* ได้ 1.51, 1.35 และ 1.45 log ที่อุณหภูมิ 10, 18 และ 26 °C ตามลำดับ	Olmez and Akbas (2009)
สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 3 mg/L เป็นเวลา 5 นาที	ผักกาดหอม	ลดจำนวน *L. monocytogenes* ได้ ~ 5.0 log	Rodgers *et al*. (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สารฆ่าเชื้อ	ผลิตผล	จำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลง	ที่มา
สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 40 mg/L เป็นเวลา 1, 2,3 และ 4 นาที	ผลแอปเปิล	ลดจำนวน *Alicyclobacillus acidoterrestris* ได้ 1.5, 3.2, 4.5 และ >4.8 log ตามลำดับ	Lee *et al*. (2004)
แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ 5 mg/L เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 22°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	ผลแคนตาลูป	ลดจำนวน *Escherichia Coli* O157:H7, *L. monocytogenes* และ *Salmonella poona* ได้ 4.6, 4.3 และ 5.0 log	Mahmoud *et al.* (2008)
สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2.5 และ 5% เป็นเวลา 5 นาที	ผลแคนตาลูปและฮันนี่ดิวเมลอน	ลดจำนวน *Salmonella* spp. ได้ ~ 3.0 log ทั้งสองความเข้มข้น	Ukuku (2004)
สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2.5 และ 5% เป็นเวลา 5 นาที	แคนตาลูปและฮันนี่ดิวเมลอนหั่นชิ้น	ลดจำนวน *Salmonella* spp. ได้ ~ 2.0 log (แคนตาลูป) และ ~ 1.3 log (ฮันนี่ดิวเมลอน) ทั้งสองความเข้มข้น	Ukuku (2004)
สารละลายกรดแอซีติก 2 และ 4% เป็นเวลา 15 นาที	ใบผักกาดหอม	ลดจำนวนมีโซฟิลิกแบคทีเรียได้ 3.37 และ 3.91 log ตามลำดับ ลดจำนวนโคลิฟอร์มได้ >2.25 log ทั้งสองความเข้มข้น	Nascimento *et al*. (2003)
น้ำส้มสายชู 6, 25 และ 50% เป็นเวลา 15 นาที	ใบผักกาดหอม	ลดจำนวนมีโซฟิลิกแบคทีเรียได้ 1.83, 2.42 และ 2.89 log ตามลำดับ ลดจำนวนโคลิฟอร์มได้ 1.58, >1.99 และ >2.21 log ตามลำดับ	Nascimento *et al*. (2003)
สารละลายกรดซิตริก 1% เป็นเวลา 5 นาที	ผักกาดหอมหั่นชิ้น	ลดจำนวนมีโซฟิลิกแบคทีเรียได้ 1.50 log cfu/g	Akbas and Olmez (2007)
สารละลายกรดซิตริก 6 g/L เป็นเวลา 1 นาที	escarole หั่นชิ้น	ลดจำนวนมีโซฟิลิกแบคทีเรียและ *E. Coli* O157:H7 ได้ประมาณ 0.80 และ 0.90 log cfu/g	Allende *et al*. (2009)
สารละลายกรดซิตริก 1% ร่วมกับน้ำโอโซน 3 mg/L เป็นเวลา 5 นาที	เห็ด enoki	ลดจำนวน *E. Coli* O157:H7 และ *L. monocytogenes* ได้ 2.26 และ 1.32 log	Yuk *et al*. (2007)
สารละลายกรดแล็กทิก 0.2% เป็นเวลา 1 นาที	ผลมะเขือเทศ	ลดจำนวน *Yersinia enterolitica* ได้ 5.08 log	Velazquez *et al*. (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีและข้อจำกัดของสารฆ่าเชื้อชนิดต่างๆ ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อจำกัดของสารฆ่าเชื้อชนิดต่างๆ ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

สารฆ่าเชื้อ	ข้อดี	ข้อจำกัด/ข้อเสีย
คลอรีน (Cl_2) (ไฮโพคลอไรต์)	- ราคาถูก - หาซื้อได้ง่ายและสะดวก	- มีอันตรายจากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงในระดับสูง - สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำ - ประสิทธิภาพขึ้นกับการปรากฏของสารอินทรีย์ - กัดกร่อน - กิจกรรมขึ้นกับค่าพีเอชของสารละลาย - ไม่อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก
โอโซน (O_3)	- มีความสามารถยับยั้งจุลินทรีย์สูง - ระยะเวลาในการสัมผัสสั้น - ได้รับการยอมรับว่าปลอดภัยใช้เติมลงในอาหารได้ (GRAS) - ไม่เกิดสารตกค้าง - ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง	- ต้องมีการผลิตในสถานที่ที่จะใช้งาน - เป็นพิษหากสูดดมเข้าไป - กัดกร่อนเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร - ราคาเริ่มต้นในการติดตั้งสูง - ไม่อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก
คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)	- ความสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้สูงกว่าคลอรีนที่ค่าพีเอชเป็นกลาง - ค่าพีเอชส่งผลต่อประสิทธิภาพน้อยกว่าคลอรีน - เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงน้อยกว่าคลอรีน - กัดกร่อนน้อยว่าคลอรีนและโอโซน	- ต้องมีการผลิตในสถานที่ที่จะใช้งาน - เกิดการระเบิดได้ - ใช้ได้เฉพาะผลิตผลที่ไม่ได้ตัดแต่ง - จำเป็นต้องมีการล้างด้วยน้ำหลังจากใช้งานแล้ว - อาจเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงพวกคลอไรต์และคลอเรต - ไม่อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

สารฆ่าเชื้อ	ข้อดี	ข้อจำกัด/ข้อเสีย
กรดอินทรีย์	- สะดวกในการใช้งาน - ไม่เป็นพิษ - อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก	- ระยะเวลาในการสัมผัสนานซึ่งไม่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรม - อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส
กรดเพอร์ออกซีแอซีติก	- สารอินทรีย์ในน้ำไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ - การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ - ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง - ไม่กัดกร่อนที่ระดับความเข้มข้นที่ยอมรับ (<80 มิลลิกรัมต่อลิตร)	- ไม่อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก - การใช้ในผักความสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ต่ำเมื่อใช้ที่ระดับความเข้มข้นที่ยอมรับ (<80 มิลลิกรัมต่อลิตร)
ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	- ไม่ก่อให้เกิดสารตกค้าง - สะดวกในการใช้ - ราคาถูก	- สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ต่ำ - ระยะเวลาในการสัมผัสนาน - ต้องมีการกำจัดเอา H_2O_2 ที่ตกค้างออก ไม่อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก

ที่มา : Olmez and Kretzschmar (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved