

ผลของการล้างน้ำโอโซนต่อคุณภาพของผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Effects of ozone washing on quality of green oak lettuce during low temperature storage

ศรัณยา เพ่งผล^{1*}, เดชาพล ทับเพ็ชร¹ และ ปณณวิชญ์ เย็นจิตต์¹

Sarunya Pengphol^{1*}, Dechapol Thuppet¹ and Punnawich Yenjit¹

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 389 หมู่ 9 ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000

¹ Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, 398 Moo.9 Nakhon Sawan Took, Muang, Nakhon Sawan, 60000

บทคัดย่อ: ผลของการล้างน้ำโอโซนต่อคุณภาพของผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วยวิธีการล้างผักสลัดกรีนโอ๊คทั้งต้นพร้อมรากที่ได้จากการปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์ 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 การไม่ล้าง (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 การล้างด้วยน้ำประปา กรรมวิธีที่ 3 การล้างด้วยน้ำเย็น (5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที) และกรรมวิธีที่ 4 การล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น (1 กรัม/ลิตร 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที) จำนวน 4 ซ้ำ พบว่า ผักสลัดกรีนโอ๊คในกรรมวิธีไม่ล้างเริ่มพบการเกิดสีน้ำตาลในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ขณะที่การล้างผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยน้ำโอโซนเย็น เริ่มพบการเกิดสีน้ำตาลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งเกิดสีน้ำตาลช้าและมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ และผักสลัดกรีนโอ๊คที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น พบจำนวนจุลินทรีย์ปนเปื้อนทั้งหมดน้อยที่สุด เมื่อเก็บรักษาในวันที่ 0 และ 15 วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนคะแนนความพึงพอใจด้านความสด สี และความพึงพอใจโดยรวมของผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น พบว่า มีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ การล้างด้วยน้ำเย็น การล้างน้ำประปา และไม่ล้างตามลำดับ อย่างไรก็ตามผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นลดการสูญเสียน้ำหนัก ทำให้มีความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา 15 วัน

คำสำคัญ: การเก็บรักษา; คุณภาพ; จำนวนโคโลนีทั้งหมด; ผักสลัด; อุณหภูมิต่ำ

ABSTRACT: Effect of ozone washing on green oak lettuce quality during storage at 8°C was investigated. This research was designed by completely randomized design (CRD) include 4 treatments, such as 1) unwash (control), 2) tap water washing, 3) cold water washing (5°C for 5min) and 4) cold ozone water washing (1g/L 5°C for 5 min) (4 replicates). It was found that the lettuce of unwash treatment was browning started after storage at 3 days, while the cold ozone water treatment was showed browning at 15 days of storage. That treatment showed slow and lowest browning score when compared with other treatments. In addition, the cold ozone water of lettuce was significantly lowest total contaminated microorganisms for 0 and 15 days of storage time. In the part of freshness, color and total consumer acceptance of lettuce for the cold ozone water treatment were showed significantly highest score, followed by cold water, tap water and unwash treatments respectively. Moreover, the

* Corresponding author: sarunya.p@nsru.ac.th

Received: date; October 5, 2023 Revised: date; December 13, 2024

Accepted: date; February 18, 2025 Published: date; May 30, 2025

lettuce after washed with cold ozone water was reduced weight loss, that had significantly titratable acidity (TA) and total soluble solids (TSS) content when compared with other treatments although storage time for 15 days.

Keywords: storage; quality; total colony count; lettuce; low temperature

บทนำ

กรีนโอ๊ค Green oak มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca scariola* ซึ่งกรีนโอ๊คอยู่ใน Family Asteraceae ลักษณะโดยทั่วไปสลัดกรีนโอ๊ค ใบมีสีเขียวอ่อน หรือเขียวเข้ม (ตามลักษณะของสายพันธุ์) มีเส้นใยสูงเหนียว จึงเป็นที่นิยมนำมาบริโภคผักสลัดเพิ่มขึ้นมากเนื่องจากผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น และด้วยวิถีการใช้ชีวิตที่เร่งรีบ จึงได้มีการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยการจำหน่ายผักสลัดในรูปแบบของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค (Fresh cut) ผักตัดแต่งพร้อมบริโภค หมายถึง ผักที่มีการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยวผักอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการแปรรูปผักได้แก่ คัดเลือก ตัดแต่ง ล้างทำความสะอาด และการบรรจุในบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผักอยู่ในรูปแบบที่สามารถบริโภคได้ทันที โดยทั่วไปผักสลัดกรีนโอ๊คที่ตัดแต่งพร้อมบริโภคแล้วจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 ถึง 7 วัน (Ahvenainen, 1996) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของคุณภาพผักสลัดกรีนโอ๊ค คือ ความสด การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ และการเกิดสีน้ำตาล โดยบริเวณก้าน และขอบใบที่มีการตัดแต่ง และผักสลัดกรีนโอ๊คเป็นผักที่พบปัญหาามากที่สุดในผักสลัดทั้งหมดเนื่องจากผักสลัดกรีนโอ๊คพบการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (Lopez-Galvez et al., 1996) ทั้งนี้การตัดแต่งเป็นการทำให้เกิดบาดแผลจึงทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase; PPO) มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น และทำให้ผักมีการหายใจสูงขึ้น และเป็นการเร่งให้เกิดเป็นจุดสีน้ำตาลบริเวณก้านใบมากขึ้น เอนไซม์ PPO ถูกรายงานว่าเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบฟีนอลในผักสลัดกรีนโอ๊ค ซึ่งนำไปสู่การเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา (Peiser et al., 1998; Saltveit, 2004) การใช้อุณหภูมิต่ำ (Low temperature) ในการเก็บรักษาผักเพื่อช่วยลดการสูญเสีย (Loss) โดย Spinardi and Antonio (2012) ทำการ พบว่า ผักสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (14 วัน) ทำให้มีการสลายตัวของไขมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) ในใบผักสลัดเพิ่มมากขึ้น และการผลิตเอทิลีนมากกว่าผักสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า (4 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ผักสลัดยังอาจมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ การล้างเพื่อลดหรือจำกัดเชื้อจุลินทรีย์จึงจำเป็นในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว 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 การทำลายจุลินทรีย์นั้นเริ่มจากโมเลกุลของโอโซนเข้าไปสัมผัสที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับ function group ของโปรตีนที่ผิวเซลล์ ได้แก่ sulfhydryl group ซึ่งโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณนี้ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ ถ้า sulfhydryl group ทำหน้าที่เป็น binding side ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์นั้นถูกยับยั้ง ต่อมาโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์บริเวณพันธะคู่ (Double bond) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) ทำให้เกิดการแตกออกของเยื่อหุ้มเซลล์ และสารประกอบภายในเซลล์รั่วออกมาออกเซลล์ นำไปสู่การแตกสลายของเซลล์ ซึ่งช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบนผักและผลไม้ได้ โอโซนช่วยในการทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา Hernández-Arias et al. (2019) พบว่าโอโซนที่ความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร นาน 3 นาที มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* ได้ 83 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้โอโซนยังช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆ โดยส่วนประกอบไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนขจัด ส่งผลให้กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นอับชื้นต่างๆ ถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่างๆ เกิดการสลายตัว (Fundo et al., 2018) การใช้โอโซนยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาสารเคมีตกค้างและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งในปี ค.ศ. 1997 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้ประกาศให้โอโซนเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างปลอดภัย (GRAS; Generally

Recognized As Safe) (Graham, 1997) นอกจากนี้ Ölmez and Akbas (2009) ใช้น้ำโอโซนที่ความเข้มข้น 2ppm นาน 2 นาที ผักสลัดใบเขียว (green leaf lettuce) สามารถลดจำนวนเชื้อ *Listeria monocytogenes* ได้ และรักษาคุณภาพโดยรวมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (ช่วง 10-26 องศาเซลเซียส) ได้ดีกว่าการใช้สารคลอรีนความเข้มข้น 200ppm ดังนั้นจากข้อดีของการใช้โอโซนในอุตสาหกรรมอาหาร ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำก๊าซโอโซนมาทดแทนการใช้สารเคมี เพื่อหาวิธีการล้างผักสลัดกรีนโอ๊คที่เหมาะสมในการลดการปนเปื้อนเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ สามารถรักษาคุณภาพและลดการเกิดสีน้ำตาลหลังการเก็บรักษา

วิธีการศึกษา

ดำเนินการศึกษาผลของการล้างน้ำโอโซนต่อคุณภาพการเก็บรักษาของผักสลัดกรีนโอ๊คที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีการทดลอง (4 ซ้ำ) ซ้ำละ 1 ต้น โดยทำการคัดเลือกผักสลัดกรีนโอ๊คสดจากการเพาะปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกจึงเก็บเกี่ยวเป็นต้นที่มีน้ำหนักช่วง 250-300 กรัม (โดยไม่ตัดราก) จากนั้นนำผักที่ได้มาคัดตำหนิออก (ใบเน่า ใบเสีย และใบช้ำ) แล้วทำการสุ่มตัวอย่างผัก และแบ่งผักตามน้ำหนักเท่าๆ กัน จากนั้นนำตัวอย่างผัก มาทำการล้างจำนวน 4 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ (1) ไม่ล้าง (Control)

กรรมวิธีที่ (2) ล้างน้ำประปา (Tap water)

กรรมวิธีที่ (3) ล้าง + น้ำเย็น (Cold water) อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

กรรมวิธีที่ (4) ล้าง + โอโซนน้ำเย็น (Cold O₃ water) ความเข้มข้น 1/L ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

นำผักตัวอย่างหลังการล้างตามกรรมวิธีต่างๆ แล้วมาทำการสลัดน้ำออกและวางพักไว้ในตะกร้าให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปใส่ถุงพลาสติกใสชนิด (Polyethylene, PE) ไม่เจาะรู และปิดปากถุงด้วยความร้อนโดยเครื่องซีล จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ของผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างการเก็บรักษา และจากการศึกษาคุณภาพของผักสลัดที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เบื้องต้นทุกวัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผู้วิจัยจึงวางแผนการทดลองให้ติดตามวิเคราะห์ผลทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยพิจารณาจากผักสลัดที่มีลักษณะแสดงอาการผิดปกติ ได้แก่ เหี่ยว เกิดสีน้ำตาล มีอาการฉ่ำน้ำ เป็นต้น ถือว่าเป็นผักสลัดที่หมดอายุการเก็บรักษา ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก คำนวณจากสูตร

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักก่อนเก็บรักษา}} \times 100 \%$$

2. การเกิดสีน้ำตาล (Browning)

โดยพิจารณาจากช่วง % จากผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน มีเกณฑ์การให้ประเมินคะแนนเป็น 6 ระดับ ตั้งแต่ 0-5 คะแนน ดังนี้

คะแนน 0 = ไม่เกิดสีน้ำตาล

คะแนน 1 = เกิดสีน้ำตาล ระหว่าง 1-10 %

คะแนน 2 = เกิดสีน้ำตาล ระหว่าง 10-20 %

คะแนน 3 = เกิดสีน้ำตาล ระหว่าง 20-30 %

คะแนน 4 = เกิดสีน้ำตาล ระหว่าง 30-40 %

คะแนน 5 = เกิดสีน้ำตาล ระหว่าง 40-50 %

3. ความพึงพอใจด้านความสด สี และโดยรวม (คะแนน)

โดยพิจารณาจากช่วง % จากผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน มีเกณฑ์การให้ประเมินคะแนนเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ 1-5 คะแนน (จากระดับความพึงพอใจน้อยมาก-ระดับความพึงพอใจมากที่สุด)

4. การวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA)

นำน้ำคั้นจากผักสลัดกรีนโอ๊ค 5 มิลลิลิตร และใช้สารละลาย phenolphthalin 1 % เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน (NaOH 0.1 N) โดย นำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ จากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้น NaOH (0.1N)} \times \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้} \times 0.07 \times 100}{\text{ปริมาณน้ำคั้น}} \%$$

5. วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS)

นำน้ำคั้นจากผักสลัดกรีนโอ๊คมาหยดลงบนเครื่อง hand refractometer จากนั้นอ่านค่าทันที มีหน่วยเป็น %

6. วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี Total colony count

นำชิ้นส่วนตัวอย่างผัก 20 กรัมมาล้างในน้ำนิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 150 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดเขย่าโดยเครื่องเขย่าสาร (shaker) ยี่ห้อ heidolph ความเร็ว 400 รอบ/นาที นำน้ำล้างมา 100 ไมโครลิตรมาทำการ Spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) จำนวน 4 ซ้ำ และนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง จดบันทึกผลการเกิดโคโลนีทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Statistical Package for the Social Science for Windows, SPSS)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการล้างน้ำโอโซนต่อการควบคุมโรคและคุณภาพของผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยการนำผักสลัดกรีนโอ๊คที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้

การสูญเสียน้ำหนัก

ผักสลัดกรีนโอ๊คหลังจากผ่านการล้างตามกรรมวิธีต่างๆ แล้วแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน นำมาทำการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า การล้างผักทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เป็นเวลา 15 วัน เนื่องจากผักสลัดที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังมีชีวิตจึงเกิดกระบวนการหายใจ และการคายน้ำ (จริงแท้, 2540) ในการทดลองนี้เมื่อเก็บรักษาผักสลัดเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 15.16 % ซึ่งน้อยกว่าการล้างผักสลัดกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Figure 1) อาจเป็นเพราะผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น ซึ่งน้ำเย็นสามารถลดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของผักสลัด และโอโซนมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่บริเวณผิวของผักสลัดได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ จึงพบการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า และสามารถชะลอการเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) ของผักสลัดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ölmez and Akbas (2009) ที่ล้างผักสลัดใบเขียว (green leaf lettuce) โดยใช้น้ำโอโซนที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5-4.5ppm ช่วงเวลา 0.5-3.5นาที่ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-26 องศาเซลเซียส พบว่า 2ppm นาน 2 นาที่ สามารถลดจำนวนเชื้อ *Listeria monocytogenes* ได้ และรักษาคุณภาพโดยรวมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ได้ดีกว่าการใช้สารคลอรีน ความเข้มข้น 100ppm สอดคล้องกับ Hernández-Arias et al. (2019) พบว่าการใช้โอโซนที่ความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร นาน 3 นาที่ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* ได้ 83 เปอร์เซ็นต์ และ Glowacz และ Ree (2016) ที่ได้ศึกษาการใช้โอโซน

ความเข้มข้นต่างๆ ในการเก็บรักษาพริกแดงและพริกเขียว พบว่า การใช้โอโซนที่ความเข้มข้น 0.9 ไมโครโมล/โมล สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และคงความแน่นเนื้อ (firmness) ระหว่างการเก็บรักษาของพริกทั้งสองชนิดลงได้

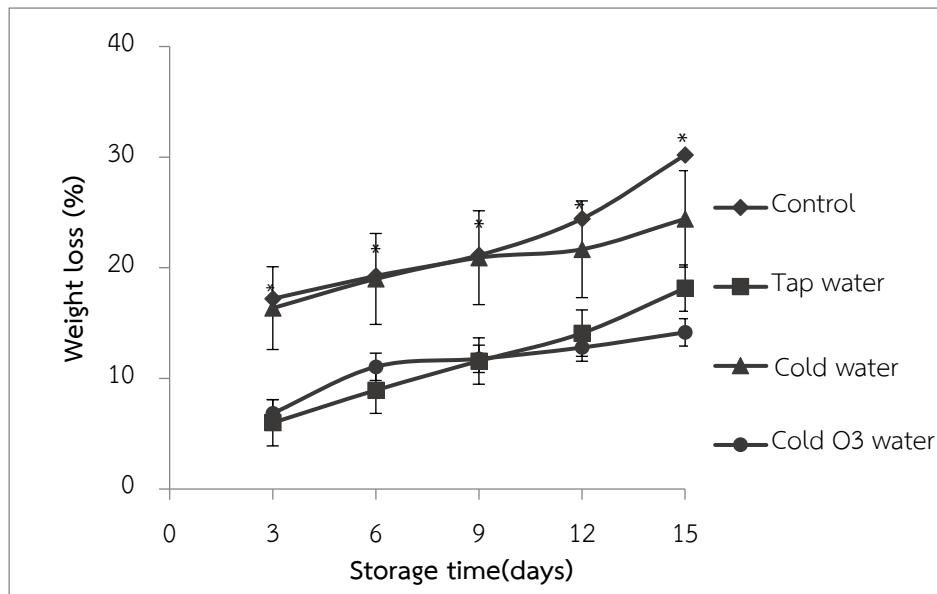


Figure 1 Weight loss of Green Oak lettuce after washing with difference treatments during storage at 8°C for 15 days

การเกิดสีน้ำตาล

ผักสลัดกรีนโอ๊ค ที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ นำมาให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของใบ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดทุกกรรมวิธีมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มตลอดอายุการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ผักสลัดในกรรมวิธีที่ไม่ล้างน้ำเริ่มพบการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณลำต้นเมื่อเก็บรักษาและมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ตลอดอายุการเก็บซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) รองลงมาคือผักสลัดกรรมวิธีที่ล้างน้ำ กรรมวิธีล้างด้วยน้ำเย็น และกรรมวิธีล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น ตามลำดับ โดยพบว่าผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นพบการเกิดสีน้ำตาลช้าที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (Figure 2) อาจเนื่องมาจากผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น มีผลต่อการชะลอหรือลดการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (polyphenol oxidase, PPO) ลงได้ และการใช้โอโซนร่วมกับความเย็นในน้ำที่ล้าง ยังช่วยทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ภายในเซลล์พืชได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Whangchai et al. (2006) ที่ได้ทำการรมผลลำไยสดด้วยโอโซนความเข้มข้น 200 ไมโครลิตร/ลิตร นาน 120 นาที ร่วมกับการรดออกซาลิก หรือกรดซิตริก พบว่า สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยได้ โดยสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ (PPO) ลงได้

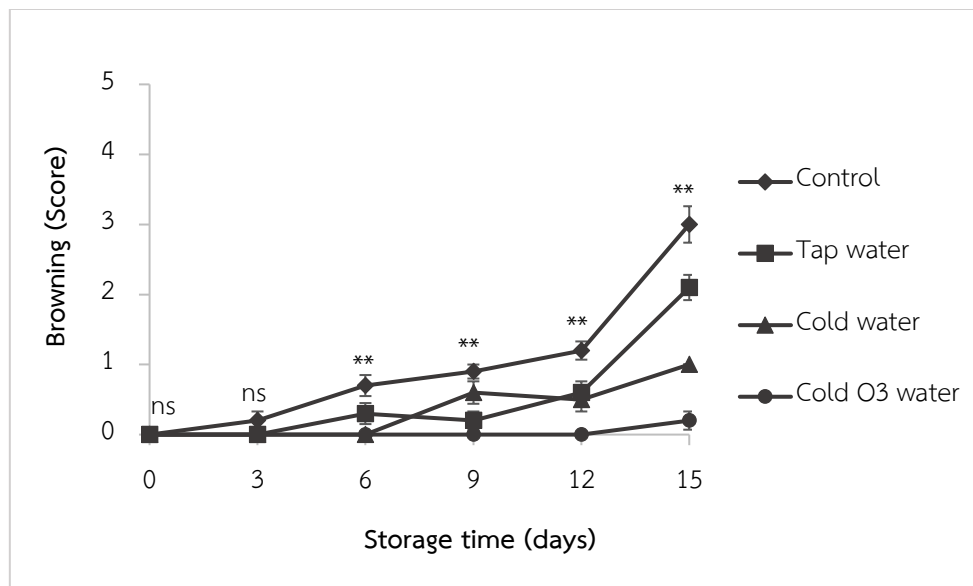


Figure 2 Browning score of Green Oak lettuce after washing with difference treatments during storage at 8°C for 15 days

ความพึงพอใจของผู้บริโภค

ด้านความสด

ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดทุกกรรมวิธีมีคะแนนความพึงพอใจด้านความสดลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ผักสลัดในกรรมวิธีที่ไม่ล้างน้ำ มีความพึงพอใจด้านความสดลดลงอย่างมาก และพบว่ามีความน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ผักสลัดในกรรมวิธีไม่ล้างน้ำมีคะแนนความพึงพอใจด้านความสดน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ผักสลัดในกรรมวิธีที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นมีแนวโน้มคะแนนความพึงพอใจด้านความสดมากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 3a)

ด้านสี

ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มาให้คะแนนความพึงพอใจด้านสี เป็น 5 ระดับ จากประชากรทั้งหมด 10 คน พบว่า ผักสลัดทุกกรรมวิธีมีคะแนนความพึงพอใจด้านสีลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา และผักสลัดในกรรมวิธีที่ไม่ล้างน้ำ มีคะแนนความพึงพอใจด้านสีน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้พบว่า ผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นมีแนวโน้มของคะแนนความพึงพอใจด้านสีมากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 3b) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิทธิโชค และคณะ (2561) ที่ได้ทำการทดลอง พบว่า มะเขือเทศที่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 10 และ 30 นาที มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาช้ากว่ามะเขือเทศที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน

ด้านความพอใจโดยรวม

ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดทุกกรรมวิธีมีคะแนนความพึงพอใจโดยรวมลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา และพบว่าผักสลัดในกรรมวิธีล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นมีคะแนนความพึงพอใจโดยรวมมากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา รองลงมา คือผักสลัดกรรมวิธีล้างด้วยน้ำเย็น กรรมวิธีล้างด้วยน้ำประปา และ

กรรมวิธีที่ไม่ล้างน้ำ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 3c) สอดคล้องกับการใช้น้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นที่ 2 ppm เป็นเวลา 2 นาที เป็นวิธีการเหมาะสมในการล้างผักสลัดใบเขียวเพื่อลดเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยรักษาคุณภาพของผักเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Ölmez and Akbas, 2009)

ลักษณะของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เริ่มพบการเกิดสีน้ำตาล เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน ในกรรมวิธีไม่ล้าง นอกจากนี้มีการสูญเสียน้ำหนัก และคะแนนการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคด้านสี และการยอมรับโดยรวมน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆบริเวณพื้นผิวของผัก มีผลทำให้ผักมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ลดลง และการล้างน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับน้ำเย็น มีผลทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถละลายน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การล้างด้วยน้ำเย็นก่อนนำไปเก็บรักษา (Precooling) เท่ากับใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางนำความร้อนออกจากผัก ซึ่งทำให้ผักสลัดคงความสดและลดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสี ส่งผลให้คะแนนความพึงพอใจด้านโดยรวมมากกว่ากรรมวิธีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Glowacz and Ree (2016) ที่ได้ศึกษาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 0.9 ไมโครโมล/โมล ในการเก็บรักษาพริกแดงและพริกเขียว พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก คงความแน่นเนื้อ (firmness) สี และ ยืดอายุการเก็บรักษาของพริกทั้งสองชนิดลงได้

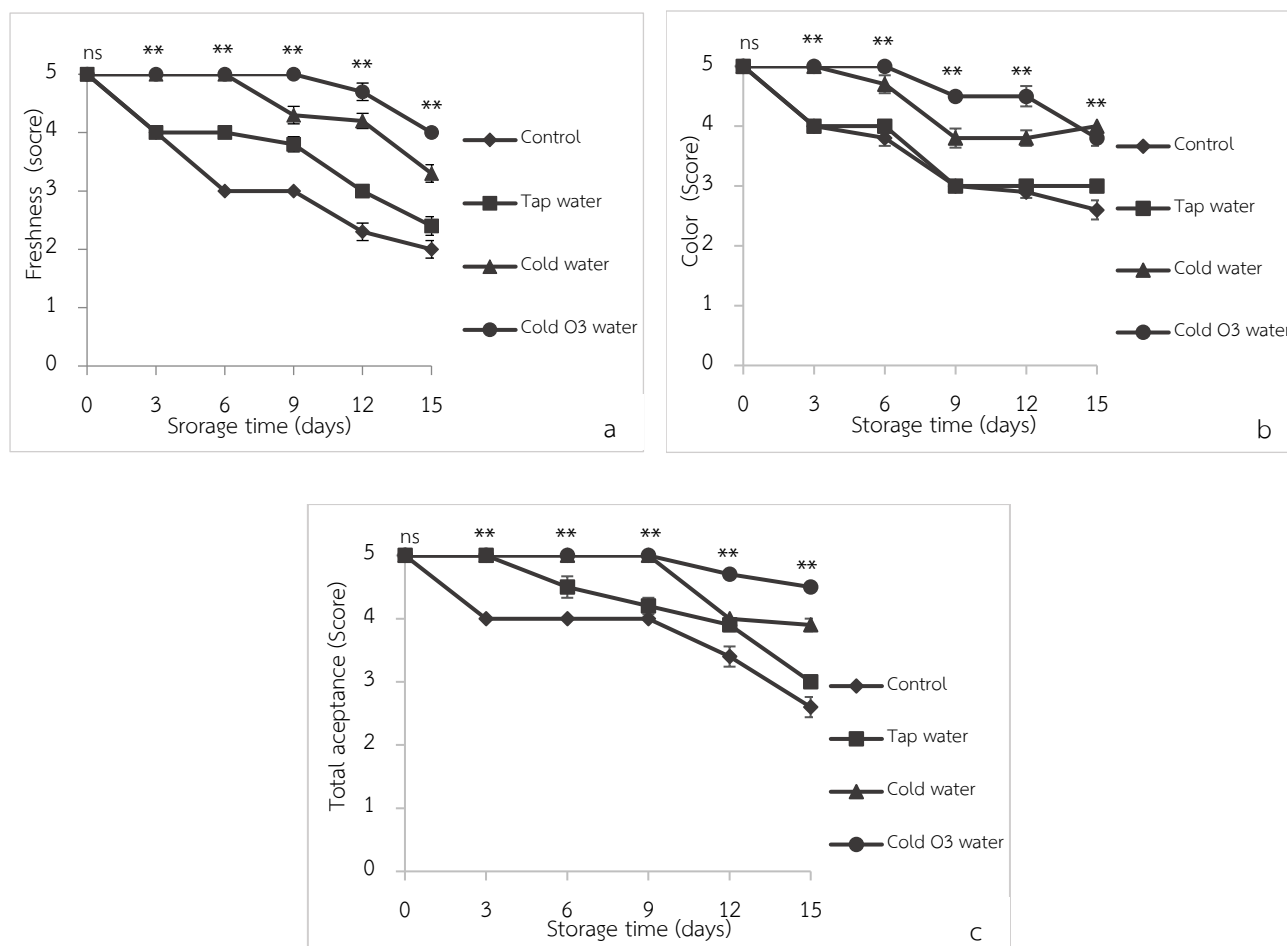


Figure 3 Freshness (a), color (b) and total acceptance score (c) of Green Oak lettuce after washing with difference treatments during storage at 8°C for 15 days

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

ผักสลัดกรีนโอ๊ค ที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ นำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดทุกกรรมวิธี มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำ และค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา และผักสลัดในกรรมวิธีที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็น มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ล้างด้วยน้ำเย็น และพบว่าผักสลัดในกรรมวิธีกรรมวิธีล้างน้ำ และกรรมวิธีไม่ล้าง มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากัน และน้อยที่สุด ตลอดอายุการเก็บรักษา ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 4) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ölmez and Akbas (2009) ผักสลัดใบเขียว (green leaf lettuce) ที่ล้างด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 2 ppm นาน 2 นาที พบว่า มีผลต่อปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดซิตริก และกรดแอสคอบิก ในปริมาณคงที่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับ Spinardi and Ferrante (2012) อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ปริมาณกรดแอสคอบิกทั้งหมดในผักสลัดค่อยๆ ลดลงและเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

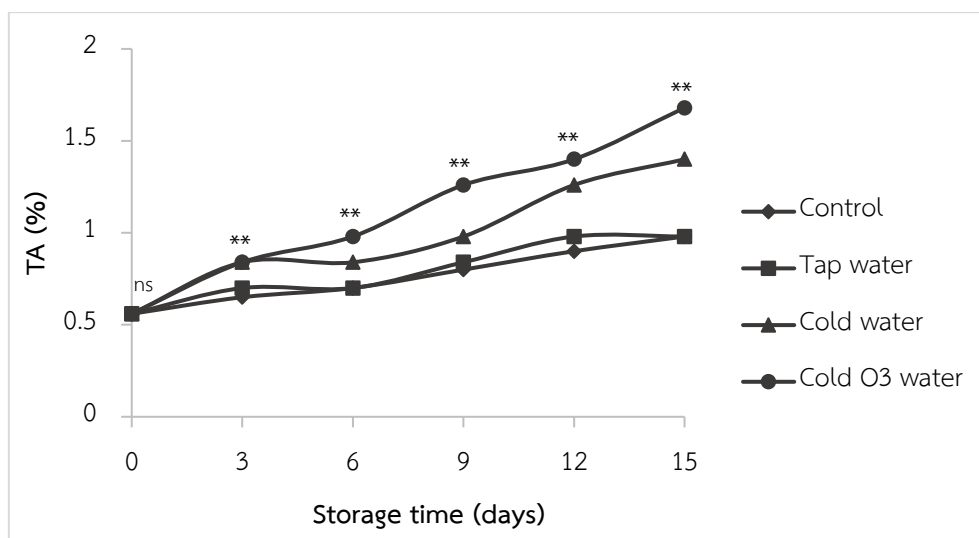


Figure 4 Titrateable acidity content of Green Oak lettuce after washing with difference treatments during storage at 8°C for 15 days

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS)

ผักสลัดกรีนโอ๊ค ที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ นำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผักสลัดกรีนโอ๊คทุกกรรมวิธี มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ขณะที่กรรมวิธีล้างผักสลัดด้วยน้ำโอโซนเย็นคงค่า TSS เท่ากับ 5 % ถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเริ่มมีค่า TSS ลดลงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา แต่ พบว่า มีปริมาณ TSS ที่สูงกว่าผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำเย็น น้ำประปา และกรรมวิธีไม่ล้าง ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (Figure 5) อาจเป็นเพราะผักสลัดในกรรมวิธีไม่ล้างมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักสลัดที่ล้างด้วยกรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจของพืช คือ กลูโคส และออกซิเจน จึงพบปริมาณ TSS (ค่าความหวาน) ในผักสลัดที่ไม่ล้างลดลง ในขณะที่พบว่าปริมาณ TSS ของผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นเริ่มลดลงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา แสดงว่าโอโซนเย็นช่วยชะลออัตราการหายใจของผักสลัดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษณชัย และคณะ (2551) พบว่า การล้างผลมะนาวด้วยโอโซนจะมีการสูญเสีย น้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการล้างด้วยคลอรีน

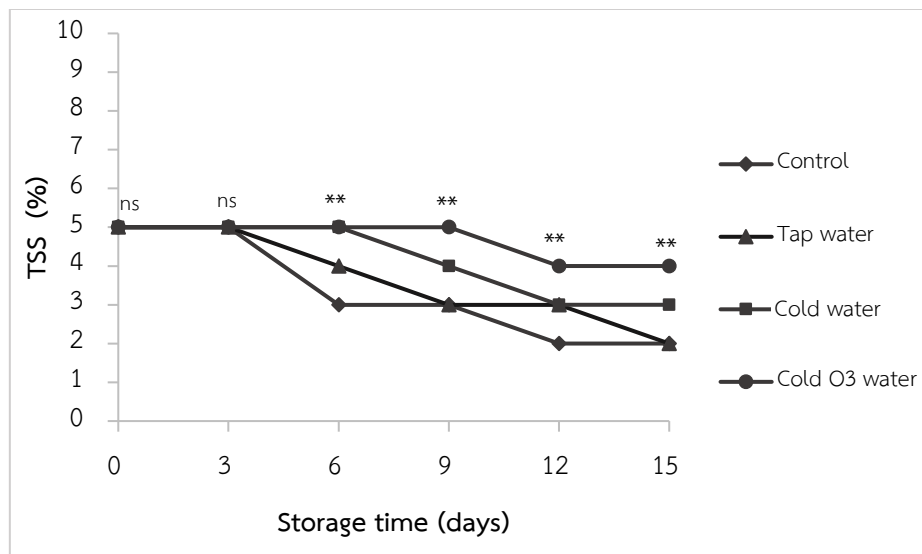


Figure 5 Total soluble solids content of Green Oak lettuce after washing with difference treatments during storage at 8°C for 15 days

วิเคราะห์และจำแนกเชื้อโดยวิธี Total colony count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA)

ผักสลัดกรีนโอ๊คหลังจากผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ แล้วทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีโดยใช้วิธีการเจือจาง (Dilution plate method) ที่ระดับความเจือจางที่ 10^{-2} เท่า เมื่อเก็บรักษาผักที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 15 วัน พบว่า หลังการล้างผักทันที (0 วันของการเก็บรักษา) มีจำนวนโคโลนีที่นับได้ทุกกรรมวิธีน้อยกว่าจำนวนโคโลนีบนผักสลัดที่เก็บรักษา เป็นเวลา 15 วัน นอกจากนี้การล้างผักด้วยน้ำไฮโปคลอไรต์ ทำให้มีจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด ทั้งก่อน และหลังการเก็บรักษาผัก เป็นเวลา 15 วัน มีจำนวนโคโลนี เท่ากับ 20.7×10^2 และ 55×10^2 CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับกรรมวิธีการล้างด้วยน้ำเย็น การล้างด้วยน้ำประปา และการไม่ล้าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Figure 6) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกฤติยา และคณะ (2545) ได้ทำการล้างผักด้วยการใช้ไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 0.35 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในผักได้ ทั้งผักใบ (ผักกาดหอม) ผักก้าน (ผักบุ้ง) และผักหัว (แครอท) เป็นเพราะไฮโปคลอไรต์มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ กับจุลินทรีย์ต่างๆที่ปนเปื้อนบริเวณผิวของผักสลัด นอกจากนี้ Karaca and Velioğlu (2013) ทำการรมแก๊สไฮโปคลอไรต์ และน้ำไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 12 มิลลิกรัม/ลิตร ในผักกาดหอม ผักโขม และผักพาร์สลีย์ สามารถลดเชื้อ *Escherichia coli* และ *Listeria innocua* ได้

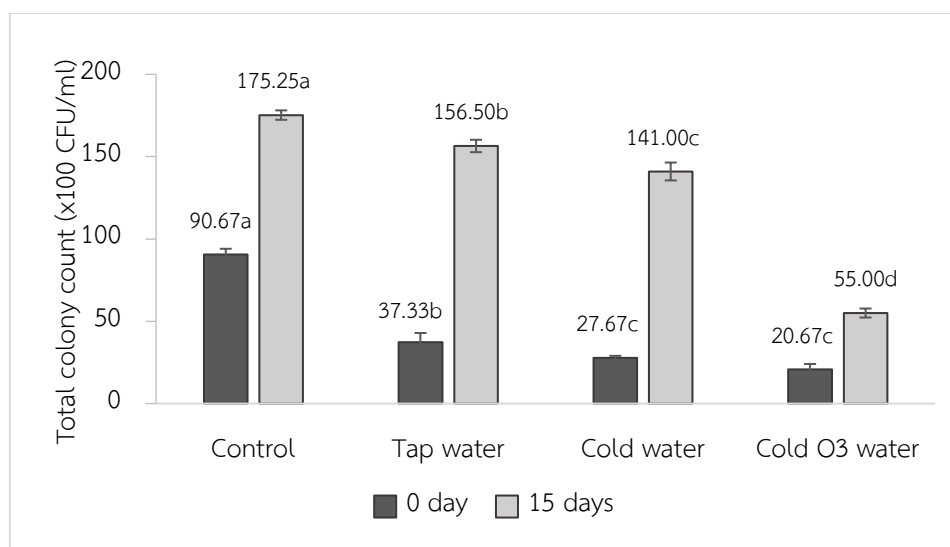


Figure 6 Total colony count on Green Oak lettuce after washing with difference treatments at initial time (0 day) and during storage at 8°C for 15 days ($P \leq 0.05$).

สรุป

การล้างผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยน้ำโอโซนเย็นที่มีความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล และลดจำนวนโคโลนีทั้งหมดได้ หลังการล้างทันที (0 วัน) และหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน นอกจากนี้ ผักสลัดที่ล้างด้วยน้ำโอโซนเย็นมีคะแนนความพึงพอใจด้านความสด สี และความพึงพอใจโดยรวมสูงสุด และยังพบว่าการวิธีดังกล่าวช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา วิธีการล้างผักด้วยน้ำโอโซนเย็นจึงมีความเหมาะสมที่อาจใช้เป็นแนวทางเพื่อลดหรือทดแทนการใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารอ้างอิง

- กฤติยา เลี้ยวขวลิต, เสริมสิริ วิจัยวรกิจ และchneri ต้อยเต็มวงศ์. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างผักด้วยสารโซเดียมฟอสเฟสคลอรีนและการใช้โอโซน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤษณชัย คลอดเพ็ง, ชนะชัย พันธุ์เกษมสุข และณณิฉัตรนิกรพันธุ์. 2551. ผลของสารล้างผิวต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะนาว. วารสารเกษตร. 24: 125-132.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2540. สรีรวิทยาและเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สิทธิโชค พรรคพิทักษ์, ประภัสสร สุทธิต่าง และพรพิษณุ ธรรมปัทม. 2561. ผลของการล้างโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศสีดาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 15: 325-334.
- Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Trends in Fruit Science and Technology. 7: 179-187.
- Fundo, J. F., F. A. Miller, and E. Garcia. 2018. Physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity in juice, pulp, peel and seeds of Cantaloupe melon. Journal of Food Measurement and Characterization. 12: 292-300.
- Glowacz, M., and D. Rees. 2016. Exposure to ozone reduces postharvest quality loss in red and green chilli peppers. Food Chemistry. 210: 305-310.

- Graham, D. M. 1997. Use of ozone for food processing. *Food Technology*. 51: 72-75.
- Hernández-Ariasa, A. N., B. Jaramillo-Sierraa, B. G. Rodríguez-Méndezb, R. Peña-Eguiluzb, R. López-Callejasb, Mercado- A. Cabrerab, R. Valencia-Alvaradob, and D. Alcántara-Díazb. 2019. *Escherichia coli* bacteria inactivation employing ozone and ultraviolet radiation using a reactor with continuously flowing water. *Journal of Applied Research Technology*. 17: 195-202.
- Karaca, H., and Y. S. Velioglu. 2013. Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach and parsley. *Postharvest Biology and Technology*. 88: 46-53.
- Lopez-Galvez, G., M. Saltveit, and M. Cantwell. 1996. The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types. *Postharvest Biology and Technology*. 8: 179-190.
- Ölmez, H., and M. Y. Akbas. 2009. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. *Journal of Food Engineering*. 90: 487-494.
- Peiser, G., G. Lopez-Galvez, M. Cantwell, and M. E. Saltveit. 1998. Phenylalanine ammonia lyase inhibitors control browning of cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology*. 14: 171-177.
- Saltveit, M. E. 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut 'iceberg' lettuce. *Postharvest Biology and Technology*. 34: 75-80.
- Spinardi, A., and A. Ferrante. 2012. Effect of storage temperature on quality changes of minimally processed baby lettuce. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 10: 38-42.
- Whangchai, K., D. Boonyakiat, and P. Poonlarp. 2006. Ozone fumigation for sulfur dioxide residue reduction and postharvest disease. *Khon Kaen Agricultural Journal*. 48: 557-566.