

ผลของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อคุณภาพ หลังการเก็บเกี่ยวของผักน้ำเบตง

ณัฐพงศ์ จันจุฬา¹ ภาสกร ฤทธิเลิศ^{2*}

Received : November 13, 2023

Revised : September 23, 2024

Accepted : October 22, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำเบตง (*Nasturtium officinale* W.T. Aiton) รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผักน้ำที่เหมาะสม เบื้องต้นมีการศึกษาวิธีการล้างผักน้ำด้วยการจุ่มแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite 6% w/w, Clorox) 1, 1.5 และ 2% w/v เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ผลการทดลอง พบว่า การใช้ Clorox 1% w/v นาน 10 นาที สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปา การใช้ Clorox ทุกความเข้มข้นไม่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ โดยการล้างด้วยน้ำประปานาน 10 นาที ถูกคัดเลือกใช้ในการเตรียมผักน้ำหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อบรรจุในถุงพลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และถุงหายใจได้ Active PAKTM (AP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน พบว่า การใช้ถุง PP เปรียบเทียบกับถุง AP ที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) แต่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และเก็บรักษาได้นานเพียง 2 วัน เมื่อจำลองสถานะขนส่งทางไกลโดยการบรรจุผักน้ำในกล่อง 2 ชนิด ได้แก่ กล่องกระดาษ (กล่องโปรเซสซี) และกล่องโฟม ร่วมกับน้ำแข็ง แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่า การขนส่งผักน้ำด้วยการบรรจุในกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ทำให้เมื่อนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ ผักน้ำคงความสดและมีสีเขียวในระดับคะแนนเท่ากับ 3 คะแนน ซึ่งยอมรับได้และสามารถซื้อขายได้นาน 6 วัน

คำสำคัญ: โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ถุงพลาสติก บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง ผักน้ำเบตง อุณหภูมิเก็บรักษา

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย
อีเมล: Nattapong@tistr.or.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
อีเมล: pasuree@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: pasuree@vru.ac.th

EFFECTS OF SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTION, PACKAGING TYPES, AND STORAGE TEMPERATURES ON THE QUALITY OF ‘BETONG’ WATERCRESS

Nuttapong Chanchula^{1*} Pasuree Rittilert²

Abstract

This research aimed to study the efficacy of sodium hypochlorite solution in reducing the total microbial count of Betong watercress (*Nasturtium officinale* W.T. Aiton), including packaging, packing methods, and storage at different temperatures to be a guideline for proper postharvest of the watercress. Initially, the study focused on optimizing the washing process by soaking the watercress in sodium hypochlorite (6% w/w Clorox) at concentrations of 1%, 1.5%, and 2% w/v, and comparing these treatments to washing with tap water for durations of 1, 5, and 10 minutes. The experimental results indicated that soaking Betong watercress in 1% w/v Clorox for 10 minutes reduced the total microbial counts; however, the reduction was not statistically significant ($p>0.05$) compared to washing with tap water. This suggests that Clorox, at all tested concentrations, was unable to completely eliminate microorganisms. Therefore, washing with tap water for 10 minutes was selected as the preparation method for postharvest watercress. The watercress was then packed in two types of plastic bags: a polypropylene (PP) bag and a breathable bag (Active PAK™ or AP) and stored at temperatures of $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 6 days. The results showed that using a PP bag, compared to an AP bag at $12\pm 2^{\circ}\text{C}$, effectively delayed changes in overall color difference (ΔE^*), although there was no significant difference in microbial growth ($p>0.05$). Under these conditions, the watercress could be stored for up to 2 days. To simulate long-distance transportation, watercress was packed in two types of containers: a paper (postal) box and a foam box with ice, followed by storage at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $5\pm 2^{\circ}\text{C}$. It was found that transporting the watercress in a foam box with ice and storing it at $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ allowed the watercress to maintain its freshness, with a green score of 3 points, which is considered acceptable for sale for up to 6 days.

Keywords: Sodium hypochlorite, Plastic bag, Transportation package, Betong watercress, Storage temperature

¹ Assistant Professor Dr., Expert Center of Innovative Agriculture (InnoAg), Thailand Institute of Science and Technology Research Technology, e-mail: Nuttapong@tistr.or.th

² Assistant Professor, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: pasuree@vru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: pasuree@vru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการรับประทานพืชผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงส่งผลให้ผู้บริโภคนิยมเลือกซื้อผักปลอดสารพิษและผักอินทรีย์มากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งนอกจากจะปลอดภัยจากสารพิษตกค้างแล้วยังนำรับประทานอีกด้วย การจัดการพืชผักภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่ขั้นตอนการล้าง การใช้บรรจุภัณฑ์ การบรรจุเพื่อการขนส่ง รวมถึงการจัดการอุณหภูมิที่เหมาะสมมีผลต่อคุณภาพผลผลิตเมื่อถึงมือผู้บริโภค

ผักน้ำเบตง (Betong watercress) เป็นพืชประจำถิ่นที่พบมากในอำเภอเบตง จังหวัดยะลา จัดอยู่ในวงศ์ Brassicaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nasturtium officinale* W.T. Aiton เพาะปลูกในน้ำ ลำต้นมีสีเขียว ลักษณะลำต้นเป็นข้อและปล้อง มีรากเกิดที่ข้อทุกข้อ ใบประกอบมี 5-7 ใบ ต่อ 1 ก้าน นิยมนำมาบริโภคสดและประกอบอาหารเมนูผัดและแกงจืด ซึ่งผักน้ำเป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น วิตามินบี วิตามินอี วิตามินซี สารกลูโคซิโนเลต ไอโซไทโอไซยาเนต และสารโพลีฟีนอล สารสำคัญหลายชนิดนี้มีประโยชน์ในการป้องกันปัญหาสุขภาพต่าง ๆ เช่น สามารถป้องกันมะเร็งปอดในคนที่สูบบุหรี่ (เบญจมาศ จันทรณี และคณะ, 2556; Hecht et al., 1995; Klimek-Szczykutowicz et al., 2018) ผักน้ำเบตงเป็นพืชที่มีลักษณะลำต้นเลื้อยคล้ายผักบุ้ง เกษตรกรเก็บเกี่ยวผักน้ำเมื่อมีลำต้นยาว 30-40 เซนติเมตร โดยใช้มีดคม ๆ ตัดยอดที่เหนือระดับน้ำขึ้นมา ตัดส่วนยอดยาวประมาณ 30 เซนติเมตร นำมาล้างน้ำ แล้วนำมามัดเพื่อจำหน่าย ผู้บริโภคจะนิยml้างผักด้วยวิธีการใช้น้ำประปา ก่อนนำไปบริโภค การใช้น้ำในการล้างและกำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวผักจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเพราะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิว ส่วนในภาคอุตสาหกรรมนิยมนำน้ำผสมคลอรีนในการล้างผักสด คลอรีนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite, NaClO) (Gu et al., 2023) นิยมใช้ระดับความเข้มข้นช่วง 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-2 นาที (Beuchat, 2000) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Clorox มีราคาถูกกว่าสารฆ่าเชื้อประเภทอื่น หาง่าย สะดวกในการเตรียมและการนำไปใช้งาน ซึ่งคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration, U.S. FDA) อนุญาตให้ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร โดยกำหนดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระ (Free chlorine) ได้ไม่เกิน 200 ppm (Wiley & Yildiz, 1994) และตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 412) พ.ศ. 2562 อนุญาตให้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ได้ โดยกำหนดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระสูงสุดเมื่อเตรียมในสภาพพร้อมใช้งานเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในอาหารต้องมีความเข้มข้นระหว่าง 50 ถึง 300 ppm (Rico et al., 2007) แต่การใช้ในปริมาณมากและมีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดสารตกค้างจากการทำปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในผัก เกิดเป็นสารประกอบไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) และกรดฮาโลแอซติก (Haloacetic acids) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Artés et al., 2009) ดังนั้นหลาย ๆ งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการหาสารฆ่าเชื้อทางเลือกเพื่อความปลอดภัยของผลผลิต การผลิตสินค้าเกษตรของไทยจำเป็นต้องพัฒนาคุณภาพ มาตรฐานสินค้าเกษตรด้านพืชให้เทียบเท่ามาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ โดยส่งเสริมให้เกษตรกร ลด ละ เลิก การใช้สารเคมี และมีการผลิตพืชตามระบบการจัดการคุณภาพหลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) อย่างไรก็ตาม

การรักษาคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากการใช้สารเคมีแล้วยังสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และการใช้สภาพบรรยากาศควบคุมและดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของการล้างผักน้ำเบตงด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด การใช้บรรจุภัณฑ์วิธีการบรรจุ และอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผักน้ำเบตง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาและการประยุกต์ใช้ในการจัดการก่อนการขนส่งไปสู่ตลาดและการวางจำหน่ายไปจนถึงมือผู้บริโภค ตลอดจนเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พันธุ์พืชท้องถิ่นให้มีการปลูกผักน้ำเบตงเป็นอาชีพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด
2. เพื่อศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างเก็บรักษา
3. เพื่อศึกษาวิธีบรรจุผักน้ำที่ใช้ในการขนส่งและคุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการขนส่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แหล่งที่มาและการเตรียมตัวอย่างผักน้ำ

ผักน้ำที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวจากอำเภอเบตง จังหวัดยะลา แล้วขนส่งโดยรถควบคุมอุณหภูมิมายังห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภายในระยะเวลา 28 ชั่วโมง จากนั้นทำความสะอาดผักน้ำโดยการล้างด้วยน้ำประปา เพื่อนำไปใช้ในการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อไป

2. การศึกษาผลของการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

นำผักน้ำในข้อที่ 1 มาคัดคุณภาพผักน้ำอีกครั้ง แล้วแช่ลงในสารฆ่าเชื้อโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite 6% w/w; Clorox) กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0, 1, 1.5 และ 2% w/v และระยะเวลาในการแช่ 3 ระดับ คือ 1, 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง 25°C เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มแช่ลงในน้ำประปา อัตราส่วนผักน้ำต่อน้ำยาฆ่าเชื้อเท่ากับ 1 กิโลกรัม : 10 ลิตร โดยภายหลังการแช่ลงใน Clorox ดังกล่าว ปล่อยให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 10 นาที สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ตามวิธีของ AOAC (2000) บ่มที่อุณหภูมิ 35±1°C นาน 48 ชั่วโมง คำนวณจำนวนจุลินทรีย์เป็น Log colony forming unit/gram (log CFU/g) เพื่อคัดเลือกไปศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่เหมาะสมในการบรรจุและการเก็บรักษา

3. การศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

คัดเลือกวิธีการล้างผักน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 มาศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษา กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย โดยบรรจุผักน้ำลงในถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และถุงหายใจได้ Active PAK™ (AP) ที่มีขนาด 9x18 นิ้ว ขนาดบรรจุ 100 กรัมต่อ 1 ถูกรัดปากถุงด้วยยาง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 42% และอุณหภูมิตู้แช่เย็น $12 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 52% ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษาหรือจนกว่าผักน้ำจะเกิดการเน่าเสีย ใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏ โดยกำหนดให้ผักน้ำหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีคะแนนความสดและการเกิดสีเหลืองต่ำกว่า 2 คะแนน จะบ่งบอกว่าผู้ประเมินไม่ยอมรับไม่สามารถซื้อขายได้ การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Ultrascan VIS (HunterLab, USA) ในระบบ CIE L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a^* เป็น ค่าสีแดงและเขียว (Redness/Greenness) และ b^* เป็นค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยสุ่มตัวอย่างผักน้ำในแต่ละสิ่งทดลอง ๆ ละ 50 กรัม ทำการวัด 10 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

ค่า ΔE^* เป็นค่าความแตกต่างสีโดยรวมที่เปลี่ยนไปจากวันแรกที่ทำการศึกษา เก็บข้อมูลค่า L^* , a^* และ b^* ที่วัดจากเครื่องวัดสีในแต่ละตัวอย่างโดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาต่างๆ ในการเก็บรักษา จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ดังสมการ

$$\Delta E^* = [(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]^{1/2}$$

โดยที่	ΔE^*	= ความแตกต่างสีโดยรวม
	L^*_0, L^*	= ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา
	a^*_0, a^*	= ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา
	b^*_0, b^*	= ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา

ความสดและการเกิดสีเหลือง

ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อความสดและการเกิดสีเหลืองของผักน้ำ โดยผู้บริโภคจำนวน 10 คน ตามวิธีการของเบญจมาศ กรสงแก้ว (2549) ประเมินโดยการให้คะแนนลักษณะปรากฏ ดังนี้ คะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความสดมาก ไม่มีความเสียหาย, คะแนน 4 หมายถึง ตัวอย่างมีความสด, คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างยอมรับได้ สามารถซื้อขายได้, คะแนน 2 หมายถึง ตัวอย่างรับประทานได้ แต่ขายไม่ได้ และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างไม่สามารถนำมาบริโภคได้ และประเมินลักษณะปรากฏการเกิดสีเหลือง ดังนี้ คะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างมีสีเขียวสด, คะแนน 4 หมายถึง ตัวอย่างมีสีเขียว, คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างเริ่มเหลือง, คะแนน 2 หมายถึง ตัวอย่างเหลืองน้อยกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างเหลืองมากกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ตามวิธีของ AOAC (2000) บ่มที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 48 ชั่วโมง คำนวณจำนวนจุลินทรีย์เป็น Log colony forming unit/gram (log CFU/g)

4. การศึกษาวิธีบรรจุผักน้ำที่ใช้ในการขนส่งและคุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการขนส่ง

นำผักน้ำที่ผ่านการล้างด้วยวิธีที่เหมาะสมในข้อ 2 และถุงพลาสติกที่เหมาะสมในข้อ 3 มาใช้บรรจุผักน้ำ โดยห่อด้วยกระดาษสำหรับห่อสินค้า แล้วบรรจุลงในถุงจำนวนถุงละ 1 กิโลกรัม จากนั้นบรรจุลงในกล่องสำหรับขนส่งทางไกล 2 ชนิด ได้แก่ แบบกล่องกระดาษ (กล่องโปรเซส) และกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1) บรรจุผักน้ำลงในกล่องกระดาษ (กล่องโปรเซส) แล้วปิดกล่องด้วยเทปกาว และปัจจัยที่ 2) บรรจุผักน้ำลงในกล่องโฟมที่มีถุงน้ำแข็งปริมาณ 30% ของความจุของกล่องโฟม จัดวางถุงน้ำแข็งก่อนเรียงถุงบรรจุผักน้ำ แล้วปิดฝาพร้อมด้วยติดเทปกาวระหว่างฝาและตัวกล่องโฟมให้สนิท ทั้งสองรูปแบบทำการขนส่งโดยรถควบคุมอุณหภูมิของบริษัท Inter Express Logistics มายังห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภายใน 28 ชั่วโมง จากนั้นนำผักน้ำออกจากกล่องมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บรักษา 42% และอุณหภูมิตู้เย็นที่ใช้ตามบ้าน $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 85% ทำการบันทึกผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน วัดค่า L^* , a^* , b^* และการยอมรับของผู้บริโภคโดยการให้คะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษาหรือจนกว่าผักน้ำจะเกิดการเน่าเสีย โดยมีคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองของผักอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซื้อขายได้

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

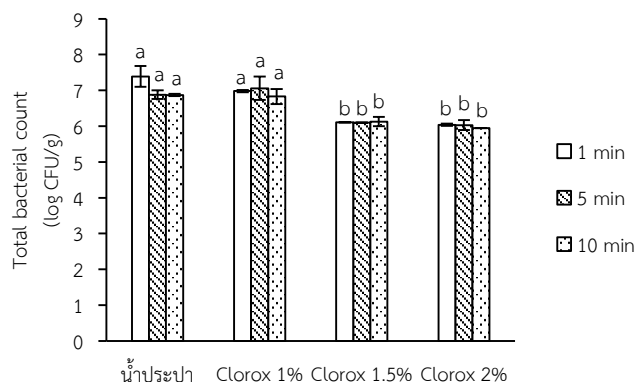
ออกแบบการทดลองโดยจัดสิ่งทดลองแบบ Factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 23 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของการล้างผักน้ำเบตงด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากผลการทดลอง พบว่า การล้างผักน้ำด้วยการจุ่มแช่ในน้ำประปา (ชุดควบคุม) เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ช่วยลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักน้ำได้ (เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น $7.39 \log \text{CFU/g}$ ที่เวลาการแช่น้ำประปานาน 1 นาที) ผลการจุ่มแช่ล้างน้ำประปานาน 5-10 นาที ลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1% w/v ที่เวลา 1-10 นาที แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การจุ่มแช่สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2% w/v การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์รวมตัวกับน้ำทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ทำให้สารละลายคลอรีนอยู่ในรูปของ Hypochlorous acid (HClO) แตกตัวเป็น Hydrogen ions (H^+) และ Hypochlorite ions (OCl^-) มีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Zhang et

al. (2023) รายงานว่าการจุ่มแช่แต่งกวาดัดแต่งในสารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 50-100 ppm นาน 5 นาที พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเมื่อใช้ Clorox ที่ความเข้มข้นสูง และงานวิจัยของ de São José & Vanetti (2015) พบว่า การจุ่มผักน้ำและผักชีฝรั่งลงในสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 10 mg/L นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$ สามารถลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ ยีสต์และรา ลงได้ 1.3 และ 1.0 log CFU/g ตามลำดับ ของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (10^6 CFU/g และ 10^5 CFU/g ตามลำดับ) การศึกษาครั้งนี้ การจุ่มแช่ผักน้ำในสารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2% w/v มีอิทธิพลต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ลดลงมากเมื่อความเข้มข้นสูง เช่น แช่นาน 1 นาที มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.98, 6.11 และ 6.04 log CFU/g ตามลำดับ แช่นาน 10 นาที มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.83, 6.13 และ 5.95 log CFU/g ตามลำดับ แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของ Clorox และเวลาในการแช่ผักน้ำ อย่างไรก็ตามการล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาและการใช้สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1 และ 1.5% w/v และเวลาในการจุ่มแช่นาน 1, 5 และ 10 นาที ไม่สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดให้อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560) ให้มีปริมาณไม่เกิน 1×10^6 CFU/g หรือน้อยกว่า 6 log CFU/g ได้ (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร, 2560) ถึงแม้ว่าการใช้ Clorox ความเข้มข้น 2% w/v นาน 10 นาที จะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ทำให้ผักน้ำมีกลิ่นคลอรีนตกค้าง ดังนั้นผลการทดลองนี้การล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือน จุ่มแช่นาน 10 นาที สามารถช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่แตกต่างกันกับการใช้ Clorox ความเข้มข้น 1% w/v จึงเลือกใช้การล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาเป็นการเตรียมผักน้ำก่อนการบรรจุในถุงพลาสติกเพื่อการเก็บรักษาในการทดลองถัดไป

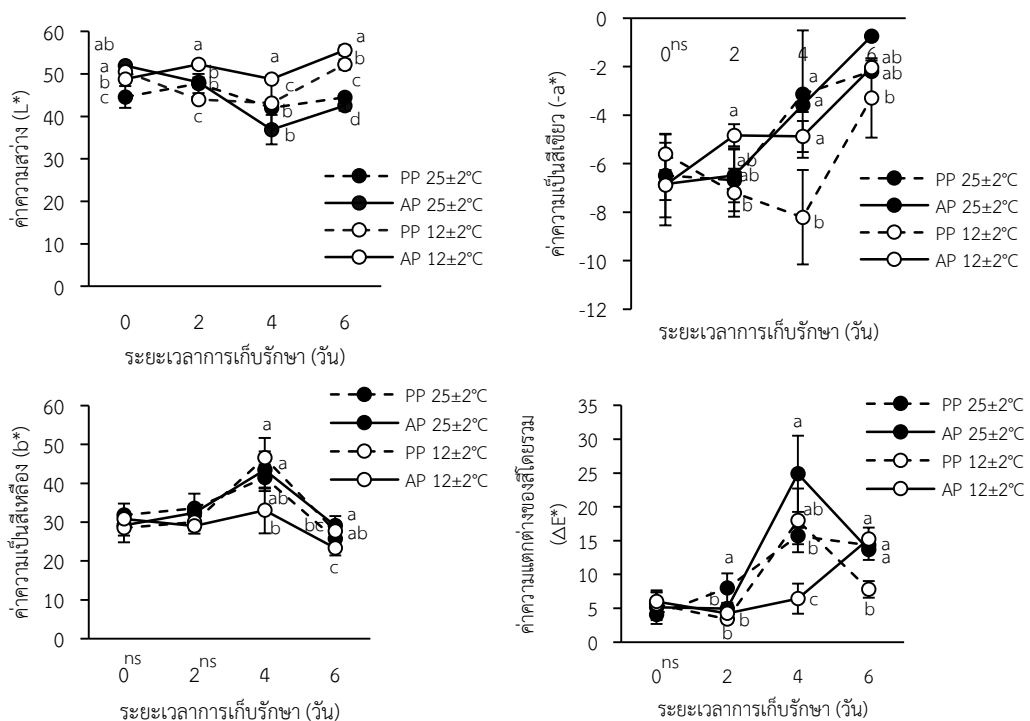


ภาพที่ 1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่จุ่มแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างกัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทรีตเมนต์ที่เวลาการจุ่มแช่เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)]

2. ผลของชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

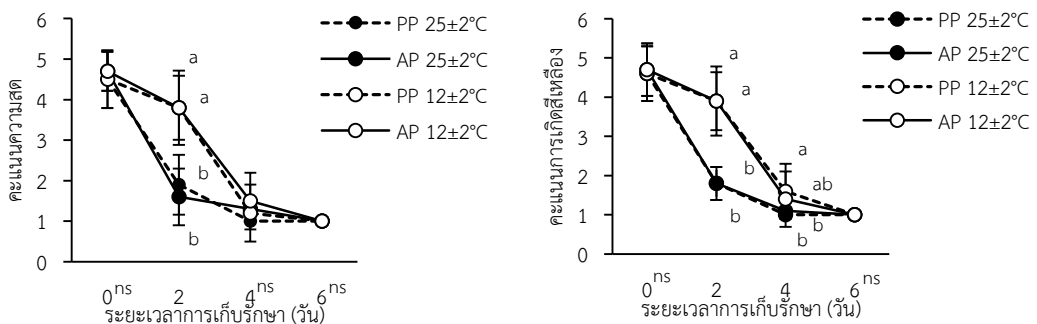
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญของผักเป็นการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว ซึ่งสีเขียวเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยว จากการบรรจุผักน้ำในถุง 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) และถุงหายใจได้ (AP) แล้วเก็บรักษาอุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 42% และอุณหภูมิ $12 \pm 2^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 52% เป็นเวลา 6 วัน พบว่าผักน้ำมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ความเป็นสีเขียวของผักน้ำลดลง โดยค่าความเป็น

สีแดง (a^*) มีค่าเป็นลบ แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียวของผักน้ำ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานาน 4 วัน เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 6 ผักน้ำเกิดการเน่าเสียทำให้ค่า b^* ลดลง และค่า a^* เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่มากขึ้น ทั้งนี้การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ อาจส่งผลให้ผักน้ำมีค่า b^* เป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Fahme & Nakano (2013) ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่ออายุการเก็บรักษาของผลแตงกวา ที่อุณหภูมิ 5°C ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง (99%) ปานกลาง (80%) และต่ำ (60%) เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเก็บรักษาผลแตงกวาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและปานกลางทำให้สูญเสียน้ำและเร่งการเสื่อมสภาพ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ช่วยลดการสูญเสียความชื้นและช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือกและเนื้อสัมผัสได้ โดยผิวเปลือกแตงกวามีค่า L^* ลดลง และมีค่าดัชนีความเหลืองเพิ่มขึ้นมากในระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีค่า hue angle เท่ากับ 95.37 แสดงเฉดสีเป็นสีเหลืองและเน่าเสียภายหลังการเก็บรักษานาน 7 วัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ของผักน้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีค่า ΔE^* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าค่าสีของผักน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกที่ทำการศึกษา โดยการเก็บรักษาวันที่ 2 พบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่า b^* และค่า ΔE^* และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของถุงและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อค่า ΔE^* โดยผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีค่า ΔE^* มากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ดังภาพที่ 2 ทั้งนี้การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสีให้เกิดขึ้นช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และพบการเน่าเสียของผักน้ำเพิ่มขึ้นมากทั้งสองอุณหภูมิในวันที่ 4-6



ภาพที่ 2 ค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE^* ของผักน้ำที่บรรจุถุงพลาสติกชนิดต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทรินเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)]

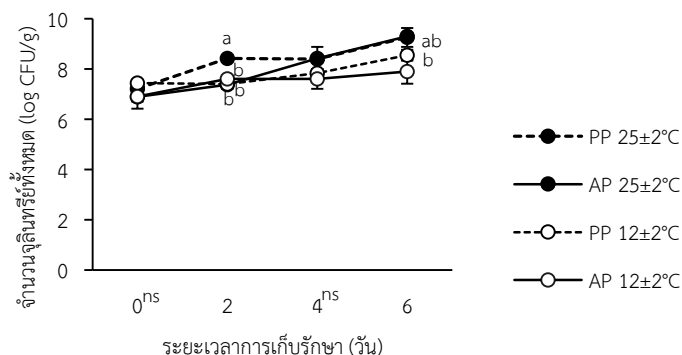
สีเขียวของผักเป็นคุณลักษณะประการแรกที่ถูกบริโภคใช้ในการประเมินคุณภาพความสดของผักหลังการเก็บเกี่ยว ตามปกติผักมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองภายในระยะเวลาไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (Sun & Li, 2017) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้คะแนนการประเมินคุณภาพลักษณะปรากฏเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผักน้ำ จากผลการประเมินความสดและการเกิดสีเหลืองของผักน้ำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่า ผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และถุง AP ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ ในวันที่ 2 ผักน้ำเริ่มมีสีเหลืองแต่มีคะแนนความสดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถซื้อขายได้ ในขณะที่ผักน้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ เริ่มเน่าเสียจึงมีคะแนนความสดต่ำกว่า 2 คะแนน ซึ่งถือว่าหมดอายุการเก็บรักษาและคะแนนการเกิดสีเหลืองมากกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า b^* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เห็นได้ชัดเจนว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองมากกว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 3 คะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองของผักน้ำที่บรรจุถุงพลาสติกชนิดต่างกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทรีตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)]

ผลการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และ ถุง AP แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน พบว่า ในวันแรกของการเก็บรักษาผักน้ำมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.90-7.45 log CFU/g ($p > 0.05$) โดยวันที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ผักน้ำที่บรรจุในถุง PP มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง PP มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง AP ($p > 0.05$) ทั้งนี้พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของถุงพลาสติกและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และถุง AP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ เริ่มเน่าเสียตั้งแต่วันที่ 2 จึงทำให้มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 วัน การเพิ่มขึ้นของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอาจขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น อุณหภูมิการเก็บรักษา และชนิดของภาชนะบรรจุด้วย กล่าวคือการบรรจุผักน้ำในถุง PP ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic properties) และไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีขั้วต่ำ เมื่อผักน้ำเกิดการหายใจสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษาทำให้มีไอน้ำเกาะอยู่ภายในถุงเป็นจำนวนมาก โดยปรากฏให้เห็นชัดเจนในถุง PP เนื่องจากถุงมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ

ของฟิล์มและการแทรกซึมผ่านของไอน้ำต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถุง AP ที่มีคุณสมบัติเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging) สามารถดูดซับน้ำและน้ำแทรกซึมผ่านได้ดี จึงมีส่วนช่วยในการลดปริมาณไอน้ำที่เกาะที่ผิวด้านในของถุง แต่ทำให้ผักน้ำมีลักษณะปรากฏที่เหี่ยวมากกว่าผักน้ำที่บรรจุด้วยถุง PP และคุณสมบัติของถุง AP เป็นถุงที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีนและความชื้นผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม จึงลดการสะสมไอน้ำภายในถุง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผักน้ำที่บรรจุในถุง PP โดยการบรรจุผักน้ำในถุง PP และถุง AP แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีแนวโน้มว่าสามารถช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ($p>0.05$) ดังนั้นหากพิจารณาเปรียบเทียบด้านราคาของถุงพลาสติกที่ใช้ถุง PP หาซื้อง่ายและมีราคาถูกกว่าถุง AP จึงเหมาะสมต่อการใช้งานของเกษตรกรผู้ปลูกเลี้ยงผักน้ำ จึงใช้ถุงพลาสติก PP ในการทดลองถัดไป



ภาพที่ 4 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่บรรจุถุงพลาสติกชนิดต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันแต่ละทรีตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)]

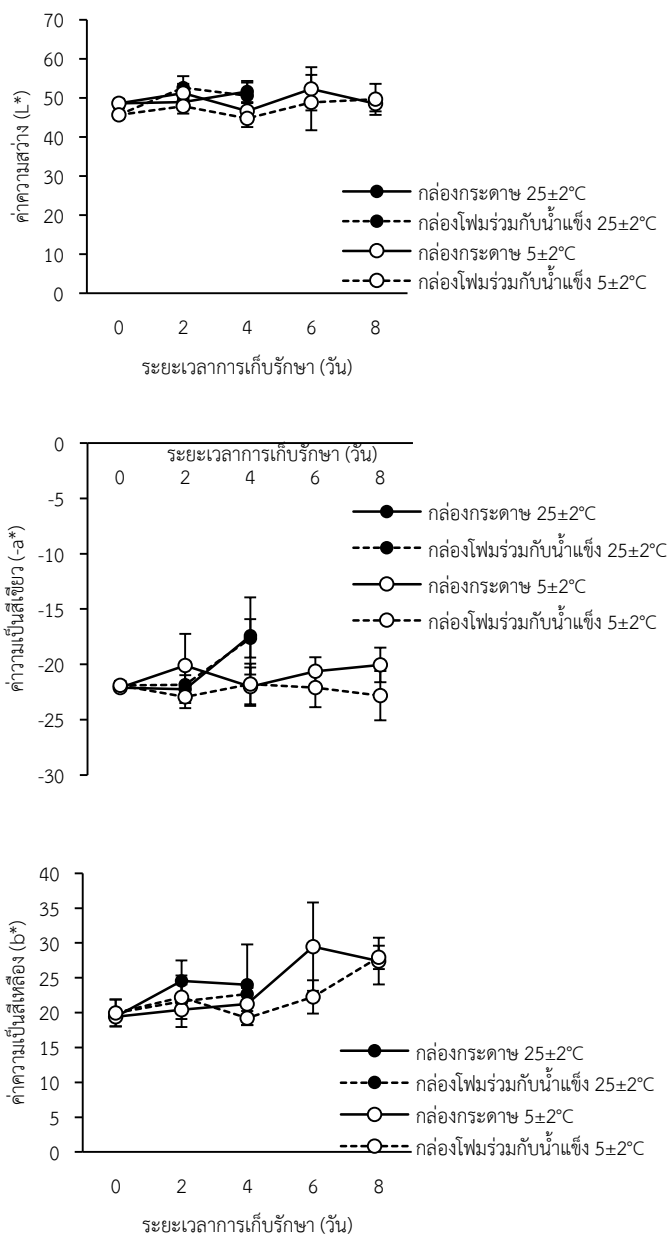
3. ผลของภาชนะบรรจุเพื่อขนส่งต่อคุณภาพทางกายภาพของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาผลของการล้างผักน้ำด้วย Clorox เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา พบว่า วิธีการล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาเป็นวิธีการที่เหมาะสม และชนิดของถุงพลาสติกที่เหมาะสมใช้บรรจุเป็นถุง PP ร่วมกับการเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวสามารถเก็บรักษาผักน้ำได้เพียง 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นยังไม่เหมาะสมต่อการวางจำหน่ายสินค้าทางไกลหรือใช้ในการบริโภค ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้อุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้ตามบ้านที่ผู้บริโภค/ผู้จำหน่ายใช้ในการจัดเก็บรักษาผักทั่วไปภายหลังจากรับสินค้า โดยจำลองสภาวะการบรรจุสินค้าเพื่อขนส่งจริงของเกษตรกรในการจัดส่งผักน้ำทางไกล เปรียบเทียบวิธีการบรรจุสินค้าด้วยกล่องกระดาษ (กล่องไปรษณีย์) และกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ติดตามคุณภาพของผักน้ำปลายทางโดยนำผักน้ำมาจัดเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 8 วัน ผลการทดลอง พบว่าการบรรจุผักน้ำด้วยกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง แล้วจัดเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองในระดับคะแนนที่ผักน้ำยังสดและมีสีเขียวมากกว่าผักน้ำที่บรรจุด้วยกล่องกระดาษแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และสามารถซื้อขายได้ภายในระยะเวลา 6 วัน การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผักน้ำได้ชัดเจนเห็นได้ชัดตอนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ดังลักษณะปรากฏในภาพที่ 5 วันแรกผักน้ำมีสีเขียวสดค่า a^* เป็นลบ ซึ่งสีเขียวเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา

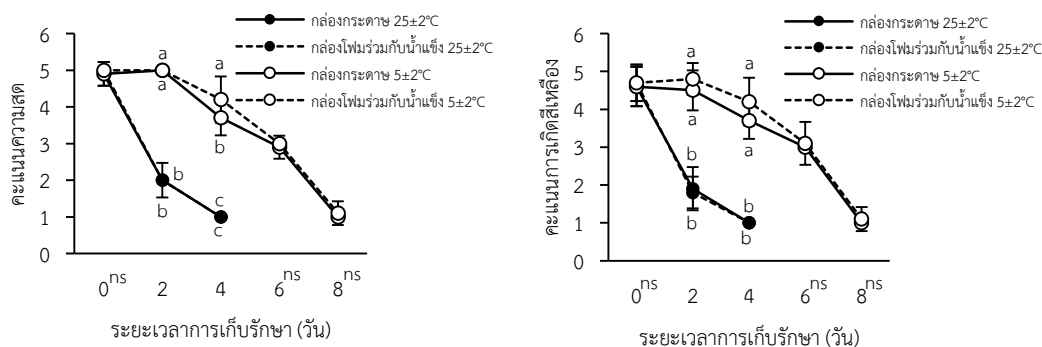
นานขึ้นค่า b^* เป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6) เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว สีเหลืองส้มของแคโรทีนอยด์ที่ถูกบดบังไว้จึงปรากฏออกมา โดยเฉพาะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ช่วยเร่งการชราภาพและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Shi et al., 2016) โดย Quirino et al. (2000) กล่าวว่า การชราภาพของใบสัมพันธ์กับปัจจัยทั้งภายในและภายนอก สำหรับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ การเกิดบาดแผล การขาดน้ำ และการขาดแสง มีผลให้ผลิตผลเกิดความเครียดทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ต่าง ๆ เกิดการเสื่อมสภาพ และ Buchanan-Wollaston (1997) รายงานว่าปัจจัยภายในขึ้นอยู่กับอายุของใบ ซึ่งในระหว่างการเกิดกระบวนการชราภาพ สารอาหารต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่าง ๆ จะเคลื่อนที่ไปยังใบที่อ่อนกว่า ด้วยเหตุนี้ใบที่เกิดก่อนจึงเกิดการชราภาพหรือมีสีเหลืองขึ้นก่อน เมื่อพิจารณาตำแหน่งการเกิดสีเหลืองของผักนํ้า พบว่า ก้าน โคนก้าน ใบล่างจะเกิดสีเหลืองก่อน แต่ก้านที่ติดกับใบส่วนยอดจะเกิดสีเหลืองช้าที่สุด และสอดคล้องกับการให้คะแนนความสดและการให้คะแนนการเกิดสีเหลืองลดลงในระดับ 2 คะแนน ซึ่งหมายถึงยังพอรับประทานได้แต่ขายไม่ได้ (ภาพที่ 7) จึงมีอายุการเก็บรักษาที่ยอมให้มีการขายได้เพียง 1 วัน ที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (วันที่ 0)

วันที่	อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$		อุณหภูมิ $5 \pm 2^\circ\text{C}$	
	กล่องกระดาษ	กล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง	กล่องกระดาษ	กล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง
0				
2				
4				
6	เน่าเสียเกินเกณฑ์ยอมรับ			
8	เน่าเสียเกินเกณฑ์ยอมรับ			

ภาพที่ 5 ลักษณะปรากฏของผักนํ้าที่บรรจุในถุง PP ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ และ $5 \pm 2^\circ\text{C}$



ภาพที่ 6 ค่าสี L* a* b* ของผักน้ำที่มีการขนส่งด้วยบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C เป็นเวลา 4 วัน และอุณหภูมิ 5±2°C เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 7 ความหนาแน่นของเชื้อและการเกิดสปีชีส์เชื้อของผักน้ำที่มีการขนส่งด้วยบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C เป็นเวลา 4 วัน และอุณหภูมิ 5±2°C เป็นเวลา 8 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันแต่ละพริตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)]

สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Clorox) และน้ำประปา พบว่า สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการใช้ Clorox 1% w/v และน้ำประปา ที่เวลาการจุ่มแช่นาน 10 นาที การใช้ Clorox ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2% w/v ไม่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกจากผักน้ำได้ทั้งหมด และยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560) การใช้ Clorox ที่ความเข้มข้นสูงทำให้ผักน้ำมีกลิ่นคลอรีนคั่งค้าง ดังนั้นการล้างผักน้ำที่เหมาะสมทำได้โดยล้างน้ำประปา จุ่มแช่นาน 10 นาที จากนั้นนำวิธีการล้างนี้ไปใช้จัดการผักน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยว และคัดเลือกชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุ ได้แก่ ถุง PP และ AP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 และ 12±2°C เป็นเวลา 6 วัน พบว่า ผักน้ำบรรจุถุง PP ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2°C เก็บได้นานเพียง 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นในการบริโภค/วางจำหน่ายสินค้า ดังนั้นในการจำลองการขนส่งทางไกล บรรจุผักน้ำในถุง PP ก่อนการบรรจุลงในกล่องกระดาษ (กล่องโปรเซส) และกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25±2 และ 5±2°C (อุณหภูมิตู้เย็นสำหรับเก็บรักษาผักทั่วไปในครัวเรือน) พบว่าผักน้ำที่บรรจุกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ผู้บริโภค/ผู้จำหน่ายสามารถเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิต่ำ 5±2°C ได้นานถึง 6 วัน ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ เกษตรกรผู้ปลูกเลี้ยงผักน้ำสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักน้ำ และการจัดการขนส่งผักน้ำทางไกลเพื่อบริโภคและการวางจำหน่ายต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อชนิดอื่น เช่น การใช้โอโซน บรรจุภัณฑ์ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน เพื่อเป็นแนวทางในการเก็บรักษาผักน้ำให้มีอายุการวางจำหน่ายที่นานขึ้นและมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย เรื่อง นวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ เพื่อยกระดับคุณภาพการผลิตพืชอัตลักษณ์ (ผักน้ำ) สู่อุตสาหกรรมการผลิตอย่างยั่งยืน รหัสโครงการ N73A660854 ประจำปีงบประมาณ 2566 และ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนเครื่องมือในงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2555). **คู่มืออาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้าน**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- เบญจมาศ กรสงแก้ว. (2549). **ผลของการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นและบรรจุภัณฑ์ บรรยากาศตัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักคะน้าแปรรูปพร้อมบริโภค**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เบญจมาศ จันทรฉวี, สถาพร พงศ์พิตรลาย, และปฤษฎา เรืองรัตน์. (2556). **ผลของผักน้ำเบตงสดและผักน้ำเบตงปรุงสุกต่อแอคติวิตีของไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์ ในหนุขาวผ่านปฏิกิริยาเอนติเมทัลเลชันของคาเฟอีน**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/11140/1/415890-abstract.pdf>
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. (2560). **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560)**. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดนนทบุรี. สืบค้นจาก <http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/index.php/bio/>
- AOAC. (2000). **Official method of analysis of AOAC international**. (17th ed.). Washington, D.C.: A.O.A.C.
- Artés, F., Gómez, P. Aguayo, E., Escalona, V., & Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. **Postharvest Biology and Technology**, 51(3), 287-296.
- Beuchat, L .R. (2000). **Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review**. Center for Food Safety and Quality Enhancement. Retrieved from https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/64435/WHO_FSF_FOS_98.2.pdf?sequence=1

- Buchanan-Wollaston, V. (1997). The molecular biology of leaf senescence. **Journal of Experimental Botany**, 48(2), 181-199.
- de São José, J. F. B., & Vanetti, M. C. D. (2015). Application of ultrasound and chemical sanitizers to watercress, parsley and strawberry: microbiological and physicochemical quality. **LWT-Food Science and Technology**, 63(2), 946-952.
- Fahmy, K., & Nakano, K. (2013). Influence of relative humidity on development of chilling injury of cucumber fruits during low temperature storage. **Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food and Energy**, 1(1), 1-5.
- Gu, G., Zhou, B., Mendes-Oliveira, G., Redding, M., Luo, Y., Millner, P., & Nou, X. (2023). Impact of sanitizer application on *Salmonella* mitigation and microbiome shift on diced tomato during washing and storage. **Postharvest Biology and Technology**, 198, 1-12.
- Hecht, S. S., Chung, F. L., Richie Jr, J. P., Akerkar, S. A., Borukhova, A., Skowronski, L., & Carmella, S. G. (1995). Effect of watercress consumption on metabolism of a tobacco-specific lung carcinogen in smokers. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, 4(8), 877-884.
- Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A., & Ekiert, H. (2018). Chemical composition, traditional and professional use in medicine, application in environmental protection, position in food and cosmetics of *Nasturtium officinale* (watercress)- a review. **Fitoterapia**, 129, 283-292.
- Quirino, B. F., Noh, Y. S., Himelblau, E., & Amasino, R. M. (2000). Molecular aspects of leaf senescence. **Trends in Plant Science**, 5(7), 278-282.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. **Trends in Food Science & Technology**, 18(7), 373-386.
- Shi, J. Gao, L., Zuo, J., Wang, Q., Wang, Q., & Fan, L. (2016). Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation. **Postharvest Biology and Technology**, 116, 98-104.
- Sun, Y., & Li, W. (2017). Effects the mechanism of micro-vacuum storage on broccoli chlorophyll degradation and builds prediction model of chlorophyll content based on the color parameter changes. **Scientia Horticulturae**, 224, 206-214.
- Wiley, R. C., & Yildiz, F. (1994). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. U.S.A.: Chapman & Hall.
- Zhang, C., Hou, W., Zhao, W., Zhao, S., Wang, P., Zhao X., & Wang, D. (2023). Effect of ultrasound combined with sodium hypochlorite treatment on microbial inhibition and quality of fresh-cut cucumber. **Foods**, 12(4), 1-17.