

สมภาพ อยู่เอ

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสยาม

E-mail: somphop.yoo@siam.edu

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยโอโซนมีความสามารถทำลายและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ก๊าซโอโซน (O_3) ต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ ทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังการเก็บเกี่ยวโดยการรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 2, 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนถึงสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ผลที่ได้พบว่ามะม่วงชุดควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานที่กำหนดเมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน การรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 2 และ 4 ppm มีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน และ 9 วันตามลำดับ การรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 6 ppm มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานตลอดอายุการเก็บรักษา และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลา 15 วัน การใช้ก๊าซโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ความแน่นเนื้อ สี ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และคะแนนทางประสาทสัมผัส ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 6 ppm อายุการเก็บรักษา 12 วัน ได้คะแนนทางประสาทสัมผัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 2 และ 4 ppm

คำสำคัญ: โอโซน มะม่วง เชื้อจุลินทรีย์

ABSTRACT

Ozone can destroy and inhibit microbial growth. The research purpose is to study ozone fumigation to Kiew Savoey mangoes on their postharvest quality changes such as, microbial growth, physical chemistry and sensory evaluation, from ozone fumigation. mangoes were fumigated by ozone at the quantity of 0 (a control set), 2, 4 and 6 ppm for 30 minutes and stored at 25 °C throughout experiment periods. The research result shows that the mangoes fumigated by 0 ppm, 2 ppm and 4 ppm of ozone and stored for 3, 6 and 9 days respectively have the higher amount of microorganism than the amount specified by food standard law. On the other hand, during a storage period, the mangoes fumigated by 6 ppm of ozone have the lower amount of microorganism than the amount specified by food standard law. Moreover, 6 ppm of ozone fumigation to mangoes can extend a mango shelf life to 15 days. Indeed, there are some effects of ozone on such fumigated mangoes texture, color, a total of soluble solids and titratable acid and sensory evaluation scores. However, the mangoes fumigated by 6 ppm of ozone and stored for 12

days have the maximum sensory evaluation scores with statistical significance ($p < 0.05$) compared with the mangoes fumigated by 0 ppm, 2 ppm and 4 ppm of ozone.

KEYWORDS: Ozone, Mango, Microorganism

บทนำ

มะม่วง(Mango)มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* มะม่วงเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก สามารถผลิตได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย และได้มีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นปริมาณมาก (พานิชย์ ยศปัญญา, 2542) ซึ่งส่วนใหญ่ยังเป็นประเทศในแถบเอเชียเนื่องจากมะม่วงมีอายุการเก็บรักษาสั้น มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวง่าย การสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากจุลินทรีย์ มีสาเหตุหลักๆคือ (ราณี และคณะ, 2552)

1. ลักษณะการยืดเกาะของจุลินทรีย์บนผิวมะม่วง ประสิทธิภาพในการล้างที่อาจปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั่วไป หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคขึ้นอยู่กับสถานะและตำแหน่งที่จุลินทรีย์เหล่านั้นเกาะบนผิวมะม่วง สถานะและตำแหน่งดังกล่าวจะมีผลต่อการเข้าชะล้างของน้ำหรือการทำลายสารฆ่าเชื้อที่ใช้ในการล้างทำความสะอาด ความต้านทานของแบคทีเรียต่อน้ำหรือแบคทีเรียเกาะติดอยู่บริเวณที่เข้าถึงได้ยาก

2. ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ยืดเกาะ แบคทีเรียบางชนิดสามารถยืดเกาะผิวมะม่วงได้อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการล้างนอกเหนือจากตำแหน่งที่แบคทีเรียยืดเกาะ ยังขึ้นกับช่วงความห่างของเวลาระหว่างการปนเปื้อนหรือเปิดโอกาสให้แบคทีเรียยืดเกาะกับการล้างผล

3. บริเวณที่จุลินทรีย์ยืดเกาะผิวมะม่วงพบว่า บริเวณที่แบคทีเรียสามารถยืดเกาะผิวของมะม่วงมากกว่า 1 แห่ง

4. การยืดเกาะและการเจริญของแบคทีเรียในเนื้อผลมะม่วง มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการตัดแต่งหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อการบริโภคอยู่เสมอ จึงอาจมีตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการยืดเกาะของแบคทีเรีย

(ราณี และคณะ, 2551) รายงานว่าแบคทีเรีย *E.coli* สามารถเจริญและรอดชีวิตได้ภายในรูกลวงที่เจาะเพื่อสร้างการปนเปื้อน ซึ่งปัจจุบันผู้จำหน่ายมักนิยมใช้สารเคมีหลายชนิดในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น สารประกอบคลอรีนซึ่งอาจตกค้างถึงผู้บริโภคได้ จึงมีแนวคิดที่จะใช้ก๊าซโอโซนทดแทนการใช้สารเคมีในการลดการปนเปื้อนเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์

โอโซน (Ozone) คืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบกันเป็นลักษณะ 2 อะตอมเป็น 1 โมเลกุล(O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันมาก คือ (O_2)จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (Stable) แต่ก๊าซโอโซน (O_3) จะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (Ustable) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว เริ่มจากโมเลกุลของโอโซน เข้าไปสัมผัสที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับ function group ของโปรตีนที่ผิวเซลล์ ได้แก่ sulhydryl group ซึ่งโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณนี้ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ ถ้า sulhydryl group ทำหน้าที่เป็น binding side ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์นั้นถูกยับยั้ง ต่อมาโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณ double bond ของ Polyunsaturated fatty acid ทำให้เกิดการแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และสารประกอบภายในเซลล์รั่วไหลออกมานอกเซลล์ นำไปสู่การแตกสลายของเซลล์ ซึ่งช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผิวและผลไม่ได้ (สุเทพ นิยมญาติ, 2551 ; ราณี และคณะ, 2551) อาทิเช่น ผลมะม่วงซึ่งเป็นที่ยินย

รับประทานในปัจจุบันของคนไทย โอโซนช่วยในการทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ หรือเชื้อรา จะถูกโอโซนเข้าไปทำลายทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โอโซนช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆ โดยส่วนประกอบไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนขจัด ส่งผลให้กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นอับชื้นต่างๆ ถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว โอโซนยังช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่างๆ เกิดการสลายตัว (ที่มา: www.ozoneapplications.com)

ดวงธิดา และคณะ(2549) ศึกษาผลของการใช้โอโซนในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ การใช้เงาะรมด้วยก๊าซโอโซน พบว่าเงาะที่ผ่านการรมด้วยการก๊าซโอโซนทำให้ปริมาณเชื้อราลดลง 93.9-99.0 % ตามความเข้มข้นและเวลาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลเงาะที่ไม่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซน ปริมาณเชื้อที่ลดลง เท่ากับ 17% อีรสาสตร์ และคณะ (2553) ศึกษาการใช้ก๊าซโอโซนกับผลส้มโอตัดแต่ง พบว่าการล้างเปลือกนอกด้วยน้ำเปล่าก่อนการปอกเปลือก จากนั้นรมเนื้อส้มโอด้วยก๊าซโอโซนที่มีอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่ 6 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอได้นานขึ้นเป็นเวลา 20 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และสีเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ โอโซนมีผลต่อการลดจำนวน จุลินทรีย์โดยออกไดออกไซด์ประกอบต่างๆภายในเซลล์จุลินทรีย์จนถูกทำลาย ในที่สุด จากการศึกษาการรมเนื้อส้มโอโซนเป็นกระบวนการที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคได้เหมาะสมที่สุด จีรวัฒน์ และคณะ (2545) ศึกษาการกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ตกค้างในลำไยด้วยวิธีการใช้ระบบโอโซน ลำไยที่ผ่านการรมซัลไฟท์แล้ว มาผ่านการฟอกด้วยระบบโอโซน 350 ppm เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับระบบความดันสุญญากาศที่ 20 นิ้วปรอท เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากนั้นนำลำไยไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟท์ที่ตกค้าง พบว่าการใช้โอโซนสามารถลดปริมาณซัลไฟท์ในลำไยอบแห้งในส่วนเปลือกและเนื้อลำไยได้เท่ากับ 39.22 % และ 44.89 % ตามลำดับ ส่วนในลำไยสดโอโซนสามารถลดปริมาณซัลไฟท์ได้ถึง 77.87 % ขณะที่การใช้ความดันสุญญากาศลดได้เล็กน้อยเพียง 36.84 % การใช้โอโซนจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะลดปริมาณซัลไฟท์ทั้งที่เปลือกและเนื้อลำไยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สุเทพ นิยมญาติ (2553) ศึกษาผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา โดยรมเนื้อส้มโอด้วยก๊าซโอโซน ความเข้มข้น 2ppm ที่อุณหภูมิ 4,7 และ 10°C เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นบรรจุในภาชนะพลาสติก PET ปิดด้วยฟิล์ม LLDE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7±1 °C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีนและการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ แต่พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงค่าสีซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้แก่ L^* , b^* ส่วนค่า a^* นั้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และการสร้างเอทานอล ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่พบว่ามีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณวิตามินซี และลิโมนีน ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่า การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 °C จะสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีที่สุด โดยลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราจาก 3.10 และ 3.16 เป็น 0.86 และ 2.15 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานของผลไม้ตัดแต่งที่กระทรวงสาธารณสุข

กำหนด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553). เมื่อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าส้มโอตัดแต่งชุดควบคุมจะมีคะแนนความเข้มข้น โดยชุดที่รมด้วยก๊าซโอโซนยังมีกลิ่นและรสชาติแปลกปลอมน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านการยอมรับพบว่าที่อุณหภูมิ 4°C จะได้คะแนนการยอมรับสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข (2545) ศึกษาผลของโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ออายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ การให้โอโซนแก่ผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิในอัตรา 100 มก/ชม นาน 30 40 และ 60 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่ 10°C . พบว่าโอโซนสามารถลดอัตราการเน่าเสียของผลได้ นาน 24 วัน ภายหลังการเริ่มการเก็บรักษาโดยโอโซนไม่มีผลต่อการสูญเสีย น้ำหนักสดและแห้งของผล ความแน่นเนื้อ TSS TA ปริมาณแอนโทไซยานิน และการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผล การใช้โอโซนอัตรา 100 มก/ชม นาน 10 นาที ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อัตรา 0.05 0.1 และ 1.0% โดยปริมาตร สามารถควบคุมการเน่าเสียของผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 10°C . ได้ดีขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการสูญเสีย น้ำหนักสดและแห้ง ความแน่นเนื้อ TSS และ TA แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลในการลดปริมาณแอนโทไซยานินและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือก

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้ก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปริมาณของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังเก็บเกี่ยว

สมมติฐาน

การใช้ก๊าซโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยในระหว่างการเก็บรักษา โดยการรมด้วยก๊าซโอโซนจะสามารถช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย อีกทั้งยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีกายภาพอันมีสาเหตุเนื่องมาจากจุลินทรีย์อีกด้วย

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อทราบถึงการใช้ก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 6 ppm ต่อคุณภาพของ มะม่วงพันธุ์ เขียวเสวยหลังการเก็บเกี่ยว การสูญเสีย น้ำปริมาณกรดที่ไต่เตปรได้ ปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา
2. เพื่อทราบถึงการใช้ก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 6 ppm ต่อการยับยั้งปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนผิวมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การใช้ก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งจำนวนจุลินทรีย์และต่อคุณภาพมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

นำผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยจากสวน และลำเลียงมายังห้องปฏิบัติการทำการคัดเลือกผลิตผลจากนั้นนำมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปผ่านก๊าซโอโซน (O_3) ที่มีความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 6 ppm ชุดละ 30 ลูก โดยรมก๊าซโอโซนแยกตามความเข้มข้นที่ละชุด จากนั้นทำการปิดผนึกฝาด้วยเทปกาวเพื่อป้องกันอากาศและก๊าซเข้าออก ทั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 30 นาทีก็นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

2. การตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงที่ผ่านการรมด้วยโอโซน

2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงความแข็ง (ความแน่นเนื้อ) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (TA ~ T2 Texttrue Analyzer) หัววัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยวางหัววัดให้ตั้งฉากกับเนื้อมะม่วง และตั้งระยะให้หัวกดแทงทะลุลงไปในเนื้อมะม่วงเท่ากับ 4 มิลลิเมตร บันทึกค่าความแน่นเนื้อ ณ จุดสูงสุดของกราฟ และทำการรายงานผลในหน่วย นิวตัน (N) (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2555)

2.1.2 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสี โดยวัดกลางลูกของเปลือกกับเนื้อ และรายงานผล Hunter scale ซึ่งประกอบด้วยค่าต่างๆดังต่อไปนี้ (ณัฐกิตติ์และคณะ, 2555) ค่า L*เป็นค่าที่รายงานถึงความสว่างของสี มีตั้งแต่ 0 ถึง 100 ในกรณีที่ ค่า a* เป็นลบ หมายถึง สีเขียว ในกรณีที่ ค่า a* เป็นบวก หมายถึง สีแดง ในกรณีที่ ค่า b* เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ในกรณีที่ ค่า b* เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

2.1.3 ปริมาณ Tota soluble solids (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2555) โดยการนำเอาน้ำจากเนื้อมะม่วงมาวัดปริมาณ Soluble solid concentration โดยใช้เครื่อง ATAGO รุ่น NAR-1T ค่าที่อ่านได้เป็น องศาบริกซ์ (°Brix)

2.1.4 ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (ศิริพร และคณะ, 2553) นำมะม่วงมาคั้นให้น้ำออกมา 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเตรตกับสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลโดยมีสารละลาย Phenolphthalein ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็น indicator ไทเตรตจนถึงจุดยุติคือเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไทเตรตได้เป็นกรดซิริก ดังสมการ

$$\% \text{ titratable acidity (TA)} = \frac{(\text{ml NaOH}) (0.1)(0.064) \times 100}{\text{ml of sample}}$$

ml NaOH = ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเตรต (ml)

ml of sample = ปริมาตรน้ำคั้นของผลไม้ที่ใช้ในการไทเตรต

2.1.5 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส

นำมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่ทำการศึกษามาทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยนำตัวอย่างมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยผ่านก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ผู้ทดสอบชิมโดยการให้คะแนน จากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการอาหาร จำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม โดยทำการทดสอบที่ให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale (1 ไม่ชอบมากที่สุด- 9 ชอบมากที่สุด) จากนั้นนำคะแนนมาวิเคราะห์ผลทางสถิติดังตารางที่ 3 และ 4

2.2 การวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์

2.2.1 การตรวจสอบปริมาณรา/ยีสต์ และแบคทีเรีย (สุภาพร, 2554) เจือจางตัวอย่างเปลือกมะม่วง 25 กรัมใน 0.1% peptone 225 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำ 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างที่เจือจางแล้วไปเจือจางต่อด้วย 0.1 % peptone หลอดละ 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางต่อจนได้ความเจือจาง (dilution) ที่ 10^{-5} ดูอาหารแต่ละค่าความเจือจาง มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อ ทำ 3 ซ้ำ เติมกรดทาร์ทริก 1.1 มิลลิลิตร ในขวด Potato dextrose agar (PDA) ปริมาตร 100 มิลลิลิตรสำหรับตรวจสอบรา (Plate count agar (PCA) ไม่ต้องเติมกรด) สำหรับตรวจสอบแบคทีเรียที่หลอมเหลวและปล่อยให้เย็นลงจนถึง 42-45 องศาเซลเซียสแล้ว เพื่อป้องกันการเจริญของแบคทีเรีย เทอาหาร PDA และ PCA ใส่ในจานเพาะเชื้อทุกจานทันที หมุนจานไปมา ให้อาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากันดีกับตัวอย่างปล่อยทิ้งให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 2-5 วันสำหรับ PDA ส่วน

PCA นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของราและยีสต์บนจานอาหาร PDA และ แบคทีเรียบนจานอาหาร PCA ที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าความเจือจางบันทึกผล และคำนวณปริมาณราและยีสต์ต่อกรัมของอาหารและแบคทีเรียต่อกรัมอาหาร นำโคโลนีของรามาย้อมด้วยสี Lactophenol cotton blue และส่องกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

คำนวณ จำนวนราหรือแบคทีเรียทั้งหมด = ค่าเฉลี่ยจำนวนราหรือแบคทีเรียที่นับได้ x dilution factor / ปริมาตรตัวอย่างที่เติมในจานเพาะเชื้อ

2.1.2 การตรวจวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus* ในอาหาร (สุภาพร, 2554)

ก) การตรวจหาและนับจำนวน *Staph. aureus* ในอาหารด้วยวิธี spread plate เจือจางตัวอย่างเปลือกมะม่วง 25 กรัมใน 0.1% peptone 225 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำ 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างที่เจือจางแล้วไปเจือจางต่อด้วย 0.1 % peptone หลอดละ 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางต่อจนได้ความเจือจาง (dilution) ที่ 10^{-3} ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ อย่างละ 0.1 ml ลงบนอาหาร BP agar และ MSEY agar ที่ระดับความเจือจางละ 3 จาน ใช้แท่งแก้วอเนกประสงค์เกลี่ยสารละลายตัวอย่างด้วยเทคนิค spread plate บนอาหาร BP agar และ MSEY agar บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็น 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญและนับจำนวนของเชื้อ *Staph. aureus* บนอาหาร เลือกลโคไลนีเดี่ยวๆ ที่มีสีเหลืองและโซนเหลืองอยู่รอบๆ ในอาหาร MSEY agar และโคโลนีเดี่ยวๆที่มีสีดำเป็นมันวาว มีตะกอนขุนขาวและมีโซนใสอยู่รอบๆ บนอาหาร BP agar มาอย่างละ 1 โคโลนี เพื่อย้อมสีแกรม แล้วนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ คำนวณหาปริมาณ *Staphylococcus aureus* ในหน่วย CFU/g อาหาร

ข) การทดสอบการสร้างเอนไซม์เคสเทเลส ถ่ายเชื้อที่สงสัย นำไป streak ในหลอดอาหารเลี้ยง Trypticase soy agar (TSA) slant บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C นาน 24 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อจาก TSA

slant ลงบนแผ่นสไลด์ จากนั้นหยด H_2O_2 เข้มข้น 3 % ถ้าเกิดฟองแก๊สเกิดขึ้น รายงานผลเป็นบวก

3.3 การตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียโคลิฟอร์มในผิวมะม่วงเขียวเสวย (สุภาพร, 2554) เจือจางตัวอย่างน้ำที่ได้จากผิวมะม่วง 25 กรัม ใน 0.1% เปปโตนหรือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปริมาตร 225 มล. เขย่าให้เข้ากันดี เป็นตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-1} อาจเจือจางต่อที่ $10^{-2}, 10^{-3}$

ก. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มโดยวิธี MPN เติมตัวอย่างน้ำจากเปลือกผิวมะม่วงที่ไม่ผ่านการเจือจาง 10 มล. ลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละหลอดที่บรรจุ BGB ความเข้มข้นเป็น 2 เท่า ของสูตรปกติ 10 มล. ซึ่งมีหลอดดักก๊าซอยู่ จำนวน 3 หลอด และเติมตัวอย่างน้ำจากเปลือกผิวมะม่วงที่ไม่ผ่านการเจือจาง 1 มล. และ 0.1 มล. ลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละหลอดที่บรรจุ BGB ความเข้มข้นตามสูตรปกติ 10 มล. ซึ่งมีหลอดดักก๊าซอยู่อย่างละ 3 หลอด ตามลำดับ บ่มที่อุณหภูมิ 32 °C นาน 24-48 ชั่วโมง สังเกตหลอดที่มีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าให้ผลบวก นำผลของจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกทั้ง 3 ความเจือจางไปเทียบค่า MPN ใน จะได้ค่า MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

ข. การตรวจหาแบคทีเรียโคลิฟอร์มโดยวิธี coliform test แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1. Presumptive test ดูดตัวอย่างน้ำจากเปลือกผิวมะม่วงที่ไม่ผ่านการเจือจาง (10^0) หรือที่เจือจางแล้วเป็น 10^{-1} (10^{-2} หรือ 10^{-3}) ใส่ใน lactose broth (ที่เติม bromthymol blue และมีหลอดดักก๊าซอยู่) หลอดละ 1 มล. จำนวน 2 หลอด บ่มที่อุณหภูมิ 35°C นาน 48 ชั่วโมง ตรวจผลโดยการดูหลอดที่เกิดกรดและก๊าซ ถือว่าการทดลองสอบได้ผลบวก

2. Confirm test เลือกหลอดที่ให้ผลบวกจากข้อ 1 มา streak ลงบน อาหารเลี้ยงเชื้อ EMB agar plate บ่มที่อุณหภูมิ 35°C นาน 18-24 ชั่วโมง

สังเกตโคโลนีของ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นสีเขียว เป็นมันวาวเหมือนรอยดัดของโลหะ (Metallic sheen) และโคโลนีของ *Enterobacter aerogenes* ซึ่งมีโคโลนีสีม่วง ตรงกลางมีสีเข้ม และโคโลนีมีลักษณะใหญ่เอี่ยม

3. Complete test นำโคโลนีที่มีลักษณะตามข้อที่ 2 มาเพาะใน lactose broth อีกครั้งหนึ่ง บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง ถ้าเกิดกรดและก๊าซอีก ให้นำมาย้อมสีแกรม ถ้าได้แบคทีเรียที่มีรูปร่างท่อนสั้น ติดสีแกรมลบ ถือว่าผลการทดลองเป็นบวก ซึ่งแสดงว่าในตัวอย่างอาหารหรือน้ำนั้น มีแบคทีเรียโคลิฟอร์มปนเปื้อนอยู่

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนผิวผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

จากตารางที่ 1 พบว่าชุดควบคุม (0 ppm) มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ชุดควบคุม (total plate count) เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด 1×10^6 และมะม่วงจะเริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 9 ส่วนที่ 2 ppm พบว่ามีตรวจพบเชื้อในวันที่ 3 ถึง 9 และมะม่วงเริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 12 วัน ที่ระดับความเข้มข้น

ประชากรและตัวอย่าง

มะม่วงพันธุ์เขียวเสวย ที่ถูกคัดขนาดและวัยที่บริบูรณ์ใกล้เคียงกัน จำนวน 3 ลูก ต่อ 1 ทรีตเมนต์ ในวันที่ทดลอง แยกตามความเข้มข้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ Complete Block Design (CBD) ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan & New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ที่ 4 - 6 ppm พบว่าตรวจพบเชื้อในวันที่ 6 ถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษาจากการทดลองสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้น 6 ppm สามารถยืดอายุได้ถึง 15 วัน และพบว่าการรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นสูงๆ สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียได้ที่ปนเปื้อนมากับผิวผลได้

ตารางที่ 1 จำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในเปลือกมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังผ่านการรมด้วยโอโซนแล้ว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treatment	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/g) ต่อวันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)						
	0	3	6	9	12	15	18
0 ppm	2.48×10^5	2.66×10^6	2.94×10^7	-	-	-	-
2 ppm	ND	8×10^2	1.5×10^2	2.7×10^6	-	-	-
4 ppm	ND	ND	9×10^2	1.2×10^3	1.3×10^3	-	-
6 ppm	ND	ND	<30	<30	3.3×10^2	5.9×10^2	-

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not Detected)

<30 หมายถึง โคโลนีต่ำกว่า 30 โคโลนี

- หมายถึง สิ้นสุดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากมะม่วงเสื่อมสภาพ

1. ผลของการรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนต่อยับยั้งเชื้อราบนผิวผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

จากตารางที่ 2 พบว่าชุดควบคุมมีปริมาณเชื้อราเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 และมะม่วงจะเริ่มเน่าเสื่อมเสียในวันที่ 9 ส่วนที่ 2 ppm พบว่ามีปริมาณเชื้อเริ่มเจริญในวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 และมะม่วงเริ่มมีการเสื่อมเสียในวันที่ 12 ที่ความเข้มข้นที่ 4 - 6 ppm พบว่าเชื้อจุลินทรีย์เริ่มเจริญในวันที่ 3 ถึง 12 ของการเก็บรักษา ที่ความเข้มข้น

6 ppm สามารถยืดอายุได้ถึง 15 วัน สรุปได้ว่าที่ชุดทดลอง 6 ppm สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่าชุดทดลองอื่นๆ เพราะเกิดจากก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizer) อย่างแรง จึงทำให้เซลล์แบคทีเรียเกิดการแตกสลาย ซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุม (0 ppm) ที่เชื้อราเจริญเกินมาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2 จำนวนเชื้อราทั้งหมดในเปลือกมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังการรมด้วยโอโซนแล้ว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

Treat	จำนวนเชื้อรา (CFU/g) ต่อวันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)						
	0	3	6	9	12	15	18
0 ppm	1.9×10^5	2.4×10^6	2.2×10^7	-	-	-	-
2 ppm	ND	4.1×10^2	1.8×10^3	2.4×10^3	-	-	-
4 ppm	ND	<30	<30	5.5×10^2	6.6×10^2	-	-
6 ppm	ND	<30	<30	<30	<30	4.5×10^1	-

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not Detected)

<30 หมายถึง โคโลนีต่ำกว่า 30 โคโลนี

- หมายถึง สิ้นสุดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากมะม่วงเสื่อมสภาพ

ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยการให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลการทดลองของวันที่ 9 ซึ่งแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 อย่างมี 2, 4 และ 6 ppm โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ดูได้จากตารางที่ 4 ซึ่ง สี กลิ่น เนื้อ

สัมผัส ความชอบโดยรวม พบว่า ความเข้มข้นที่ 4 และ 6 ppm แตกต่างจากความเข้มข้น 2 ppm และผลการทดลองของวันที่ 12 ซึ่งแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 อย่างมี 4 และ 6 ppm โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ดูได้จากตารางที่ 5 พบว่าความเข้มข้น 6 ppm มีค่าสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และ

ความชอบโดยรวมมีความแตกต่างไปจากความ ยอมรับของ 6 ppm
เข้มข้น 2 ppm โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการ

ตารางที่ 4 อิทธิพลของการรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน 0 , 2, 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย โดยเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส (ทำการทดสอบในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา)

Treat	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม				
	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
2 ppm	5.10±2.07 ^b	5.90±2.37 ^a	5.60±1.43 ^a	5.50±1.43 ^b	5.90±1.19 ^b
4 ppm	6.70±1.25 ^a	7.20±1.33 ^a	6.90±0.99 ^a	7.00±1.33 ^a	7.20±0.91 ^a
6 ppm	6.90±1.76 ^a	7.30±1.47 ^a	7.50±1.50 ^a	7.50±1.58 ^a	8.10±1.28 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=10) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษร (ตัวพิมพ์เล็ก) ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 5 อิทธิพลของการรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน 0 , 2 , 4 และ 6 เป็นเวลา 30 นาที ต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย โดยเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส (ทำการทดสอบในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา)

Treat	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม				
	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
4 ppm	6.00±1.72 ^b	6.00±1.23 ^a	5.67±1.56 ^b	5.37±1.71 ^b	5.90±1.49 ^a
6 ppm	7.30±0.99 ^a	6.40±1.47 ^a	6.60±1.19 ^a	6.70±1.26 ^a	5.87±0.85 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร (ตัวพิมพ์เล็ก) ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

1. ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (กรดซิตริก) ของ มะม่วงพันธุ์เขียวเสวย จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงเขียวเสวยที่รมด้วยก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 6 เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของทุกชุดการทดลองจะมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดควบคุม (0 ppm) จะมีแนวโน้มของกรดซิตริกลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงเขียวเสวยที่รมด้วยก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการจัดเก็บรักษา (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อปริมาณกรดรวมที่ไตเตรตได้ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

Treat	ปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงเขียวเสวย(mg/100)					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	0.42 ± 0.00^a	0.27 ± 0.03^b	0.14 ± 0.05^b	-	-	-
2 ppm	0.42 ± 0.00^a	0.30 ± 0.04^a	0.22 ± 0.02^b	0.18 ± 0.01^b	-	-
4 ppm	0.42 ± 0.00^a	0.32 ± 0.03^a	0.27 ± 0.03^a	0.23 ± 0.03^a	0.13 ± 0.01^b	-
6 ppm	0.42 ± 0.00^a	0.30 ± 0.03^a	0.27 ± 0.01^a	0.24 ± 0.03^a	0.16 ± 0.03^a	0.14 ± 0.02^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ($n=30$) $\pm$ ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treat	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด(TSS)ของมะม่วงเขียวเสวย (°Brix)					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	12.00±0.00 ^a	13.33±1.00 ^a	18.67±1.00 ^a	-	-	-
2 ppm	12.00±0.00 ^a	12.00±2.00 ^a	16.67±1.00 ^a	22.67±1.00 ^c	-	-
4 ppm	12.00±0.00 ^a	12.00±1.00 ^a	18.00±1.00 ^a	25.33±0.00 ^b	23.00±1.00 ^b	-
6 ppm	12.00±0.00 ^a	14.33±1.00 ^a	16.33±2.00 ^a	18.33±1.00 ^a	22.33±2.00 ^a	23.00±1.00 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อ

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่รมด้วยก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที จัดเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียสได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 8 พบว่า ทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการสูญเสีย น้ำหนัก เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการรมก๊าซโอโซน (ชุดควบคุม) มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียมากที่สุดเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีแตกต่างจากชุดทดลองอื่นๆ

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงเขียวเสวย ที่รมด้วยก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 , 2 , 4

และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที จัดเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 9 เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นความแข็งของผลมะม่วงเขียวเสวยทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าที่ชุดควบคุมมีอัตราการลดลงมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ในช่วง 0-6 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าความแข็งลดลงอยู่ในช่วง 29-15 นิวตัน การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของมะม่วงเขียวเสวยที่เก็บรักษาไว้ มีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treat	อัตราการสูญเสียน้ำหนัก ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย (%)					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	0.00±0.00 ^a	0.73±0.06 ^a	1.07±0.17 ^a	-	-	-
2 ppm	0.00±0.00 ^a	0.62±0.15 ^a	0.98±0.11 ^b	1.37±0.25 ^a	-	-
4 ppm	0.00±0.00 ^a	0.58±0.10 ^b	1.08±0.13 ^a	1.33±0.17 ^a	1.76±0.93 ^b	-
6 ppm	0.00±0.00 ^a	0.55±0.12 ^b	1.21±0.16 ^a	1.25±0.24 ^b	1.87±0.12 ^a	2.08±0.21 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 9 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treat	ความแน่นเนื้อ (N) ของมะม่วงเขียวเสวย					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	29.13±2.81 ^a	24.61±2.64 ^b	16.57±2.10 ^b	-	-	-
2 ppm	29.13±2.81 ^a	31.21±1.97 ^a	21.95±1.39 ^a	12.95±2.16 ^b	-	-
4 ppm	29.13±2.81 ^a	28.99±1.42 ^a	23.39±2.03 ^a	14.20±1.26 ^a	8.63±1.57 ^a	-
6 ppm	29.13±2.81 ^a	30.91±2.09 ^a	24.03±2.45 ^a	10.97±1.29 ^b	9.53±0.68 ^a	6.77±0.89 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

3. การเปลี่ยนแปลงค่าสี

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a* แสดงดัง ตารางที่ 10 และ 11 พบว่ามะม่วงพันธุ์เขียวเสวย ในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออายุ การเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยไม่มีความแตกต่าง นัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) เช่นเดียวกับ ค่า b*

ตารางที่ 10 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อค่าสี (ค่า a* ของเปลือก) ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treat	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	-5.74±0.32 ^a	-5.50±0.29 ^a	-5.45±0.20 ^a	-	-	-
2 ppm	-5.74±0.32 ^a	-5.78±0.26 ^a	-5.96±0.12 ^b	-5.57±0.43 ^a	-	-
4 ppm	-5.74±0.32 ^a	-5.73±0.36 ^a	-5.30±0.43 ^a	-5.20±0.91 ^a	-5.10±0.01 ^a	-
6 ppm	-5.74±0.32 ^a	-5.54±0.56 ^a	-5.82±0.39 ^a	-5.88±0.39 ^a	-5.35±0.41 ^a	-5.29±0.61 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 11 อิทธิพลของการรมด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกัน มี 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที ต่อค่าสี (ค่า b* ของเนื้อ) ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส

Treat	การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย					
	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
0 ppm	26.16±3.18 ^a	25.36±0.85 ^a	27.11±1.27 ^b	-	-	-
2 ppm	26.16±3.18 ^a	23.52±1.19 ^a	28.27±1.54 ^a	33.69±5.06 ^a	-	-
4 ppm	26.16±3.18 ^a	23.60±1.03 ^a	25.55±2.52 ^b	30.85±6.69 ^a	34.18±1.00 ^a	-
6 ppm	26.16±3.18 ^a	24.06±0.82 ^a	26.76±0.34 ^b	28.58±2.41 ^b	32.67±0.77 ^b	37.78±2.80 ^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย (n=30) ± ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน

ค่าตัวเลขกำกับด้วยตัวอักษร(ตัวพิมพ์เล็ก)ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ผลของการใช้ก๊าซโอโซนในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

จากการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยทำการ total plate count ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm (control) พบว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดที่ไม่ได้ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนเท่ากับ 2.48×10^5 CFU/g และพบปริมาณเชื้อราเท่ากับ 1.9×10^5 ดังตารางที่ 1

และ 2 ซึ่งเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดในผักและผลไม้ เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ฉบับที่ 2 ห้ามพบจำนวนจุลินทรีย์/กรัม มากกว่า 1×10^6 จำนวนรา/กรัม มากกว่า 500 และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ 2 และ 4 ppm พบว่าสามารถยืดอายุได้เป็นเวลา 9 ถึง 12 วัน ซึ่งแตกต่างจากการใช้ก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น

6 ppm สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลา 15 วัน โดยวันที่ 18 ของการเก็บรักษาพบว่าเกิดการเน่าเสียทุกชุดการทดลอง ซึ่งโอโซนสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก แกรมลบด้วยปฏิกิริยาออกซิเจน โดยทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ที่เรียกว่า Lipoprotein และ Phospholipids เป็นตำแหน่งแรก ทำให้เซลล์สูญเสียคุณสมบัติการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารและทำให้เซลล์แตก นอกจากนี้โอโซนมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่มีบริเวณเร่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ R ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ได้ เช่น ซัลไฮดริล (-SH) ในโมเลกุลของเอนไซม์ และมีผลต่ออนุพันธ์พิวรีน (Purines) และอนุพันธ์ไพริมิดีน (Pyrimidines) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกของแบคทีเรีย และพบว่าโอโซนจะเข้าไปจับผนังเซลล์ของเชื้อราซึ่งเป็นประกอบด้วยสารพวกไคตินหรือเซลลูโลสกับไคตินเป็นส่วนใหญ่ โอโซนเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันตรงตำแหน่ง Disulfide

ผลของก๊าซโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

จากการนำเอามะม่วงพันธุ์เขียวเสวยผ่านการรมก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 0 , 2 , 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะม่วงเขียวเสวยที่ชุดควบคุม 0 ppm (control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษา 6 วัน ซึ่งมีความแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นที่ระดับความเข้มข้น 6 ppm โอโซนสามารถชะลอการยืดอายุการเก็บรักษาได้ 15 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้น การเน่าสายน้อยลง (Joseph,2010) พบว่าก๊าซโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณ double bond ของpolyunsaturated fatty acid ทำให้เกิดการแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และนิวตัน โดยที่มะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว ยังมีการหายใจตลอดเวลา และอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นเมื่อใกล้

bonds บริเวณผนังเซลล์ จากนั้นโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบภายในไซโตพลาสซึมของเชื้อรา (อังคณา เชื้อเจ็ดตน, 2549) และ (Franka,2010) รายงานว่าโอโซนมีผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย โดยการเกิดปฏิกิริยา peroxidation ของสาร phospholipid และ (Franka, 2010) พบว่าโอโซนมีการซึมผ่านผนังเซลล์ แล้วทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ใน cytoplasm ทำให้แบคทีเรียมีแบ่งเซลล์ลดลงเช่นเดียวกับ (อภินันท์ มณีพงษ์, 2547) ซึ่งใช้วิธีนี้กับสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง พบว่าการใช้โอโซน 0.3 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อราได้ (สุเทพ นิยมญาติ, 2553) ได้ศึกษาผลของก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงของส้มโอดัดแต่งพร้อมบริโภคน พบว่าการรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 2 ppm อุณหภูมิ 4°C จะสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีที่สุด โดยลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราจาก 3.12 และ 3.16 เป็น 0.86 และ 2.15 log CFU/g ตามลำดับ

สารประกอบภายในเซลล์รั่วไหลออกมานอกเซลล์นำไปสู่การแตกสลายของเซลล์ ซึ่งช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผักและผลไม้ได้ เช่น ผลไม้มะม่วงซึ่งเป็นที่นิยมรับประทานในปัจจุบันของคนไทย (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลง TSS , TA ,การสูญเสียน้ำหนัก,การเปลี่ยนแปลงของสีปริมาณกรดรวมที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และ ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยในช่วงระยะเวลาต่างๆพบว่าความเข้มข้นของการรมด้วยก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี โดยที่ความเข้มข้น 6 ppm สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 15 วัน ทำให้ผลิตภัณฑ์คุณลักษณะดังนี้ มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 3.65 และความแน่นเนื้อเท่ากับ 6.77 กระบวนการเสื่อมสภาพ ทำให้มีการเน่าเสียอาหารภายในเซลล์โดยกระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่ง

เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ส่วนประกอบต่างๆภายในเซลล์ลดลง ทำให้น้ำหนักของมะม่วงลดลง และการคายน้ำของมะม่วงทำให้เกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อ ผลเหี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับ อรุณทัย ชุมทอง (2546) ได้ศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลิ้นจี่พบว่าชุดการทดลองทุกชุดมีสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามวันเวลาการจัดเก็บ แต่ชุดควบคุมของวันที่ 4 ของการจัดเก็บมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ค่า a^* เท่ากับ -5.29 ค่า b^* เท่ากับ 32.67 ปริมาณกรดรวมที่ไต่เตรทได้เท่ากับร้อยละ 0.14 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 23.89 องศาบริกซ์ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556) และสอดคล้องกับธนชัย (2545) โอโซนไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดและแห้งของผล ความแน่น

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ใช้ในการรมเพื่อศึกษาการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนกับผลมะม่วง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องผลิตโอโซนสำหรับใช้ในการวิจัยรวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์,2553.เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร.กระทรวงสาธารณสุข
กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของโอโซน(ออนไลน์ www.ozoneapplications.com) สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2557
จิรวรรณ และคณะ,2545.การศึกษาความเป็นไปได้ในการลด/กำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ตกค้างใน

เนื้อ TSS TA ปริมาณแอนโทไซยานิน และการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลโดยทั่วไปผลไม้จำพวก Climacteric จะมีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เมื่อผลไม้สุกแป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลทำให้ผลมีรสหวานขึ้นจึงทำให้ TSS มีความหวานเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (จริงแท้ , 2541) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในวันที่ 9 พบว่าผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย ที่ระดับความเข้มข้น 6 ppm ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

2. ศึกษาชนิดแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในผลมะม่วงที่ผ่านการรมด้วยโอโซน

ขอบคุณ นายศุภวัฒน์ สีสัน ในฐานะนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย ขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ลำไยด้วยวิธีการใช้ระบบโอโซน.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 33ฉบับที่6(พิเศษ). 2545.หน้า143-146
จริงแท้ ศิริพานิช,2541.สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,หน้า 33-50
ณัฐกิตติ์ และจักรกฤษณ์,2555.ผลของการใช้สาร 1-Methylcyclopropene ที่มีต่อคุณภาพของ

ฝรั่งพันธุ์แป้งสีทอง และฝรั่งพันธุ์กิมจูภายหลังการเก็บเกี่ยว.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ภาคเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม

ดวงจิตา ขุมทอง และคณะ,2549. ผลของการใช้โอโซนในการควบคุมโรงหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ ทุเรียน.หน่วยวิจัยไม้ผลเขตร้อน สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข,2543.อิทธิพลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลำไย.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร (พืชศาสตร์)มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธีรศาสตร์และคณะ,2553.การยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยการใช้โอโซน.การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่9. ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.พระนครศรีอยุธยา. 258 หน้า

ปรรัตน์ สุภมิตรโยธิน,2556.เทคโนโลยีผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้า. กรุงเทพฯ.หน้า 3-60

พานิชย์ ยศปัญญา,2542.คัมภีร์มีออซิพมะม่วงนอกฤดู.พิมพ์ครั้งที่ 5.สำนักพิมพ์ มติชน.กรุงเทพฯ. หน้า 35-60

ราณี สุรกาญจน์กุลและคณะ,2552.การใช้โอโซนเพื่อความปลอดภัยอาหาร,ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ศิริพรและคณะ,2553.ผลการศึกษาการใช้สารแคลเซียมคลอไรด์ ร่วมกับ สารเคลือบผิว Gustec S ต่อคุณภาพแคนตาลูปตัดแต่งพันธุ์ชั้นเลิศ.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ภาคเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม

สุภาพร พงษ์มณี,2554.เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร ปรับปรุงครั้ง

ที่ 2.สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

สุเทพ นิยมญาติ,2553.ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ภาคเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สืบเนื่อง ชัยชนะ,2549.การลดการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella spp.*และ *Listeria sp.* บนซากสุกรด้วยสารละลายโอโซนอิมัลชัน,ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อรุณทัย ขุมทอง,2546. ผลของการโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลิ้นจี่.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร (พืชสวน) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อังคณา เชื้อเจ็ดตน,2549.ผลของโอโซนและกรดอินทรีย์บางชนิดต่ออายุการเก็บรักษาของผลลำไยสดพันธุ์ดอ.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อภิรัตน์ มณีพงษ์,2547.ผลของการใช้โอโซนต่อคุณภาพและสารพิษตกค้างหลังการเก็บเกี่ยวส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Franka and J.L. Smilanickb ,2010, Integration of continuous biofumigation with *Muscodor albus* with pre-cooling fumigation with ozone or sulfur dioxide to Control postharvest gray mold of table grapes , Postharvest Biology and Technology Vol. 55 pp. 78–84

Joseph, 2010. Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on Postharvest gray mold and fungicide

residues on table grapes, Postharvest Biology and Technology Vol.55 pp. 85–90