บทความวิจัย

การรักษาคุณภาพผักกาดแก้วตัดแต่งโดยการล้างด้วยน้ำร้อนร่วมกับแคลเซียมแลคเตท

Preservation of Quality in Fresh-Cut Iceberg Lettuce Using Hot Water Washing and Calcium Lactate Treatment

พัชรี กิตติสุบรรณ[1*]และ ลัดดาวัลย์ โกวิทย์เจริญ[2]

Phatcharee Kittisubun[1*], and Laddawan Kowitcharoen[2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการจัดการอาหาร สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ นนทบุรี ประเทศไทย 11120

[2]สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี ประเทศไทย 11120

[1]Faculty of Food Science, Technology and Management, Panyapiwat Institute of Management, Nonthaburi, Thailand, 11120

[2]Agricultural Extension and Development, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120, Thailand

*Corresponding author: phatchareekit@cpram.co.th

บทคัดย่อ

ผักกาดแก้วตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็วหลังการตัดแต่ง โดยเฉพาะการเกิดสีน้ำตาลและการเหี่ยวซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจุ่มแคลเซียมแลคเตทร่วมกับการจุ่มน้ำร้อนต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลและการคงคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่งพร้อมบริโภค ผักกาดแก้วตัดแต่งทำความสะอาดด้วยน้ำประปาถูกแบ่งออกเป็น 4 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม (จุ่มน้ำอุณหภูมิ 5 °C) การจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C ตามด้วยน้ำเย็น (HW > CW) การจุ่มน้ำร้อนตามด้วยน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตท 1.5% (HW > 1.5% CL in CW) และการจุ่มน้ำร้อนที่มีแคลเซียมแลคเตท 1.5% ตามด้วยน้ำเย็น (1.5% CL in HW > CW) จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 6 วัน ผลการทดลองพบว่าชุดควบคุมมีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 6 โดยมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลเท่ากับ 2.41 ในขณะที่ทรีตเมนต์ HW > 1.5% CL in CW ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด โดยมีคะแนนต่ำสุดเพียง 0.93 เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ความเหี่ยวของใบเพิ่มขึ้นในทุกทรีตเมนต์ อย่างไรก็ตามการใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมกับการจุ่มน้ำร้อนช่วยลดความรุนแรงของความเหี่ยวได้ดีกว่าชุดควบคุม คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์แต่ทรีตเมนต์ HW > 1.5% CL in CW ยังคงมีคะแนนการยอมรับสูงที่สุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และยังสูงกว่าเกณฑ์การยอมรับอย่างชัดเจน ขณะที่ค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C ตามด้วยน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตท 1.5% มีแนวโน้มช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพและคงคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าชุดควบคุม

คำสำคัญ: ผักกาดแก้วตัดแต่ง แคลเซียมแลคเตท การจุ่มน้ำร้อน การเกิดสีน้ำตาล ความเหี่ยว

Abstract

Fresh-cut lettuce is a highly perishable product that rapidly deteriorates after processing, particularly due to enzymatic browning and wilting, which adversely affect consumer acceptance. This research aimed to investigate the effect of calcium lactate dipping combined with heat treatment on enzymatic browning reduction and quality maintenance of fresh-cut Iceberg lettuce. The sample was divided into four treatments: control (tap water washing followed by dipping in water at 5 °C), hot water dipping at 45 °C followed by cold water dipping (HW > CW), hot water dipping followed by cold water containing 1.5% calcium lactate dipping (HW > 1.5% CL in CW), and hot water containing 1.5% calcium lactate dipping followed by cold water dipping (1.5% CL in HW > CW). All samples were then stored at 10 °C for 6 days. The results showed that the control had the highest browning score, significantly reaching 2.41 on day 6 of storage. In contrast, the HW > 1.5% CL in CW treatment showed the lowest browning score of 0.93 at the end of storage. Leaf wilting increased during storage in all treatments, however, treatments combining calcium lactate with hot water dipping reduced wilting severity more effectively than the control. Overall consumer acceptance scores declined over time in all treatments, but the HW > 1.5% CL in CW treatment maintained the highest acceptance score on day 4 of storage, which remained well above the acceptable threshold. Shear force did not differ significantly among treatments throughout storage time. In conclusion, hot water dipping followed by cold water containing 1.5% calcium lactate dipping treatment tended to delay quality deterioration and maintain the quality of fresh-cut lettuce during storage compared with the control.

Keyword: Fresh-cut Iceberg lettuce, Calcium lactate, Hot water dipping, browning, wilting

บทนำ

ตลาดผักและผลไม้ที่แปรรูปต่ำ (minimally processed) มีการเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องมาจากความต้องการอาหารเพื่อสุขภาพและความสะดวกของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปเพียงเล็กน้อย เช่น การหั่นหรือการปอก ทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดความเครียดหลังการเก็บเกี่ยว (postharvest stress) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการสูญเสียคุณภาพของผลิตผล ทั้งในด้านสี เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษา (Hodges & Toivonen, 2008) โดยเฉพาะในผักสลัด ปัญหาหลักที่ส่งผลตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภคคือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำไม่น่ารับประทาน สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง (พัชรินทร์ สายสังข์, 2545) การพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเสื่อมคุณภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมผักพร้อมบริโภคกำลังเผชิญกับข้อจำกัดด้านกฎระเบียบในการใช้สารฆ่าเชื้อแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะคลอรีนซึ่งถูกห้ามใช้ในหลายประเทศในยุโรป ส่งผลให้เกิดความจำเป็นในการค้นหาสารทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้นสำหรับการล้างผักและผลไม้ (Ahvenainen, 1996)

แคลเซียมเป็นหนึ่งในสารทางเลือกที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการรักษาความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชผ่านการเชื่อมโยงกับเพกตินในผนังเซลล์ โดยแคลเซียมแลคเตทถูกพิจารณาว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากช่วยรักษาความแน่นของเนื้อเยื่อโดยไม่ก่อให้เกิดรสขมที่ไม่พึงประสงค์ (Luna-Guzmán & Barrett, 2000) นอกจากนี้ การใช้ความร้อนระดับอ่อนหรือการช็อกด้วยความร้อน (heat shock treatment) ได้ถูกนำมาใช้ทั้งแบบเดี่ยวและร่วมกับสารอื่นเพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความแข็งของเนื้อเยื่อในผักและผลไม้ตัดแต่ง โดยกลไกที่เป็นไปได้เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นเอนไซม์ Pectin Methyl Esterase (PME) และการเพิ่มการแพร่ของแคลเซียมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Bartolome & Hoff, 1972) แม้ว่าจะมีรายงานการใช้แคลเซียมและ Heat Shock ในผลิตผลอื่น แต่การศึกษาเกี่ยวกับการใช้แคลเซียมแลคเตทเป็นสารล้างสำหรับผักกาดแก้วยังมีอยู่อย่างจำกัด จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Martin-Diana et al. (2005) ได้ศึกษาการล้างผักกาดแก้วตัดแต่งด้วยสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่ความเข้มข้น 1.5% ร่วมกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่า สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และช่วยรักษาคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาได้ดี ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำค่าความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่ 1.5% มาใช้เป็นแนวทางและปรับใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 45 °C ซึ่งเป็นช่วงที่มีรายงานว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อพืช (Jiang et al., 2016) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการจุ่มแคลเซียมแลคเตทและการจุ่มน้ำร้อนต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลและการคงคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่งพร้อมบริโภค

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการจุ่มแคลเซียมแลคเตทร่วมกับการจุ่มน้ำร้อนต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลและการคงคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่งพร้อมบริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

หัวผักกาดแก้วถูกเก็บเกี่ยวจากแหล่งผลิตของเกษตรกรและขนส่งมายังห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการทดลอง จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างโดยการตัดขั้ว แยกใบ คัดเลือกใบที่มีคุณภาพ และตัดแต่งให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่การทดสอบ ทั้งนี้ผักกาดแก้วที่ผ่านการตัดแต่งแล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา และแบ่งออกเป็น 4 ทรีตเมนต์ โดยแต่ละทรีตเมนต์ล้างด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุมจุ่มน้ำอุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 1 นาที (Control) ทรีตเมนต์ที่ 2 จุ่มน้ำอุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 1 นาที และจุ่มน้ำอุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 1 นาที (HW>CW) ทรีตเมนต์ที่ 3 จุ่มน้ำอุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 1 นาที และจุ่มน้ำอุณหภุมิ 5 °C ที่มีแคลเซียมแลคเตท (calcium lactate) เข้มข้น 1.5% เป็นเวลา 1 นาที (HW>1.5% CL in CW) และทรีตเมนต์ที่ 4 จุ่มน้ำอุณหภูมิ 45 °C ที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% เป็นเวลา 1 นาที และจุ่มน้ำอุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 1 นาที (1.5% CL in HW>CW) จากนั้นทำการสะเด็ดน้ำส่วนเกินออก บรรจุในถาดโฟมปริมาณถาดละ 15 กรัม แล้วคลุมด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนก่อนนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 6 วัน สำหรับการประเมินในระหว่างการเก็บรักษา แต่ละทรีตเมนต์ใช้ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำคือผักกาดแก้วตัดแต่ง 1 ถาด ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทุก 2 วัน ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาล ความเหี่ยว การยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค และค่าแรงเฉือน โดยการให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาลประเมินด้วยสายตาบริเวณรอยตัดและแผ่นใบทั้งหมดของผักกาดแก้วตัดแต่ง โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ (0 = ไม่เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด 1 = เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด 1-25% ของบริเวณรอยตัดทั้งหมด 2 = เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด 26-50% ของบริเวณรอยตัดทั้งหมด 3 = เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด 51-75% ของบริเวณรอยตัดทั้งหมด และ 4 เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด 76-100% ของบริเวณรอยตัดทั้งหมด) การให้คะแนนความเหี่ยวได้จากการประเมินด้วยสายตา โดยให้ผู้ทดสอบสังเกตความเหี่ยวของแผ่นใบทั้งหมดของผักกาดแก้วตัดแต่ง โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ (0 = ไม่ปรากฏอาการเหี่ยว 1 = ปรากฏอาการเหี่ยว 1-25% ของพื้นที่ใบ 2 = ปรากฏอาการเหี่ยว 26-50% ของพื้นที่ใบ 3 = ปรากฏอาการเหี่ยว 51-75% ของพื้นที่ใบ และ 4 ปรากฏอาการเหี่ยว 76-100% ของพื้นที่ใบ) การยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคประเมินการให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 15 คน ซึ่งพิจารณาจากความชอบมากที่สุดถึงน้อยที่สุด (9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) และหาค่าแรงเฉือนโดยการนำใบของผักกาดแก้วตัดแต่งมาวัดค่าแรงเฉือนด้วยเครื่อง texture analyzer (Model; TA-XT2, Stable microsystem, England) โดยใช้หัววัดแบบใบมีด (Blade Set) ตัดผ่านกลางชิ้นของผักกาดแก้วตัดแต่ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ แต่ละทรีตเมนต์มี 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SAS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. การเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงของคะแนนการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C แสดงดัง Figure 1 จากการทดลองพบว่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ ผักกาดแก้วตัดแต่งชุดควบคุมมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลเท่ากับ 2.41 ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่น ๆ สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดแก้วตัดแต่งได้และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาล

อยู่ในช่วง 0.93-1.52 ทรีตเมนต์การล้างผักกาดแก้วด้วยน้ำร้อน (45 °C) ตามด้วยน้ำเย็น (5 °C) ที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% (HW > 1.5% CL in CW) มีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยผักกาดแก้วตัดแต่งมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ณ วันที่ 6 พบว่า คะแนนการเกิดสีน้ำตาลมีค่าเท่ากับ 0.93

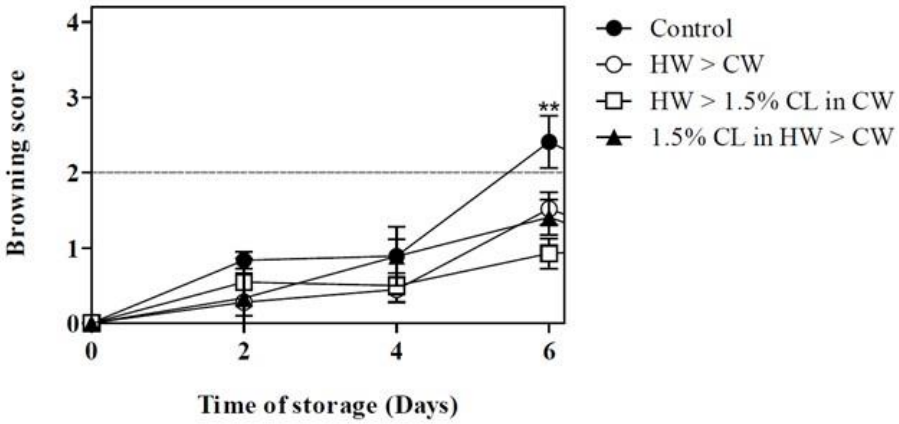


Figure 1 Changes of browning score in Fresh-cut Iceberg lettuce washed with various methods during storage at 10 °C

2. ความเหี่ยวของใบ การเปลี่ยนแปลงของคะแนนความเหี่ยวของผักกาดแก้วตัดแต่งที่ล้างด้วยวิธีต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาในอุณหภูมิ 10 °C แสดงใน Figure 2 พบว่าคะแนนความเหี่ยวของผักกาดแก้วตัดแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดควบคุมมีความเหี่ยวของใบเกิดขึ้นมากที่สุดและเกิดขึ้นเร็วกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษา โดยมีคะแนนความเหี่ยวเท่ากับ 0.94 และ 2.00 ตามลำดับ ในขณะที่ทรีตเมนต์ที่ล้างด้วยน้ำร้อนตามด้วยน้ำเย็น (HW > CW) รวมถึงทรีตเมนต์ที่มีการใช้แคลเซียมแลคเตททั้งสองรูปแบบ (HW > 1.5% CL in CW และ 1.5% CL in HW > CW) ยังคงมีคะแนนความเหี่ยวต่ำกว่า และยังมีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์ความยอมรับ (ระดับ 2) เมื่อครบระยะเวลาการเก็บรักษา 6 วัน ทุกทรีตเมนต์มีค่าคะแนนการเหี่ยวเพิ่มขึ้นโดยค่าคะแนนของชุดควบคุมยังคงสูงที่สุดและเกินระดับ 2 ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มเห็นอาการเหี่ยวชัดเจน ในขณะที่ทรีตเมนต์ HW > CW และทรีตเมนต์ที่ใช้แคลเซียมแลคเตทมีค่าคะแนนต่ำกว่า โดยเฉพาะทรีตเมนต์ การจุ่มในน้ำร้อนที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% ตามด้วยจุ่มด้วยน้ำเย็น (1.5% CL in HW > CW) ซึ่งมีค่าการเหี่ยวต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างเด่นชัด จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่า การล้างผักกาดแก้วตัดแต่งด้วยการจุ่มในน้ำร้อน (45 °C) ที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% ตามด้วยน้ำเย็น (1.5% CL in HW > CW) ช่วยลดความรุนแรงของความเหี่ยวของผักกาดแก้วได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าชุดควบคุมแต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างกับทรีตเมนต์อื่น ๆ

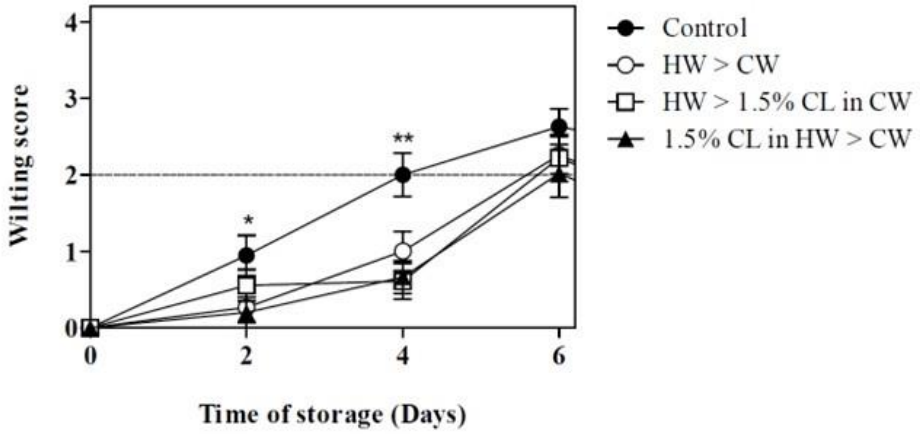


Figure 2 Changes of wilting score in Fresh-cut Iceberg lettuce washed with various methods during storage at 10 °C

3. การยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงของคะแนนการยอมรับโดยรวมของผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C แสดงดัง Figure 3 ผลการประเมินพบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกทรีตเมนต์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีเกณฑ์การยอมรับขั้นต่ำอยู่ที่ 5.0 คะแนน ทรีตเมนต์ควบคุม (Control) มีการลดลงของคะแนนการยอมรับโดยรวมเร็วที่สุด โดยคะแนนลดลงจาก 9 ในวันที่ 0 เหลือ ประมาณ 6.8 ในวันที่ 2 และลดลงต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยมีคะแนนอยู่ที่ประมาณ 5.0 ก่อนลดลงต่อเนื่องจนเหลือเพียง 3.3 ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมทรีตเมนต์อื่น ๆ สามารถคงระดับคะแนนการยอมรับโดยรวมไว้ได้สูงกว่าโดยเฉพาะในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ทรีตเมนต์การจุ่มน้ำร้อนตามด้วยน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% (HW > 1.5 % CL in CW) และทรีตเมนต์จุ่มน้ำร้อนตามด้วยน้ำเย็น (HW > CW) ยังคงมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดที่ประมาณ 7.8 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งยังสูงกว่าเกณฑ์การยอมรับอย่างชัดเจน เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมของทุกทรีตเมนต์ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ทั้งหมด โดยชุดควบคุมยังคงต่ำที่สุดที่ 3.3 ขณะที่ทรีตเมนต์ HW > CW, HW > 1.5% CL in CW และ 1.5% CL in HW > CW มีคะแนนใกล้เคียงกันและสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยที่ประมาณ 4.15 แม้ว่าคะแนนในช่วงท้ายจะลดลง แต่ทรีตเมนต์ HW > 1.5 % CL in CW ยังมีแนวโน้มคงคุณภาพด้านความยอมรับได้ดีกว่า อาจกล่าวได้ว่าการจุ่มผักกาดแก้วในน้ำร้อนตามด้วยน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% มีแนวโน้มช่วยคงความสดและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ส่งผลให้ผู้บริโภคยอมรับสูงกว่าในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา

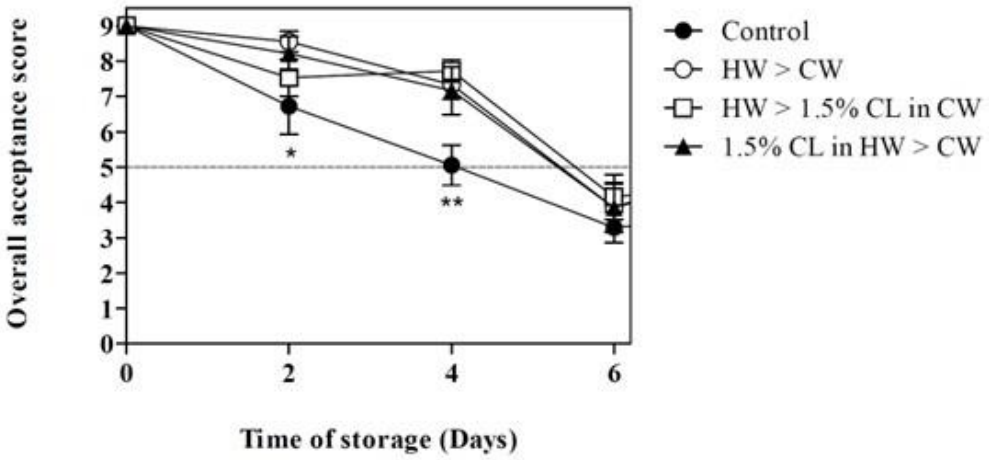


Figure 3 Changes of overall acceptance score in Fresh-cut Iceberg lettuce washed with various methods during storage at 10 °C

4. ค่าแรงเฉือน การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือนของผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C แสดงให้เห็นว่าค่าแรงเฉือนของทุกทรีตเมนต์อยู่ในช่วงประมาณ 26.84–45.35 N และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีตเมนต์ ในวันเริ่มต้นพบว่าทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยน้ำร้อนตามด้วยจุ่มด้วยน้ำเย็น (HW > CW) และชุดควบคุมมีค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์ที่มีการใช้แคลเซียมแลคเตททั้งสองรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากวันที่ 2 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป ค่าแรงเฉือนของทุกทรีตเมนต์มีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และไม่พบความแตกต่างทางสถิติจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา แม้ว่าทรีตเมนต์ HW > 1.5% CL in CW จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าการจุ่มน้ำร้อนหรือการใช้แคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% ไม่มีผลต่อความแข็งของผักกาดแก้วตัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากค่าแรงเฉือนของทุกทรีตเมนต์ยังค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 4)

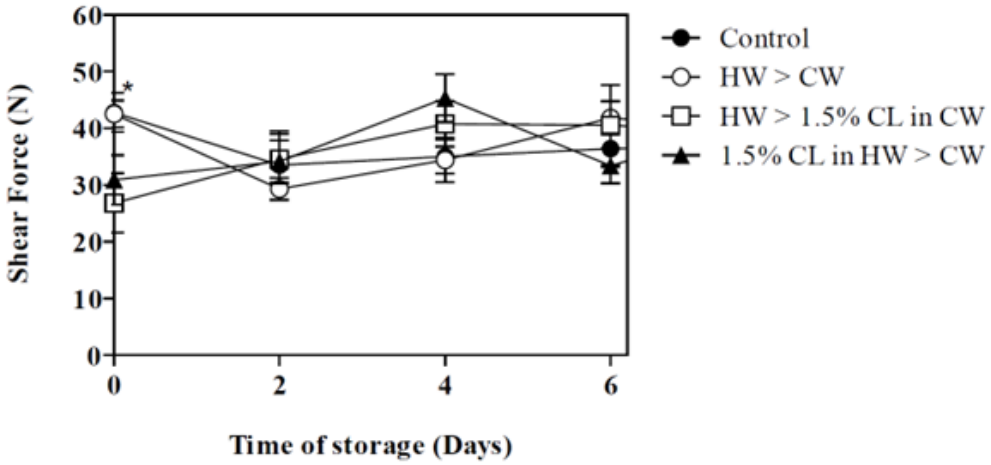


Figure 4 Changes of shear force in Fresh-cut Iceberg lettuce washed with various methods during storage at 10 °C

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C ตามด้วยน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1.5% มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาล ลดความเหี่ยว และคงการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคในผักกาดแก้วตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าชุดควบคุม เนื่องจากผลทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีตเมนต์ที่ใช้และไม่ใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมกับน้ำร้อน อาจกล่าวได้ว่าการจุ่มน้ำร้อนเป็นปัจจัยสำคัญในการชะลอการเสื่อมคุณภาพ ขณะที่การใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมด้วยแสดงแนวโน้มสนับสนุนการคงคุณภาพ แต่ยังไม่สามารถยืนยันผลได้อย่างชัดเจนจากข้อมูลในการทดลองนี้

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผักกาดแก้วตัดแต่งที่ผ่านการล้างด้วยวิธีต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่ามีการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในผักสดที่ผ่านการตัดแต่ง โดยผักกาดแก้วชุดควบคุมที่ผ่านการล้างน้ำเย็น (5 °C) มีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดที่ 2.41 คะแนนในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความเสียหายทางกล เช่น การหั่น หรือการปอก เนื่องจากการทำลายเนื้อเยื่อดังกล่าวทำให้เอนไซม์หลัก คือ PPO และซับสเตรท คือ สารประกอบฟีนอลิก เกิดการสัมผัสและทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้สด (Jiang et al., 2016) ในทางตรงข้ามทรีตเมนต์ที่จุ่มน้ำร้อนก่อนจะจุ่มน้ำเย็นที่มีแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5 % (HW > 1.5% CL in CW) ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดแก้วตัดแต่งได้ โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนการเกิดสีน้ำตาลเพียง 0.93 ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนในระดับที่เหมาะสมร่วมกับแคลเซียมแลคเตทอาจมีฤทธิ์เสริมกันในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดแก้วตัดแต่งได้ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า การใช้น้ำร้อนในอุณหภูมิที่เหมาะสม (ประมาณ 45°C) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO และเพอร์ออกซิเดสได้ กลไกการยับยั้งนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ (enzyme denaturation) ที่เป็นผลจากความร้อนซึ่งช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์โดยไม่ทำให้เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ยังไม่สูงจนเกินไป (Jiang et al., 2016) นอกจากนี้ Ma et al. (2021) รายงานว่าการแช่มะเขือยาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 20 นาที และ 30 นาที ก่อนนำไปตัดแต่งช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการแช่ 30 นาที มีประสิทธิภาพดีกว่า 20 นาที โดยความร้อนช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C จากเดิม 4 วัน เพิ่มเป็น 8 วัน แคลเซียมมีบทบาทในการเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์โดยจับกับเพกติน (pectin) ในชั้น middle lamella ของผนังเซลล์ซึ่งช่วยรักษาการยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ (Yousefi et al., 2025) การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าการล้างผักกาดแก้วตัดแต่งด้วยสารละลายแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1.5% และน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 1 นาทีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 วัน ส่งผลดีต่อการรักษาคุณภาพโดยสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่ PPO และช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ PME ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาความกรอบของเนื้อสัมผัสผักกาดแก้วตัดแต่ง (Martin-Diana et al., 2005) นอกจากนี้แคลเซียมยังมีบทบาทในการชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพของเซลล์ (senescence) โดยการรักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยป้องกันการรั่วไหลของสารฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ PPO ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล (Luna-Guzmán & Barrett, 2000) จากผลการทดลองนี้มีแนวโน้มชี้ให้เห็นว่า ความร้อนและแคลเซียมแลคเตทอาจมีผลเสริมกัน โดยความร้อนช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ขณะที่แคลเซียมช่วยรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างเซลล์และชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ เนื่องจากไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ที่ใช้และไม่ใช้

แคลเซียมแลคเตท จึงยังไม่สามารถยืนยันผลเสริมกันดังกล่าวได้อย่างชัดเจน และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันกลไกนี้ต่อไป

การศึกษาครั้งนี้ พบว่าความเหี่ยวของใบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยชุดควบคุมมีความเหี่ยวสูงที่สุด ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดจากการสูญเสียน้ำของเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของผักสดตัดแต่ง เนื่องจากผักสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงประมาณ 80-95% และการสูญเสียน้ำเพียง 3-5% ก็สามารถทำให้ผักแสดงอาการเหี่ยวได้อย่างชัดเจน การล้างผักด้วยน้ำร้อนและน้ำเย็นร่วมกับแคลเซียมแลคแตท โดยเฉพาะอย่างยิ่งทรีตเมนต์ 1.5% CL in HW > CW สามารถลดความเหี่ยวของใบได้ ซึ่งอาจเกิดจากการที่เนื้อเยื่อได้รับน้ำระหว่างการล้าง ส่งผลให้แรงดันเต่งของเซลล์เพิ่มขึ้น แคลเซียมยังมีบทบาทในการรักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การสูญเสียน้ำจากเซลล์ลดลง นอกจากนี้การให้ความร้อนในอุณหภูมิประมาณ 45°C เป็นระยะเวลาสั้น ๆ ยังมีรายงานว่าสามารถลดอัตราการหายใจของพืช ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียน้ำของผลผลิตลดลงและช่วยชะลอการเหี่ยวในระหว่างการเก็บรักษา (Alegria et al., 2012)

คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกทรีตเมนต์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสะท้อนให้เห็นการลดลงของคุณภาพโดยรวม ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่าคะแนนการยอมรับนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รวมถึงสี ความสด ความแข็ง และไม่มีการเสื่อมสภาพที่มองเห็นได้ ทรีตเมนต์ HW > 1.5% CL in CW มีแนวโน้มในการรักษาคะแนนการยอมรับเหนือเกณฑ์ยอมรับขั้นต่ำ (5.0 คะแนน) ได้นานที่สุด โดยยังคงมีคะแนนสูงถึง 7.8 ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ขณะที่ชุดควบคุมมีคะแนนลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับแล้ว ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าการคงระดับการยอมรับของผู้บริโภคเกิดจากผลรวมของการลดการเกิดสีน้ำตาล การลดความเหี่ยว และการรักษาความแข็งของเนื้อเยื่อพร้อมกัน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพเชิงประสาทสัมผัสของผักกาดแก้วตัดแต่งยังคงอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้

นอกจากนี้ค่าแรงเฉือนซึ่งใช้เป็นตัววัดความแข็งของผักกาดแก้ว มีแนวโน้มค่อนข้างคงตัวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำร้อนและแคลเซียมแลคเตทไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช ผลดังกล่าวขัดแย้งกับสมมติฐานที่อาจคาดหวังว่าการให้ความร้อนจะทำให้เนื้อเยื่ออ่อนตัวลง อาจเป็นเพราะว่าอุณหภูมิ 45°C ยังไม่สูงพอที่จะทำให้เนื้อเยื่อได้รับความเสียหาย แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพเปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกันเนื่องจากแคลเซียมช่วยเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์โดยการเชื่อมโยงเพกติน ทรีตเมนต์ที่ใช้แคลเซียมแลคเตทอาจช่วยรักษาความแข็งไว้ได้ดีกว่า แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างทางสถิติในการศึกษานี้สิ่งที่สำคัญคือการรักษาความแข็งของเนื้อเยื่อจะช่วยให้ผักกาดแก้วมีความสดและปลอดภัยต่อการบริโภคนานขึ้น

การศึกษานี้ยังไม่มีการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ peroxidase (POD) โดยตรง จึงยังไม่สามารถสรุปกลไกของการลดการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ การประเมินผลโดยอาศัยเพียงค่าคะแนนสีน้ำตาลอาจไม่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงเชิงเคมีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณสารฟีนอลรวม ดังนั้น การศึกษาเพิ่มเติมที่รวมการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์และองค์ประกอบทางเคมีจะช่วยยืนยันกลไกที่อธิบายผลการทดลองได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น และทำให้ผลการทดลองมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

พัชรินทร์ สายสังข์. (2545). *การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โดยสารยับยั้งจากเปลือกสับปะรด.* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Yousefi, M., Arianfar, A., Hakimzadeh, V., & Rafe, A. (2025). Enhancing the Texture and Sensory Properties of Pickled Cucumbers with Different Brine Solutions. *Foods*, 14(3), 336. https://doi.org/10.3390/foods14030336

Ma, Y., Zhang, L., & Wang, Q. (2021). Pre-cut hot water treatment inhibited the browning of fresh-cut eggplant. *Acta Hortic*, 1319, 187–198. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1319.22

Jiang, Y., Duan, X., Qu, H., & Zheng, S. (2016). Browning: Enzymatic browning. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of food and health* (pp. 508–514). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00090-8

Alegria, C., Pinheiro, J., Duthoit, M., Gonçalves, E. M., Moldão-Martins, M., & Abreu, M. (2012). Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT Food Sci. Technol*, 48(2), 197–203. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.013

Hodges, D. M., & Toivonen, P. M. A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biol. Technol*, 48(2), 155–162.

Martin-Diana, A. B., Rico, D., Barry-Ryan, C., Frias, J. M., Mulcahy, J., & Henehan, G. T. M. (2005). Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters. *Food Res. Int*, 38(7), 729–740. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.005

Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. *Postharvest Biol. Technol, 19*(1), 61–72.

Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in food science & technology, 7*(6), 179-187. https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10022-4

Bartolome, L. G., & Hoff, J. E. (1972). Firming of potatoes. Biochemical effects of preheating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 20*(2), 266-270.