

ผลของไอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศสีดา
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

สิทธิโชค พรรคพิทักษ์^{1*} ปภัสสร สุทธิต่าง¹ และ พรพิชญ์ ธรรมปัทม²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทางการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อ. เมือง จ. มหาสารคาม 44000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ. เมือง จ. มหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

ไอโซนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการไม่ใช้ความร้อนในการเพิ่มอายุการเก็บรักษามะเขือเทศในพื้นที่ที่ไม่มีอุปกรณ์ในการทำควมเย็น อย่างไรก็ตามผลของไอโซนต่อคุณภาพของมะเขือเทศยังไม่เป็นที่ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของไอโซนที่ละลายในน้ำ (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่อคุณภาพของมะเขือเทศระหว่างการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ ทำการศึกษาคุณภาพทางด้านสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณวิตามินซี ปริมาณไลโคปีน ยีสต์และรา และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ไอโซนชะลอการเกิดการพัฒนาสีแดง (a *) สีเหลือง (b *) การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณยีสต์และรา และจุลินทรีย์ทั้งหมด ($p < 0.05$) การใช้ไอโซนช่วยชะลอกระบวนการการพัฒนาสีและปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศสีดา ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านไอโซน (100 ppm, 30 นาที) หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 6 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วัน

คำสำคัญ : อายุการเก็บรักษา การใช้ไอโซน คุณภาพ การเก็บรักษา

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: sittichok007@windowslive.com

Effect of Ozone on the Qualities Changes of Sida Tomato
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) During Storage under Refrigeration

Sitthicoke Panpitak^{1*}, Papassorn Suthidang¹ and Pornpisanu Thammapat²

¹Program in Agricultural Technology Information, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000

²Program in Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000

Abstract

Ozone could be seen as an alternative to refrigeration in order to enhance tomato shelf life in areas where cold facilities are not available. However, the effect of ozone on tomato quality is still unclear. Therefore, The aim of this study was to evaluate the effect of ozone dissolved in water (100 mg/l) on the quality of sida tomatoes during storage under refrigeration. The selected quality parameters were the color, total soluble solid, weight loss, ascorbic acid content, lycopene content, yeast and mould and total plate count. Results showed that the application of ozone delayed both the development of red color (a*), yellow color (b*), weight loss, yeast and mould and total plate count (p<0.05). The ozone treatments slowed down the development of the coloring process and lycopene content, while increasing of total plate count of treated sida tomatoes (100 ppm, 30 min) after storage at 6±2 °C for 20 days.

Keywords: Shelf ilfe, Ozonation, Quality, Storage

* Corresponding author: sittichok007@windowslive.com

บทนำ

มะเขือเทศจัดเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ทั้งในแง่การบริโภคผลสดและเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตอาหารชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นพืชที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นธุรกิจครบวงจรและขยายการผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพเพื่อทดแทนการนำเข้า ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากมะเขือเทศเริ่มมีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมพลาสติกป้องกันและซอสมะเขือเทศ นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพที่จะขยายการผลิตมะเขือเทศ ทั้งในรูปแบบผลสดและผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดในปริมาณสูง (Ketsakul, 2015)

มะเขือเทศมีหลากหลายสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย มะเขือเทศสีดา (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นมะเขือเทศอีกสายพันธุ์หนึ่งที่มีการปลูกเพื่อบริโภคผลสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งนิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะผลเล็กสีชมพู นิยมนำไปเป็นส่วนประกอบของส้มตำ ซึ่งพื้นที่ปลูกเชิงธุรกิจที่สำคัญในภาคอีสานอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา (Lapjit, 2014) มะเขือเทศสีดาอุดมด้วยวิตามินซีและบีตา-แคโรทีน ซึ่งเป็นต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการป้องกันโรคต่างๆ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระภายในร่างกาย ทั้งยังช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งและบำรุงสายตา นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็กที่ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง จึงทำให้มะเขือเทศได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพอีกชนิดหนึ่ง (Flores *et al.*, 2017)

จากคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศสีดาดังกล่าวจึงทำให้มีการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้การส่งออกไปยังพื้นที่ห่างไกลทำได้ยาก เนื่องจากมะเขือเทศมีอายุการเก็บรักษาสั้น มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวง่ายทั้งด้านกายภาพและจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีสาเหตุหลักๆ คือ 1) ลักษณะการยืดเกาะจุลินทรีย์บนผิวมะเขือเทศ 2) ประสิทธิภาพในการล้างเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะบริเวณผิว 3) บริเวณพื้นผิวที่ยืดเกาะทำให้ทำความสะอาดและลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ยาก จึงทำให้ผู้ผลิตและจำหน่ายมักนิยมใช้สารเคมีหลายชนิดในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น สารประกอบคลอรีน ซึ่งอาจตกค้างไปถึงผู้บริโภคได้ ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานในการที่จะพยายามแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น การฉายรังสี (Guerreiro *et al.*, 2017) ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2561

2016) การใช้โคโตซาน (Robledo *et al.*, 2018) การใช้นาโนซิลิกา (Derbalah *et al.*, 2018) การใช้เซเรเนียม (Zhu *et al.*, 2018) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการรายงานถึงการใช้ก๊าซโอโซนในการฆ่าเชื้อบนผิวผลไม้ชนิดต่างๆ (Zambre *et al.*, 2010) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำก๊าซโอโซนมาทดแทนการใช้สารเคมีในการลดการปนเปื้อนเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์

โอโซน (Ozone) คือ อะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบกันในลักษณะ 2 อะตอมเป็น 1 โมเลกุล (O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันมากคือ O_2 จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (Stable) แต่การใช้ก๊าซโอโซนจะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (Unstable) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่างกันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว การทำลายจุลินทรีย์นั้นเริ่มจากโมเลกุลของโอโซนเข้าไปสัมผัสที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับ function group ของโปรตีนที่ผิวเซลล์ ได้แก่ sulfhydryl group ซึ่งโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณนี้ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ ถ้า sulfhydryl group ทำหน้าที่เป็น binding side ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์นั้นถูกยับยั้งต่อมาโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณพันธะคู่ (Double bond) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) ทำให้เกิดการแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และสารประกอบภายในเซลล์รั่วออกนอกเซลล์ นำไปสู่การแตกสลายของเซลล์ ซึ่งช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผักและผลไม้ได้ โอโซนช่วยในการทำละลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา นอกจากนี้โอโซนยังช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆ โดยส่วนประกอบไฮดรอกซิลของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนขจัด ส่งผลให้กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นอับขึ้นต่างๆ ถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่างๆ เกิดการสลายตัว (Fundu *et al.*, 2018) การใช้โอโซนยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาสารเคมีตกค้างและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งในปี ค.ศ. 1997 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้ประกาศให้โอโซนเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่าง

ปลอดภัย (GRAS; Generally Recognized As Safe) (Graham, 1997)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปริมาณของจุลินทรีย์ของมะเขือเทศสีดาในด้านต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ใช้มะเขือเทศพันธุ์สีดาที่มีอายุเก็บเกี่ยวทางการค้า มีขนาดน้ำหนักลูกละ 30-50 กรัม ได้จากเกษตรกรในท้องถิ่น อ. โกสุมพิสัย จ. มหาสารคาม

2. การใช้ก๊าซโอโซนต่อคุณภาพของมะเขือเทศสีดา

นำมะเขือเทศพันธุ์สีดามาทำการคัดเลือกผลผลิตที่ไม่ถูกทำลายจากแมลง คัดเลือกสี และขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปผ่านก๊าซโอโซน (O₃) ที่มีความเข้มข้น 100 ppm เป็นระยะเวลา 10 และ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส (Figure 1) หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6±2 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

3. การวิเคราะห์คุณภาพของมะเขือเทศสีดา

3.1 ค่าสี

โดยใช้เครื่อง Miniscan EZ (Hunter Associates Laboratory Inc., USA) ตามระบบสีแบบ CIE system แสดงค่าเป็น L* a* และ b* โดยค่า L* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่า a* แสดงค่าความเป็นสีเขียวและสีแดงและค่า b* แสดงค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง

3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การประเมินการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศพันธุ์สีดาระหว่างการเก็บรักษา ดำเนินการโดยการชั่งน้ำหนักที่ระยะการเก็บรักษาใดๆ เปรียบเทียบกับเริ่มต้น ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างสดวันแรกที่ทำ การทดสอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างสดวันที่เก็บรักษา (กรัม)

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2561

3.3 ปริมาณ Total soluble solids

โดยการนำเอา น้ำจากเนื้อมะเขือเทศสีดามาวัดปริมาณ Soluble solid concentration โดยใช้เครื่อง Hand refractometer ค่าที่อ่านได้เป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

3.4 ปริมาณวิตามินซี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี โดยวิธี 2,6 dichlorophenol indophenol titration method คำนวณปริมาณ ascorbic acid เทียบกับสารละลายมาตรฐาน L-ascorbic acid แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสด [mg/100 g fresh weight] (AOAC., 2002)

3.5 ปริมาณไลโคปีน

ปริมาณไลโคปีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Davis *et al.*, 2003) โดยการสกัดไลโคปีนด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของสารละลายอะซิโตนที่มี BHT 0.05% (w/v) : เอทานอล : เฮกเซน (5 : 5 : 10) ทำการแยกส่วนด้านบนที่เป็นสารสีแดงไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้เฮกเซนเป็นแบลนค์ (blank) คำนวณปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัม) = A₅₀₃×31.2/น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา โดยเจือจางตัวอย่างเปลือกมะเขือเทศ 25 กรัมใน 0.1% peptone 225 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำ 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างที่เจือจางแล้วไปเจือจางต่อด้วย 0.1% peptone หลอดละ 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางต่อจนได้ความเจือจาง (dilution) ที่ 10⁻⁵ ดูดอาหารแต่ละค่าความเจือจางมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในงานเพาะเชื้อ เต็มกรดทาร์ทริก 1.1 มิลลิลิตร ในขวด Potato dextrose agar (PDA) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สำหรับตรวจสอบยีสต์และรา (Plate count agar, PCA) ไม่ต้องเติมกรดสำหรับตรวจสอบแบคทีเรียที่หมอมเหลวและปล่อยให้มอดุลมิลดลงจนถึง 42-45 องศาเซลเซียสแล้ว เพื่อป้องกันการเจริญของแบคทีเรีย เทอาหาร PDA และ PCA ใส่ในงานเพาะเชื้อทุกงานทันที หมุนงานไปมา ให้อาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากันดีกับตัวอย่างปล่อยให้ให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง ปมที่อุณหภูมิห้องนาน 2-5 วันสำหรับ PDA ส่วน PCA นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของยีสต์และราบนงานอาหาร PDA และแบคทีเรียบนงานอาหาร PCA ที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าความเจือจาง บันทึกผล และคำนวณปริมาณราและยีสต์ต่อกรัมของอาหารและแบคทีเรียต่อกรัมอาหาร

วารสารเกษตรพระวรุณ 328

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ค่าสี

การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบ L a* b* ของมะเขือเทศสีดาที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนในระหว่างการเก็บรักษา แสดงดัง Table 1 ผลการศึกษาพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 20 วัน ค่าความสว่าง (L) ของมะเขือเทศที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซน (Control) และตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาทีจะมีค่าความสว่างลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 10 นาที ส่วนค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (a*) จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 ± 2 องศาเซลเซียส มะเขือเทศสีดาจะมีค่าสีเหลืองลดลง โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซนจะมีค่าสีเหลืองลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเมื่อทำการเก็บรักษาไว้นานกว่า 15 วัน สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) ซึ่งจะมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซนจะมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านโอโซน แสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศที่ผ่านโอโซนจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาช้ากว่าการไม่ผ่านโอโซน สอดคล้องกับการศึกษาของ Ong *et al.* (2014) ที่พบว่าการใช้โอโซนกับผลไม้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ผิวเปลือกน้อยกว่าการไม่ผ่านโอโซน เนื่องจากการใช้โอโซนจะส่งผลในการทำลายเอทิลินที่กระตุ้นการสุกของผลไม้

2. การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจและคุณภาพของมะเขือเทศ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการหายใจของผักและผลไม้เอง การสูญเสียน้ำหนักและผิวที่นุ่มลงส่งผลต่อการเลือกซื้อมะเขือเทศของผู้บริโภค จากผลการทดลอง (Figure 2) พบว่ามะเขือเทศสีดาที่ผ่านโอโซนและไม่ผ่านโอโซนมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 5.32-5.63 แสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศมีการสูญเสียน้ำหนักจากกระบวนการหายใจของมะเขือเทศเอง โดยตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาในผักและผลไม้ชนิดอื่น เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม (García-Martin *et al.*, 2018) มะเขือเทศเชอร์รี่ (Fagundes *et al.*, 2015) แครอท (Souza *et al.*, 2018) หม่อนดำ (Tabakoglu and Karaca, 2018) เป็นต้น

3. ปริมาณ Total soluble solids

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะเขือเทศสีดา แสดงดัง Table 2 ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 6 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง $4.73-5.67$ °Brix และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แต่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซนจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านโอโซนในวันที่ 15 และ 20 ของการเก็บรักษา ($p < 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ผ่านโอโซนจะทำให้จุลินทรีย์ที่บริเวณผิวเปลือกมะเขือเทศสีดาถูกทำลาย ส่งผลต่อการยับยั้งการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และชะลอปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในมะเขือเทศสีดาได้อีกด้วย (Souza *et al.*, 2018) ซึ่งการใช้โอโซนจะช่วยให้การยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ได้ (Heleno *et al.*, 2014)

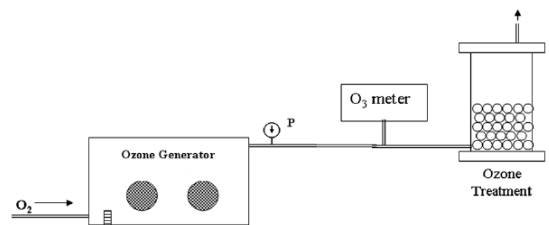


Figure 1 The Schematics of the experimental setup used for ozone treatment.

Table 1 Color values of differently treated sida tomatoes during storage time at 6 °C.

Treatment	Storage (d)				
	0	5	10	15	20
L					
T1 (Control)	39.17±0.36 ^A	37.22±0.30 ^{Bb}	35.27±0.22 ^{Cb}	31.57±0.47 ^{Db}	29.75±0.24 ^{Eb}
T2 (Ozone, 10 min)	39.53±0.32 ^A	38.21±0.23 ^{Ba}	36.59±0.41 ^{Ca}	32.99±0.26 ^{Da}	31.35±0.46 ^{Ea}
T3 (Ozone, 30 min)	39.22±0.47 ^A	37.96±0.22 ^{Bb}	34.40±0.43 ^{Cc}	31.01±0.27 ^{Db}	28.78±0.28 ^{Eb}
a*					
T1 (Control)	19.68±0.35 ^E	21.25±0.31 ^{Db}	24.42±0.33 ^{Ca}	26.50±0.42 ^{Ba}	28.11±0.84 ^{Aa}
T2 (Ozone, 10 min)	20.26±0.34 ^D	22.39±0.37 ^{Ca}	22.93±0.24 ^{Cc}	24.06±0.32 ^{Bb}	25.27±0.84 ^{Ac}
T3 (Ozone, 30 min)	19.94±0.32 ^E	22.56±0.41 ^{Da}	23.76±0.29 ^{Cb}	26.01±0.23 ^{Ba}	26.01±0.23 ^{Ab}
b*					
T1 (Control)	20.15±0.51 ^A	18.67±0.40 ^B	18.70±0.95 ^B	17.39±0.43 ^{Cb}	16.41±0.41 ^{Cb}
T2 (Ozone, 10 min)	20.60±0.37 ^A	19.15±0.22 ^B	18.75±0.67 ^B	18.10±0.26 ^{Ca}	17.67±0.32 ^{Ca}
T3 (Ozone, 30 min)	20.49±0.36 ^A	19.30±0.35 ^B	18.67±0.38 ^C	18.04±0.23 ^{Da}	17.49±0.25 ^{Da}

Different lowercase in the same day indicate significant differences according to ANOVA (p< 0.05) and the absence of letter means no significant effect due to the treatment.

Different capital letters in the same treatment indicate significant differences according to ANOVA (p< 0.05).

Results are the mean values±SD of 20 replicates.

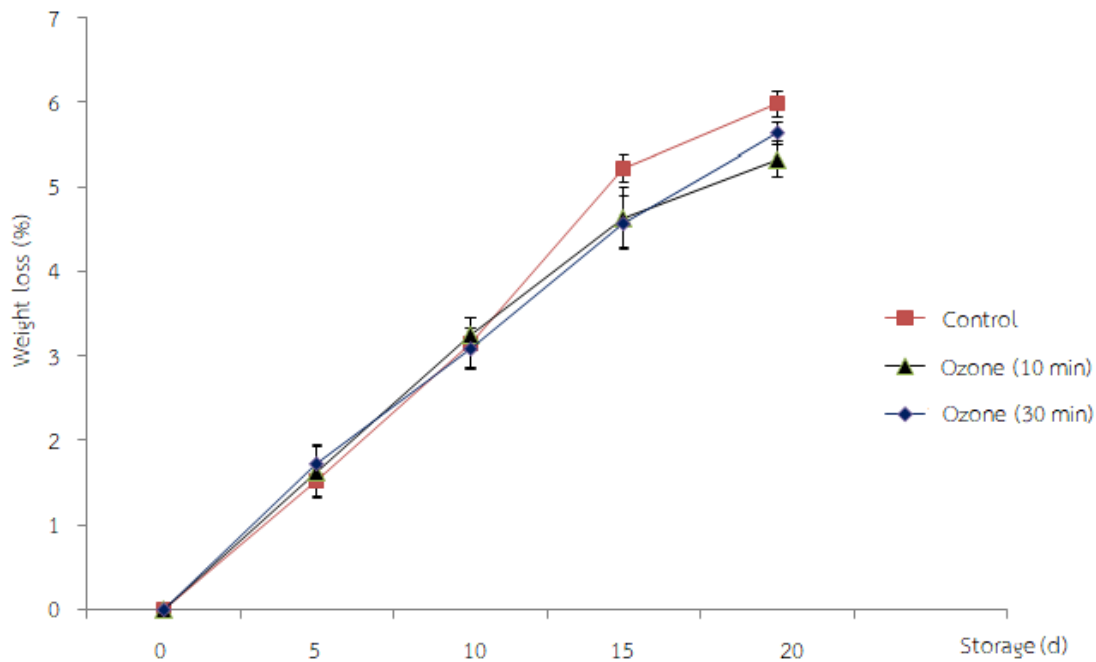


Figure 2 Changes of weight losses of differently treated sida tomatoes during storage time at 6 °C.

Results are the mean values±SD of 20 replicates.

Table 2 Changes of quality parameters of differently treated sida tomatoes during storage time at 6 °C.

Treatment	Storage (d)				
	0	5	10	15	20
Total soluble solid (°Brix)					
T1 (Control)	4.87±0.15 ^B	5.07±0.15 ^B	5.20±0.26 ^{AB}	5.63±0.38 ^A	5.67±0.21 ^A
T2 (Ozone, 10 min)	4.73±0.39 ^B	4.87±0.25 ^{AB}	5.07±0.40 ^{AB}	5.43±0.15 ^A	5.47±0.47 ^A
T3 (Ozone, 30 min)	4.90±0.20 ^B	5.03±0.21 ^B	5.07±0.15 ^B	5.50±0.10 ^A	5.53±0.15 ^A
Ascorbic acid (mg/100g FW)					
T1 (Control)	15.85±0.38 ^A	15.03±0.14 ^B	14.83±0.16 ^{BCab}	14.29±0.28 ^{Cab}	13.15±0.63 ^D
T2 (Ozone, 10 min)	15.81±0.30 ^A	15.10±0.13 ^A	14.96±0.07 ^{BCa}	14.61±0.31 ^{Ca}	13.78±0.24 ^D
T3 (Ozone, 30 min)	15.96±0.26 ^A	15.09±0.16 ^B	14.54±0.28 ^{Cb}	13.94±0.08 ^{Db}	12.93±0.34 ^E
Lycopene (mg/100g FW)					
T1 (Control)	23.39±0.95 ^E	28.12±0.32 ^{Db}	30.96±0.20 ^C	39.27±0.61 ^{Ba}	45.14±0.55 ^{Aa}
T2 (Ozone, 10 min)	23.46±0.69 ^E	27.77±0.29 ^{Db}	30.12±0.46 ^C	34.85±0.56 ^{Bb}	41.87±0.67 ^{Ab}
T3 (Ozone, 30 min)	23.78±0.33 ^E	28.89±0.43 ^{Da}	30.77±0.58 ^C	39.16±0.45 ^{Ba}	45.86±0.44 ^{Aa}

Different lowercase in the same day indicate significant differences according to ANOVA (p< 0.05) and the absence of letter means no significant effect due to the treatment.

Different capital letters in the same treatment indicate significant differences according to ANOVA (p< 0.05).

Results are the mean values±SD of 3 replicates.

Table 3 Changes of microbial parameters of differently treated sida tomatoes during storage time at 6 °C.

Treatment	Storage (d)				
	0	5	10	15	20
Total plate count (CFU/g)					
T1 (Control)	2.12×10 ³	5.24×10 ⁴	1.18×10 ⁵	3.46×10 ⁷	1.75×10 ⁸
T2 (Ozone, 10 min)	ND	<30	4.25×10 ³	1.54×10 ⁴	4.82×10 ⁵
T3 (Ozone, 30 min)	ND	<30	5.21×10 ⁴	5.93×10 ⁷	4.25×10 ⁸
Yeast and mould					
T1 (Control)	1.14×10 ⁴	4.87×10 ⁵	2.08×10 ⁶	7.35×10 ⁶	3.72×10 ⁸
T2 (Ozone, 10 min)	ND	<30	<30	2.63×10 ²	1.87×10 ⁴
T3 (Ozone, 30 min)	ND	<30	<30	4.75×10 ³	2.38×10 ⁵

4. ปริมาณวิตามินซีและไลโคปีน

ปริมาณวิตามินซีและไลโคปีนของมะเขือเทศสีดาที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6±2 องศาเซลเซียส แสดงดัง Table 2 ปริมาณวิตามินซีพบในปริมาณสูงในมะเขือเทศและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายมนุษย์ แต่เนื่องจากโครงสร้างของวิตามินซีมีแนวโน้มที่จะสลายตัวในช่วงกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการพิจารณาความเหมาะสมหรือ

การยอมรับในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (Tabakoglu and Karaca, 2018) ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านโอโซนมีปริมาณวิตามินซีลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 20 วัน (p<0.05) การที่ปริมาณวิตามินซีลดลงในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาเนื่องจากมะเขือเทศจะใช้วิตามินซีในการเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจเพื่อเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (Sadler and Murphy, 1998) แต่ตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาที มีแนวโน้มในการลดลงของวิตามินซีสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสัมผัสกับโอโซนเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลต่อการทำลายวิตามินซีในมะเขือเทศได้ (Tabakoglu and Karaca, 2018)

สารสีในมะเขือเทศนั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์เอและบี สีเหลืองของบีตา-แคโรทีน และสีแดงของไลโคปีน (Friedman and Levin, 1998) ซึ่งไลโคปีนเป็นสารสีที่ถูกสร้างขึ้นในกระบวนการสุกของผักและผลไม้ (Fagundes *et al.*, 2015) จากผลการทดลอง (Table 2) พบว่าปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสีดาจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการเก็บรักษามะเขือเทศจะมีการสุกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีการสังเคราะห์สารสีแดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสุก (Fagundes *et al.*, 2015) แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาทีและไม่ผ่านโอโซนจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเพียงแค่ 10 นาที โดยตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาที และตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซนมีปริมาณไลโคปีนสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 20 วัน เท่ากับ 45.86 และ 45.14 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

5. ปริมาณจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของมะเขือเทศสีดาระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 6 ± 2 องศาเซลเซียส แสดงดัง Table 3 ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างมะเขือเทศสีดาที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 10 และ 30 นาที และทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาไม่เกิน 5 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) มีปริมาณไม่เกิน 30 CFU/g ส่วนในมะเขือเทศสีดาที่ไม่ผ่านโอโซนมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นค่อนข้างสูง (2.12×10^3 CFU/g) และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซนและผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาที จะเริ่มเน่าเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 20 วัน เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงถึง $1.75-4.25 \times 10^8$ CFU/g การที่ตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาทีที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงเนื่องจากการแช่โอโซนที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรงทำให้ผิวของมะเขือเทศสีดาถูกทำลายจึงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์สามารถทำลายได้ง่าย

ส่วนปริมาณยีสต์และราในตัวอย่างที่ผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 10 และ 30 นาที พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2561

เป็นระยะเวลา 20 วัน จะมีปริมาณยีสต์และราต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซน เนื่องจากโอโซนทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรงจึงสามารถทำลายยีสต์และราบริเวณผิวมะเขือเทศสีดาได้

สรุปผลการวิจัย

การใช้โอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศสีดา (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพและเคมี ซึ่งการใช้โอโซนกับมะเขือเทศสีดาที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm เป็นระยะเวลา 10 และ 30 นาที มีผลต่อลักษณะด้านสี ปริมาณไลโคปีน แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และการลดลงของวิตามินไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้โอโซน ส่วนการใช้โอโซนต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ส่งผลต่อการยับยั้งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ได้ดีกว่าการไม่ใช้โอโซน แต่การใช้โอโซนเป็นระยะเวลานาน (30 นาที) ส่งผลต่อผิวมะเขือเทศสีดา ทำให้ผิวมะเขือเทศถูกทำลายได้ง่ายจากการถูกออกซิไดซ์จากโอโซน จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้โอโซนที่ระดับ 100 ppm เป็นระยะเวลา 10 นาที ส่งผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์และลักษณะทางกายภาพและเคมีได้ดีกว่าการใช้ระยะเวลา 30 นาที และสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศสีดาได้ถึง 20 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโอโซนสามารถเพิ่มกลไกการป้องกันจุลินทรีย์บริเวณผิวผักและผลไม้และช่วยในการควบคุมการสลายตัวของผลไม้ได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับกลไกการทำงานของโอโซนกับเชื้อราหรือการเปลี่ยนแปลงกลไกภายในระดับโมเลกุลจึงมีความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนทุนของงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

- AOAC. 2002. Association of official analytical chemists: Official Methods of Analysis. 16th Edition. Washington, D.C. : Gaithersburg, Md.
- Davis, A. R., Fish, W. W., and Perkins, P. 2003. A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato product. *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 28 : 425–430.
- Derbalah, A., Shenashen, M., Hamza, A., Mohamed, A., and Safty, S. E. 2018. Antifungal activity of fabricated mesoporous silica nanoparticles against early blight of tomato. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*. 5(2) : 145–150.
- Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., and Monteiro, A. R. 2015. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*. 109 : 73–81.
- Flores, P., Sánchez, E., Fenoll, J., and Hellin, P. 2017. Genotypic variability of carotenoids in traditional tomato cultivars. *Food Research International*. 100 : 510–516.
- Friedman, M., and Levin, C. E. 1998. Dehydrotomatine content in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46 : 4571–4576.
- Fundo, J. F., Miller, F. A., Tremarin, A., Garcia, E., Brandão, T. R. S., and Silva, C. L. M. 2018. Quality assessment of *Cantaloupe* melon juice under ozone processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 47 : 461–466.
- García-Martín, J. F., Olmo, M., and García, J. M. 2018. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of different citrus varieties at laboratory and at industrial facility. *Postharvest Biology and Technology*. 137 : 77–85.
- Graham, D. M. 1997. Use of ozone for food processing. *Journal of Food Technology*. 51 : 72-75.
- Guerreiro, D., Madureira, J., Silva, T., Melo, R., Santos, P. M. P., Ferreira, A., Trigo, M. J., Falcão, A. N., Margaça, F. M. A., and Verde, S. C. 2016. Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation : Microbial and physicochemical parameters evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 36 : 1–9.
- Heleno, F. F., Queiroz, M. E. L. R., Neves, A. A., Freitas, R. S., Faroni, L. R. A., and Oliveira, A. F. 2014. Effects of ozone fumigation treatment on the removal of residual difenoconazol from strawberries and on their quality. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 49 : 94–101.
- Ketsakul, S. 2015. Tomato production technology. Bangkok : Department of Agriculture.

- Lajjit, F. P. 2014. Problems and needs of Sida tomato production of growers in Nakhonratchasima province. *Khon Kean Agriculture Journal*. 42(Suppl. 3) : 894-989.
- Ong, M. L., Ali, A., Alderson, P. G., and Forney, C. F. 2014. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. *Scientia Horticulturae*. 179 : 163-169.
- Robledo, N., Vera, P., López, L., Yazdani-Pedram, M., Tapia, C., and Abugoch, L. 2018. Thymol nanoemulsions incorporated in quinoa protein/chitosan edible films; antifungal effect in cherry tomatoes. *Food Chemistry*. 246 : 211-219.
- Sadler, G. D., Murphy, P. A., 1998. pH and titratable acidity. In: Nielsen, S. (Ed.), *Food Analysis 2*. Gaithersburg : Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, pp. 101-116.
- Souza, L. P., Faroni, L. R. D., Heleno, F. F., Cecon, P. R., Gonçalves, T. D. C., da Silva, G. J., and Prates, L. H. F. 2018. Effects of ozone treatment on postharvest carrot quality. *Food Science and Technology*. 90 : 53-60.
- Tabakoglu, N. and Karaca, H. 2018. Effects of ozone-enriched storage atmosphere on postharvest quality of black mulberry fruits (*Morus nigra* L.). *Food Science and Technology*. 92 : 276-281.
- Zambre, S. S., Venkatesh, K. V. and Shah, N. G. 2010. Tomato redness for assessing ozone treatment to extend the shelf life. *Journal of Food Engineering*. 96 : 463-468.
- Zhu, Z., Zhang, Y., Liu, J., Chen, Y., and Zhang, X. 2018. Exploring the effects of selenium treatment on the nutritional quality of tomato fruit. *Food Chemistry*. 252 : 9-15.