

ผลของการจุ่มจิบเบอเรลลินต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟิลล์
แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์และคุณภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้น
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Effect of Gibberellin Immersion on Chlorophyll and Carotenoid Contents,
Chlorophyll Fluorescence and Quality of Lime Fruit cv. Pan during Storage
at Ambient Temperature

เรวัต ชัยราช^{1,2*} และพรมณี สมปาน¹
Raywat Chairat^{1,2*} and Pornmanee Sompan¹

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายหลังการเก็บเกี่ยวของเปลือกผลมีผลต่อลักษณะคุณภาพของผลมะนาว งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการจุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellin; GA) ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และคุณภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้นระหว่างการเก็บรักษา โดยการจุ่มผลมะนาวด้วย GA ที่ระดับความเข้มข้น 0 50 150 และ 300 ppm นาน 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $85\pm 2\%$ เป็นเวลา 21 วัน ผลการศึกษาพบว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA ที่ความเข้มข้น 150 ppm สามารถรักษาระดับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเปลือกผลได้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (ค่า F_m และค่า F_v/F_m) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ การจุ่ม GA ทุกความเข้มข้นยังช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิวผล (ค่า a และค่า b) และรักษาคุณภาพของผิวผลได้ดีกว่าชุดควบคุม ความเข้มข้นของ GA ที่เหมาะสม คือ 50-150 ppm ซึ่งช่วยเก็บรักษาผลมะนาวที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้ 18-21 วัน และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้ในการประเมินการสูญเสียคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายตัวอย่างได้

คำสำคัญ : มะนาว จิบเบอเรลลิน คลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ คุณภาพ

Abstract

Changes of postharvest physiology of the peel have an impact on quality of lime fruit. This research studied the effect of postharvest immersion of gibberellin (GA) on chlorophyll and carotenoid contents, chlorophyll fluorescence and quality of lime fruit (cv. Pan) during storage. Fruit were immersed in each of the four concentrations of GA (0, 50, 150 and 300 ppm) for 5 minutes before keeping at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $85\pm 2\%$ R.H. for 21 days. Results showed that lime fruit immersed in 150 ppm GA retained significantly higher contents of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll than the control fruit towards the end of storage, whereas there was no significant difference in carotenoid content among the treatments. In addition, immersion in every concentration of GA retarded weight loss, peel color change (a and b values) and freshness score reduction of the fruit compared to control. These results indicated that suitable concentration of GA was between 50-150 ppm which could keep the fruit at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 18-21 days and

¹สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร 10400

*Corresponding author: raywat.c@ubu.ac.th

chlorophyll fluorescence (F_0 , F_m and F_v/F_m) could be used as a non-destructive method for quality loss evaluation for lime fruit.

Keywords: lime, Gibberellin, chlorophyll and carotenoid contents, chlorophyll fluorescence, quality

คำนำ

มะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยในปี 2558 ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกมะนาวประมาณ 105,567 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 143,935 ตัน คิดเป็นมูลค่าตามราคาเกษตรกรขายได้ประมาณ 1,151 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) มะนาวเป็นผลไม้ชนิดไม่สุก (nonclimacteric) มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนค่อนข้างคงที่ในระหว่างการสุกแก่ (สายชล เกตุษา, 2528; สมโภชน์ น้อยจินดา, 2540) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้มะนาวจัดเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ แต่มะนาวมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น ปัญหาที่สำคัญของมะนาวคือการสูญเสียคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวจากการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลจากสีเขียวเป็นเหลืองและสีน้ำตาลของเปลือกค่อนข้างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ผลมะนาวเหลืองไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผิวผลนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จากสารที่มีสีเขียวได้ผิวผลไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีเหลืองของแคโรทีนอยด์ซึ่งเคยถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ปรากฏออกมาให้เห็น (สมโภชน์ น้อยจินดา, 2540) ทำให้ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเนื่องจากผู้บริโภคที่นิยมเลือกซื้อมะนาวที่ผลมีสีเขียวสดมากกว่าสีเหลือง ดังนั้น สีผิวเปลือกจึงถือเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพที่สำคัญของผลมะนาว ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อหาวิธีชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ที่ผิวผลมะนาวหลายวิธี เช่น การฉายรังสี UV-B สามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลมะนาวได้โดยการลดการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ ได้แก่ คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) เปอร็อกซิเดส (chlorophyll degrading peroxidase) และ ฟิโอฟีทีเนส (pheophytinase) (Sripong et al., 2011; Kaewsuksaeng et al., 2011) ส่วนการรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 250 และ 500 ppb ช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในผิวผลมะนาวผ่านการลดกิจกรรมของคลอโรฟิลเลส และเปอร็อกซิเดส (Win et al., 2006) ขณะที่การจุ่มน้ำร้อนที่ 50°C นาน 5 นาที ร่วมกับการบรรจุที่มีช่องไอระเหยเอทานอลสามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์และลดการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Opio et al., 2017) และการจุ่มน้ำร้อนยังช่วยรักษาคุณภาพมะนาวผ่านการลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์และช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานขึ้น (Kaewsuksaeng et al., 2015)

รายงานการวิจัยที่ผ่านมาระบุว่า การใช้จิบเบอเรลลินในความเข้มข้นต่ำทั้งก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวสามารถรักษาคุณภาพผลไม่ได้ จิบเบอเรลลิน (Gibberellin, GA) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถนำมาใช้ทางการเกษตรหลายประการ รวมถึงการใช้ในการชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (พีรเดช ทองอำไพ, 2529) มีรายงานการใช้ GA ทั้งระยะก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวกับผลิตผลหลายชนิด ภูวดล บุตรรัตน์ (2532) รายงานว่าการฉีดพ่นลงกองด้วย GA ก่อนเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ ลดการหลุดร่วงของผลลงกองหลังการเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจาก GA มีผลทำให้ลดการสร้างเอทิลีนที่มีอิทธิพลต่อการหลุดร่วงของผล ขณะที่ใช้ GA ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ฉีดพ่นที่ผลส้มเขียวหวานในระยะก่อนเริ่มเปลี่ยนสี พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนสีของผิวผลได้ (สมาน ภัคดี และคณะ, 2516) และการพ่น GA ให้กับผลมังคุดระยะที่ 0 หรือก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 2.5 สัปดาห์ สามารถยืดระยะเวลาของวันที่เก็บเกี่ยวผลมังคุดระยะสายเล็ดออกไปและช่วยชะลอการสุกหรือยืดเวลาการเก็บเกี่ยวของผลมังคุดได้ (อรจิรา พรหมทองรักษ์ และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์, 2555) ขณะที่ Canli and Orhan (2009) ทดลองฉีดพ่น GA กับผลเชอร์รี่หวานพันธุ์ 0900 Ziraat ในระยะผลสีเหลืองซีด (straw-yellow color stage) พบว่า ผลที่ได้รับ GA แก่ช้ากว่าผลที่ไม่ได้รับ GA และช่วยยืดระยะเวลา

การเก็บเกี่ยวออกไปอีก ส่วนการฉีดพ่น GA กับเชอร์รียานพันธุ์ Mashhad ในระยะก่อนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์ หรือในระยะผลเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง พบว่าสามารถชะลอการสุกของผลได้ (Gholami *et al.*, 2010) ในทำนองเดียวกันการให้ GA กับผลอินทผลัมพันธุ์ Barhee ในช่วงผลดิบ (kimri stage) หรือ 15 – 16 สัปดาห์ภายหลังการผสมเกสร พบว่า สามารถชะลอการสุกของผลได้ (Awad and Al-Qurashi, 2012) ส่วนการใช้ GA ภายหลังการเก็บเกี่ยวกับผลิตผลหลายชนิด พบว่า การจุ่มผลของกองในสารละลาย GA ที่ความเข้มข้น 1000 ppm นาน 10 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 90–95% สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลของกองได้ดี และผลของกองมีการผลิตเอทิลีนในระดับที่ต่ำ (อินทรีวา ลิจันทรพร และคณะ, 2553) นอกจากนี้ การใช้ GA ร่วมกับสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา (CMC_{wh}) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิว โดยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 20 - 27 วัน (วาสนา พิทักษ์พล และคณะ, 2558) จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่า GA ในระดับความเข้มข้นต่ำมีศักยภาพช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ และฮอร์โมนพืชหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชจะออกฤทธิ์ในความเข้มข้นที่ต่ำ (Taiz and Zeiger, 2002) ขณะที่ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระบบภายในเซลล์พืชที่เกิดขึ้นระหว่างการเสื่อมสภาพและการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ (Gorbe and Calatayud, 2012) สามารถใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้ เช่น ในมะม่วง (Mekwatanakarn and Chairat, 2008 และ 2009) และผักกาดขาว (สายพร ดวงสา และ เรวดี ชัยราช, 2556) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของ GA ในความเข้มข้นต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของเปลือกผลมะนาว โดยเน้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟิลล์และการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของผิวผล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอื่นๆ ของผลมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้มะนาวพันธุ์แป้นเป็นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมผลมะนาวและการทดลอง

มะนาวพันธุ์แป้นเก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร บ้านศรีโค ตำบลศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี แล้วนำมาทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ทำการคัดเลือกขนาด น้ำหนัก รูปร่างและลักษณะผลที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด มีสีผิวสม่ำเสมอ ไม่มีรอยตำหนิ นำมาล้างด้วยสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 200 ppm นาน 1 นาที ผึ่งไว้ให้แห้ง ก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย 4 สิ่งทดลองๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ผลต่อการสุ่มตัวอย่าง 1 ครั้ง สิ่งทดลองประกอบด้วยการจุ่มผลมะนาวในสารละลาย GA ความเข้มข้น 0 (control) 50 150 และ 300 ppm นาน 5 นาที ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ต่ำที่รายงานวิจัยไว้ในไม่ผลหลายชนิด แล้วเก็บรักษาไว้ที่ 25±2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85±2% และบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวันที่ 0 (Initial) วันที่ 3 6 9 12 15 18 และ 21 ของการเก็บรักษา

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์

การวัดปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (total chlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ผิวเปลือกมะนาว ทำตามวิธีการดังนี้ วิธีการสกัดตัวอย่างประยุกต์จากวิธีการของ Ghoochani *et al.* (2015) และ Lichtenthaler and Buschmann (2001) โดยนำตัวอย่างผิวผลมะนาวที่สุ่มจากทั้ง 5 ผลในแต่ละซ้ำมาบดในโกร่งแช่เย็นให้ละเอียด โดยใช้อะซิโตน (acetone) 80 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ที่แช่เย็นเป็นสารที่ใช้ในการสกัด ปริมาณสารที่สกัดได้ให้เป็น 10 มิลลิตร แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (รุ่น 220R, MIKRO, Germany) ที่ความเร็ว 3,000xg ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำของเหลวใสที่ได้ (supernatant) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น UV 2014, Shimadzu, Japan)

ที่ความยาวคลื่นแสง 470 นาโนเมตร(carotenoid) 645 และ 663 นาโนเมตร (chlorophyll) ตามวิธีการของ Ghoochani *et al.* (2015) และคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Chl a + b) และแคโรทีนอยด์ (Cx) ตามวิธีการคำนวณของ Lichtenthaler and Buschmann (2001) ตามสูตรข้างล่าง และนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a)} &= \frac{[(12.7(A663) - 2.69(A645)) \times V]}{1,000 \times W} \text{ มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด} \\ \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b)} &= \frac{[22.9(A645) - 4.68 (A663)] \times V}{1,000 \times W} \text{ มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด} \\ \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} &= \frac{[20.2(A645) + 8.02(A663)] \times V}{1,000 \times W} \text{ มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด} \\ \text{(Chl a + Chl b)} & \\ \text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Cx+c)} &= \frac{[1000(A470) - 3.27(Chl a) - 104(Chl b)] \times V}{1,000 \times W} \text{ มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด} \end{aligned}$$

A470 A645 และ A663 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในช่วงแสง 470 645 และ 663 นาโนเมตร ตามลำดับ
V คือ ปริมาตรของสารสกัดคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)
W คือ น้ำหนักสดของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)

การวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

การเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (ค่า minimal (F_o), maximal (F_m) และ variable: maximal (F_v/F_m) fluorescence) ใช้ตามวิธีของ สายพร ดวงสา และ เรวัติ ชัยราช (2558) ด้วยเครื่องวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (รุ่น Handy-PEA, Hansatech Instrument, England) โดยทำการห่อผลมะนาวไว้ในที่มีดเป็นเวลา 30 นาที แล้วใช้หัววัดวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่งตรงกลางผล 2 จุด ตรงข้ามกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

การวัดการสูญเสียน้ำหนัก (%) การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะนาว และการประเมินคุณภาพความสด

การสูญเสียน้ำหนัก (%) วัดจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลมะนาวจากวันเริ่มต้นจนถึงวันสุดท้ายของการทดลองและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะนาววัดโดยใช้แผ่นเทียบสีของ Royal Horticultural Society Colour Charts Edition V. และแปลค่าโดยใช้ระบบ CIE L a b (ค่าอ้างอิงจากเว็บไซต์ <http://rhscf.orgfree.com/>) และการประเมินคุณภาพภายนอกด้วยค่าคะแนนความสดโดยให้คะแนน 5 ระดับ คือ 5 = ผิวผลมีสีเขียวสดทั้งผล; 4 = ผิวผลมีสีเขียวมีสีเหลืองน้อยกว่า 25% ของพื้นผิว; 3 = ผิวผลมีสีเขียวออกเหลืองและมีพื้นที่สีเหลืองระหว่าง 25-50% ของพื้นผิว; 2 = ผิวผลมีสีเหลืองมากกว่า 50-75% ของพื้นผิว; 1 = ผิวผลมีสีเหลืองมากกว่า 75% ของพื้นผิว

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ของเปลือกผลมะนาวในทุกสิ่งทดลองลดลงตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษายังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตั้งแต่วันที่ 12 เป็นต้นไปพบว่า ผลมะนาวที่จุ่ม GA ที่ความเข้มข้น 50 และ 150 ppm มีปริมาณ chlorophyll a สูงกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่า ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 ppm มีปริมาณ chlorophyll a สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ความเข้มข้น 50 และ 300 ppm จะเห็นว่าในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษาผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ทุกความเข้มข้น มีปริมาณ chlorophyll a สูงกว่าผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม (control) ค่อนข้างชัดเจน (Table 1)

ในทำนองเดียวกันปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) มีค่าลดลงตามระยะเวลาของการเก็บรักษาในทุกสิ่งทดลองคล้ายกับปริมาณ chlorophyll a โดยในช่วง 18 วันแรกของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 21 พบว่า ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 และ 300 ppm มีปริมาณ chlorophyll b สูงกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 ppm (Table 1)

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (total chlorophyll) ของเปลือกผลมะนาวในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในทุกสิ่งทดลอง หลังจากนั้นพบว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นมีปริมาณ total chlorophyll สูงกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นในวันที่ 18 ที่ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 300 ppm มีปริมาณ total chlorophyll ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม จะเห็นว่า total chlorophyll ในชุดควบคุมมีค่าลดลงค่อนข้างรวดเร็วกว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นตั้งแต่วันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ของผลมะนาวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเก็บรักษา ถึงแม้ปริมาณ carotenoid ในเปลือกผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) มีแนวโน้มสูงกว่าในเปลือกผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างกันในทุกสิ่งทดลอง (Table 1)

Table 1 Changes of pigment contents (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll (a+b) and carotenoid) of the peel of lime fruit (cv. Pan) after immersion in GA solutions for 5 min and kept at 25±2 °C for 21 days.

Treatment	Chlorophyll a content (mg/100 g FW) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	10.97	8.08	7.84	7.76	6.29b	6.08b	5.71	4.54b
GA 50 ppm	10.93	8.96	8.82	8.73	8.36a	8.19a	7.46	6.39ab
GA 150 ppm	11.96	9.50	9.37	9.09	8.50a	8.41a	7.68	7.56a
GA 300 ppm	11.88	9.69	9.17	8.47	7.83ab	7.74a	7.83	7.00ab
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*
CV (%)	15.67	21.1	15.66	13.01	12.06	6.94	19.29	22.52
Treatment	Chlorophyll b content (mg/100 g FW) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	4.47	3.99	3.47	3.11	2.79	2.56	2.18	1.64b
GA 50 ppm	4.62	4.51	4.34	4.06	3.79	3.44	2.90	2.34ab
GA 150 ppm	4.77	4.59	4.08	4.02	3.86	3.14	2.87	2.69a
GA 300 ppm	4.89	4.59	4.11	3.74	3.62	3.09	2.82	2.69a
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	15.84	25.3	12.48	22.07	24.13	17.48	18.67	21.56
Treatment	Total chlorophyll content (mg/100 g FW) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	14.49	12.05	11.27	11.38	9.12b	8.09b	8.3b	4.92b
GA 50 ppm	14.11	12.91	12.45	12.66	11.8a	11.88a	10.8a	8.7a
GA 150 ppm	14.31	12.39	12.54	12.3	11.51a	11.22a	10.43a	8.43a
GA 300 ppm	14.37	13	12.28	12.3	11.4a	11.2a	10.29ab	8.52a
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*
CV (%)	5.27	11.58	7.42	23.37	6.77	8.43	10.75	6.25
Treatment	Carotenoid content (mg/100 g FW) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	1.38	1.69	1.95	2.10	2.43	2.58	2.64	2.94
GA 50 ppm	1.36	1.73	1.88	1.95	1.96	2.12	2.14	2.4
GA 150 ppm	1.44	1.90	1.93	1.94	1.94	2.09	2.12	2.22
GA 300 ppm	1.33	1.73	1.82	1.91	2.08	2.20	2.28	2.46
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	19.89	11.05	14.67	13.53	16.39	18.09	13.1	16.18

ns, *, **, Non-significant or significant at $p \leq 0.05$, or 0.01, respectively.^{1/} Means within columns followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD.

การสูญเสียคลอโรฟิลล์ถือเป็นการสูญเสียคุณภาพที่สำคัญของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะผลิตผลที่มีสีเขียว เช่น ผักต่างๆ และผลไม้ที่มีผิวผลสีเขียวอย่างมะนาว เนื่องจากคลอโรฟิลล์เป็นสารสีเขียวที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่บ่งบอกคุณภาพของผิวผล ในระยะหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติและมีการสูญเสียองค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ไป การสูญเสียสีเขียวของผิวผลเป็นผลสืบเนื่องมาจากการย่อยสลายของคลอโรฟิลล์ที่ถูกควบคุมด้วยการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) เปอร็อกซิเดส (chlorophyll degrading peroxidase) และ ฟีโอไฟทีเนส (pheophytinase) (Win *et al.*, 2006; Srilaong *et al.*, 2011; Kaewsuksaeng *et al.*, 2011; Kaewsuksaeng *et al.*, 2015; Opio *et al.*, 2017) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถูกกระตุ้นและควบคุมด้วยเอทิลีนอีกทีหนึ่ง จากผลการศึกษาที่พบว่าการจุ่ม GA ความเข้มข้น 50-150 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของคลอโรฟิลล์ต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์แป้นได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ GA ในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวผลได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น ส้มเขียวหวาน มังคุด อินทผลัมพันธุ์ Barhee เชอร์รี่หวานพันธุ์ 0900 Ziraat ส้มแมนดารินพันธุ์ Clementine และส้มโนเวลพันธุ์ Washington เชอร์รี่หวานพันธุ์ Mashhad และส้มโอลูกผสมพันธุ์ Oroblanco (สมาน ภักดี และคณะ, 2516; อรุจิรา พรหมทองรักษ์ และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์, 2555; Awad and Al-Qurashi, 2012; Canli and Orhan, 2009; El-Otmani and Coggins Jr., 1991; Gholami *et al.*, 2010; Porat *et al.*, 2001) โดยนพรัตน์ ทัดมาลา และคณะ (2556) รายงานว่า GA สามารถชะลอการย่อยสลายของคลอโรฟิลล์ด้วยเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งถูกกระตุ้นโดยฮอร์โมนเอทิลีน ซึ่งสนับสนุนโดยอินทิรา ลิจันทรพร และคณะ (2553) ที่พบว่าการจุ่มผลด้วย GA ทำให้ผลของกองมีการผลิตเอทิลีนในระดับที่ต่ำ ดังนั้น การชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์และสีผิวของผลมะนาวน่าจะมาจากอิทธิพลของ GA ในการลดการสังเคราะห์เอทิลีน ทำให้เอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ทำงานลดลง จึงทำให้ผลมะนาวที่จุ่ม GA สามารถคงสีเขียวของผิวผลได้ดีกว่าผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA

อย่างไรก็ตาม การจุ่มหรือไม่จุ่ม GA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ในผิวผลมะนาว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกสิ่งทดลองเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการที่แคโรทีนอยด์มีหน้าที่สำคัญในการปกป้องเซลล์พืชและมีหน้าที่สำคัญการต้านอนุมูลอิสระต่างๆ เพื่อให้กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชเกิดขึ้นได้ตามปกติ (Edge *et al.*, 1997) ดังนั้น ปริมาณแคโรทีนอยด์จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อเซลล์ ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพื่อตอบสนองต่อความเครียดที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_0 , F_m , และ F_v/F_m)

ค่า minimal fluorescence (F_0) ของผลมะนาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยในช่วงแรกของการเก็บรักษา ค่า F_0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกสิ่งทดลอง ในวันที่ 12-21 ผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ความเข้มข้น 50 และ 150 ppm มีค่า F_0 สูงกว่าผลที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 300 ppm จะเห็นว่าผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA มีค่า F_0 ต่ำกว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA อย่างชัดเจน (Table 2)

ค่า maximal fluorescence (F_m) ของผลมะนาวลดลงตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยในช่วง 3 วันแรกยังไม่มีแตกต่างกันทางสถิติ แต่ตั้งแต่วันที่ 6-12 ผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ความเข้มข้น 50 และ 150 ppm มีค่า F_m สูงกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างกับ 300 ppm ขณะที่ในช่วงวันที่ 15-21 ผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ความเข้มข้น 150 ppm มีค่า F_m สูงกว่าผลที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับ 50 และ 300 ppm (Table 2)

Table 2 Changes of chlorophyll fluorescence (minimal (F_o), maximal (F_m) and variable: maximal (F_v/F_m)) of the peel of lime fruit (cv. Pan) after immersion in GA solutions for 5 min and kept at 25 ± 2 °C for 21 days.

Treatment	Minimal fluorescence (F_o) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	594.73	607.43	630.83	664.53	672.43b	673.87b	701.6b	722.03b
GA 50 ppm	601.53	606.63	643.8	765.53	763.23a	817.47a	872.93a	875.93a
GA 150 ppm	609.83	611.33	693.3	742.87	782.83a	811.53a	856.13a	871.53a
GA 300 ppm	603.23	606.97	693.97	737.37	739.2ab	747.9a	802.07ab	875.43a
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*
CV (%)	3.39	2.45	7.83	11.04	5.01	5.03	6.66	6.27
Treatment	Maximal fluorescence (F_m) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	3026.2	2928.2	2740.1b	2496.2b	2380.0b	2312.8b	2194.5b	1992.7b
GA 50 ppm	3660.5	3298.0	3247.5a	3013.5a	3009.8a	2649.8ab	2616.0ab	2511.4ab
GA 150 ppm	3276.1	3212.8	3190.9a	3095.1a	3000.3a	2998.1a	2870.1a	2739.5a
GA 300 ppm	3374.5	3039.3	2978.5ab	2888.6a	2844.8ab	2747.8ab	2722.7ab	2633.0a
F-test	ns	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	17.39	11.19	5.13	5.85	9.37	13.57	13.01	12.94
Treatment	Variable:Maximal fluorescence (F_v/F_m) ^{1/}							
	Initial	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15	Day 18	Day 21
GA 0 ppm (Control)	0.80	0.78	0.77	0.70b	0.68b	0.67	0.64b	0.60
GA 50 ppm	0.79	0.76	0.75	0.76a	0.74a	0.73	0.69a	0.64
GA 150 ppm	0.79	0.77	0.75	0.76a	0.75a	0.73	0.73a	0.72
GA 300 ppm	0.79	0.77	0.77	0.74ab	0.73a	0.71	0.70a	0.68
F-test	ns	ns	Ns	*	*	ns	*	ns
CV (%)	1.04	1.87	3.37	4.04	4.05	7.21	2.76	12.94

ns, *, **, Non-significant or significant at $p \leq 0.05$, or 0.01, respectively.

^{1/} Means within columns followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD.

ค่า variable: maximal fluorescence (F_v/F_m) ของผิวผลมะนาวค่อนข้างคงที่ตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยในช่วง 6 วันแรกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในช่วงวันที่ 9-21 เปลือกมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) มีค่าต่ำกว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 และ 150 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างกับการจุ่ม GA ที่ 300 ppm ส่วนในวันที่ 18 ผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ทุกความเข้มข้นมีค่า F_v/F_m มากกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ในวันที่ 15 และ 21 ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง (Table 2)

จากผลการศึกษพบว่าค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ทั้งค่า maximal (F_m) และค่า variable: maximal fluorescence (F_v/F_m) สามารถใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะนาวได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของผลมะนาวในทุกสิ่งทดลองทั้งที่ไม่จุ่ม GA (control) และจุ่ม GA ความเข้มข้นต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ยกเว้นค่า minimal (F_o) ที่เปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้าม ดังนั้น ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จึงสามารถใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงสารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ของผิวผลมะนาวได้ นอกจากนี้ วิธีนี้ถือเป็นวิธีการตรวจประเมินคุณภาพผลิตผลแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive technique) ที่รวดเร็วและมีต้นทุนที่ไม่สูงมาก และสามารถใช้ประเมินการตอบสนองของพืชหรือผลิตผลต่อความเครียดต่างๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์พืชที่เกิดขึ้นระหว่างการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลได้ดี (Gorbe and Calatayud, 2012) โดย Mekwatanakarn and Chairat (2008 และ 2009) ใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลงได้ดี และสายพร ดวงสา และ เรวัตติ ชัยราช (2556) พบความสัมพันธ์ของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านอื่นๆ ของผักกาดขาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันในกรณีของมะนาวพันธุ์แป้นพบว่าค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้วิธีการประเมินการเสื่อมสภาพโดยไม่ทำลายตัวอย่างได้

การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิวผลของมะนาว และการประเมินคุณภาพความสด

การสูญเสียน้ำหนัก (%)

การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวในทุกสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันในช่วง 15 วันแรก แต่มีความแตกต่างกันในช่วงท้ายของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 18 พบว่า ผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการจุ่มด้วย GA 50 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 และ 300 ppm ขณะที่ในสุดท้าย (วันที่ 21) ของการเก็บรักษาพบว่าผลมะนาวที่จุ่มด้วย GA ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 1A)

การเปลี่ยนแปลงสีผิวผลของมะนาว

การเปลี่ยนแปลงค่า a

ค่า a ของผิวผลมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา ค่า a ของผิวผลมะนาวที่จุ่ม GA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในวันที่ 9 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นมีค่า a ต่ำกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 ppm มีค่า a ต่ำสุด และผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 และ 300 ppm มีค่า a ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในวันที่ 12 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 ppm มีค่า a ต่ำกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 18 และ 21 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 และ 150 ppm มีค่า a ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกระดับความเข้มข้น มีค่า a ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วง 6-21 วันของการเก็บรักษา แสดงว่าผลที่จุ่ม GA มีสีผิวผลที่เขียวสดกว่าชุดควบคุม (Figure 1B)

การเปลี่ยนแปลงค่า b

ค่า b ของผิวผลมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ช่วง 12 วันแรกของการเก็บรักษา ค่า b ของผิวผลมะนาวที่จุ่ม GA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 15 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นมีค่า b ต่ำกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 ppm มีค่า b ต่ำสุด และผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 และ 300 ppm มีค่า b ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ส่วนในวันที่ 21 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 ppm มีค่า b ต่ำสุด และผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 50 และ 300 ppm มีค่า b ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม การมีค่า b ของผิวผลที่ต่ำกว่าชุดควบคุมแสดงว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA มีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับการมีสีเขียว (ค่า a) ที่สูงกว่า (Figure 1C)

การประเมินคุณภาพความสด

การประเมินคุณภาพภายนอกด้วยค่าคะแนนความสดของผลมะนาว พบว่า ค่าคะแนนเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยผลมะนาวที่จุ่ม GA ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในช่วง 6 วันแรก ในช่วงวันที่ 9-12 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 และ 300 ppm มีค่าคะแนนความสดของผลมะนาวสูงกว่าชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับความเข้มข้น 50 ppm ส่วนในวันที่ 15 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ความเข้มข้น 150 ppm มีค่าคะแนนความสดของผลมะนาวสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างกับความเข้มข้น 50 และ 300 ppm และในวันที่ 18-21 ผลมะนาวที่จุ่ม GA ทุกความเข้มข้นมีค่าคะแนนความสดของผลมะนาวสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จะพบว่าผลมะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) มีค่าคะแนนความสดลดลงมากกว่าผลมะนาวที่จุ่ม GA อย่างชัดเจน (Figure 1D)

จากผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ มีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่า ค่า F_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระยะการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นไปตามทิศทางเดียวกันกับการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว และปริมาณแคโรทีนอยด์ ขณะที่ค่า F_m และ F_v/F_m มีค่าลดลงในทุกระยะการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และค่าคะแนนความสด แสดงให้เห็นว่าค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของผลมะนาวได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ สายพร ดวงสา และ เรวดี ชัยราช (2558) ที่พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า F_0 และค่า F_v/F_m คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทั้งในด้านลบและด้านบวกกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านอื่นๆ ของผักกาดขาวที่ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างกัน ดังนั้น การใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการประเมินคุณภาพและการสูญเสียของผลผลิตถือเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง จึงมีศักยภาพในการที่จะพัฒนาเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในอนาคตได้

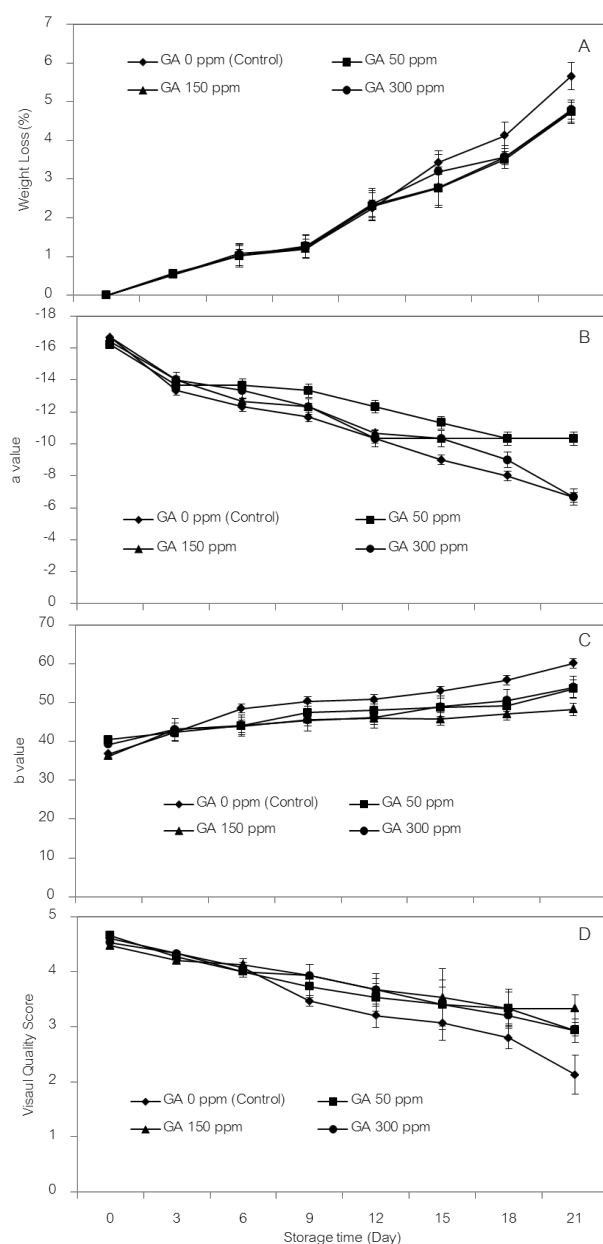


Figure 1 Weight loss (%) (A), peel color chages (a value (B) and b value (C)) and visual quality score (D) of lime fruit (CV Pan) after immersion in GA solutions for 5 min and kept at 25 ± 2 °C for 21 days.

จากผลการทดลองจะพบว่า การจุ่ม GA ทุกความเข้มข้นสามารถรักษาคุณภาพผิวผลมะนาวได้ โดยสามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด รวมถึงชะลอการการสูญเสีย น้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิวผล และรักษาความสดของผลมะนาวได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ได้จุ่ม GA (control) โดยระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 50-150 ppm สามารถเก็บรักษามะนาวได้ 18-21 วัน ขณะที่มะนาวที่ไม่ได้จุ่ม GA (control) สามารถเก็บรักษาได้ไม่เกิน 15 วันที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °C โดย GA สามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลมะนาวที่เก็บรักษาในระดับอุณหภูมิห้องได้ดี

สรุปผลการศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) พบว่า การจุ่ม GA ทุกความเข้มข้น โดยเฉพาะ 150 ppm สามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในช่วงท้ายของการเก็บรักษา และปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (ค่า F_m และ F_v/F_m) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ การจุ่ม GA ทุกความเข้มข้นช่วยชะลอการสูญเสียสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงสีผิวผล (ค่า a และค่า b) และรักษาความสดของผลได้ดีกว่าชุดควบคุม จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่า GA ที่ความเข้มข้น 50-150 ppm มีความเหมาะสมในการรักษาคุณภาพผลมะนาวและสามารถเก็บรักษาผลมะนาวที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ได้ 18-21 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยบางส่วนและเชื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์ด้านต่างๆ เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- นพรัตน์ ทัดมาลา วาริช ศรีละออง สมัคร แก้วสุกแสง ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ และเฉลิมชัย วงษ์อารี. 2556. การสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของมะนาวพันธุ์แป้นและพันธุ์ดาอีติ. *ว. วิทยา. กษ.* 44:3 (พิเศษ): 89-92.
- พีรเดช ทองอำไพ. 2529. *ฮอร์โมนและสารสังเคราะห์แนวทางที่ใช้ประโยชน์ในประเทศไทย*. ไดนามิกการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 196 น.
- ภูวดล บุตรรัตน์. 2532. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อการป้องกันผลร่วงของลองกอง. ใน *รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 27 สาขาพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, กรุงเทพฯ. 399-407 น.
- วาสนา พิทักษ์พล เพ็ญโฉม พจนธารี และสมสุดา วรพันธุ์. 2558. การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา และกรดจิบเบอเรลลิค. *แก่นเกษตร*. 43(1) พิเศษ: 881-887.
- สายพร ดวงสา และ เรวดี ชัยราช. 2558. การประเมินการสูญเสียคุณภาพของผักกาดขาวระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์. *ว. วิทยา. กษ.* 46(3/1): 219-222.
- สมโภชน์ น้อยจินดา. 2540. การหายใจและการผลิตเอทิลีนของมะนาว. *ว. วิทยาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 7(1): 27-31.
- สมาน รักดี ทานอง แสงเชื่อนแก้ว อเนก บางข้า บุญแกม ถาคำฟู และ สุชีพ ชัยนทราคม. 2516. การยืดอายุการเก็บเกี่ยวของส้มเขียวหวานโดยใช้จิบเบอเรลลิน. *รายงานกรมวิชาการเกษตร ปี 2516*, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สายชล เกตุษา. 2528. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 364 น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. *ข้อมูลการปลูกมะนาว 2556-2558*. แหล่งที่มา: <http://aginoo.oae.go.th/ewtnews/MyPDF/lemon.pdf> สืบค้น 20 พฤศจิกายน 2560.
- อรจิรา พรหมทองรักษา และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2555. ผลของการใช้กรดจิบเบอเรลลิค แอสิดและเมทิลไซโคลโพรเพน ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวต่อวันที่เก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของผลมังคุด. *ว. วิทยา. กษ.* 43:3(พิเศษ): 392-395.
- อินทรา ลิจันทรพร เบญจมาพร มธุลาภรังสรรค์ นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลป์ยานรัตน์. 2553. ผลของกรดจิบเบอเรลลินต่อการหลุดร่วง และการผลิตเอทิลีนในข้อผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. *ว. วิทยา. กษ.* 41(1) พิเศษ: 79-82.
- Awad, M.A. and A.D. Al-Qurashi. 2012. Gibberellic acid spray and bunch bagging increase bunch weight and improve fruit quality of 'Barhee' date palm cultivar under hot arid conditions. *Sci. Hortic.* 138: 96 –100.
- Canli, F.A. and H. Orhan. 2009. Effects of preharvest gibberellic acid applications on fruit quality of '0900 Ziraat' sweet cherry. *Hort. Technology* 19: 127–129.
- Edge, R., McGarvey, D. J., and Truscott, T. G. 1997. The carotenoids as anti-oxidants-a review. *J. of Photochem. and Photobiol.* 41(3): 189-200.

- Fuchs, Y., R. Barkai-Golan and N. Aharoni. 1983. Postharvest studies with fresh market tomatoes intended for export. *Plant Growth Regul.: Abstr.* 7:554.
- Gholami, M., A. Sedighi, A. Ershadi and H. Sarikhani. 2010. Effect of pre- and postharvest treatments of salicylic acid and gibberellic on ripening and some physicochemical properties of 'Mashhad' sweet cherry fruit. *Acta Hort.* 884 : 257–264.
- Ghoochani, R., Riasat, M., Rahimi, S. and Rahmani, A. 2015. Biochemical and physiological characteristic changes of wheat cultivars under arbuscular mycorrhizal symbiosis and salinity stress. *Biol. Forum – An International Journal.* 7(2): 9 p.
- Goebel, E., and Calatayud, A. 2012. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review. *Scientia Horticulturae*: 138: 24-35.
- Kaewsuksaeng, S., Urano, Y., Aiamla-or, S., Shigyo, M. and Yamauchi, N. 2011. Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 61(2-3): 124-130.
- Kaewsuksaeng, S., Tatmala, N., Srilaong, V., and Pongprasert, N. 2015. Postharvest heat treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality in Thai lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Paan) fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 100: 1-7.
- Lichtenthaler, H. K. and. Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chem.* : F4.3.1 - F4.3.8.
- Mekwatanakarn, W. and Chairat, R. 2008. Chlorophyll Fluorescence as a Nondestructive Tool for Detection of Deterioration of Mango in Modified Atmosphere Packaging. *Acta Hort.* 837: pp. 279-284.
- Mekwatanakarn, W. and Chairat, R. 2009. Chlorophyll Fluorescence and Fruit Quality during Storage of Mango Fruit in Modified Atmosphere Packaging. *Acta Hort.* 876: 179-182.
- Opio, P., Jitareerat, P., Pongprasert, N., Wongs-Aree, C., Suzuki, Y., and Srilaong, V. 2017. Efficacy of hot water immersion on lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle cv. Paan) fruit packed with ethanol vapor in delaying chlorophyll catabolism. *Scientia Horticulturae.* 224: 258-264.
- Porat, R., X. Feng, M. Huberman, D. Galili, R. Goren and E. E. Goldschmidt. 2001. Gibberellic acid slows postharvest degreening of 'Oroblanco' citrus fruits. *HortSci.* 36(5):937–940.
- Srilaong, V., Aiamla-Or, S., Soontornwat, A., Shigyo, M., and Yamauchi, N. 2011. UV-B irradiation retards chlorophyll degradation in lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biol. and Technol.* 59(1): 110-112.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Win, T. O., Srilaong, V., Heyes, J., Kyu, K. L. and Kanlayanarat, S. 2006. Effects of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle) fruit. *Postharvest Biol. and Technol.* 42(1): 23-30.

วันรับบทความ (Received date) : 22 ม.ค. 61

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 3 ส.ค. 61

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 20 พ.ย. 61