ผลของการกระตุ้นจากสภาวะปราศจากออกซิเจนระยะสั้นต่อการสูญเสียน้ำหนักและรงควัตถุของมะเฟืองพันธุ์สีทอง

Effect of Short-Term Anoxia on Weight Loss and Pigments of Carambola Fruit Cv.See-Thong

ประกายดาว ยิ่งสง่า[1*] สุพรรณษา คงภักดี[2] ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร[3] ทันวลี ศรีนนท์[4] ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์[4] และลดา มัทธุรศ[5]

Prakaidao Yingsanga [1*], Supansa Kongpakdee [2], Chairat Techavuthiporn [3], Thanwalee Srinon [4]

Pongphen Jitareerat [4] and Lada Mathurasa [5]

Received date: 20 ต.ค. 66 Revised date: 12 ธ.ค. 66 Accepted date: 18 ธ.ค. 66

DOI: https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.014

บทคัดย่อ

ภาวะปราศจากออกซิเจนระยะสั้นหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดทางการเกษตรเป็นการกระตุ้นให้พืชเกิดความเครียดซึ่งอาจมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นเวลา 0 (ชุดควบคุม) 12 24 และ 36 ชั่วโมงต่อการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะเฟืองพันธุ์สีทอง โดยบันทึกข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70 แล้วบันทึกผลทุก ๆ 2 วัน เป็นระยะเวลา 8 วันหลังการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่าการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนทุกชุดการทดลองช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ดีที่สุด รองลงมาคือระยะเวลา 36 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และชุดควบคุมตามลำดับ โดยชุดการทดลองการให้สภาวะปราศจากออกซิเจน และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ปริมาณแคโรทีนอยด์ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 36 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ ดังนั้นการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลาที่เหมาะสมมีแนวโน้มช่วยคงคุณภาพมะเฟืองพันธุ์สีทองหลังการเก็บเกี่ยวได้

คำสำคัญ: มะเฟือง ภาวะปราศจากออกซิเจน ระยะเวลา คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์

Abstract

The effect of a short-term anoxia may induce stress, which can prolong the good qualities of fresh produce after harvest. The objective of this research was to study the effects of a short-term anoxia (0; control, 12, 24 and 36 h) on weight loss, chlorophyll a (Ca), chlorophyll b (Cb) and carotenoids content of carambola fruit cv. See-Thong. Collected data were analyzed for 2-day intervals during storage at 25±2 °C 60-70%RH up to 8 days. The results showed that short-term anoxia treatment could help retarding weight loss, as well as Ca,

[1] สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

[3] ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[4] สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10150

[5] สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร บางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

[1] Department of Modern Agricultural Technology Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

[2] Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

[3] Department of Agricultural Education, Faculty of Industrial and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang, Bangkok 10520

[4] Postharvest Technology Program, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10150

[5] Department of Environmental and Natural Resource Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

* Corresponding author. E-mail: prakaidao@pnru.ac.th

and Cb degradations. Treatment of short-term anoxia showed best results at 24 h, followed by 36 h, 12 h, and control, respectively. There was no significant difference between the anoxia treatments and the control at 8 days of storage. Carotenoid content tended to increase all treatments especially in the control, followed by anoxia treatments of 12 h, 36 h, and 24 h, respectively. Therefore, a short-term anoxia treatment at the appropriate time can help maintaining carambola fruit cv. See-Thong after harvest.
Keywords: carambola, star fruit, anoxia, chlorophyll, carotenoids

คำนำ

มะเฟือง (*Averrhoa carambola* Linn.) มีชื่อสามัญคือ carambola หรือ star fruit เป็นผลไม้ที่อยู่ในวงศ์ Averrhoaceae พบเห็นได้ทั่วไปในเขตร้อนชื้น มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ มีลักษณะรูปทรงยาวรีเป็นฟันเฟืองขึ้นเป็นสันตั้งแต่ 3 ถึง 6 พู เมื่อตัดตามขวางจะได้รูปทรงเป็นรูปดาวหรือ star shape จึงเป็นที่มาของคำว่า star fruit (O'Hare, 1993; Yasawardene et al., 2020) นิยมบริโภคผลสุก คั้นเป็นน้ำผลไม้ ไอศกรีมซอร์เบต์ (sorbet) และนำมาตกแต่งในเครื่องดื่ม สลัดผัก และสลัดผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการบริโภคผลอ่อน (สีเขียว) ในรูปแบบผักรับประทานสดซึ่งเป็นที่นิยมในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (O'Hare, 1993; Teixeira et al., 2012) ผลสุกของมะเฟืองจะมีสีเหลืองอมเขียว เนื้อภายในมีความฉ่ำ มีรสชาติเฉพาะตัว หวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีสารอาหารหลากหลายชนิด เช่น วิตามินเอ บี1 บี2 และซี ไนอาซีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก และยังมีการตรวจพบสารสำคัญอื่นๆ คือ Epicatechin และ Gallic acid โดยกลุ่มของสารสำคัญมีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถช่วยควบคุมกระบวนการอักเสบและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายได้เป็นอย่างดี มะเฟืองมีสารประกอบที่สำคัญหลากหลายชนิดซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีสรรพคุณช่วยในการผลัดเซลล์ผิว (Teixeira et al., 2012; Mustafa et al., 2016; Muthu et al., 2016; Yasawardene et al., 2020)

ความเครียดที่เกิดจากสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic stress) สามารถพบได้ตลอดตั้งแต่การเพาะเมล็ด การปลูก จนกระทั่งถึงขั้นตอนการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว (Tigchelaar et al., 2018; Vaughan et al., 2018; Chrysargyris et al., 2019; Lamers et al., 2020; Yingsanga & Techavuthiporn, 2020) ซึ่งอาจทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ ได้ผลผลิตต่ำ เกิดความผิดปกติทางกายภาพ ชีวภาพ และมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Hodges & Toivonen, 2008; Pedreschi & Lurie, 2015; Khan et al., 2021) โดยปกติพืชจะพยายามปรับตัวทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ ชีวเคมี ตลอดจนระดับยีนเพื่อต้านทานความเครียดที่เกิดขึ้นจนกระทั่งเหมาะสมกับสภาวะความเครียดนั้น ๆ (Khan et al., 2021)

ความเครียดเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์สำหรับสิ่งมีชีวิตและเนื้อเยื่อที่ยังคงมีชีวิต (Bhoi et al., 2022) และยังมีผลให้เกิดการผิดปกติต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสูญเสียน้ำหนัก วิตามินซี การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ เนื้อเยื่ออ่อนตัว การเกิดจุดช้ำ การสุกที่ผิดปกติ และการเกิดสีน้ำตาล (Lamikanra & Richard, 2002; Aguayo et al., 2004; Gil et al., 2006; Hodges & Toivonen, 2008) ถึงแม้ว่าความเครียดอาจส่งผลที่ไม่ดีกับพืชหลังการเก็บเกี่ยว แต่หากพืชได้รับความเครียดในระยะเวลาไม่นานเกินไป และเหมาะสมพบว่าช่วยคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Kelly & Salveit, 1998) มีรายงานว่าการทำให้พืชเกิดสภาวะการขาดออกซิเจนในระยะเวลาสั้น ๆ (short-term anoxia) ช่วยกระตุ้นให้ผลิตเอทานอลในระดับที่เหมาะสมช่วยลดการเปลี่ยนแปลงกายภาพและชีวภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ (Fallik et al., 2005; Techavuthiporn et al., 2021) เช่น ยืดอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่ (Jiang et al., 2004) กีวี่ (Song et al., 2009) และสับปะรด (Techavuthiporn et al., 2017)

Ali et al. (2004) รายงานว่าผลมะเฟือง (ระยะแก่สีเขียวบริบูรณ์; mature green) มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวอ่อน สีเหลืองแกมเขียว สีเหลือง สีเหลืองส้ม และสีส้ม และมีการสูญเสียน้ำหนักถึงร้อยละ 20 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 3 สัปดาห์ ซึ่ง Techavuthiporn & Boonyaritthongchai (2016) พบว่าสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของระยะเวลาในการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเฟืองพันธุ์สีทอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณรงควัตถุระหว่างการเก็บรักษา

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

มะเฟือง พันธุ์สีทอง ทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกทางการค้า (เขียวอมเหลือง) (น้ำหนักประมาณ 300 ± 50 กรัม) จากสวนในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ ภายในระยะเวลา

2-3 ชั่วโมง ทำการคัดเลือกลูกมะเฟืองที่มีรูปทรงและขนาดปกติ ปราศจากตำหนิและสิ่งปนเปื้อน หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและวางผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

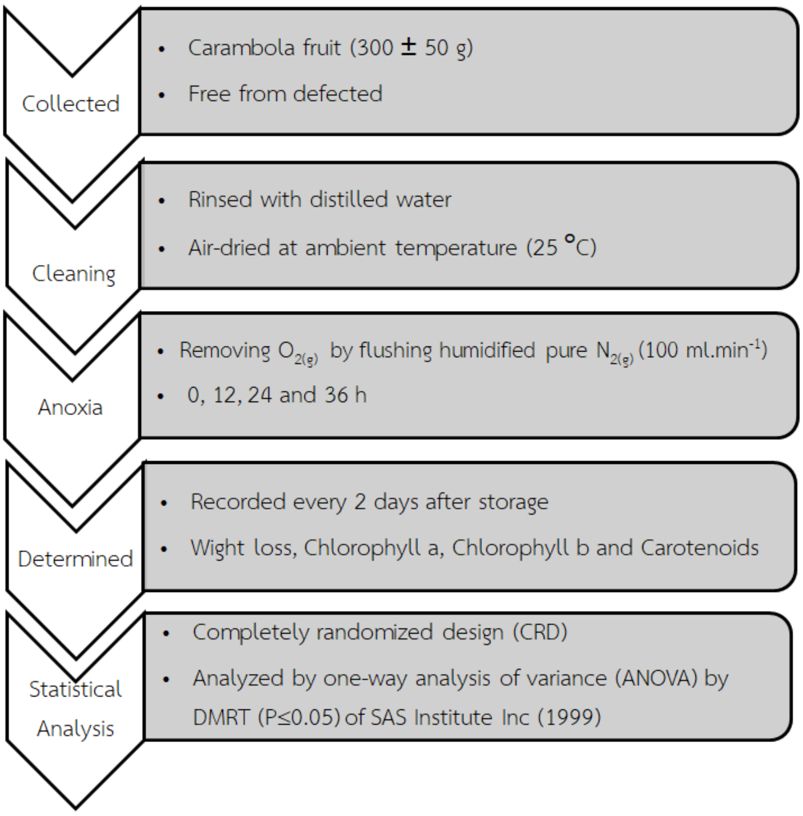

Figure 1 Flow chart diagram of materials and methods of this research

การดำเนินงานวิจัย

ทำการสุ่มมะเฟืองที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก ล้างสะอาด และผึ่งจนแห้งแล้ว ไปบรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 10 ลิตร ปิดผนึกให้สนิท (12-14 ผลต่อกล่อง) หลังจากนั้นทำให้เกิดสภาวะปราศจากออกซิเจนด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่อัตราการไหล 100 $ml{\cdot}min^{-1}$ เป็นระยะเวลา 0 (ชุดควบคุม: control) 12 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดนำมะเฟืองไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 6×14 นิ้ว และทำการปิดปากถุงเสมือนการขายปลีกในตลาด นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70 เป็นระยะเวลา 8 วัน ทำการเก็บผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน (Figure 1)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลมะเฟืองตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษาด้วยตาชั่งดิจิตอล (A&D Japan, model FX-2000i 2200 × 0.01g) อัตราการสูญเสียน้ำหนักคำนวณจากความแตกต่างระหว่างวันเริ่มต้นและวันที่บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น บันทึกข้อมูลเป็นร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก (Barman et al., 2011)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์

ดัดแปลงวิเคราะห์ของ Wellburn (1994) โดยนำตัวอย่างเนื้อผลมะเฟืองน้ำหนัก 2.5 กรัม บดกับสารสกัด N,N-dimethyl formamide ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ละเอียดจากนั้นนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที แล้วนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480, 647 และ 664 นาโนเมตร ตามสูตรการคำนวณ

$$\text{Chlorophyll a content } (C_a) = 11.65A_{664} - 2.69A_{647}$$

$$\text{Chlorophyll b content } (C_b) = 20.81A_{647} - 4.53A_{664}$$

$$\text{Carotenoids content} = (1000A_{480} - 0.89C_a - 52.02C_b)/245$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) ด้วย SAS Institute Inc (1999)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการสูญเสียน้ำ มีผลให้ลักษณะปรากฏของผลิตผลสูญเสียความเต่ง และ/หรือแสดงอาการเหี่ยว นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับเมแทบอลิซึมของผลิตผล กล่าวคือผลิตผลที่มีอัตราเมแทบอลิซึมสูงจะมีอัตราการหายใจสูงมากกว่าผลิตผลที่มีเมแทบอลิซึมต่ำ (Vázquez-Celestino et al., 2016) การปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาทำได้โดยการลดปริมาณออกซิเจน และ/หรือเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะช่วยลดเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของผลิตผลสด และมีผลช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Matar et al., 2021) จากผลการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 วัน การสูญเสียน้ำหนักของมะเฟืองทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียไม่ถึงร้อยละ 1 (Table 1 & Figure 2) โดยมะเฟืองที่ผ่านการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (24 h anoxia) มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Techavuthiporn & Boonyaritthongchai (2016) รายงานว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการให้สภาวะปราศจากออกซิเจนมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดที่ไม่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน และ Perez-Tello et al. (2001) ยังพบว่าการเก็บรักษามะเฟืองในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการสูญเสียน้ำหนักได้

Table 1 Weight loss (%) of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25±2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	Weight loss (%)[1/]				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	0.00	0.24	0.44a	0.61ab	0.84
12 h Anoxia	0.00	0.19	0.38ab	0.67a	0.85
24 h Anoxia	0.00	0.19	0.32b	0.49c	0.71
36 h Anoxia	0.00	0.28	0.40a	0.54bc	0.75
F-test	ns	ns	*	**	ns

[1/] Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant ($P<0.05$) and ** = highly significant ($P<0.01$)) as determined by Duncan's multiple range test.

รงควัตถุเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดสีในผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งเป็นปัจจัยแรกที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคใช้ในการประเมินความสด กลิ่น และรสชาติ เพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อผลิตผล (Nisha et al., 2011; Schouten et al., 2014; Yingsanga & Mathurasa, 2019) คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ทำให้ผักและผลไม้สดมีสีเขียว (Ma et al., 2009; Chen et al., 2012) การสูญเสียสีเขียวเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด และเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญชนิดหนึ่งในการประเมินคุณภาพของผลิตผลสด (Jara et al., 2019) โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์ในพืชพบสองชนิดคือคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี (Nelson & Yocum, 2006) เมื่อเริ่มทำการเก็บรักษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของมะเฟืองพันธุ์สีทองมีค่าประมาณ 3 $mg \cdot kg^{-1}$ ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บี มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1 $mg \cdot kg^{-1}$ (Table 2 และ Table 3) สอดคล้องกับ Pornchaloem & Rattanapanone (2021) ที่รายงานว่าคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีที่พบในพืชมีอัตราส่วน 3:1 โดยการใช้สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีส่วนช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์เอ (Table 2) ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น (วันที่ 0 ของการเก็บรักษา) ซึ่งคงเหลือถึงร้อยละ 47.51 ตามลำดับ รองลงมาคือชุดที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน

ระยะเวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่มะเฟืองที่ไม่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลาสั้น ๆ มีการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์เอไปถึงร้อยละ 76.97 ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือชุดการทดลองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจน 24 ชั่วโมงช่วยชะลอการสูญเสียได้ดีที่สุด (Table 3)

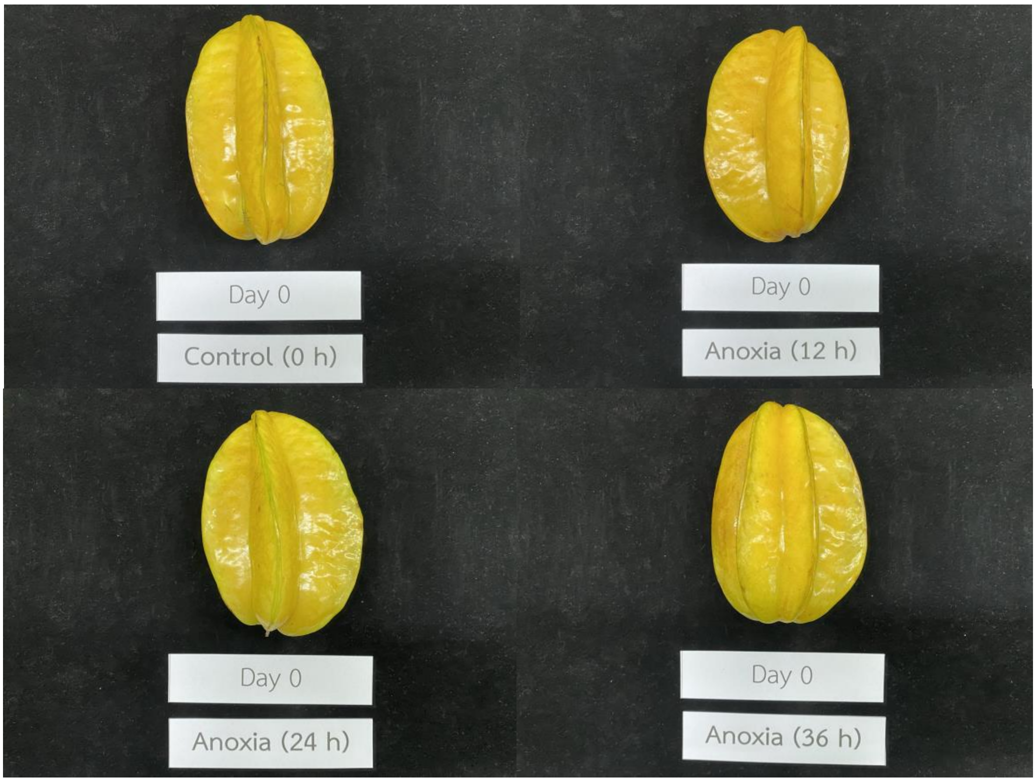

Figure 2 'See-Thong' carambola fruit at the beginning days after exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments

Table 2 Chlorophyll a content of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25±2 °C), 60-70 %RH (n=4)

Treatments	Chlorophyll a content ($mg.kg^{-1}$) 2/				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	3.43	2.12	1.57	1.19	0.79
12 h Anoxia	3.01	3.20	1.89	1.35	0.78
24 h Anoxia	3.15	3.11	2.29	2.33	1.49
36 h Anoxia	3.59	3.29	1.69	1.06	1.10
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

2/ Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant;) as determined by Duncan's multiple range test.

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีเหลืองไปจนถึงสีเหลืองทอง (Lewis et al., 2003; Ma et al., 2009; Chen et al., 2012) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด (Lichtenstein, 2009; Nishino et al., 2009) และยังเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Edem, 2009) ตามธรรมชาติเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น (Costa et al., 2012; Carmona et al., 2012) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะเฟืองไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของ

มะเฟืองชุดที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลอง 36 0 และ 12 ชั่วโมง (ชุดควบคุม) ตามลำดับ (Table 4) สอดคล้องกับรายงานของ Ding et al. (2002) พบว่าการเก็บรักษาผล loquat ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศน้อย (3-7 kPa และ 2-4 kPa ที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ชะลอการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์

Table 3 Chlorophyll b content of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25±2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	**Chlorophyll b content (mg.kg^{-1})** [3/]				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	1.05	0.90	0.67b	0.82	0.73
12 h anoxia	1.10	1.13	0.80b	0.83	0.59
24 h Anoxia	1.35	1.02	1.58a	1.27	0.85
36 h Anoxia	1.12	1.09	0.83b	0.91	0.71
F-test	ns	ns	*	ns	ns

[3/] Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant (P<0.05) and ** = highly significant (P<0.01)) as determined by Duncan's multiple range test.

ผลิตผลที่เก็บรักษาในสภาวะปราศจากออกซิเจนจะมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเอทานอล ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล (Kelly & Salveit, 1998) การประยุกต์ใช้สภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลาสั้น ๆ และเหมาะสมจะช่วยป้องกันความผิดปกติทางกายภาพ ชะลอการสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผล รวมไปถึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Techavuthiporn et al., 2021) นอกจากนี้ปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมอาจมีผลช่วยชะลอกระบวนการทางชีววิทยา เช่น การผลิตเอทิลีน และการตอบสนองต่อแก๊สเอทิลีนของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Lurie & Pesis, 1992; Suzuki & Nagata, 2019) สอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่พบว่ามะเฟืองที่ผ่านสภาวะปราศจากออกซิเจนในระยะเวลาสั้น ๆ มีแนวโน้มช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ยับยั้งการสูญเสียคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี รวมทั้งช่วยลดการสะสมแคโรทีนอยด์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับบร็อคโคลี (Techavuthiporn et al., 2021) หน่อไม้ฝรั่ง (Techavuthiporn & Boonyaritthongcha, 2016) และสับปะรด (Yingsanga & Techavuthiporn, 2020) นอกจากนี้ยังมีผลชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศ โดยอาจมีผลในการลดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (Fallik et al., 2005) ซึ่งเอทิลีนและอัตราการหายใจมีผลในการกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Purvis & Barmore, 1981; Yin et al., 2016) ปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากและมีอิทธิพลภายหลังการเก็บเกี่ยวคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส มีผลในการเร่งการเสื่อมเสียผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวถึง 2-3 เท่า (Kader, 2013) ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตควรทำการศึกษาผลของปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะปราศจากออกซิเจนที่เหมาะสมร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคทั่วไปเนื่องจากทุกครัวเรือนมีตู้เย็นหรือตู้ควบคุมอุณหภูมิใช้งานตามปกติ ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาวะปราศจากออกซิเจนมีความยุ่งยากมากกว่าเนื่องจากต้องมีภาชนะเฉพาะที่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของอากาศได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังต้องมีการควบคุมการใช้ก๊าซจึงทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานระดับอุตสาหกรรมมากกว่า

Table 4 Carotenoids content of 'See-Thong' carambola fruit exposed to 0 (control), 12, 24 and 36 h anoxia treatments and stored at ambient temperature (25±2 °C), 60-70%RH (n=4)

Treatments	Carotenoids content (mg.kg^{-1}) 4/				
	D0	D2	D4	D6	D8
Control	2.09	6.05	6.99	9.00	9.31
12 h Anoxia	2.35	4.08	5.23	8.07	10.15
24 h Anoxia	2.57	3.27	3.56	5.48	7.37
36 h Anoxia	3.02	3.76	5.21	6.31	7.87
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

4/ Values with different letters in a column show significant differences (ns = non-significant; * = significant (P<0.05) and ** = highly significant (P<0.01)) as determined by Duncan's multiple range test.

สรุปผลการศึกษา

สภาวะปราศจากออกซิเจนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และชะลอการสะสมแคโรทีนอยด์ของผลมะเฟืองพันธุ์สีทองได้ดีที่สุด รองลงมาคือสภาวะปราศจากออกซิเจน 36 12 และ 0 ชั่วโมง ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Aguayo, E., Escalona, V., & Artes, F., (2004). Metabolic behavior and quality changes of whole and fresh processed melon. **Journal of Food Science**, 69, 149–155.

Ali, Z. M., Chin, L., Marimuthu, M., & Lazan, H., (2004). Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carmabola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biology and Technology**, 33, 181-192.

Bhoi, A., Yadu, B., & Keshavkant, S. (2022). Mutagenesis: a coherent technique to develop biotic stress resistant plants. **Plant Stress**, 3, 100053.

Barman, K., Asrey, R., & Pal, P. K. (2011). Putrescine and carnuba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage. **Scientia Horticulturae**, 130, 795-800.

Carmona, L., Zacarías, L., & Rodrigo, M. J. (2012). Stimulation of coloration and carotenoid biosynthesis during postharvest storage of 'Navelina' orange fruit at 12 °C. **Postharvest Biology and Technology**, 74, 108-117.

Chen, J., Funnell, K. A., Lewis, D. H., Eason, J. R., & Woolley, D. J. (2012). Relationship between changes in colour and pigment content during spathe regreening of *Zantedeschia* 'Best Gold'. **Postharvest Biology and Technology**, 67, 124-129.

Chrysargyris, A., Papakyriakou, E., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N., (2019). The combined and single effect of salinity and copper stress on growth and quality of Mentha spicata plants. **Journal of Hazardous Materials**, 368, 584–593.

Costa, M. G. C., Moreira, C. D., Melton, J. R., Otoni, W. C., & Moore, G. A. (2012). Characterization and developmental expression of genes encoding the early carotenoid biosynthetic enzymes in *Citrus paradisi* Macf. **Molecular Biology Reports**, 39(2), 895-902.

Edem, D. O. (2009). Vitamin A: a review. **Asian Journal of Clinical Nutrition**, 1(1), 65-82.

Fallik, E., Alkalai-Tuvia, S., Shalom, Y., Larkov, O., & Ravid, U. (2005). Tomato flavor and aroma quality as affected by a short anoxia treatment. **Acta Horticulturae**, 682, 437-444.

Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 54, 4284–4296.

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

Jara, A. M. R., Gómez-Lobato, M., Civello, P. M., & Martínez, G. A. (2019). Effect of hormonal and physical treatments on the expression of a putative chlorophyll *b* reductase gene (*BoNYC1*) during postharvest senescence of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, 147, 107-112.

Jiang, Y., Su, X., Duan, X., Lin, W., & Li, Y. (2004). Anoxia treatment for delaying skin browning inhibiting disease development and maintaining the quality of litchi fruit. **Food Technology and Biotechnology**, 42, 131-134.

Kader, A. A. 2013. Postharvest technology of horticultural crops – an overview from farm to fork. **Ethiopian Journal of Applied Science and Technology**, 1, 1-8.

Kelly, M. O., & Saltveit M. E. (1998). Effect of endogenously synthesized and exogenously applied ethanol on tomato fruit ripening. **Plant Physiology**, 88, 143-147.

Khan, M. I. R., Ashfaque, F., Chhillar, H., Irfan, M., & Khan, N. A. (2021). The intricacy of silicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance: An entrancing crosstalk between stress alleviators. **Plant Physiology and Biochemistry**, 162, 36-47.

Lamers, J., Van der Meer, T., & Testerink, C. (2020). How plants sense and respond to stressful environments. **Plant Physiology**, 182, 1624–1635.

Lamikanra, O., & Richard, O. A. (2002). Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, 4043–4047.

Lewis, D. H., Arathoon, H. S., Swinny, E. E., Huang, S. C., & Funnell, K. A. (2003). Anthocyanin and carotenoid pigments in spathe tissue from selected *Zantedeschia* hybrids. **Acta Horticulturae**, 624, 147-154.

Lichtenstein, A. H. (2009). Nutrient supplements and cardiovascular disease: a heart breaking story. **Journal of Lipid Research**, 50(Suppl.), S429-S433.

Lurie, S., & Pesis, E. (1992). Effect of acetaldehyde and anaerobiosis as postharvest treatments on the quality of peaches and nectarines. **Postharvest Biology and Technology**, 1, 317-326.

Ma, G., Wang, R., Wang, C. R., Kato, M., Yamawaki, K., Qin, F., & Xu, H. L. (2009). Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. **Plant Growth Regulation**, 57(3), 223-232.

Mustafa, M. A., Ali, A., Seymour, G., & Tucker, G. (2016). Enhancing the antioxidant content of carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. **Postharvest Biology and Technology**, 118, 79-86

Muthu, N., Lee, S. Y., Phua, K. K., & Bhore, S. J. (2016). Nutrition, medicinal and toxicological attributes of star-fruits (*Averrhoa carambola* L.): A review**. Bioinformation**, 12(12), 420-424.

Nelson, N., & Yocum, C. F. (2006). Structure and function of photosystems I and II. **Annual Review of Plant Biology**, 57(1), 521-565.

Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2011). Kinetic modeling of colour degradation in tomatoes puree (*Lycopersicon esculentum* L.). **Food and Bioprocess Technology**, 4, 781-787.

Nishino, H., Murakoshi, M., Tokuda, H., & Satomi, Y. (2009). Cancer prevention by carotenoids. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 483, 165-168.

O'Hare, T. J. (1993). Postharvest physiology and storage of carambola (starfruit): a review. **Postharvest Biology and Technology**, 2, 257-267

Pedreschi, R., & Lurie, S. (2015). Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stress in perishables. **Postharvest Biology and Technology**, 107, 77-89.

Pérez-Tello, G. O., Silva-Espinoza, B. A., Vargas-Arispuro, I., Briceño-Torres, B. O., & Martinez-Tellez, M. A. (2001). Effect of temperature on enzymatic and physiological factors related to chilling injury in carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.). **Biochemical and Biophysical Research Communications**, 287, 846-851.

Pornchaloempong, P., & Rattanapanone, N., (2021). Chlorophyll. Retrieved from: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1341/chlorophyll-Chlorophyll. (in Thai).

Purvis, A. C., & Barmore, C. R. (1981). Involvement of ethylene in chlorophyll degradation in peel of citrus fruits. **Plant Physiology**, 68(4), 854-856.

Schouten, R. E., Farneti, B., Tijskens, L. M. M., Alarcón, A. A., & Woltering, E. J. (2014). Quantifying lycopene synthesis and chlorophyll breakdown in tomato fruit using remittance VIS spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, 96, 53-63.

Song, L., Gao, H., Chen, H., Mao, J., Zhou, Y., Chen, W., & Jiang, Y. (2009). Effect of short-term anoxia treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage**. Food Chemistry**, 114, 1216-1221.

Suzuki, Y., & Nagata, Y. (2019). Postharvest ethanol vapor treatment of tomato fruit stimulates gene expression of ethylene biosynthetic enzymes and ripening related transcription factors, although it suppresses ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 152, 118-126.

Techavuthiporn, C., & Boonyaritthongchai, P. (2016). Effect of prestorage short-term anoxia treatment and modified atmosphere packaging on the physical and chemical changes of green asparagus. **Postharvest Biology and Technology**, 117, 64-70.

Techavuthiporn, C., Boonyaritthongchai, P., & Supabvanich, S. (2017). Physicochemical changes of 'Phulae' pineapple fruit treated with short-term anoxia during ambient storage. **Food Chemistry**, 228, 388-393.

Techavuthiporn, C., Thammawong, M., & Nakano, K. (2021). Effect of short-term anoxia treatment on endogenous ethanol and postharvest responses of broccoli florets during storage at ambient temperature. **Scientia Horticulturae**, 277, 109813.

Teixeira, G. H. A., Durigan, J. F., Ferraudo, A. S., Alves, R. E., & O'Hare,T. J. (2012). Multivariate analysis of fresh-cut carambola slices stored under different temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, 63, 91-97.

Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Naylor, R. L., & Ray, D. K. (2018). Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 115, 6644–6649.

Vaughan, M. M., Block, A., Christensen, S. A., Allen, L. H., & Schmelz, E. A. (2018). The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. **Phytochemistry Reviews**, 17(1), 37–49.

Vázquez-Celestino, D., Ramos-Sotelo, H., Rivera-Pastrana, D. M., Vázquez-Barrios, M. E., & Mercado-Silva., E. M. (2016). Effects of waxing, microperforated polyethylene bag, 1-methylcyclopropene and nitric oxide on firmness and shrivel and weight loss of 'Manila' Mango fruit during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 111, 398-405.

Wellburn, A. R. (1994). The Spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions. **Journal of Plant Physiology**, 144(3), 307-313.

Yasawardene, P., Jayarajah, U., Zoysa, I. D., & Seneviratne, S. L. (2020). Mechanisms of star fruit (*Averrhoa carambola*) toxicity: A mini-review. **Toxicon**, 187, 198-202.

Yin, X. Xie, X., Xia, X., Yu, J., Ferguson, I B., Giovannoni, J. J., & Chen, K. (2016). Involvement of an ethylene response factor in chlorophyll degradation during citrus fruit degreening. **The Plant Journal**, 86, 403-412.

Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2019). Yellowing development of Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabla).* **Phranankhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 14(1), 76-90. (in Thai).

Yingsanga, P., & Techavuthiporn, C. (2020). Effect of short-term anoxia treatments on quality changes in fresh cut pineapple cv. Sri-Racha. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 15(2), 185-193.