

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

สำรวจวิธีการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของผลลำไยเพื่อการส่งออกในปัจจุบัน

จากการสำรวจโรงรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในจังหวัดลำพูน พบว่า โรงรมส่วนใหญ่จะไม่อนุญาตให้เข้าสำรวจ เนื่องจากวิธีการรมถือว่าเป็นความลับของแต่ละโรงรม การสำรวจโรงรมจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างทำได้ยาก และการติดต่อขอซื้อตัวอย่างลำไยมาวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างก็ทำได้ยากเช่นกัน อย่างไรก็ตามจากการสำรวจโรงรมขนาดใหญ่ 3 แห่ง ขนาดกลาง 2 แห่ง และขนาดเล็ก 2 แห่ง พบว่ามีโรงรมที่หลังสิ้นสุดการรมแล้ว มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อผลเกิน 50 ppm ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจโรงรมของพงศ์พันธุ์ และคณะ (2551) ที่ทำการสำรวจโรงรมในเขตภาคเหนือ ในปี 2550 ที่พบการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง ซึ่งเกณฑ์สูงสุดที่ยอมให้ตรวจพบ (maximum residue levels, MRLs) ได้กำหนดไว้ในเนื้อผลไม่เกิน 50 ppm (สำหรับลำไยส่งออกไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน) และจากข้อมูลการส่งออกที่ได้จากการสำรวจโรงรม พบว่า เริ่มมีประเทศผู้นำเข้าลำไยสดจากไทยไม่ยอมให้ผลลำไยสดมีการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกและเนื้อผล เช่น ผู้นำเข้าบางรายในประเทศอินโดนีเซีย และผู้นำเข้าบางประเทศของสหภาพยุโรป ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของสำนักงานวิจัยและพัฒนาเกษตรเขตที่ 1 (2551) ที่ระบุไว้ว่า ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และแคนาดาจะไม่ยอมให้มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อผล จากผลการศึกษานี้ทำให้ต้องเร่งแก้ปัญหาในประเด็นของสารตกค้างอย่างเร่งด่วน

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการรมโอโซนต่อการลดปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างของผลลำไยสด

จากการเลือกระยะเวลาการรมโอโซนที่สามารถลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลได้ดี ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) พบว่า การรมโอโซนมีผลต่อการลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลลำไย โดยการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือก และเนื้อผลได้ 40.08 และ 55.1 เปอร์เซ็นต์ (มีการตกค้างในเปลือกและเนื้อผลก่อนรมโอโซนเฉลี่ย 2561.86 และ 33.15 ppm) และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดลงเมื่อระยะเวลาการรม โอโซนเพิ่มขึ้นโดยที่ 10 ชั่วโมง

สามารถลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลได้ 93.50 และ 81.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสูตรพล (2543) ที่รายงานว่าประสิทธิภาพของโอโซน นอกจากจะขึ้นอยู่กับสารที่เข้าทำปฏิกิริยาแล้ว ประสิทธิภาพของโอโซนยังขึ้นกับอุณหภูมิของสาร และระยะเวลาในการสัมผัสด้วย และโอโซนนั้นสามารถลดสารตกค้างได้เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซ ที่มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์สูง ซึ่ง ชมภูศักดิ์ (2539) กล่าวว่าก๊าซโอโซนมีความสามารถในการ ออกซิไดซ์หรือเข้าไปแย่งพลังงานจากสารหรือโมเลกุลอื่น จึงมีอำนาจในการทำลายและเปลี่ยน สภาพของโมเลกุลและสารที่เข้ามารวมสัมผัสและอยู่ใกล้ ดังนั้นจึงเข้าทำลายสารเคมีได้อย่าง รวดเร็ว และจากการรายงานของจิรวรรณ และคณะ (2545) ที่ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการลด หรือกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยอบแห้งด้วยวิธีการใช้ระบบโอโซน โดยนำลำไยแห้งที่ผ่านการรมด้วยซัลไฟต์แล้วมาผ่านการฟอกด้วยระบบโอโซนด้วยอัตรา 250 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เป็นเวลา 1 – 4 ชั่วโมง ส่วนลำไยสดได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับระบบ ความดันสุญญากาศที่ 20 นิ้วปรอท เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า การใช้โอโซนสามารถลดปริมาณ ซัลไฟต์ในลำไยอบแห้งในส่วนเปลือกและเนื้อลำไยได้เท่ากับ 39.22 และ 44.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับภายใน 4 ชั่วโมง ส่วนในลำไยสดสามารถลดปริมาณซัลไฟต์ได้ถึง 77.87 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ความดันสุญญากาศลดได้เล็กน้อยเพียง 36.84 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Haberhauer *et al.* (1999) อธิบายว่าการใช้โอโซนความเข้มข้นสูงสามารถกำจัดของเสียจากยาปราบศัตรูพืชได้ เนื่องจากโอโซนมีประสิทธิภาพในการเร่งการสลายตัวของยาปราบศัตรูพืช อีกทั้งงานวิจัยของ Hwang *et al.* (2001) ทดลองนำผลแอปเปิ้ลจุ่มสาร mancozeb ความเข้มข้น 1 และ 10 มก.ต่อลิตร จากนั้นนำไปล้างในน้ำที่ผ่านโอโซน พบว่า สามารถลดปริมาณสาร mancozeb ตกค้างได้ 56-97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การใช้โอโซน 1 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสาร ethylene thiourea ตกค้างได้อีกด้วย และจากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกในรูปค่า L^* , a^* และ b^* หลังจากสิ้นสุดการรมทุกๆ 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเท่ากับการรมด้วยโอโซน) พบว่าการรมด้วยโอโซนยังมีผลดีต่อคุณภาพสี เปลือกของลำไย เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ของสีเปลือกลำไยที่ผ่านการรมด้วย โอโซน กับชุดการทดลองวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่าสี L^* และ b^* ในชุดการทดลองที่ผ่านการ รมด้วยโอโซนมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าแตกต่างจากชุดการทดลองที่วางไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ในทุกชุดการทดลอง และไม่พบการเกิดสี น้ำตาลที่เปลือกผลลำไยหลังจากสิ้นสุดการรมโอโซนในทุกช่วงเวลา

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการรมโอโซนเพื่อควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไยสด

การรมผลลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ช่วยป้องกันการเกิดโรคในผลลำไยสด แต่เมื่อการรมด้วยโอโซนสามารถลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างซึ่งอาจจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง ดังนั้นจึงนำผลลำไยที่ผ่านการรมด้วยโอโซน ที่ช่วงเวลา 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 7 วัน และทำการสุ่มวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count, TPC), ยีสต์, รา ทุกวัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือ ไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 7 วัน คาดว่าอาจเป็นผลเนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้รมสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับผลได้หมด นอกจากนี้โอโซนยังมีผลไปยังยังการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยไปมีผลต่อเยื่อหุ้ม ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในจุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในจุลินทรีย์เกิดการจับตัวเป็นก้อนเซลล์แตก และเข้าทำลายระบบการหายใจตลอดจนทำให้เอนไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของจุลินทรีย์เสียหายด้วย (สิริพร, 2543) และโอโซนมีผลต่อการเข้าทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร phospholipid (Mudd et al., 1969) และ ยังพบว่าโอโซนมีการซึมผ่านผนังเซลล์ แล้วทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ใน cytoplasm ทำให้แบคทีเรียมีการแบ่งเซลล์ลดลง (Ishizaki et al., 1987) นอกจากนี้โอโซนยังสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ดังเช่น Kondo et al. (1989) ที่ใช้โอโซนที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *E. coli* ในผักกาดขาวปลี ทำนองเดียวกันกับ Singh et al. (2002) ได้ล้างผักกาดหอมและเบบี๋แครอทในน้ำ ที่ ผ่านก๊าซโอโซน 9.7 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 10 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ *E. coli* O157 : H7 ได้ และจากการวิเคราะห์ห้ายีสต์และราบนแผ่นทดสอบ petri film พบว่า โอโซนสามารถควบคุมการเจริญของยีสต์และราได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Whangchai et al. (2005) ที่ได้รายงานว่ โอโซนสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. โดยทำให้สปอร์เกิดอาการผิดปกติ และมีการเจริญเติบโตช้า โดยระยะเวลาในการรมโอโซนที่มากขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้มากขึ้น และ Whangchai et al. (2006) รายงานว่าการให้ก๊าซโอโซนร่วมกับกรดออกซาลิก สามารถลดการเกิดโรคของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวได้ และจากการศึกษาของ Palou et al. (2001) ในการให้ก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm กับส้มพันธุ์วาเลนเซีย (Valencia) ซึ่งผลการทดลองสรุปว่าการให้โอโซนสามารถชะลอการเกิดโรคราสีเขียวและราสีน้ำตาลได้ดี สำหรับการทดลองใช้โอโซนเพื่อควบคุมโรคราสีเขียวในส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งมีรายงานว่า เมื่อมีการรมด้วยโอโซนแบบต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง สามารถควบคุมการเกิดโรคราสีเขียวที่เกิดจากเชื้อ *P. digitatum* ได้ดี (Boonkorn et al., 2012) และ Krause and Weidensaul (1997) ที่ได้ใช้โอโซน 0.3 ppm ยับยั้งการ

สร้างสปอร์และการงอกของเชื้อ *Botrytis cinerea* ได้ ทำนองเดียวกันกับ Barbosa-Martinez *et al.* (2002) ร่มผลมะม่วงโดยใช้โอโซน 2.2 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 15 นาที พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง การงอกของเชื้อ *C. gloeosporioides* และ *F. oxysporum* ได้โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของมะม่วง แม้ว่าการใช้โอโซนจะไปลดปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างที่ผลลำไย แต่ไม่ทำให้ความสามารถในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวลดลง คาดว่าเป็นผลจากโอโซนเข้ามามีบทบาทในการควบคุมโรคได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการรมโอโซนต่อคุณภาพของผลลำไยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ผลลำไยในทุกชุดการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในรูปของค่า L^* ในระหว่างการเก็บรักษาที่น้อยมาก ส่วนค่า a^* ในทุกชุดการทดลองหลังจากการเก็บรักษาที่ 14 วัน มีค่า a^* มากขึ้น และค่า b^* มีค่าลดลงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งโอโซนสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของลำไยได้ ดังเช่น Gross (1987) กล่าวว่า เอทิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งการสลายของคลอโรฟิลล์และสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ จากการทดลองใช้โอโซนผ่านน้ำ พบว่า การใช้โอโซนช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีผิวในช่วงแรกของการเก็บรักษาได้ดี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโอโซนที่ผ่านลงในน้ำ จะเข้าทำปฏิกิริยากับเอทิลีนในผลส้มได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

หลังจากนำผลลำไยมาผ่านการรมโอโซน ที่ระยะเวลา 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และเนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ จะอยู่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตบนต้นและจะมีค่าสูงสุดเมื่อถึงระยะแก่หรือสุกที่จะเก็บเกี่ยว ดังนั้นผลลำไยที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นก็จะมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เพียงเล็กน้อย

วิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์ และรา

จากการนำผลลำไยที่ผ่านการรมโอโซน 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน และทำการสุ่มตัวอย่างผลลำไยมาวิเคราะห์ ทุกๆ 7 วัน เปรียบเทียบกับชุด

ควบคุม พบว่า ทุกชุดการทดลองไม่พบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์ และรา แสดงว่า นอกจากโอโซนจะลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างแล้ว ยังสามารถควบคุมการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และราได้ ดังที่ Guzel-seydim *et al.* (2003) อธิบายว่า โอโซนจะเข้าทำลาย unsaturated lipid ซึ่งเป็นเซลล์ห่อหุ้มของจุลินทรีย์เป็นเหตุให้เซลล์แตกและเกิดการรั่วไหลของ เซลล์ตามมา เนื่องจาก double bond ของ unsaturated lipid มีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของ โอโซนเป็นอย่างมาก ส่วน Victorin (1992) กล่าวว่าการทำงานของโอโซนในการยับยั้งการเจริญ ของเชื้อจุลินทรีย์เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโอโซนจะไปออกซิไดซ์ sulfhydryl group และ amino acid ของเอนไซม์ รวมทั้ง peptide และ pepten ใน peptide ด้วย ขั้นที่สองโอโซนจะไปออกซิไดซ์ polyunsaturated fatty acid ให้กลายเป็น acid peroxide

การเกิดโรค

จากการวิเคราะห์การเกิดโรคของลำไยในทุกชุดการทดลอง ตลอดการเก็บรักษา 35 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าลำไยในทุกชุดการทดลองไม่พบการเกิดโรค ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ประสิทธิภาพของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เข้มข้นและโอโซนที่ใช้ในการรม เพราะในชุดการทดลอง ที่รมด้วยโอโซนจะมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่น้อยกว่าชุดควบคุม แต่ก็ไม่พบการเกิดโรค ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าโอโซนมีส่วนในการยับยั้งการเกิดโรคในผลลำไย เนื่องจาก คุณสมบัติของโอโซนในการ เป็นตัวออกซิไดซ์เข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ของ จุลินทรีย์ (Hunt and Marinas, 1999) และอีกลักษณะคืออนุมูลตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย ซึ่งการเข้าทำลายของโอโซนมีผลต่อเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีนและ ชั้นของไขมันใน เซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์จับตัวกันเป็นก้อน เซลล์แตก สอดคล้องกับ การทดลองของ Palou *et al.* (2002) รายงานว่า การใช้โอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm อย่างต่อเนื่อง ช่วยยับยั้งการ เจริญเติบโตของเชื้อรา *Monilinia fructicola*, *Botrytis cinerera*, *Mucor piriformis* และ *Penicillium expansum* บนผิวท้อพันธุ์ Elegant Lady เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และนอกจากโอโซนจะมีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาลำไยก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถช่วยลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลังการเก็บ เก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส (คนัย, 2543)

ดัชนีการเกิดสึน้ำตาล

จากการวิเคราะห์ดัชนีการเกิดสึน้ำตาล พบว่าในทุกชุดการทดลองไม่พบดัชนีการเกิดสึน้ำตาลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องจากลำไยทุกชุดการทดลองผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีคุณสมบัติในการฟอกสี และมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดสึน้ำตาล ที่เปลือกผลลำไยทั้งที่เป็นปฏิกิริยาที่มีและไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (จริงแท้, 2549) จึงทำให้ผลลำไยไม่เกิดสึน้ำตาลที่เปลือกผลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ถึงแม้จะผ่านการรมด้วยโอโซน ก็ไม่ทำให้การเกิดสึน้ำตาลที่เปลือกผล ทั้งนี้เพราะ โอโซนก็มีคุณสมบัติในการฟอกสีเช่นกัน โดยโอโซนสามารถออกซิไดซ์สารหรือรงควัตถุได้ดี และเร็ว มีการนำมาแช่และล้างผักผลไม้ เพื่อฟอกสีของผักและผลไม้ให้สะอาด มีสีสันสดใสตามธรรมชาติและเก็บถนอมได้นานขึ้น (สุรพล, 2543)