บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์ออกซีแอซีติก และ Oxysan® zs ต่อการเจริญของเชื้อ *C. gloeosporioides* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA

1.1 ผลต่อการเจริญของเชื้อ *C. gloeosporioides*

จากการศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์ออกซีแอซีติก และ Oxysan® zs ต่อการเจริญของเชื้อ *C. gloeosporioides* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เพื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของสารที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา พบว่าสารทั้งสามชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ยกเว้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถยับยั้งได้แต่สามารถชะลอการเจริญของเชื้อได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยกรดเปอร์ออกซีแอซีติกสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุดโดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 0.25 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้กรดเปอร์ออกซี-แอซีติกโมเลกุลของกรดไปมีผลโดยตรงกับเซลล์ของจุลินทรีย์โดยที่ pH ต่ำๆ โมเลกุลของกรดที่แตกตัวเป็น H^+ จะแทรกผ่านเข้าไปในไซโทพลาสซึมเซลล์เกิดการสูญเสียแรงดันออสโมติก เซลล์เมมเบรนสูญเสียความสามารถในการคัดเลือกสาร หรืออาจเกิดความเสียหายกับเซลล์เมมเบรนได้ ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Zeuthen and Sorensen, 2003) เช่นเดียวกับการทดลองของ Baldry (1983) พบว่า กรดเปอร์ออกซีแอซิติกมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยสามารถใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ และควบคุมเชื้อได้หลายชนิดกว่า ส่วน Oxysan® zs ซึ่งประกอบไปด้วยกรดแอซิติก 30-50 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ กรดเปอร์ออกซีแอซิติก 5-10 เปอร์เซ็นต์ และกรดออกทาโนอิก 2-5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะมีคุณสมบัติการเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วยังมีคุณสมบัติการเป็นกรดที่รุนแรงกว่ากรดเปอร์ออกซีแอ-ซิติกโดยมีค่า pH เท่ากับ 1 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเท่ากัน Oxysan® zs จึงมีความเป็นกรดที่รุนแรงกว่า และคุณสมบัติของกรดออกทาโนอิกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ ปัจจุบันมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ประเภทพร้อมรับประทาน (ready to eat : RTE) โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Listeria monocytogenes* โดยพบว่ามีผลต่อรสชาติน้อยมาก (Elamin, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสปอร์

จากการศึกษาผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสปอร์พบว่า เมื่อได้รับกรดเปอร์ออกซี-แอซีติก 0.1, 0.25 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงสปอร์ของเชื้อ *C. gloeosporioides* จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างคือ เซลล์ของสปอร์จะแตกและมีของเหลวไหลออกมาและมีบางสปอร์ที่มีลักษณะยืดยาวผิดปกติจากเดิม ผนังเซลล์จะไม่เรียบซึ่งเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยสปอร์ของเชื้อยังมีสภาพปกติ ส่วนการได้รับ Oxysan® zs 0.1, 0.25 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นทำให้สปอร์ได้รับความเสียหายมากขึ้น คือ ผนังเซลล์ผิดปกติโดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สปอร์แตกหักได้รับความเสียหายมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงกว่ากรดแอซิติกจึงสามารถทำลายผนังเซลล์ เยื่อบุเซลล์ โปรตีน หรือสารพันธุกรรมของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า (สมศักดิ์และคณะ, 2543) เช่นเดียวกับ Oxysan® zs ซึ่งประกอบไปด้วยกรดแอซิติก 30-50 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ กรดเปอร์ออกซีแอซิติก 5-10 เปอร์เซ็นต์ และกรดออกทาโนอิก 2-5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะมีคุณสมบัติการเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วยังมีคุณสมบัติการเป็นกรดที่รุนแรงกว่ากรดเปอร์ออกซีแอ-ซิติกโดยมีค่า pH เท่ากับ 1 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเท่ากัน Oxysan® zs จึงมีความเป็นกรดที่รุนแรงกว่า นอกจากนี้คุณสมบัติของกรดออกทาโนอิกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์จึงสามารถทำลายผนังเซลล์ได้เช่นเดียวกัน

สอดคล้องกับการทดลองของ Whangchai *et al*. (2005) ที่ทำการทดลองโดยการให้โอโซนกับสปอร์ของเชื้อ *Cladosporium sp*. ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อโรคในลำไย พบว่าโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ชนิดหนึ่งสามารถทำลายเซลล์ของเชื้อรา เซลล์สูญเสียความสามารถในการนำสารเข้าออกเซลล์ (cell permeability) และทำให้เซลล์แตกเสียหายและตายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของกรดเปอร์ออกซีแอซีติก และ Oxysan® zs ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการควบคุมโรคของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยการปลูกเชื้อสาเหตุ *C. gloeosporioides*

1. คะแนนการเกิดโรค

หลังจากปลูกเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนส คือ *C. gloeosporioides* ก่อนการให้สารต่างๆ และศึกษาการเกิดโรคหลังจากการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน พบว่า การให้กรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนการเกิดโรคต่ำที่สุด รองลงมาคือ Oxysan® zs 0.25 เปอร์เซ็นต์ และกรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสุธนัย (2549) ที่พบว่าการใช้กรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของโรคราเขียวหลังการเก็บเกี่ยวและ Mari *et al.* (2004) พบว่าการจุ่มผลไม้จำพวกท้อ เชอร์รี เอพริคอท ในกรดเปอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา *Monilinia laxa* และ *Rhizopus stolonifer* ซึ่งกรดเปอร์ออกซีแอซีติกเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่ากรดแอซิติก ซึ่งการให้กรดเปอร์ออกซีแอซีติกที่ความเข้มข้นมากขึ้นมีแนวโน้มควบคุมโรคได้ดีกว่า

ส่วนผลของ Oxysan® zs ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดแอซิติก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์ออกซีแอซีติก และกรดออกทาโนอิกนั้นมีผลในการยับยั้งการเกิดโรคได้เนื่องจากกรดแอซิติกที่มีอยู่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเข้าทำลายผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยเข้าทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดระหว่างโปรตีนและไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ให้หลุดออกมานอกเซลล์ การทำงานของเซลล์จึงเกิดไม่ครบสมบูรณ์ สอดคล้องกับการทดลองของ Sholberg and Gaunce (1996) ที่พบว่าการรมด้วยกรดแอซิติกสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่บริเวณเปลือกด้านนอกของสาลี่โดยไม่ทำให้ผิวผลบอบช้ำซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสุธนัย (2549) ที่พบว่าการใช้กรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของโรคราเขียวหลังการเก็บเกี่ยวและ Mari *et al.* (2004) พบว่าการจุ่มผลไม้จำพวกท้อ เชอร์รี เอพริคอท ในกรดเปอร์-ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา *Monilinia laxa* และ *Rhizopus stolonifer* นอกจากนี้ยังพบว่ากรดเปอร์ออกซีแอซีติก (CH_3COOOH) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญได้ดีกว่ากรดแอซิติก (CH_3COOH) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในโมเลกุลของกรดเปอร์ออกซีแอซีติกมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นมา 1 อะตอม ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงกว่ากรดแอซิติก จึงสามารถทำลายผนังเซลล์ เยื่อบุเซลล์ โปรตีน หรือสารพันธุกรรมของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า (สมศักดิ์, 2543) สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจึงนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรคอย่างกว้างขวาง (Chapman, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สภาวะของไอถูกใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอุตสาหกรรมการบรรจุทางการแพทย์และเครื่องมือเครื่องใช้ (Block, 1991) ในการประยุกต์ใช้ทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ของลูกเกดอบแห้งและพลัม (Simmons *et al*., 1997)

สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดเปอร์ออกซีแอซิติกสามารถใช้ได้ทั้งแบบสารเดี่ยวหรือสารผสม โดยมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย และมีการใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น การผลิตนม เนื้อ ผัก ผลไม้ และเครื่องดื่ม เช่นการผลิตเบียร์ รวมทั้งเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอลล์ โดยสามารถทำลายสปอร์ของเซลล์ยีสต์ และแบคทีเรียได้ โดยไม่ทำให้กลิ่นและรสชาติของเครื่องดื่มเปลี่ยนไป (Alasri *et al*., 1993) โดยสารในกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายแบบ biodegradable ได้ง่าย โดย Bessems *et al*. (2000) ได้ทดลองพบว่ากรดเปอร์ออกซีแอซิติกเป็นสารที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการใช้เป็นน้ำยาล้างผักและผลไม้เพื่อควบคุมเชื้อ *Escherichia coli* เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารอื่นๆ เช่น calcium hypochlorite, chlorine dioxide หรือ benzalkonium chloride นอกจากนี้การใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิติกที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นเวลา 5 นาที สามารถควบคุมเชื้อ *Monilinia laxa* ซึ่งเป็นโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญของผลไม้ประเภทที่มีเปลือกเมล็ดแข็ง (stone fruit) (Mari *et al*., 1999) ขณะเดียวกัน Mari *et al*. (2004) รายงานว่า การจุ่มผลไม้จำพวก stone fruit ในกรดเปอร์ออกซีแอซิติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา *M. laxa* อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสมศักดิ์และคณะ (2543) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำลายสปอร์แบคทีเรียของกรดเปอร์ออกซีแอซิติกความเข้มข้น 0.26 เปอร์เซ็นต์ กับกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่มีและไม่มีสารอินทรีย์เจือปน พบว่ากรดเปอร์ออกซีแอซิติกสามารถทำลายสปอร์ได้หมดในเวลา 10 นาที ในทุกการทดสอบ ขณะที่กลูตารัลดีไฮด์ใช้เวลาทำลายสปอร์อย่างน้อย 60 นาที เช่นเดียวกับ Bastos *et al*. (2005) ได้ประเมินประสิทธิภาพของสารคลอรีน 200, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร และกรดเปอร์ออกซีแอซิติก 60 มิลลิกรัม/ลิตร กับสาร Tween 80 ในการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์กลุ่ม coliforms และ fecal coliforms บนผิวผลแคนตาลูป พบว่ากรดเปอร์ออกซีแอซิติกสามารถลดการปนเปื้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการล้างทำความสะอาดแอปเปิลและแคนตาลูปสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนได้ดี (Sapers and Sites, 2003) เช่นเดียวกับ Ukuku *et al*. (2005) รายงานว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างเดียวหรือร่วมกับ nisin (25 μg/ml), sodium lactate (1 เปอร์เซ็นต์) และ citric acid (0.5 เปอร์เซ็นต์) สามารถลดเชื้อ *Escherichia coli* ในแคนตาลูปและ Honeydew melons ได้ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกำจัดน้ำเสียโดยใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิติกความเข้มข้น 1-2 มิลลิกรัม/ลิตร ในเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง สามารถลด fecal coliform ได้ 10,000 CFU/100 มิลลิลิตร (Colgan and Gehr, 2001) และ Brinez *et al*. (2006) ได้รายงานว่าการใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิติกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.05-0.4 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที สามารถยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus* spp., *Listeria* spp. และ *Escherichia coli.* ในน้ำส้มและนมชอคโกแลตได้ ส่วน King *et al*. (2005) พบว่าการใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิติก (200 ppm; 43 องศาเซลเซียส) กับผิวที่ร้อนของเนื้อสัตว์สามารถลดเชื้อ *E. coli* 0157:H7 และ *S. typhimurium* ได้ประมาณ 0.7 $\log_{10}$ CFU/cm^2

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity : TA)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันโดยมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อผลไม้มีการพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ ปริมาณกรดจะลดลง (จริงแท้, 2541) โดยมีการลดลงเรื่อยๆ เมื่อผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกและกรดจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาล (Wills *et al.,* 1981) ความหวานนั้นมาจากการเกิดน้ำตาลโมเลกุลเล็กซึ่งปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของแป้งและคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆ (ดนัย, 2540)

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids : TSS)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids : TSS) ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับผลการทดลองในมะม่วงพันธุ์มหาชนก (จุลจิรา, 2545; กันยา, 2547 และนิรมล, 2549) และมะม่วงพันธุ์เคนท์ (มยุรี, 2546) ซึ่ง Vazquez-Salinas and Laksminarayan (1985) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ในผลสุกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสลายตัวของแป้ง ผลมะม่วงมีการสะสมอาหารไว้ในรูปสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือการเก็บรักษาแป้งมีการสลายตัวเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์ amylase (สายชล, 2528) และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารที่ละลายอยู่ในน้ำคั้น (soluble solids) (สายชล, 2528) จากการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณ TSS ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับสุธนัย (2549) ที่พบว่าการใช้กรดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การเปลี่ยนแปลงสีผิว

การเปลี่ยนแปลงสีผิวในทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวอมเหลืองไปเป็นสีเหลืองตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากดัชนีการเกิดสีเหลือง ซึ่งการเปลี่ยนสีนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีของคาโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินที่อยู่ภายในโครโมพลาสต์ในเนื้อเยื่อของพืชปรากฏชัดขึ้น (ดนัย, 2540 และ Wills *et al*., 1998) จากการทดลองพบว่าชุดควบคุมมีดัชนีการเกิดสีเหลืองสูงที่สุด และชุดที่มีการให้ Oxysan® zs 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีดัชนีการเกิดสีเหลืองต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากกรดเปอร์ออกซีแอซีติกและ Oxysan® zs ซึ่งมีค่า pH ต่ำทำให้มีผลในการลดการสังเคราะห์เอทิลีนได้ดังที่กล่าวข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจากเอทิลีนมีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของรงควัตถุที่อยู่ภายในตัวผลิตผล โดยเอทิลีนเร่งการเสื่อมสภาพของพืช ซึ่งในระหว่างการเสื่อมสภาพการสลายตัวจะเกิดขึ้นมาก (จริงแท้ 2540)

5. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (firmness)

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นความแน่นเนื้อมีค่าลดลง และไม่มีความแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของอัฐพล (2548) และสุธนัย (2549) ที่พบว่าความแน่นเนื้อของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Chaplin *et al*. (1991) ที่พบว่า ผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ผลจะเกิดการสุกและทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลงเนื่องจากเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ในผลไม้เพคตินจะอยู่ในรูปโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำเมื่อผลไม้เริ่มสุกโปรโตเพคตินจะถูกสลายตัวกลายเป็น เพคตินและกรดเพคติกซึ่งละลายน้ำ โดยมีเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลไม้นิ่มลง (ดนัย, 2540)

6. การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในด้านการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นและไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสุธนัย (2549) ที่พบว่าการใช้กรดแอซิติกหรือกรดเปอร์ออกซีแอซิติกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่แช่น้ำกลั่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของกรดเปอร์ออกซีแอซีติก และ Oxysan® zs ร่วมกับอุณหภูมิต่ำต่ออายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

1. คะแนนการเกิดโรค

หลังจากการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 8 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การให้กรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนการเกิดโรคต่ำใกล้เคียงกับการให้สาร Oxysan® zs 0.25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมจะเห็นได้ชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสุธนัย (2549) ที่พบว่าการใช้กรดเปอร์ออกซีแอซีติก 0.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของโรคราเขียวหลังการเก็บเกี่ยวและ Mari *et al.* (2004) พบว่าการจุ่มผลไม้จำพวกท้อ เชอร์รี เอพริคอท ในกรดเปอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา *Monilinia laxa* และ *Rhizopus stolonifer* นอกจากนี้ยังพบว่ากรดเปอร์ออกซีแอซีติก (CH_3COOOH) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญได้ดีกว่ากรดแอซิติก (CH_3COOH) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในโมเลกุลของกรดเปอร์ออกซีแอซีติกมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นมา 1 อะตอม ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงกว่ากรดแอซิติก จึงสามารถทำลายผนังเซลล์ เยื่อบุเซลล์ โปรตีนหรือสารพันธุกรรมของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า (สมศักดิ์, 2543) สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจึงนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรคอย่างกว้างขวาง (Chapman, 1998) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สภาวะของไอถูกใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอุตสาหกรรมการบรรจุทางการแพทย์และเครื่องมือเครื่องใช้ (Block, 1991) ในการประยุกต์ใช้ทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ของลูกเกดอบแห้งและพลัม (Simmons *et al*., 1997)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity : TA)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของทั้ง 8 และ 13 องศาเซลเซียส พบว่า ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันโดยมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (8 องศาเซลเซียส) ทำให้การลดลงของกรดที่ไทเทรตได้ช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส 1 สัปดาห์ ซึ่งอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้ ทั้งนี้เมื่อผลไม้มีการพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ปริมาณกรดจะลดลง (จริงแท้, 2541) โดยมีการลดลงเรื่อยๆ เมื่อผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกและกรดจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาล (Wills *et al.,* 1981) ความหวานนั้นมาจากการเกิดน้ำตาลโมเลกุลเล็กซึ่งปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของแป้ง และคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆ โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของผลมะม่วงมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบในแวคิว-โอลของเซลล์ (ดนัย, 2540) การลดลงของกรดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาซึ่งจากการทดลองนี้ การให้สารร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานมีผลทำให้ค่า TA สูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับสาร อาจเนื่องจากการให้สารที่อยู่ในรูปของกรดซึ่งกรดเปอร์ออก-ซีแอซิติกมีค่า pH อยู่ที่ต่ำกว่า 2 และ Oxysan® zs มีค่า pH เท่ากับ 1 ทำให้กรดบางส่วนได้มีการแทรกซึมเข้าไปยังผลมะม่วงผ่านทางรอยแตกหรือขั้วผลทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าสูงกว่าปกติ เช่นเดียวกับพันธุ์ Kensington พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงเนื่องจากกระบวนการต่างๆ ทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกถูกยับยั้งทำให้มะม่วงเกิดการสุกที่ผิดปกติไป (Chaplin *et al*., 1991)

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids : TSS)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของทั้งสองอุณหภูมิ คือ 8 และ 13 องศาเซลเซียส พบว่า ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดที่ได้รับสารมีค่า TSS ต่ำกว่าชุดที่ไม่ได้รับสารซึ่งสัมพันธ์กับค่า TA ที่สูงขึ้น อาจเนื่องจากการให้สารที่อยู่ในรูปของกรดซึ่งกรดเปอร์ออกซีแอซิติกมีค่า pH อยู่ที่ต่ำกว่า 2 และ Oxysan® zs มีค่า pH เท่ากับ 1 ได้มีการแทรกซึมเข้าไปยังผลมะม่วงจึงอาจมีผลต่อการสลายตัวของแป้งไปเป็นน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TSS เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 13 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้มีผลยับยั้งการหายใจ ทำให้การสลายแป้งไปเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหายใจลดลง (จริงแท้, 2538) เช่นเดียวกับผลการทดลองในมะม่วงพันธุ์มหาชนก (จุลจิรา, 2545; กันยา, 2547 และนิรมล, 2549) และมะม่วงพันธุ์เคนท์ (มยุรี, 2546) ที่พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า TSS ต่ำกว่า นอกจากนี้ Vazquez-Salinas and Laksminarayan (1985) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ในผลสุกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสลายตัวของแป้ง ผลมะม่วงมีการสะสมอาหารไว้ในรูปสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือการเก็บรักษาแป้งมีการสลายตัวเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์ amylase และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารที่ละลายอยู่ในน้ำคั้น (soluble solids) (สายชล, 2528)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกในทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวอมเหลืองไปเป็นสีเหลืองทั้ง 8 และ 13 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากดัชนีการเกิดสีเหลือง ซึ่งการเปลี่ยนสีนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีของคาโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินที่อยู่ภายในโครโมพลาสต์ในเนื้อเยื่อของพืชปรากฏชัดขึ้น (ดนัย, 2540 และ Wills *et al*., 1998) และการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสชุดที่ได้รับสาร Oxysan® zs 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีดัชนีการเกิดสีเหลืองต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากกรดเปอร์ออกซีแอซีติกและ Oxysan® zs ซึ่งมีค่า pH ต่ำทำให้มีผลในการลดการสังเคราะห์เอทิลีนทั้งนี้เนื่องจากเอทิลีนมีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของรงควัตถุที่อยู่ภายในตัวผลิตผล โดยเอทิลีนเร่งการเสื่อมสภาพของพืช ซึ่งในระหว่างการเสื่อมสภาพการสลายตัวจะเกิดขึ้นมาก (จริงแท้, 2540) เช่นเดียวกับ Charles and Tung (1973) ที่พบว่า ผลกล้วยพันธุ์ Valery ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีการพัฒนาของสีเปลือกเป็นสีเหลืองได้น้อยกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso, Haden, Irwin, Kent และ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานมีการพัฒนาสีเปลือกและเนื้อได้น้อยเมื่อผลสุก (Vezquez-Salinas and Lakshminarayana, 1985) แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ การให้สารทั้งกรดเปอร์ออกซีแอ-ซีติกและ Oxysan® zs 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ดัชนีการเกิดสีเหลืองสูงกว่าชุดควบคุมอาจเนื่องมาจากชุดควบคุมมีคะแนนการเกิดโรคสูงกว่า (เท่ากับ 4.67) ทำให้ค่า L* a* และ b* ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าปกติ

5. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (firmness)

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงทั้งที่อุณหภูมิ 8 และ 13 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอทิลีนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสลายตัวของผนังเซลล์ภายใน (Blankenship and Dole, 2003) ทั้งนี้เพราะผลที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเพคติน (pectin) น้อยกว่าผลที่มีอายุน้อย (Subramanyam *et al*., 1976) ซึ่งเพคตินเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของ primary cell wall และ middle lamella ซึ่งในผลดิบจะพบสารประกอบเพคตินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำจึงมีผลให้เซลล์ยึดเกาะกันแน่นระหว่างที่ผลยังดิบอยู่แต่เมื่อผลสุกความแน่นเนื้อจะลดลงเพราะเพคตินมีการเปลี่ยนแปลงขนาดให้เล็กลงและละลายน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ยึดเกาะกันหลวมๆ (สายชล, 2528) Gomez-Lim (1993) รายงานว่าระหว่างการสุกของผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มะม่วงบริเวณผนังเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโดยโมเลกุลของ pectin และ hemicellulose จะถูกเอนไซม์ย่อยสลายทำให้แรงยึดเกาะกันของโมเลกุลของสารที่ผนังเซลล์มีค่าลดลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงซึ่งจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เนื้อผลด้านใน (inner mesocarp) ก่อนแล้วกระจายไปสู่ส่วนของเนื้อผลด้านนอก (outer mesocarp) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่สำคัญ เช่น polygalacturonase (PG) และ pectin esterase (PE) เป็นต้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Lederman *et al.* (1997) พบว่า ผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อลดลงหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน และในผลมะม่วงพันธุ์ Amelie, Tommy Atkins และ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14-21 วัน (Medlicott *et al*., 1990) เนื่องจากเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ในผลไม้เพคตินจะอยู่ในรูปโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำเมื่อผลไม้เริ่มสุกโปรโตเพคตินจะถูกสลายตัวกลายเป็นเพคตินและกรดเพคติกซึ่งละลายน้ำ โดยมีเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลไม้นิ่มลง (ดนัย, 2540) นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ให้สารมีผลทำให้ความแน่นเนื้อสูงกว่าชุดควบคุมอาจเนื่องมาจากชุดควบคุมมีคะแนนการเกิดโรคสูงกว่าชุดที่ให้สารเนื่องจากเชื้อราที่เข้าทำลายผลสามารถปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยและสลายเนื้อผลได้เช่นเดียวกับรายงานของ Horton and Keen (1966) พบว่าเชื้อรา *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus rolfsii* สามารถสร้างเอนไซม์ polygalacturonase ที่ย่อยผนังเซลล์ได้ ส่วนเชื้อรา *C. gloeosporioides* สามารถสร้างเอนไซม์ cutinase เพื่อย่อยสลายชั้นของ cutin ได้เช่นเดียวกัน

6. การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในด้านการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองทั้งที่ 8 และ 13 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีสาเหตุหลักจากการสูญเสียน้ำออกจากผล การสูญเสียน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในและภายนอกผลโดยการระเหยของน้ำออกทางปากใบ เลนติเซล (lenticel) และช่องเปิดต่างๆ ของผล (สายชล, 2528) ซึ่งชุดควบคุมของทั้งสองอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดที่ให้สาร สอดคล้องกับผลการทดลองในผลมะม่วงพันธุ์ Julie (Sankat *et al*., 1993) และผลมะม่วงพันธุ์ Manila (Hidalgo *et al*., 1996) การที่ผลมะม่วงสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของน้ำมากกว่าที่อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่ำ ดังนั้นโอกาสที่น้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สจึงเกิดขึ้นได้มากกว่า ทำให้ผลมะม่วงที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (จริงแท้, 2538 ; ดนัย, 2540) จากการทดลองพบว่าชุดที่ให้กรดเปอร์ออกซีแอซีติกและ Oxysan® zs มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาทั้งที่ 8 และ 13 องศาเซลเซียส ได้วางชุดควบคุมไว้ชั้นบนสุดของตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งอยู่ใกล้กับพัดลมมากจึงถูกลมพัดอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดที่ได้รับกรดเปอร์ออกซี-แอซีติกและ Oxysan® zs

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved