



ผลของการใช้ 1-Methylcyclopropene ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้

Effects of 1-Methylcyclopropene on Quality and Storage Life of Pak Choy (*Brassica rapa* var. *chinensis*)

มยุรี กระจายกลาง^{1,2*}

Mayuree Krajayklang^{1,2*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

²สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

*Correspondent author: mayureek@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ผักกาดฮ่องเต้ ถูกทดสอบด้วย 1-MCP อัตรา 1 เม็ด (7,200 nL.L⁻¹), ½ เม็ด (3,600 nL.L⁻¹), และ ¼ เม็ด (1,800 nL.L⁻¹) นาน 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับไม่ใช้ 1-MCP เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ 1-MCP ต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28.14±0.03°C, 38.35±69.55 %RH) หรือ อุณหภูมิ ตู้แช่ (3.64±0.04°C, 75.95±0.19 %RH) และทดสอบร่วมกับการฉีดพ่นด้วยเอทิลฟอนก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27.83±0.02°C, 49.32±0.14 %RH) พบว่า 1-MCP ไม่ได้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ประสิทธิภาพของ 1-MCP เติบโตขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับเอทิลฟอน สามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 3 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก 2 วันของชุดเอทิลฟอนอย่างเดียว และพบว่า 1-MCP อัตรา ½ เม็ด นาน 6 ชั่วโมง ชะลอการเสื่อมสภาพผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ ตู้แช่ได้ดีที่สุด สามารถชะลอการเหลืองของใบ รักษาสภาพภายนอก รักษาความสด สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ให้อายุการเก็บรักษานานถึง 14.25 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ 1-MCP ไม่มีผลต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในทั้งสองอุณหภูมิที่เก็บรักษาในการศึกษานี้

Abstract

Pak choy plants were treated with 1-MCP at 1 tablet (7,200 nL.L⁻¹), ½ tablet (3,600 nL.L⁻¹), and ¼ tablet (1,800 nL.L⁻¹) for 6 hours compared to a control (without 1-MCP) to investigate the effect of 1-MCP on delaying senescence of pak choy during storage at room temperature (28.14±0.03°C; 38.35±69.55% RH) or at low temperature (3.64±0.04°C (75.95±0.19% RH), and then sprayed with ethephon prior to storage at room temperature (27.83±0.02°C; 49.32±0.14% RH). It was found that 1-MCP had little effect on extending storage life of pak choy stored at room temperature. In contrast, the efficiency of 1-MCP increased in the presence of ethylene (using

ethephon in this study). This led to a significant increase in storage life to 3 days from only 2 days of an ethephon treatment. An application of 1-MCP at $\frac{1}{2}$ tablet for 6 hours seems to be the best condition to maintain postharvest quality of pak choy at low temperature. 1-MCP could delay color of leaves with good external appearance and remained freshness of pak choy associated with a change in h^0 value. The storage life could be significantly extended to 14.25 days at cool room temperature. However, 1-MCP had no effect on weight loss and chlorophyll level at both storage temperatures in this study.

คำสำคัญ: ผักกาดฮ่องเต้ 1-Methylcyclopropene คุณภาพหลังเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา เอทิลฟอน

Keywords: Pak choy, 1-Methylcyclopropene (1-MCP), postharvest quality, storage life, ethephon

1. บทนำ

ผักกาดฮ่องเต้ (Pak choy) (*Brassica rapa* var. *chinensis*) (1) เป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ประสบปัญหาการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวสาเหตุหนึ่งมาจากอิทธิพลของเอทิลีน โดยส่งผลให้ผักกาดฮ่องเต้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น โดยปกติพืชสามารถผลิตเอทิลีนได้ และจะผลิตมากขึ้นในสภาพเครียด เช่น น้ำท่วม การเข้าทำลายของโรค การเกิดบาดแผล การสุกแก่และการชราภาพของพืช (2) เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญต่อการชราภาพของพืช การใช้สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการสูญเสียของผลิตผลสดหลังเก็บเกี่ยว (3) และ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) เป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (4) ไม่เป็นพิษต่อพืชและสิ่งแวดล้อม ไม่มีกลิ่นและมีประสิทธิภาพสูงที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (5) ปัจจุบันมีรายงานหลายฉบับศึกษาการใช้ 1-MCP เพื่อลดการเสื่อมสภาพและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักสด โดยเฉพาะผักในตระกูลผักกาด (*Brassicaceae* family) (1, 5-7) และผักตัดแต่งบางชนิด (8) แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษามากนักในผักกาดฮ่องเต้ในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้ 1-MCP ในการชะลอการเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาและการประยุกต์ใช้ในเชิงการค้าต่อไปในอนาคต

2. วิธีวิจัย

2.1 การเตรียมพืชทดสอบ

ผักกาดฮ่องเต้ ถูกเก็บเกี่ยวในระยะ 35-45 วันหลังปลูกจากแปลงเกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกในเขตจังหวัดพิษณุโลก และขนส่งอย่างระมัดระวังจากแหล่งผลิตมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในวันเดียวกัน ล้างทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ $200 \mu\text{L}^{-1}$ ฟิ้งให้แห้ง จากนั้นคัดขนาดต้นให้สม่ำเสมอ ปราศจากโรคและแมลง ก่อนนำมาทดสอบด้วย 1-MCP ตามแผนการทดลอง และบันทึกข้อมูลคุณภาพตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทำการศึกษาระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2553 จนถึงเดือน ธันวาคม 2553

2.2 แผนการทดลองและทรีตเมนต์

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น โดยแยกออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1: ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ที่เหมาะสมต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28.14 \pm 0.03^\circ\text{C}$, $38.35 \pm 69.55\%$ RH) บันทึกข้อมูลทุกวัน เป็นเวลา 5 วัน (รายละเอียดในหัวข้อ 2.4)

Treatment 1: ชูดควบคุม (ไม่ใช้ 1-MCP)

Treatment 2: 1-MCP 1 เม็ด

Treatment 3: 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด

Treatment 4: 1-MCP $\frac{1}{4}$ เม็ด

การทดลองที่ 2: ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ที่เหมาะสมต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (3.64±0.04°C, 75.95±0.19 %RH) บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน เป็นเวลา 18 วัน (รายละเอียดในหัวข้อ 2.4)

Treatment 1: ชุดควบคุม (ไม่ใช่ 1-MCP)

Treatment 2: 1-MCP 1 เม็ด

Treatment 3: 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด

Treatment 4: 1-MCP $\frac{1}{4}$ เม็ด

การทดลองที่ 3: ทดสอบประสิทธิภาพของ 1-MCP ต่อการยับยั้งการทำงานของเอทิลฟอนที่ส่งผลต่อคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวของผักกาดฮ่องเต้ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27.83 ±0.02°C, 49.32 ±0.14 %RH) บันทึกข้อมูลทุกวัน เป็นเวลา 4 วัน (รายละเอียดในหัวข้อ 2.4)

Treatment 1: ชุดควบคุม (ไม่ใช่ 1-MCP)

Treatment 2: 1-MCP 1 เม็ด

Treatment 3: 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด

Treatment 4: เอทิลฟอน 1,000 $\mu\text{L.L}^{-1}$ (ฉีดพ่น)

Treatment 5: 1-MCP 1 เม็ด + เอทิลฟอน 1,000 $\mu\text{L.L}^{-1}$ (ฉีดพ่น)

Treatment 6: 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด + เอทิลฟอน 1,000 $\mu\text{L.L}^{-1}$ (ฉีดพ่น)

2.3 การเตรียม 1-MCP สารละลายเอทิลฟอน และภาชนะที่ใช้ในการรวม

ผักกาดฮ่องเต้ในแต่ละชุดการทดลองถูกจัดวางในภาชนะปิดขนาด 0.5x0.5x0.5 เมตร เพื่อทดสอบด้วย 1-MCP (Biolene®; 0.07% 1-MCP; บริษัทไบโอเซฟเฟอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (0 เม็ด-ชุดควบคุม), $\frac{1}{4}$ เม็ด (1,800 nL.L^{-1}), $\frac{1}{2}$ เม็ด (3,600 nL.L^{-1}) หรือ 1 เม็ด (7,200 nL.L^{-1}) โดยเตรียมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร วางไว้ในภาชนะปิดพร้อมตัวอย่างผัก หลังจากนั้น นำ 1-MCP แต่ละขนาดตามแผนการทดลองใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ ปิดภาชนะบรรจุและรวมทั้งไว้นาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 30 ±1 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น เปิดฝาภาชนะ

บรรจุ แยกตัวอย่างผักในแต่ละชุดการทดลอง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

เตรียมสารละลายเอทิลฟอน (Ethrel® P.G.R.; 39.56% 2-chloroethylphosphonic acid; Amchem Products Inc., USA) ในระดับความเข้มข้น 1,000 $\mu\text{L.L}^{-1}$ (เอทิลฟอนเป็นสารปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนมีอิทธิพลกระตุ้นการเสื่อมสภาพในเซลล์พืช) และฉีดพ่นผักกาดฮ่องเต้ทันที ภายหลังจากการรวมด้วย 1-MCP จากนั้นตั้งให้แห้ง ก่อนเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.4 การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูล การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีบางประการในระหว่างการเก็บรักษาดังนี้ คือ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีใบ คะแนนสภาพภายนอก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอายุการเก็บรักษา โดยบันทึกข้อมูล ทุกวัน (0, 1, 2, 3, 4, 5) ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ ทุก 3 วัน (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18) ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

การสูญเสียน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของผักกาดฮ่องเต้ ก่อนและหลังการทดสอบด้วย 1-MCP และภายหลังการเก็บรักษาในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษา คำนวณและแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ ดัง สมการเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก =

$$\frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลัง})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

การเปลี่ยนแปลงสีของใบ สุ่มใบขนาดกลางด้านนอกของตัวอย่างผักในแต่ละซ้ำ จำนวน 5 ใบต่อดัน และให้คะแนนจาก 1-5 โดย 5 = ใบมีสีเขียวเข้มทั้งใบ, 4 = ใบมีสีเขียว (ซีดเล็กน้อย), 3 = ใบมีสีเขียวค่อนข้างเหลืองเล็กน้อย, 2 = ใบมีสีเขียวปนเหลืองมากกว่า 5 % ของพื้นที่ใบ และ 1 = ใบมีสีเหลืองมากกว่า 20 % ของพื้นที่ใบ (ประยุกต์จาก University of California, Davis, U.S.A.) และในตัวอย่างใบเดียวกัน นำมาวัดค่าคุณลักษณะของสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter's Colorimeter, MiniScan XE PLUS, Hunter Associates Laboratory Inc., USA) ในส่วนของหน้าใบด้านบน 4 จุด โดยหลีกเลี่ยงเส้นกลางใบ แสดงผลเป็น ค่า Hue angle (h°) โดย h° = ค่าเฉดสี เมื่อ h° มีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง หาก

ค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว

คะแนนสภาพภายนอก โดยการให้คะแนนจาก 1-5 ตามลักษณะที่ปรากฏและการเกิดตำหนิ ดังนี้ 5 = ดีมาก (สด ไม่มีตำหนิ), 4 = ดี (เหี่ยวเล็กน้อยและไม่มีตำหนิ), 3 = ปานกลาง (ปรากฏรอยช้ำที่ใบและก้านใบเล็กน้อย), 2 = พอใช้ (ปรากฏรอยช้ำของใบและก้านใบมากกว่า 20%) และ 1 = ไม่ดี (ปรากฏรอยช้ำของใบและก้านใบมากกว่า 50%)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เตรียมตัวอย่างใบ 1 กรัม หั่นฝอยและบดให้ละเอียดด้วยอะซิโตน 80% ปริมาตร 20 ml กรองผ่านกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Spectronic 21 MV, Milton Roy Company, Germany) ที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 nm แสดงผลเป็นปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (mg/ 100 g FW) (ประยุกต์จาก 9)

อายุการเก็บรักษา ประเมินอายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ ณ วันที่มีคะแนนสีของใบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ซึ่งเป็นระยะที่ใบของผักกาดฮ่องเต้ปรากฏสีเหลืองมากกว่า 5% ของพื้นที่ใบทั้งหมด ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ถือว่า หหมดสภาพ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดย analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

การเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ ปรากฏชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้แก่การสูญเสีย น้ำหนัก การเหลืองของใบ รวมทั้ง การเน่าเสีย และ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การลดลงของค่า pH และการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ จากการทดลองนี้ พบการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

เมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในคือ ชนิดพืช โครงสร้างของพืช และกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์พืช ดังเช่น Able และคณะ (1) รายงานว่า ผักกาดเหี่ยวเฉาได้ง่ายจากปัจจัยของโครงสร้าง และอัตราการคายน้ำ โดยปกติพืชใช้ปากใบในการคายน้ำเพื่อระบายความร้อน ผลผลิตที่รับประทานใบจึงมีอัตราการสูญเสีย น้ำหนักได้มาก และถูกกระตุ้นได้ด้วยอุณหภูมิ (2) ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก

ในการศึกษาครั้งนี้ ณ อุณหภูมิห้อง (3.64±0.04°C, 75.95±0.19 %RH) สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ได้ดีกว่าการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง (28.14±0.03°C, 38.35±69.55 %RH) อย่างเห็นได้ชัดอากาศเย็นช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักช่วยรักษาความสด ได้ตลอดการเก็บรักษา ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษา 7.5 วัน ที่อุณหภูมิ 3.64°C ของชุดควบคุมในสภาพที่ไม่ได้ใช้ 1-MCP ในขณะที่เก็บรักษาได้เพียง 4 วัน ณ อุณหภูมิห้อง 28.14°C อย่างไรก็ตาม การใช้ 1-MCP ทุกความเข้มข้นไม่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดฮ่องเต้ ในทั้งสองอุณหภูมิที่เก็บรักษา (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับรายงานของ Porat และคณะ (10) ซึ่งพบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยมากในผลส้ม ที่ทดสอบด้วย 1-MCP แต่ในทางตรงกันข้าม Hassan และ Mahfouz (11) กลับพบว่าใบโหระพา (sweet basil leaf) ที่ผ่านการทดสอบด้วย 1-MCP (อัตรา 0.2-0.6 g m⁻³) นาน 8 ชั่วโมง ในที่มืด สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาความสดและส่งผลให้ใบโหระพามีอายุการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C เช่นเดียวกันกับการตอบสนองของคะน้าด้วย 1-MCP อัตรา 10 µL L⁻¹ นาน 24 ชั่วโมง (7) แสดงให้เห็นว่าชนิดของผลผลิตตอบสนองต่อ 1-MCP แตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ 1-MCP แตกต่าง นอกจากนี้นี่ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์พืช ความเข้มข้นและระยะเวลาของการใช้สาร รวมทั้งอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบ (3)

โดยปกติผักและผลไม้มีคาโรทีนซึ่งให้สีเหลืองเป็นองค์ประกอบ แต่เนื่องจากถูกสีเขียวบดบังไว้ เมื่อเข้าสู่ระยะแก่จัดคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป สีของคาโรทีนจึงปรากฏให้เห็น (2) ดังเช่นการเปลี่ยนสีบนใบผัก

กาดช่องเต้ และการชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการใช้งานนานขึ้น จากการศึกษาี้ การใช้ 1-MCP มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนสีเหลืองที่ใบ ผักกาดช่องเต้ และเด่นชัดของการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ ต่ำใน 1-MCP ½ เม็ด (หรือ 3,600 nL.L⁻¹) พบคะแนน สีใบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value <0.001) ซึ่ง สอดคล้องกับ ค่า h° สูงสุด (P -value <0.5) และคะแนน สภาพภายนอกมากสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value <0.001) (ตารางที่ 1 การทดลองที่ 2) ในขณะที่ 1-MCP ¼ เม็ด หรือ 1,800 nL.L⁻¹ ให้คะแนนสีใบสูงสุด (P -value <0.05) เมื่อเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง แต่ไม่แตกต่างจาก ชุดควบคุมที่ไม่ใช้ 1-MCP และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ รวมไม่มีความแตกต่างตลอดการทดลองทั้งสองอุณหภูมิ ที่เก็บรักษา (ตารางที่ 1)

โดยรวม การใช้ 1-MCP ทุกความเข้มข้นในการ ศึกษาี้ ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการยืดอายุการเก็บ รักษาผักกาดช่องเต้ เมื่อเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง (ตาราง ที่ 1 การทดลองที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาในสาระแน (mint leaves) (12), วอเตอร์เครส หรือ สลัดน้ำ (water cress leaves) (13) และ ผักกาดขาวปลี (chinese cabbage) (14) ซึ่งพบว่า 1-MCP มีประสิทธิภาพน้อยมากต่อการ ยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลดังกล่าว อย่างไรก็ตาม Able และคณะ (1) พบว่า การใช้ 1-MCP อัตรา 12 μ L.L⁻¹ กับ ผักกาดกวางตุ้ง สามารถชะลอการเกิดสีเหลืองที่ใบได้ แต่ พบประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 10-20%

ตารางที่ 1. ค่าเฉลี่ยคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของผักกาดช่องเต้ ภายหลังจากการรมด้วย 1-MCP ในความเข้มข้นต่างกัน นาน 6 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.14 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$, $38.35 \pm 69.55\% \text{RH}$) เป็นเวลา 5 วัน และอุณหภูมิตู้แช่ ($3.64 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$, $75.95 \pm 0.19\% \text{RH}$) เป็นเวลา 18 วัน

ทรีตเมนต์	การสูญเสีย น้ำหนัก	คะแนนสี	คุณลักษณะ ของสี	สภาพ ภายนอก	คลอโรฟิลล์ รวม	อายุการ เก็บรักษา
	(%)	(1-5) ^{2/}	(h°) ^{3/}	(1-5) ^{4/}	mg/100g. FW	(วัน) ^{5/}
การทดลองที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $28.14 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$						
ชุดควบคุม	24.65	3.03 ab ^{1/}	108.08 a	2.93	0.52	4.40
1-MCP 1 เม็ด	25.27	2.93 b	108.95 b	3.00	0.56	4.00
1-MCP ½ เม็ด	24.90	2.93 b	108.54 ab	2.87	0.51	3.80
1-MCP ¼ เม็ด	25.40	3.23 a	108.37 ab	3.00	0.53	4.60
F-test	ns	*	*	ns	ns	ns
การทดลองที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ ตู้แช่ $3.64 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$						
ชุดควบคุม	18.09	2.35 c ^{1/}	112.27 a	2.14 c	0.79	7.50 c
1-MCP 1 เม็ด	14.80	2.75 b	112.50 ab	2.75 b	0.79	13.50 ab
1-MCP ½ เม็ด	16.58	3.00 a	112.90 b	3.00 a	0.80	14.25 a
1-MCP ¼ เม็ด	16.89	2.46 c	112.54 ab	2.64 b	0.80	9.75 bc
F-test	ns	***	*	***	ns	*

ตารางที่ 1. ค่าเฉลี่ยคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ ภายหลังจากการรมด้วย 1-MCP ในความเข้มข้นต่างกัน นาน 6 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28.14 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$, $38.35 \pm 69.55\%$ RH) เป็นเวลา 5 วัน และอุณหภูมิตู้แช่ ($3.64 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$, $75.95 \pm 0.19\%$ RH) เป็นเวลา 18 วัน (ต่อ)

ทรีตเมนต์	การสูญเสีย น้ำหนัก (%)	คะแนนสี (1-5) ^{2/}	คุณลักษณะ ของสี (h°) ^{3/}	สภาพ ภายนอก (1-5) ^{4/}	คลอโรฟิลล์ รวม mg/100g. FW	อายุการ เก็บรักษา (วัน) ^{5/}
การทดลองที่ 3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $27.83 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$						
ชุดควบคุม	20.83 ab ^{1/}	2.92 cd	110.64 b	2.72 b	0.62	4.00 a
1-MCP 1 เม็ด	18.53 a	3.28 a	110.72 b	2.84 a	0.57	4.00 a
1-MCP ½ เม็ด	17.59 a	3.20 ab	110.74 b	2.80 ab	0.61	4.00 a
ethephon	25.25 b	2.36 e	109.58 a	2.72 c	0.55	2.00 c
1-MCP 1 เม็ด+ ethephon	22.22 b	2.84 d	110.68 b	2.84 ab	0.58	3.00 b
1-MCP ½ เม็ด+ ethephon	24.35 b	3.04 bc	110.74 b	2.80 ab	0.59	3.00 b
F-test	*	***	**	***	ns	**

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละแถว (แยกอุณหภูมิเก็บรักษา) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P < 0.05$), (*, **, *** significantly different at $P < 0.05$, 0.01, 0.001 ตามลำดับ; ns = not significant)

^{2/} คะแนนสี (1-5) โดยที่ 5=ใบมีสีเขียวเข้ม, 4=ใบมีสีเขียว, 3=ใบมีสีเขียวอ่อนไปทางเหลืองเล็กน้อย, 2=ใบมีสีเขียว-เหลืองมากกว่า 5% ของพื้นที่ใบ, 1=ใบมีสีเหลืองมากกว่า 20% ของพื้นที่ใบ

^{3/} h° = ค่าเฉลี่ย เมื่อค่าเข้าใกล้ 90 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง หากค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว

^{4/} คะแนนสภาพภายนอก (1-5) โดยที่ 1=ไม่ดี, 2=พอใช้, 3=ปานกลาง, 4=ดี และ 5=ดีมาก

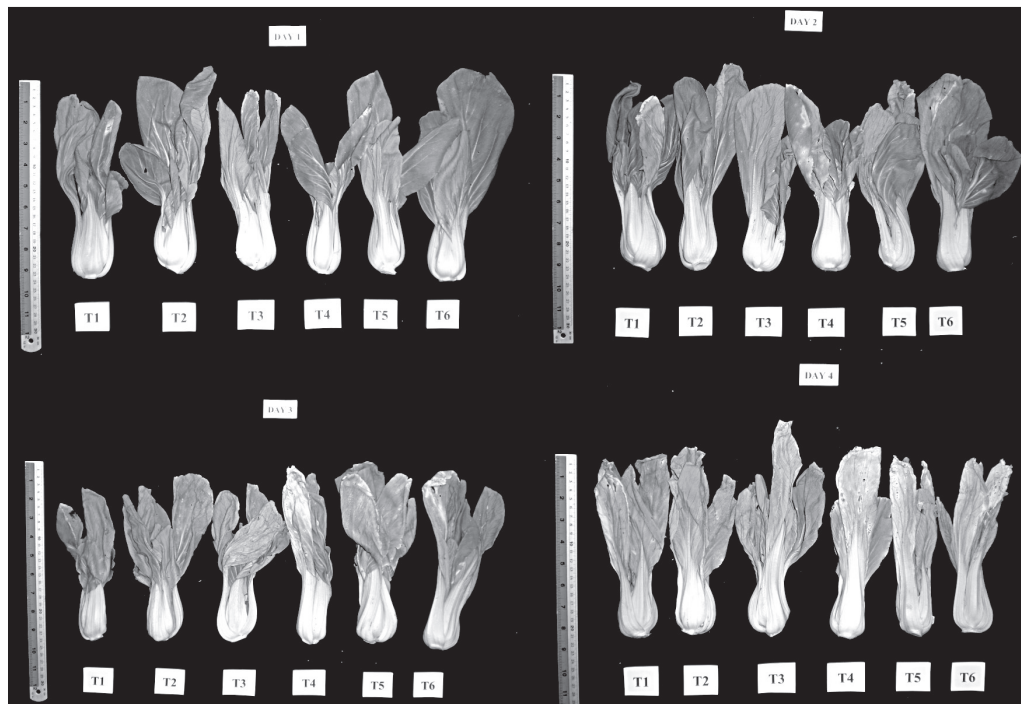
^{5/} อายุการเก็บรักษาใช้เกณฑ์การประเมิน ณ วันที่ใบผักกาดฮ่องเต้มีคะแนนสีของใบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 (สีเขียว-เหลืองมากกว่า 5% ของพื้นที่ใบ) ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เป็นเกณฑ์ ถือว่า หดสภาพ

แต่ประสิทธิภาพของ 1-MCP จะเด่นชัดมากขึ้น เมื่อในสภาพของการเก็บรักษามีเอทิลีนปนเปื้อนในบรรยากาศ (ฮอร์โมนพืชที่มีอิทธิพลในการกระตุ้นการเสื่อมสภาพ) ดัง ปรากฏในการศึกษานี้ที่ใช้เอทิลีน ซึ่งเป็นสารปลดปล่อยเอทิลีน จากรูปที่ 1 และตารางที่ 1 (การทดลองที่ 3) พบว่า การใช้ 1-MCP ก่อนการฉีดพ่นด้วยเอทิลีน ช่วยให้มียอายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ นานขึ้นเป็น 3 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value < 0.01) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการชะลอการเหลืองของใบ (รูปที่ 1 และตารางที่ 1) การรักษาความสด (รูป

ที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับ การให้เอทิลีนเพียงอย่างเดียว ให้อายุการเก็บรักษา เพียง 2 วัน และในขณะที่ใช้และไม่ใช้ 1-MCP ให้อายุการเก็บรักษาโดยรวมไม่เกิน 4 วัน (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเอทิลีน (แสดงในรูปของเอทิลีนในการศึกษานี้) มีอิทธิพลกระตุ้นการเสื่อมสภาพจริง และ 1-MCP มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนจริง โดย 1-MCP จะเข้าแย่งจับกับ receptor ของเอทิลีน ทำให้เอทิลีนไม่สามารถเข้าจับกับ receptor ได้ นั่นเอง (3) ดังปรากฏในการทดลองของ O'Hare และ Wong (15) เมื่อให้เอทิลีนในอัตรา $1 \mu\text{L.L}^{-1}$ กับ ผักกาดกวางตุ้ง พบ

ว่าใบผักเกิดอาการเหลืองอย่างรวดเร็วแต่เมื่อให้ 1-MCP อัตรา $12 \mu\text{L.L}^{-1}$ ก่อนการให้เอทิลีน กลับพบว่า 1-MCP สามารถยับยั้งหรือชะลอการเหลืองของใบ และยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดกวางตุ้งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า การให้ 1-MCP ในอัตรา $12 \mu\text{L.L}^{-1}$ ที่อุณหภูมิประมาณ 20°C ส่งเสริมประสิทธิภาพของ 1-MCP กว่า การใช้ในที่อุณหภูมิต่ำ ($2, 10$ และ 15°C) ในการทดสอบ

กับผักกาดฮ่องเต้ สามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น ที่อุณหภูมิ 10°C สอดคล้องกับรายงานของ Jiang และคณะ (16) พบว่า การทดสอบผักชี ด้วยเอทิลีน $10 \mu\text{L.L}^{-1}$ ร่วมกับการใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 100 nL.L^{-1} สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และในกรณีเดียวกันกับการทดสอบในบร็อคโคลี่ (17) เป็นต้น



รูปที่ 1. แสดงลักษณะภายนอกของผักกาดฮ่องเต้ ภายหลังจากการรมด้วย 1-MCP ในความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 6 ชั่วโมง และฉีกพันด้วยเอทิลีน ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27.83 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$, $49.32 \pm 0.14 \% \text{RH}$) เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน (Day 1, 2, 3, 4) ตามลำดับ ในการทดลองที่ 3

T1 = ไม่ใช้ 1-MCP

T2 = 1-MCP 1 เม็ด

T3 = 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด

T4 = เอทิลีน

T5 = 1-MCP 1 เม็ด + เอทิลีน

T6 = 1-MCP $\frac{1}{2}$ เม็ด + เอทิลีน

อายุทางสรีรวิทยาของใบผักกาดฮ่องเต้ พบว่า มีการตอบสนองต่อ 1-MCP แตกต่างกัน โดยใบอ่อน ใบด้านใน (younger and inner leaves) สามารถตอบสนอง และมีอายุการเก็บรักษาดีกว่าใบแก่ ใบด้านนอก (older and outer leaves) ของผักกาดฮ่องเต้ เมื่อทดสอบกับ 1-MCP และในกรณีเดียวกันกับการตอบสนองของ rocket leaves โดย Koukounaras และคณะ (18) พบว่า ปัจจัยของอายุทางสรีรวิทยาของใบพืช รวมทั้งอุณหภูมิที่เก็บรักษา

มีผลต่อความสำเร็จของการใช้ 1-MCP อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาไม่ได้มีการแยกอายุทางสรีรวิทยาของใบ การตรวจสอบคุณภาพใช้ใบด้านนอกเป็นหลัก เนื่องจากในสภาพความจริงการซื้อขายผักสดประเมินจากลักษณะสภาพของใบและต้นภายนอกเท่านั้น

การใช้ 1-MCP ทุกความเข้มข้น ($\frac{1}{2}$ เม็ด หรือ $3,600 \text{ nL.L}^{-1}$ และ 1 เม็ด หรือ $7,200 \text{ nL.L}^{-1}$) นาน 6 ชั่วโมง ให้อายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ ประมาณ 4 วัน ณ

อุณหภูมิห้อง ถึงแม้จะไม่แตกต่างจากที่ไม่ใช้ 1-MCP (ชุดควบคุม) แต่เมื่อใช้ร่วมกับเอทิฟอน ประสิทธิภาพของ 1-MCP กลับชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เอทิฟอนเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 1 การทดลองที่ 3) และ 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 3,600 ppb ($\frac{1}{2}$ เม็ด) นาน 6 ชั่วโมง สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ได้ดีที่สุด นาน 14.25 วัน ณ อุณหภูมิตู้แช่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1 การทดลองที่ 2) สอดคล้องกับการศึกษาในบร็อกโคลี (1, 5) และ Dusit (19) พบว่า การใช้ 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 1, 12 และ 24 $\mu\text{L.L}^{-1}$ นาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20°C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาบร็อกโคลีได้นานถึง 8 วัน ในขณะที่ไม่ได้รับสารอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน ที่อุณหภูมิ 10 °C

อย่างไรก็ตาม Able และคณะ (1) พบว่า การใช้ 1-MCP ซ้ำกลับไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเสื่อมสภาพ และไม่ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาในผักกาดฮ่องเต้ ดังนั้น จากการศึกษาดังกล่าว Able และคณะ (1, 8) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความสำเร็จของการใช้ 1-MCP ว่า ควรใช้สารนี้ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว และ 1-MCP น่าจะมีประโยชน์ต่อการจัดการผักกาดฮ่องเต้ หรือผักตัดแต่ง ในระหว่างการรอการเก็บรักษา และรอการขนส่ง โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่อาจมีเอทิลีนปนเปื้อนในบรรยากาศ เป็นต้น

4. สรุป

การเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ สามารถประเมินได้จากการเหลืองของใบและสภาพความสด โดยมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 4 วัน ณ อุณหภูมิห้อง ($\sim 28^{\circ}\text{C}$) และประมาณ 7.5 วัน ณ อุณหภูมิ ตู้แช่ ($\sim 3.6^{\circ}\text{C}$) การใช้ 1-MCP ทุกความเข้มข้น ตั้งแต่ อัตรา $\frac{1}{4}$ เม็ด ($1,800 \text{ nL.L}^{-1}$), $\frac{1}{2}$ เม็ด ($3,600 \text{ nL.L}^{-1}$) และ 1 เม็ด ($7,200 \text{ nL.L}^{-1}$) นาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 27°C ($86.77\%\text{RH}$; ในภาชนะบรรจุ) ไม่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ในขณะวางจำหน่าย ณ อุณหภูมิห้อง ($28.14 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$) ในสภาพที่ไม่มีการปนเปื้อนเอทิลีน

การใช้ 1-MCP อัตรา $\frac{1}{2}$ เม็ด ($3,600 \text{ nL.L}^{-1}$) รวม นาน 6 ชั่วโมง สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผักกาด

ฮ่องเต้ได้ดีที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ ตู้แช่ ($3.64 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$, $75.95 \pm 0.19\%\text{RH}$) ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น ถึง 14.25 วัน โดยสามารถรักษาสภาพภายนอก ความสด และรักษาสีใบของผักกาดฮ่องเต้ได้นาน ซึ่ง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า h° เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้ 1-MCP อย่างไรก็ตาม 1-MCP ไม่ได้ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดฮ่องเต้ หรือชะลอการสูญเสียของปริมาณคลอโรฟิลล์ รวม ขณะเก็บรักษา ณ อุณหภูมิตู้แช่

ผลของการใช้ 1-MCP เมื่อมีการเกิดขึ้นของเอทิฟอน พบว่า มีประสิทธิภาพเด่นชัดมากขึ้น โดย 1-MCP ในทุกความเข้มข้น ($\frac{1}{2}$ และ 1 เม็ด; $3,600 - 7,200 \text{ nL.L}^{-1}$ ตามลำดับ) สามารถลบล้างอิทธิพลของเอทิฟอนได้ดีตลอดการทดลอง ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น เป็น 3 วัน ในขณะที่ใช้ 1-MCP อย่างเดียว อายุการเก็บรักษาเฉลี่ย 4 วัน ณ อุณหภูมิห้อง การฉีดพ่นเอทิฟอน $1,000 \mu\text{L.L}^{-1}$ มีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของผักกาดฮ่องเต้ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก สีใบเปลี่ยน และสูญเสียสภาพภายนอกเร็วกว่าปกติ อายุการเก็บรักษาลดลงเหลือเพียง 2 วัน ณ อุณหภูมิห้อง ($27.83 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$) ดังนั้น การใช้ 1-MCP หลังการเก็บเกี่ยวผักสด น่าจะมีประโยชน์ เพื่อกำจัดอิทธิพลของเอทิลีนที่อาจปนเปื้อนมาจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในโรงเก็บ หรือในสภาพบรรยากาศใกล้เคียงระหว่างรอจำหน่าย ขนส่ง หรือ เก็บรักษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เอื้อให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Able AJ, Wong LS, Prasad A, O'Hare TJ. 1-MCP is more effective on a floral brassica (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) than a leafy brassica (*Brassica rapa* var. *chinensis*). Postharvest Biol

- Technol. 2002;26: 147-155.
- (2) Siriphanich J. Postharvest physiology and technology of fruits and vegetables. 4th ed. KU Press: Bangkok; 2001. Thai.
 - (3) Blankenship SM, Dole JM. 1-Methylcyclopropene. Postharvest Biol Technol. 2003;28: 1-25.
 - (4) Rohm and Hass Co. Ltd. 1-Methylcyclopropene. Technical Bulletin; 1999. 13 p.
 - (5) Ku VVV, Wills RBH. Effects of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. Postharvest Biol Technol. 1999;17: 127-132.
 - (6) Cefola M, Amodio ML, Rinaldi R, Vanadia S, Colelli G. Exposure to 1-methylcyclopropene (1-MCP) delays the effects of ethylene on fresh-cut broccoli raab (*Brassica rapa* L.). Postharvest Biol Technol. 2010; 58: 29-35.
 - (7) Sun B, Yan H, Liu N, Wei J, Wang Q. Effect of 1-MCP treatment on postharvest quality characters, antioxidants and glucosinolates of Chinese kale. Food Chem. 2012;131:519-526.
 - (8) Able AJ, Wong LS, Prasad A, O'Hare TJ. The effects of 1-methylcyclopropene on the shelf life of minimally processed leafy asian vegetables. Postharvest Biol Technol. 2003;27: 157-161.
 - (9) Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant Physiol. 1949;24: 1-15.
 - (10) Porat R, Weiss B, Cohen L, Daus A, Goren R, Droby, S. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamonti' oranges. Postharvest Biol Technol. 1999; 15: 155-163.
 - (11) Hassan FAS, Mahfouz SA. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf life. Postharvest Biol Technol. 2010;55: 61-65.
 - (12) Kenigsbuch D, Chalupowicz D, Aharon Z, Maurer D, Aharoni N. The effect of CO₂ and 1-methylcyclopropene on the regulation of postharvest senescence of mint, *Mentha longifolia* L. Postharvest Biol Technol. 2007; 43: 165-173.
 - (13) Bron I, Vitti D, Kluge R, Arruda M, Jakomino A. Lima, G. Influence of low temperature storage and 1-methylcyclopropene on the conservation of fresh-cut watercress. Braz J Food Technol. 2005; 8: 121-126.
 - (14) Porter KL, Graham C, Klieber A. 1-MCP does not improve the shelf life of Chinese cabbage. J Sci Food Agric. 2005;85: 293-296.
 - (15) O'Hare TJ, Wong LS. Leafy asian vegetables extending their shelf life (Part 2). Barton: ACT: Rural Industries Research and Development Corporation (AUS); 2002. 25p. RIRDC Publication No.:02/006 (Project DAQ-239A).
 - (16) Jiang W, Sheng Q, Zhou XJ, Zhang MJ, Liu XJ. Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-Methylcyclopropene and ethylene. Postharvest Biol Technol. 2002;26: 339-345.
 - (17) Costa ML, Cive PM, Chaves AR, and Martinez GA. Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzyme and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. Postharvest Biol Technol. 2006; 35: 191-199.
 - (18) Koukounaras A, Siomos AS, Sfakiontakakis E. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. Postharvest Biol Technol. 1999; 46: 167-173.
 - (19) Dusit P. Effect of 1-MCP on ethylene biosynthesis and quality on shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* cv. Top greens) [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2003. Thai.