บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาระยะเวลาการปล่อยก๊าซโอโซนและการคงตัวของโอโซนในน้ำ

การศึกษาระยะเวลาการปล่อยก๊าซโอโซนผ่านน้ำ พบว่าปริมาณก๊าซโอโซนลดลงเมื่อปล่อยก๊าซเป็นระยะเวลานานขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากโอโซนเป็นก๊าซซึ่งมีครึ่งชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพียงแค่ 20 นาที และหลังจากนั้นจะสลายตัวไปเป็นออกซิเจนธรรมดา (Graham, 1997) ดังนั้นการปล่อยก๊าซเป็นระยะเวลานานกว่า 20 นาที จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณก๊าซแต่อย่างใด เพราะก๊าซโอโซนบางส่วนจะสลายตัวไปแล้ว สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่นำก๊าซโอโซนผ่านลงในน้ำแล้วนำไปใช้ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการผ่านก๊าซโอโซนไม่เกิน 20 นาที Kim *et al.* (1999) นำน้ำที่มีการผ่านก๊าซโอโซน 1.3 มิลลิโมล ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที แล้วกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 3 นาที มาใช้ในการล้างผักกาดหอมหั่นฝอย เช่นเดียวกับ Kondo *et al.* (1989) ซึ่งใช้วิธีนี้กับผักกาดขาวปลี Singh *et al.* (2002) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 9.7 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 10 นาที ล้างผักกาดหอมและเบบี้แครอท Barbosa-Martinez *et al.* (2000) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 2.2 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 15 นาที ล้างผลมะม่วง Spotts and Cervantes (1992) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 0.99, 0.69 และ 0.39 ไมโครกรัม/ลิตร นาน 5 นาที ล้างผลสาลี่ Ong *et al.*(1999) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 5, 15 และ 30 นาที ล้างผลแอปเปิล Greene *et al.* (1993) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 0.6 ppm นาน 10 นาที ล้างพืชอาหารชนิดต่าง ๆ Smilanick *et al.* (1999) ใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 12 ไมโครกรัม/ลิตร นาน 5 นาที ล้างผลส้ม มะนาว และเกรฟฟรุ้ท จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการผ่านก๊าซโอโซนลงในน้ำคือ 10 นาที

การศึกษาการคงตัวของโอโซนในน้ำที่มี pH ต่างๆ พบว่าน้ำกรองที่ผ่านก๊าซโอโซน 10 นาที มีปริมาณโอโซนในน้ำต่ำกว่าน้ำกลั่นและน้ำกรอง pH 3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5 ที่ผ่านก๊าซโอโซน 10 นาที อาจเนื่องมาจากค่า pH ของน้ำมีผลต่อการคงตัวของก๊าซโอโซน โดยในน้ำกรองนั้นมีค่า pH เท่ากับ 7.15 ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ จึงอาจทำให้ก๊าซโอโซนสลายตัวได้ง่ายขึ้น Smilanick *et al.* (1999) กล่าวว่า ค่า pH ของน้ำมีผลต่อการคงตัวของโอโซน และโอโซนมักจะมีการสลายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้โอโซนจะไม่เสถียรในน้ำที่มีสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก (Glaze, 1987) Fujita *et al.* (2004) ทดลองตรวจวัดปริมาณโอโซนในน้ำ pH 4 และ 6 พบว่า ในน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

pH 4 มีปริมาณโอโซนสูงกว่าในน้ำ pH 6 เมื่อทำการตรวจวัดที่ระยะเวลาเท่ากัน เช่นเดียวกับ Bryant *et al.* (1992) ซึ่งทดลองตรวจวัดปริมาณโอโซนตกค้างในน้ำ pH 6.8-7.2 และ 9.0-9.2 พบว่าในน้ำ pH 6.8-7.2 มีปริมาณโอโซนตกค้างสูงกว่าในน้ำ pH 9.0-9.2

ในการศึกษาผลของ NaCl ต่อการคงตัวของโอโซนในน้ำ พบว่าในน้ำกรองที่ผสมสาร NaCl 8, 10 และ 20 กรัม/ลิตร มีปริมาณโอโซนอยู่สูง ซึ่งเมื่อตรวจสอบค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ร่วมด้วย พบว่ามีค่า pH อยู่ในช่วง 7.39-7.45 ซึ่งเป็นไปได้ว่าค่า pH ในช่วงนี้ทำให้ก๊าซโอโซนยังสามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้ อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัดนักถึงผลของ NaCl ที่มีต่อการคงตัวของโอโซน

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้โอโซนกับผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

จากการใช้โอโซนในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำและในรูปของการรมผลส้มได้ผลการทดลองซึ่งสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

1) ปริมาณสารตกค้างที่เปลือกผล

การใช้โอโซนในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำกับผลส้ม พบว่า การใช้น้ำกรอง pH 3.5 ที่ผ่านก๊าซโอโซนนาน 10 นาที และการใช้น้ำกรองที่ผสมสาร NaCl 8 กรัม/ลิตร ทั้งสองกรรมวิธีนี้ช่วยลดปริมาณสาร methomyl และ dimethoate ตกค้างได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ โดยการใช้น้ำกรอง pH 3.5 ที่ผ่านก๊าซโอโซนนาน 10 นาที ให้ผลดีในการช่วยลดปริมาณสาร dimethoate ตกค้าง ส่วนการใช้น้ำกรองที่ผสมสาร NaCl 8 กรัม/ลิตร ให้ผลดีในการช่วยลดปริมาณสาร methomyl ตกค้าง ซึ่งการที่กรรมวิธีที่ใช้ให้ผลดีต่อการลดปริมาณสารฆ่าแมลงทั้งสองชนิดต่างกัน อาจเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารฆ่าแมลงเอง โดยในกรรมวิธีที่ใช้โอโซนช่วยลดปริมาณสารตกค้างได้ เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์สูง ชมภูศักดิ์ (2539) กล่าวว่า ก๊าซโอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์หรือเข้าไปแย่งพลังงานจากสารหรือโมเลกุลอื่น จึงมีอำนาจในการทำลายและเปลี่ยนสภาพของโมเลกุลและสสารที่เข้ามาร่วมสัมผัสหรืออยู่ใกล้ ดังนั้นจึงสามารถทำลายสารเคมีได้อย่างรวดเร็ว โดยโอโซนดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารฆ่าแมลง ทำให้โครงสร้างทางเคมีของสารฆ่าแมลงเปลี่ยนแปลงไป เกิดการแตกตัวและหลุดออกจากผลิตผล (ฝ่ายประชาสัมพันธ์ มจธ., 2544) Benitez *et al.* (2002) อธิบายไว้ว่าโอโซนจะเกิดปฏิกิริยาโฟโตไลซิสและแตกตัวเป็น hydroxyl radical ซึ่ง hydroxyl radical นี้จะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับยาปราบศัตรูพืช (pesticide) ทำให้สารดังกล่าวเกิดการสลายตัว นอกจากนี้ยังทดลองใช้โอโซนกับสาร carbofuran พบว่าช่วยลดปริมาณสาร carbofuran ตกค้างได้ Haberhauer *et al.* (1999) กล่าวว่า มีการใช้โอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อกำจัดของเสียจากยาปราบศัตรูพืช เนื่องจากโอโซนมีประสิทธิภาพในการเร่งการสลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวของยาปราบศัตรูพืช โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารดังกล่าว Hwang *et al.* (2001) ทดลองนำผลแอปเปิลมาจุ่มสาร mancozeb ความเข้มข้น 1 และ 10 กรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำไปล้างในน้ำที่ผ่านโอโซน พบว่าสามารถลดปริมาณสาร mancozeb ตกค้างได้ 56-97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การใช้โอโซน 1 และ 3 ppm สามารถลดปริมาณสาร ethylene thiourea ตกค้างได้อีกด้วย Cash *et al.* (1999) นำผลแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ทั้งที่เป็นผลสดและแปรรูปมาล้างในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน โดยน้ำที่ใช้เป็นน้ำกลั่น pH 6.7 อุณหภูมิ 25°C และโอโซนเข้มข้น 2.5 ppm นาน 30 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณสารตกค้างได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Ong *et al.*(1999) พบว่าการล้างผลแอปเปิลในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซนปริมาณ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ช่วยลดปริมาณสาร azinphos-methyl, captan และ formetanate hydrochloride ได้ 50-100 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการใช้น้ำกรองที่ผสมสาร NaCl นั้น มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำเพิ่มขึ้นจึงมีสภาพเป็นด่างอ่อน ๆ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของสาร methomyl และ dimethoate นั้นจะสลายตัวได้ดีในสภาพที่เป็นด่าง (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2533; ฉลองและพรพิศ, 2532) เช่นเดียวกับ WHO (1996) ซึ่งรายงานว่าในสภาพที่เป็นด่าง สาร methomyl จะมีค่าครึ่งชีวิตสั้นลง สาร dimethoate สามารถคงตัวอยู่ได้ในน้ำและสารละลายกรด ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะสลายตัวในสารละลายด่าง (WHO, 1989) จากผลดังกล่าวจึงมีการนำสาร NaCl ไปใช้ในการล้างผลิตผล Chung (1988) กล่าวว่าสามารถนำ NaCl มาใช้ในการล้างทำความสะอาดได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ซึ่งหากต้องการให้มีประสิทธิภาพสูงควรใช้ในปริมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสาร NaCl เป็นต้น พงศ์ศรีและคณะ (2530) ทดลองลดปริมาณสาร monocrotophos ในองุ่นด้วยการล้างด้วยน้ำผสมเกลือแกงความเข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดปริมาณสารพิษได้ 18 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในปี 2533 พงศ์ศรีและคณะ ได้ทดลองลดปริมาณสาร methyl parathion บนองุ่น โดยใช้วิธีการเดิมพบว่าสามารถช่วยลดปริมาณสารพิษได้ 7 เปอร์เซ็นต์ (พงศ์ศรีและคณะ, 2533) นิตยาและรัตนา (2541) ทดลองลดปริมาณสารมาลาไธออนตกค้างบนผลองุ่นโดยการล้างด้วยน้ำผสมเกลือแกง อัตราส่วนเกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะ/น้ำ 4 ลิตร พบว่าสามารถลดปริมาณสารพิษได้ 44.1 เปอร์เซ็นต์

การใช้โอโซนในรูปของก๊าซที่ใช้รมผลส้ม พบว่า การรมผลส้มนาน 60 นาที ช่วยลดปริมาณสาร methomyl และ dimethoate ตกค้างได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ โดยการรมเป็นระยะเวลานานขึ้นช่วยลดปริมาณสารตกค้างได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างโอโซนกับสาร methomyl และ dimethoate ได้นานขึ้นนั่นเอง Masten *et al.* (2001) รายงานว่า การใช้โอโซน 6 มิลลิกรัม/นาที นาน 30 นาที เพื่อออกซิไดซ์สารมาลาไธออน พบว่าสามารถลดปริมาณสารตกค้างได้ 92.2 เปอร์เซ็นต์ จิรวัฒน์และคณะ (2545) ใช้โอโซนในการลดหรือกำจัดสารประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซัลเฟอร์ตกค้างในผลลำไย พบว่า สามารถลดปริมาณซัลไฟท์ในเปลือกและเนื้อลำไยอบแห้งได้ 39.22 และ 44.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในผลลำไยสดลดได้ 66.78 เปอร์เซ็นต์

2) การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้มมักพบว่ามีการเปลี่ยนสีของเปลือกผลเกิดขึ้น โดยสีเขียวจะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์กลายเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวบดบังอยู่ให้ปรากฏชัดออกมาพร้อมกับการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นด้วย (Gross, 1987; ดนัย, 2540) ศรัณยา (2546) ทดลองเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานพันธุ์สีทอง พบว่า ค่า H° ของผิวผลส้มมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ แสดงว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเปลือกผลส้มมีสีเหลืองเข้มขึ้น เช่นเดียวกับ ขจีวรรณ (2547) ซึ่งรายงานว่า ค่า H° ของผิวผลส้มเขียวหวานเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษามีค่าอยู่ที่ 80-80.3 และลดลงมาอยู่ที่ 77.7 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ซึ่ง Gross (1987) กล่าวว่า เอทธิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งการสลายของคลอโรฟิลล์และสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ซึ่งจากการทดลองใช้โอโซนในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำ พบว่า การใช้โอโซนทุกกรรมวิธีช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวในช่วง 30 วันแรกของการเก็บรักษาได้ดีกว่าการใช้น้ำกรองและน้ำกรองผสมสาร NaCl ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากโอโซนที่ผ่านลงในน้ำจะเข้าทำปฏิกิริยากับเอทธิลีนในผลส้มได้ Partington (1965) อธิบายการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับเอทธิลีน ซึ่งหลังจากทำปฏิกิริยาเอทธิลีนจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ formaldehyde ($H_2C=O$) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ดังสมการ

$$H_2C=CH_2 + O_3 \longrightarrow H_2C(O)-O-CH_2(O) \longrightarrow H_2C{=}O + H_2O_2$$

อัมพวัน (2544) กล่าวว่า โอโซนช่วยลดกระบวนการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากก๊าซเอทธิลีนได้ โดยโอโซนจะกำจัดก๊าซเอทธิลีนออกไปด้วยการเข้าทำปฏิกิริยากับเอทธิลีน และจากการทดลองของ Guzel-Seydim *et al.* (2003) พบว่า โอโซนช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลแอปเปิลและผลส้มได้ โดยโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับเอทธิลีนนั่นเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

ผลส้มที่ใช้โอโซนทั้งในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำและใช้ก๊าซรมผลทุกกรรมวิธีไม่พบการเกิดโรคตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากโอโซนจะไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีผลต่อเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์จุลินทรีย์เกิดการจับตัวเป็นก้อน เซลล์แตก บางครั้งจะเข้าทำลายระบบการหายใจตลอดจนทำให้เอนไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของเซลล์จุลินทรีย์เสียหายด้วย (สิริพร, 2543) ซึ่ง Victorin (1992) อธิบายการทำงานของโอโซนในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโอโซนจะไปออกซิไดซ์ sulfhydryl group และ amino acid ของเอนไซม์ รวมทั้ง peptide และ protein ใน peptide ด้วย ขั้นที่สองโอโซนจะไปออกซิไดซ์ polyunsaturated fatty acid ให้กลายเป็น acid peroxide (Victorin, 1992) โอโซนจะเข้าทำลาย unsaturated lipid ซึ่งเป็นเซลล์ห่อหุ้มของจุลินทรีย์ เป็นเหตุให้เซลล์แตกและเกิดการรั่วไหลของเซลล์ตามมา เนื่องจาก double bond ของ unsaturated lipid มีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโอโซนอย่างมาก (Guzel-Seydim *et al.*, 2003) Kim *et al.* (1999) ทดลองใช้น้ำที่มีโอโซนล้างผักกาดหอมหั่นฝอย (shredded lettuce) โดยการปล่อยก๊าซโอโซน 1.3 มิลลิโมล ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที ลงไปในน้ำที่มีผักกาดหอมอยู่ในอัตราส่วน 1:20 โดยน้ำหนัก และมีการกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 3 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดได้ถึง 2 log จำนวนโคโลนี/กรัม (2 log cfu/g) เช่นเดียวกับ Kondo *et al.* (1989) ซึ่งใช้วิธีนี้กับผักกาดขาวปลี พบว่า โอโซนมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์สำคัญตัวหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร Spotts and Cervantes (1992) พบว่าการแช่ผลสาลี่ในน้ำที่ผ่านโอโซนเข้มข้น 0.99, 0.69 และ 0.39 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของ *P. expansum* และ *Alternaria* sp.ได้ ทำนองเดียวกับ Singh *et al.* (2002) ซึ่งล้างผักกาดหอมและเบบี้แครอทในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 9.7 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 10 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ *E. coli* O157:H7 ได้ Smilanick *et al.* (1999) ทดลองใช้น้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นาน 5 นาที ล้างผลส้ม มะนาว และเกรฟฟรุ้ท ซึ่งทำการปลูกสปอร์ของเชื้อ *P. digitatum* พบว่าช่วยลดการเกิดโรคได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อรุโณทัยและธนะชัย (2545) ได้ศึกษาผลของโอโซนที่มีต่ออายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ พบว่าการใช้โอโซนในอัตรา 100 มิลลิกรัม / ชั่วโมง ผ่านลงไปในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 30, 45 และ 60 นาที ช่วยลดการเน่าเสียของผลลิ้นจี่ได้และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ส่วน Krause and Weidensaul (1977) พบว่าการใช้โอโซน 0.3 ppm สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์และการงอกของเชื้อ *Botrytis cinerea* ได้ Palou *et al.* (2002) พบว่าการใช้โอโซน 0.3 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อ *M. fructicola*, *B. cinerea*, *M. piriformis* และ *P. expansum* ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลท้อและองุ่นได้ Liew and Prange (1994) ทำการรมแครอทด้วยโอโซนความเข้มข้น 0, 7.5, 15, 30 และ 60 ไมโครลิตร/ลิตร โดยใช้อัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที นาน 8 ชั่วโมง/วัน เป็นเวลา 28 วัน พบว่า สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อ *B. cinerea* และ *Sclerotinia sclerotiorum* ในหัวแครอทได้ 50 เปอร์เซ็นต์ Barbosa-Martinez *et al.* (2002) รมผลมะม่วงโดยใช้โอโซน 2.2 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 15 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของเชื้อ *C. gloeosporioides* และ *F. oxysporum* ได้โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของผลมะม่วง

นอกจากผลของโอโซนที่มีต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลส้มก็มีความสำคัญด้วยเช่นกัน โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวตามปกติจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20-25°C (ดนัย, 2540) สอดคล้องกับ จักรพงษ์ (2542) ซึ่งกล่าวไว้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-25°C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 95-98 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะหากบรรยากาศอิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีหยดน้ำเกาะที่ผิวของผลิตผล ลักษณะดังกล่าวจะส่งเสริมให้สปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการงอกหรือมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

4) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่ใช้โอโซนทั้งในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำและใช้ก๊าซรมผลทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย เนื่องจากทำการเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิต่ำคือ 5°C ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นอยู่ระหว่าง 80-85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง สายชล (2538) กล่าวว่า การลดการสูญเสียน้ำหนักของผักและผลไม้นั้น ทำได้โดยการทำให้อากาศรอบ ๆ ผักและผลไม้มีความสามารถน้อยในการที่จะรับเอาไอน้ำที่ระเหยมาจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง หรือการเพิ่มความชื้นเข้าไปในอากาศ นั่นคือการลดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศกับผิวของผักและผลไม้ นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิต่ำดังกล่าวยังช่วยลดกระบวนการหายใจและการคายน้ำ (กนกมณฑล, 2526; จริงแท้, 2541) เช่นเดียวกับ ศรัณยา (2546) ซึ่งเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานพันธุ์สีทองที่อุณหภูมิ 5 และ 15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 86-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่อุณหภูมิ 5°C ผลส้มสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าที่ 15°C โดยมีค่าเท่ากับ 4.46 และ 6.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ ขจีวรรณ (2547) ซึ่งเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสูงถึง 15.21-15.38 เปอร์เซ็นต์ Sonsrivichai *et al.* (1992) เก็บรักษาผลส้มเขียวหวานที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ภายใน 1 สัปดาห์ และยังปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็นอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการที่ผลส้มที่แช่ในน้ำกรอง pH 3.5 และผ่านก๊าซโอโซน 10 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อาจเป็นไปได้ว่าที่ pH ของน้ำดังกล่าวมีสภาพเป็นกรด ซึ่งอาจไปทำลายผิวของผลส้มได้ ซึ่ง สายชล (2538) กล่าวว่า ตามธรรมชาติแล้วผิวของผักและผลไม้จะมีสารประเภทไข (wax) เคลือบอยู่ ซึ่งสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำจากพืช และถ้าหากถูกทำลายไปก็จะมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นนั่นเอง

5) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ผลส้มที่ใช้โอโซนทั้งในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำและใช้ก๊าซรมผลทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เล็กน้อย เนื่องจากส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงมีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ประเภท climacteric ดังนั้นคุณภาพด้านความหวานหรืออีกนัยหนึ่งก็คือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มจึงไม่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยว (สายชล, 2538; Kader, 1992) อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อาจเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำไประหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้นได้ (จริงแท้, 2541) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการลดลงนั้นอาจเกิดเนื่องจากกรดอินทรีย์ดังกล่าวถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ในส่วนของ Krebs cycle และยังเป็นต้นกำเนิดของโมเลกุลอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ (จริงแท้, 2541) นอกจากนี้กรดอินทรีย์ซึ่งมีกลุ่มคาร์บอกซิลิคยังสามารถละลายน้ำอยู่ในรูปที่เป็นอิสระ หรือรวมกับโมเลกุลของสารชนิดอื่นเกิดเป็นเกลือเอสเทอร์หรือไกลโคไซด์ก็ได้ (ดนัย, 2540) Kimbell (1984) กล่าวว่า เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง วิกันดา (2541) รายงานว่าผลส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษาโดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.22-10.93 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ศรัณยา (2546) รายงานว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีความผันแปรเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.11-10.79 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น Aquino *et al.* (1998) รายงานว่า การเก็บรักษาผลส้มพันธุ์ Minneola เป็นระยะเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6) การยอมรับของผู้บริโภค

การเพิ่มขึ้นของคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในช่วงแรกของการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่ใช้โอโซนทั้งในรูปที่ปล่อยก๊าซผ่านน้ำและใช้ก๊าซรมผลนั้น เนื่องจากผลส้มเขียวหวานมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพในระหว่างการเก็บรักษา คือมีการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ตลอดจนสีเปลือกเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองส้ม ทำให้น่ารับประทานยิ่งขึ้น ประกอบกับรสชาติที่ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงขึ้นนั่นเอง ซึ่ง มนตรี (2527) กล่าวว่า ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์ มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลส้มจะมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยซึ่งผู้ชิมไม่ชอบ แต่เมื่อผลส้มมีอายุมากขึ้นอัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้มีรสหวานเพิ่มขึ้น เปรี้ยวน้อยลง และผู้ชิมชอบมากขึ้น Seymour *et al.* (1993) กล่าวว่า ปริมาณน้ำตาลและกรดเป็นตัวกำหนดรสชาติของผลส้ม ผลส้มที่มีรสชาติดีต้องมีปริมาณน้ำตาลและกรดอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนระหว่าง 10-12 ถือได้ว่ารสชาติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ และทำให้ผลส้มนั้นเป็นที่ถูกใจผู้บริโภค เช่นเดียวกับ วิกันดา (2541) ซึ่งพบว่าการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.67 ในวันแรกของการเก็บรักษาเป็น 5.63 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา เนื่องจากผลส้มมีรสชาติหวานขึ้นและสีผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้ม แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากเก็บรักษาได้ 60 วัน คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคกลับลดลง เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าผลส้มมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Peleg (1985) กล่าวว่า โดยทั่วไปหากผลิตผลมีการสูญเสียน้ำหนักเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง และรสชาติไม่ดี Wardowski *et al.* (1986) กล่าวว่า การคายน้ำที่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกรับประทานยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ทั้ง ๆ ที่คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ชูชาติ (2537) กล่าวว่าในผลไม้ตระกูลส้มการสูญเสียน้ำหนักเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว วงเดือน (2546) กล่าวว่า ผลส้มเริ่มไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เมื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 7.83 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้ประกอบกับผู้บริโภคส่วนใหญ่มักพิจารณาจากลักษณะภายนอกก่อน ดังนั้นถึงแม้ว่าคุณภาพทางด้านรสชาติจะยังคงดีอยู่ แต่ก็จะได้รับการยอมรับลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของโอโซนต่อการเกิดโรคเนื่องจากเชื้อ *Penicillium digitatum* และการลดปริมาณสารตกค้างในผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

3.1 ศึกษาถึงผลของโอโซนต่อการเกิดโรคเนื่องจากเชื้อ *P. digitatum* ในผลส้ม

การรมผลส้มด้วยก๊าซโอโซนนาน 60 นาที ช่วยลดการเกิดโรคได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ เนื่องจากโอโซนในสถานะก๊าซมีครึ่งชีวิตนานกว่าเมื่ออยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับเชื้อจุลินทรีย์ได้นานกว่า (Rice, 1986) ส่วนการเกิดโรคในกรรมวิธีอื่น ๆ นั้น อธิบายได้หลายแนวทาง คือ อาจเกิดจากความเข้มข้นของโอโซนต่ำเกินไป จึงไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่ง Spalding (1986) รายงานว่า การใช้โอโซนไม่สามารถลดการเน่าเสียจากโรค gray mold ในผลองุ่นซึ่งทำการปลูกเชื้อได้ เนื่องจากความเข้มข้นต่ำเกินไป Shimizu *et al.* (1982) รายงานว่า การใช้โอโซนควบคุมการระบาดของเชื้อ *B. cinerea* ในผลองุ่นพันธุ์ 'Kyoho' ต้องเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นเป็น 500 ppm หรืออีกแนวทางหนึ่งซึ่ง Ridley and Sims (1967) กล่าวว่า การใช้โอโซนในรูปของก๊าซหรือโอโซนในน้ำไม่สามารถควบคุมการเกิดโรคได้ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งถูกปลูกเชื้อลงไปยังผิวผลไม้สร้างโครงสร้างซึ่งป้องกันการออกซิเดชั่นของโอโซนได้ โดยจะไปลดการซึมผ่านของโอโซน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับเนื้อเยื่อผิวของผลไม้ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซน หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นตัวต้านการออกซิเดชั่นนั่นเอง

3.2 ศึกษาถึงผลของโอโซนต่อการลดปริมาณสารตกค้างในผลส้ม

การล้างและรมผลส้มทุกกรรมวิธีช่วยลดปริมาณสาร methomyl และ dimethoate ตกค้างได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยการรมผลส้มนาน 60 นาที มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้การใช้น้ำกรอง pH 3.5 ที่ผ่านก๊าซโอโซน 10 นาที ให้ผลดีในการลดปริมาณสาร dimethoate ตกค้าง ส่วนการใช้น้ำกรองที่ผสมสาร NaCl 8 กรัม/ลิตร ให้ผลดีในการลดปริมาณสาร methomyl ตกค้าง ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้โอโซนให้ผลดีเนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์สูงจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาและทำลายสารเคมีได้อย่างรวดเร็ว (ชมภูศักดิ์, 2539) ซึ่งกลไกการเข้าทำลายสารเคมีนั้น Benitez *et al.* (2002) อธิบายไว้ว่าโอโซนจะเกิดปฏิกิริยาโฟโตไลซิสและแตกตัวเป็น hydroxyl radical ซึ่ง hydroxyl radical นี้จะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับยาปราบศัตรูพืช (pesticide) ทำให้สารดังกล่าวเกิดการสลายตัว ส่วนการใช้น้ำกรองที่ผสมสาร NaCl นั้น ช่วยลดปริมาณสารตกค้างได้ เนื่องจากทำให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้นและมีสภาพเป็นด่างอ่อน ๆ จึงมีผลทำให้สาร methomyl และ dimethoate ซึ่งมักจะสลายตัวได้ดีในสารละลายที่เป็นด่างสลายตัวได้ดีขึ้น (ฉลองและพรพิศ, 2532; กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2533) นอกจากนี้พบว่าการรมด้วยก๊าซโอโซนนาน 60 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช่วยลดปริมาณสาร methomyl และ dimethoate ตกค้างได้ดีกว่าการใช้โอโซนกรรมวิธีอื่น ๆ เนื่องจากโอโซนในสถานะก๊าซมีครึ่งชีวิตนานกว่าเมื่ออยู่ในน้ำ ประกอบกับระยะเวลาที่ใช้ในการรม ซึ่งการรมนาน 60 นาที เป็นระยะเวลาที่นานที่สุด ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างโอโซนกับสารเคมีให้นานขึ้นด้วย (Rice, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved