วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเกษตร
Agricultural Science and Innovations Journal
ปีที่ 56 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2568 | Vol.56 No.2 May-August 2025

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ASJ

การใช้บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปลงย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาดอกไม้กินได้

Potential use of biodegradable modified atmosphere packaging (MAP) to prolong shelf life of edible flowers

อชิรญา พรมจินา[1]
Achiraya Promjina[1]
อินทุอร ยมหา[1]
Intuon Yommaha[1]
กาญจนา บุญเรือง[1,*]
Kanchana Boonruang[1,*]

[1] *ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*
[1] *Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900*

**Corresponding author: kanchana.boon@ku.th*

ประวัติบทความ

รับเรื่อง: 31 สิงหาคม 2567
ปรับแก้ไข: 30 พฤศจิกายน 2567
รับตีพิมพ์: 24 ธันวาคม 2567

คำสำคัญ

ดอกผีเสื้อ
บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปลง
พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต
พอลิแลคติกแอซิด

Article History

Received: 31 August 2024
Revised: 30 November 2024
Accepted: 24 December 2024

Keywords

Dianthus chinensis L.
Modified atmosphere packaging (MAP)
Biodegradable plastic
Polylactic acid (PLA)
Polybutylene succinate (PBS)

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: ดอกผีเสื้อเป็นดอกไม้กินได้ที่ได้รับความนิยม แต่เสื่อมเสียง่ายและมีอายุการเก็บรักษาสั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ทางการค้าจากพลาสติกฐานปิโตรเลียม ได้แก่ ฟิล์ม oriented polypropylene (OPP) และกล่องพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของดอกผีเสื้อ

วิธีดำเนินการวิจัย: ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วย 1) กล่อง PP (ชุดควบคุม) 2) ฟิล์ม OPP 3) ฟิล์ม PLA และ 4) ฟิล์ม PBS วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 3 ซ้ำ ซ้ำละ 9 ดอก เก็บรักษาที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน บันทึกผลทุก 2 วัน ได้แก่ ปริมาณ O_2 และ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนสีดอก และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ

ผลการวิจัย: ฟิล์ม OPP, PLA และ PBS สร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลไม่ต่างจากอากาศปกติในวันที่ 6 มีค่า O_2 17.65 ± 0.83% และ CO_2 1.90 ± 0.24% โดยดอกผีเสื้อที่บรรจุในฟิล์ม PBS สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 17.51 ± 6.38% แต่ในวันที่ 10 ดอกผีเสื้อที่บรรจุในฟิล์ม OPP มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 21.66 ± 5.92%

สรุป: ฟิล์ม OPP สามารถยืดอายุการเก็บรักษาดอกผีเสื้อได้นานที่สุด 12 วัน เนื่องจากมีการยอมให้ผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด รองลงมา ได้แก่ ฟิล์ม PBS และกล่อง PP จากผลการศึกษาพบว่า PBS ช่วยรักษาคุณภาพของดอกไม้กินได้และมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ทดแทนพลาสติกฐานปิโตรเลียมได้

การอ้างอิง

อชิรญา พรมจินา, อินทุอร ยมหา, และ กาญจนา บุญเรือง. 2568. การใช้บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปลงย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาดอกไม้กินได้. ว. วิทย. นวัต. กษ. 56(2): 114–124.

How to cite

Promjina, A., I. Yommaha and K. Boonruang. 2025. Potential use of biodegradable modified atmosphere packaging (MAP) to prolong shelf life of edible flowers. Agric. Sci. Innov. J. 56(2): 114–124.

Abstract

Background and Objective: China pink is a popular edible flower, but it is prone to deterioration and has a short shelf life. This research aimed to study the use of biodegradable plastic films, namely polylactic acid (PLA) and polybutylene succinate (PBS), in comparison with non-degradable petroleum-based plastic commercial packaging, namely oriented polypropylene (OPP) film, and polypropylene (PP) box, on the quality and shelf life of China pink.

Methodology: Effects of four types of plastic packaging were studied, consisting of 1) polypropylene (PP) box (Control), 2) oriented polypropylene (OPP) film, 3) polylactic acid (PLA) film, and 4) polybutylene succinate (PBS) film. The experiment employed a completely randomized design (CRD) with three replications, each with nine flowers. The samples were stored at 4 ± 1 °C for 14 days. Gas composition (O_2 and CO_2) in the packages, weight loss, color change, and sensory evaluation (Visual score) of the flowers were observed every two days.

Main Results: OPP, PLA, and PBS films reached an equilibrium-modified atmosphere, which was not significantly different from normal air, with 17.65 ± 0.83% O_2 and 1.90 ± 0.24% CO_2 on the 6th day of storage. Although China pink flowers packaged in PBS film had the lowest weight loss at 17.51 ± 6.38% on day 6th, those flowers packed in OPP film showed the least weight loss at 21.66 ± 5.92% on the 10th day of storage.

Conclusions: OPP film could extend the longest shelf life of China pink flowers to 12 days due to its lowest water vapor permeability, while PBS film and PP boxes could extend the shelf life of China pink flowers to 8 days and 6 days, respectively. The results indicated that PBS could maintain the quality of edible flowers and has the potential to serve as an alternative to traditional petroleum-based plastics.

บทนำ

ดอกไม้กินได้ (Edible flowers) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผักรับประทานดอก กลุ่มไม้ดอกประดับที่มีสีสันสวยงาม และกลุ่มอื่น ๆ เช่น ดอกไม้ที่มีฤทธิ์ทางยา ดอกไม้กินได้หลายชนิดมีคุณค่าทางอาหารมากมายโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งมีรายงานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากน้อยต่างกันไปตามชนิดของดอกไม้กินได้และสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบ โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่พบ เช่น แอนโทไซยานิน สารประกอบ ฟีนอลิก วิตามินซี (Stefaniak and Grzeszczuk, 2019; Shantamma *et al*., 2021; Pêgo *et al*., 2022) ทำให้ดอกไม้กินได้ได้รับความนิยมในการบริโภคมากยิ่งขึ้น (Kou *et al*., 2012; Stefaniak and Grzeszczuk, 2019; Pêgo *et al*., 2022) ดอกไม้กินได้ที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่งในปัจจุบัน คือ ดอกผีเสื้อ (*Dianthus chinensis*) หรือ China pink ซึ่งเป็นไม้ดอกประดับในวงศ์ Caryophyllaceae ที่อุดมไปด้วยวิตามินซี คลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอล ซึ่งล้วนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสิ้น (Stefaniak and Grzeszczuk, 2019; Parveen *et al*., 2022) แต่ในการจำหน่ายดอกไม้กินได้นั้นยังพบเจอปัญหาอยู่มาก เนื่องจากมีอายุการเก็บรักษา (Shelf life) ที่สั้นประมาณ 2–5 วัน (Fadda *et al*., 2020; Demasi *et al*.,

2021) ขึ้นอยู่กับชนิดของดอกและอุณหภูมิที่เก็บรักษา เมื่อเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพจะพบลักษณะดอกที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลีบดอกเหี่ยว สีซีดลง โดยสาเหตุเกิดจากการสูญเสียน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์ในดอกไม้ จึงมีการศึกษาวิธียืดอายุการเก็บรักษาของดอกไม้กินได้ให้อยู่ได้นานขึ้น วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาดอกไม้กินได้อย่างหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือ การใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmosphere packaging, MAP) ด้วยฟิล์มพลาสติกแบบดั้งเดิม

Modified atmosphere packaging คือบรรจุภัณฑ์ที่สามารถปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เหมาะสมกับผลิตผลแต่ละชนิด (Fang and Wakisaka, 2021) โดยควรเกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium modified atmosphere, EMA) ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงจนคงที่ และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนคงที่ในระดับที่เหมาะสมอย่างรวดเร็วที่สุดเพื่อประสิทธิภาพในการช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสด โดยยังไม่พบการศึกษาที่ใช้ MAP กับดอกผีเสื้อ แต่มีการศึกษาในดอกไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยจากการศึกษาของ Fadda *et al*. (2020) พบว่า การบรรจุในถุง MAP จากฟิล์มพลาสติกชนิด microperforated oriented polypropylene (OPP) สามารถสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลที่มี 18.5% O_2 และ 2.3% CO_2 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุดอกคาลันดูล่า (*Calendula officinalis* L.) ได้ 10 วัน และการศึกษาของ Kou *et al*. (2012) พบว่า การบรรจุดอกคาร์เนชั่น (*Dianthus caryophyllus*) ในถุง MAP จากฟิล์มพลาสติกชนิด polypropylene (PP) ที่มีแถบปลดปล่อย 1–MCP ความเข้มข้น 0.5 µL/L (SmartFresh™ strip) สามารถสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลที่มี 5.9% O_2 และ 8% CO_2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกคาร์เนชั่นและยืดอายุการเก็บรักษาได้ 7 วัน

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์แต่เดิมส่วนใหญ่ทำมาจากพอลิเมอร์ที่เป็นวัตถุดิบจากปิโตรเลียม เช่น polypropylene (PP) และ polyethylene (PE) ซึ่งเป็นต้นเหตุหลักของปัญหาขยะพลาสติกตกค้างที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมทั่วโลก (Mistriotis *et al*., 2016) จากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้มีการคิดค้นพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymer) เพื่อนำมาทดแทนการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียม โดยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้จากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลาเพียงประมาณ 1–2 เดือน (Cheng *et al*., 2024) ตัวอย่างของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ polylactic acid (PLA) และ polybutylene succinate (PBS) เป็นพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการหมัก และกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจากพืชวัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้มีคุณสมบัติบางประการใกล้เคียงกับพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียม เช่น สมบัติการซึมผ่านของแก๊ส (Casalini *et al*., 2019; Taib *et al*., 2023) และเมื่อนำมาขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุผลิตผลทางการเกษตรพบว่า สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) และใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ (MAP) ในผลิตผลสดหลายชนิด เช่น การใช้ PBS ยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด (Tengrang *et al*., 2012) และการใช้ PLA ยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมตัดแต่ง (Kasakun *et al*., 2017) แต่ยังไม่พบการศึกษาการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อยืดอายุดอกไม้กินได้ การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ฐานปิโตรเลียมทางการค้าทั่วไปในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาดอกผีเสื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างและคัดเลือกดอกผีเสื้อ

ดอกผีเสื้อ หรือ China pink (*Dianthus chinensis* L.) คละสีจากสวนที่ปลูกเชิงการค้าด้วยระบบการปลูกแบบอินทรีย์ แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร ถูกเก็บเกี่ยวในระยะใกล้บานเต็มที่ (อายุต้น 60–70 วันหลังเพาะ) ในช่วงเช้าขนส่งถึงห้องปฏิบัติการกลางคณะเกษตร อาคารวชิรานุสรณ์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใน 24 ชั่วโมง จากนั้น นำดอกผีเสื้อมาลดอุณหภูมิโดยแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดเลือกดอกที่สมบูรณ์ไม่มีร่องรอยตำหนิจากแมลงหรือรอยโรค และมีขนาดที่ใกล้เคียงกันเพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนถัดไป

การวางแผนการทดลอง

ใช้ดอกผีเสื้อคละสีจำนวน 9 ดอกต่อ 1 ซ้ำ ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.5 ± 0.1 กรัม บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด โดยมีปริมาตรของถุงและกล่องประมาณ 14 × 16 × 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร รองก้นบรรจุภัณฑ์ด้วยกระดาษทิชชู และปิดบรรจุภัณฑ์ โดยปิดฝากล่องให้สนิท ถุงฟิล์มถูกปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (DAKO BAG SEALER, Korea) จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ทรีตเมนต์ จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 9 ดอก ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 บรรจุด้วยกล่องแบบ clamshell ชนิด polypropylene (PP) (ชุดควบคุม)

ทรีตเมนต์ที่ 2 บรรจุด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP)

ทรีตเมนต์ที่ 3 บรรจุด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด polylactic acid (PLA)

ทรีตเมนต์ที่ 4 บรรจุด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด polybutylene succinate (PBS)

โดยทรีตเมนต์ที่ 1 เป็นการบรรจุแบบคงรูป (Rigid packaging) ส่วนทรีตเมนต์ที่ 2–4 เป็นการบรรจุชนิดกึ่งคงรูป (Semi-rigid packaging) แบบ tray-in-bag ที่มีถาดพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET) รองด้วยกระดาษทิชชูก่อนการบรรจุดอกไม้ โดยชนิดและคุณสมบัติของฟิล์มถูกแสดงใน Table 1

Table 1 Comparison of barrier properties for conventional and biodegradable polymers/films used in this study

Film type	Oxygen transmission rate (OTR)	Water vapor transmission rate (WVTR)
OPP	Moderate (50–94 $cm^3 \cdot mm/m^2 day \cdot atm$)	Low (0.1–0.3 $g \cdot mm/m^2 day$)
PLA	High (216 $cm^3 \cdot mm/m^2 day \cdot atm$)	High (2.05–4.30 $g \cdot mm/m^2 day$)
PBS	Low (41.2 $cm^3 \cdot mm/m^2 day \cdot atm$)	Moderate (1.69 $g \cdot mm/m^2 day$)

OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate. Source: Mistriotis *et al*. (2011; 2016) and Nilsen-Nygaard *et al*. (2021).

การบันทึกผลการทดลอง

วัดและจัดเก็บข้อมูลทุก 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน คือ ตั้งแต่วันเริ่มต้น (Day 0), วันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ของการเก็บรักษา ดังนี้

1) ปริมาณแก๊สในบรรจุภัณฑ์ (Gas composition) วัดปริมาณความเข้มข้น (%) ของแก๊สออกซิเจน (O_2) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายในบรรจุภัณฑ์ ด้วยเครื่อง PAC CHECK® Model 650 (Mocon, USA)

2) การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) โดยชั่งดอกผีเสื้อด้วยเครื่องชั่ง นำค่าที่ได้มาคำนวณการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักดอกวันเก็บเกี่ยว} - \text{น้ำหนักดอกวันที่เก็บผล})}{\text{น้ำหนักดอกวันเก็บเกี่ยว}} \times 100$$

3) การเปลี่ยนแปลงสีของดอกผีเสื้อ คัดเลือกดอกผีเสื้อที่มีลักษณะตาม Figure 1 เป็นตัวแทนของการติดตามการเปลี่ยนแปลงสี เลือกกลีบดอกที่มีสีม่วงชัดเจน วัดสีบริเวณกึ่งกลางของกลีบดอก 1 กลีบ ต่อ 1 ดอก ด้วยเครื่อง colorimeter รุ่น Miniscan EZ (Hunter Associates Laboratory, USA) โดยแสดงค่าในระบบ CIE L* a* b* และรายงานผลเป็นค่าสี L*, a*, b*, chroma และ hue angle ตามลำดับ

4) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (Visual quality evaluation) ประเมินโดยวิธี 5-point hedonic scales (Pêgo *et al*., 2022) โดยมีผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 4 คน ที่สามารถประเมินและให้คะแนนไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากลักษณะที่ปรากฏภายนอกโดยรวมของดอกผีเสื้อ ดังภาพ Figure 2 และให้คะแนนดังนี้ 5 = ดีที่สุด 4 = ดี 3 = ปานกลาง 2 = พอใช้ และ 1 = แย่ที่สุด กำหนดให้คะแนนลักษณะปรากฏที่ยอมรับได้เท่ากับ 3 คะแนน

Figure 1 Percentage of cell viability of leaves and seeds on RAW 264.7 cell line by using MTT assay

Figure 2 Visual score of China pink flowers

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงบรรจุภัณฑ์

หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ O_2 และ CO_2 ภายในกล่อง PP ตลอดการเก็บรักษา ขณะที่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ O_2 และ CO_2 ภายในฟิล์ม OPP, PLA และ PBS ซึ่งมีการเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) โดยปริมาณ O_2 มีค่าน้อยกว่าภายในกล่อง PP ในขณะที่ปริมาณ CO_2 มีค่ามากกว่าภายในกล่อง PP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2)

การที่ปริมาณ O_2 และ CO_2 ภายในกล่อง PP ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่วันแรก (O_2 21.00 ± 0.00% และ CO_2 0.00 ± 0.00%) ถึงวันที่ 14 (O_2 21.60 ± 1.07% และ CO_2 0.20 ± 0.12%) ของการเก็บรักษา ซึ่งปริมาณ O_2 และ CO_2 ที่พบมีค่าใกล้เคียงกับ O_2 และ CO_2 ในบรรยากาศปกติ ที่มี O_2 ประมาณ 20.95% และ CO_2 0.04% (Tholen *et al*., 2000) เนื่องจากกล่องบรรจุภัณฑ์ PP เป็นกล่องที่มีฝาปิดล็อคเฉพาะที่บริเวณรอยต่อระหว่างฝาปิดและตัวกล่องที่ไม่ได้ปิดสนิท 100% ทำให้เกิดช่องว่างที่สามารถแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายในกล่องกับบรรยากาศภายนอกได้ ขณะที่ภายในฟิล์ม OPP, PLA และ PBS พบการเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ประมาณวันที่ 6 พร้อมกันทั้ง 3 บรรจุภัณฑ์ มีค่า O_2 17.65 ± 0.83% และ CO_2 1.90 ± 0.24% โดยในแต่ละบรรจุภัณฑ์มีปริมาณ O_2 ที่ลดลง และ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นจากวันแรก และหลังจากวันที่ 6 ปริมาณของ O_2 และ CO_2 มีค่าค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 14 โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ OPP และ PLA มีองค์ประกอบของบรรยากาศที่ EMA มีค่าใกล้เคียงกัน คือ มี O_2 19.32 ± 0.49% และ CO_2 1.73 ± 0.33% ส่วน PBS มีปริมาณ O_2 ที่ลดลงมากที่สุด ประมาณ 17.84 ± 1.29% และ CO_2 เพิ่มขึ้นมากที่สุด ประมาณ 2.20 ± 0.46% ซึ่งสอดคล้องกับค่าการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen permeability) ซึ่ง PBS มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนที่ต่ำกว่า OPP และ PLA (Mistriotis *et al*., 2011; 2016; Nilsen-Nygaard *et al*., 2021) โดยค่าการซึมผ่านของออกซิเจนที่ต่ำจะส่งผลให้ปริมาณ O_2 ในบรรจุภัณฑ์ลดลง เนื่องจากปริมาณ O_2 ซึมผ่านเข้ามาได้น้อย แต่ O_2 ที่มีอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจของดอกผีเสื้อทำให้ O_2 ลดลง นอกจากนี้ ยังส่งผลให้ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO_2 ใน PBS ที่มากกว่า OPP และ PLA เช่นกัน เนื่องจาก CO_2 ซึมผ่านออกมาจากฟิล์มบรรจุภัณฑ์ได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม แม้ว่าใน PBS นั้นจะมีปริมาณ CO_2 ที่มากกว่าและ O_2 ที่น้อยกว่า OPP และ PLA แต่ปริมาณ O_2 และ CO_2 ใน 3 บรรจุภัณฑ์นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากดอกไม้มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบผลิตผลสดอื่น ๆ อีกทั้งยังมีปริมาณการบรรจุหรือน้ำหนักที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการบรรจุผลไม้อื่น ๆ ในบรรจุภัณฑ์ MAP

การสูญเสียน้ำหนัก

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันพบว่า ในวันที่ 4 ถึง วันที่ 10 ของการเก็บรักษานั้น น้ำหนักของดอกผีเสื้อในแต่ละบรรจุภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยในวันที่ 4 ดอกผีเสื้อที่ถูกบรรจุในกล่อง PP สูญเสียน้ำหนักมากที่สุดคือ 30.42 ± 6.95% และ PBS สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ขณะที่ ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ดอกผีเสื้อที่บรรจุในถุง PLA และ กล่อง PP มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดใกล้เคียงกันซึ่งมีค่า 32.39 ± 6.66% และ 30.63

Table 2 Oxygen and carbon dioxide in PP container, OPP, PLA, and PBS film packages of China pink flowers stored at 4°C for 14 days

Gas composition (%)	Day of storage							
	0	2	4	6	8	10	12	14
O_2								
PP container (Control)	21.10 ± 0.00	21.10 ± 0.12^{a}	21.10 ± 0.06^{a}	20.80 ± 0.06^{a}	20.90 ± 0.06^{a}	21.20 ± 0.12^{a}	21.20 ± 0.06^{a}	21.60 ± 1.07^{a}
OPP film bag	21.10 ± 0.00	20.30 ± 0.10^{c}	19.60 ± 0.10^{c}	18.70 ± 0.40^{c}	19.50 ± 0.59^{b}	19.20 ± 0.25^{b}	19.20 ± 0.81^{ab}	19.30 ± 1.29^{ab}
PLA film bag	21.10 ± 0.00	20.80 ± 0.06^{b}	20.20 ± 0.57^{b}	19.60 ± 0.15^{b}	19.60 ± 0.32^{b}	19.10 ± 0.26^{b}	19.10 ± 0.32^{bc}	19.00 ± 0.50^{bc}
PBS film bag	21.10 ± 0.00	20.20 ± 0.06^{c}	19.20 ± 0.06^{c}	17.90 ± 0.15^{d}	18.60 ± 1.01^{b}	17.90 ± 1.97^{b}	17.90 ± 1.74^{c}	16.90 ± 1.61^{c}
CO_2								
PP container (Control)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00^{c}	0.10 ± 0.06^{c}	0.10 ± 0.00^{c}	0.10 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}	0.10 ± 0.00^{b}	0.20 ± 0.12^{b}
OPP film bag	0.00 ± 0.00	1.00 ± 0.20^{a}	1.50 ± 0.06^{a}	2.10 ± 0.32^{a}	1.70 ± 0.42^{a}	1.80 ± 0.21^{a}	1.40 ± 0.60^{a}	1.60 ± 0.81^{a}
PLA film bag	0.00 ± 0.00	0.50 ± 0.06^{b}	1.00 ± 0.47^{b}	1.50 ± 0.10^{b}	1.50 ± 0.10^{a}	1.90 ± 0.21^{a}	1.80 ± 0.17^{a}	2.00 ± 0.38^{a}
PBS film bag	0.00 ± 0.00	1.03 ± 0.06^{a}	1.80 ± 0.12^{a}	2.30 ± 0.06^{a}	2.00 ± 0.49^{a}	2.10 ± 0.78^{a}	2.20 ± 0.56^{a}	2.40 ± 0.40^{a}

Data are expressed as the mean of 3 replications ± standard deviation. Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by Duncan's multiple range test at 5% probability level. PP = polypropylene clamshell, OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate.

± 3.30% ตามลำดับ และที่บรรจุในถุง OPP และ PBS สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดใกล้เคียงกันซึ่งมีค่า 20.63 ± 4.07% และ 17.51 ± 6.38% ตามลำดับ แต่ในวันที่ 10 พบว่าในถุง PLA, PBS และกล่อง PP สูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 35.89 ± 3.96%, 35.89 ± 6.10% และ 34.79 ± 5.27% ตามลำดับ และที่บรรจุในถุง OPP สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 21.66 ± 5.92% แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 12 ถึง วันที่ 14 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละบรรจุภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3) โดยการสูญเสียน้ำหนักในดอกผีเสื้อเกิดจากการสูญเสียน้ำจากภายในดอกไม้สู่บรรยากาศโดยกระบวนการคายน้ำและกระบวนการหายใจ (Lufu *et al*., 2019) ทั้งนี้ความชื้นในบรรยากาศรอบดอกไม้ยังส่งผลต่อกระบวนการคายน้ำและการหายใจของดอกไม้อีกด้วย โดยเมื่อความชื้นในบรรยากาศสูงจะลดอัตราการเปิดปิดของปากใบ (Samatova and Mirzaeva, 2023) นอกจากนี้ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) ของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งมีผลต่อความชื้นของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดย OPP มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ PBS และ PLA มีค่าสูงที่สุด OPP ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่าจะส่งผลให้ไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ซึมผ่านได้ช้า ทำให้บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเปิดปิดปากใบในดอกไม้ลดลง (Samatova and Mirzaeva, 2023) ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อมีค่าที่ต่ำกว่าดอกผีเสื้อที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ ด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ PBS จึงช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อในบรรจุภัณฑ์ได้ดีกว่า PLA และใกล้เคียงกับ OPP ในวันที่ 2 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา แต่ภายหลังในวันที่ 10 การสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อใน OPP เกิดขึ้นน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในส่วนของกล่อง PP นั้น จากลักษณะของกล่องที่ปิดไม่สนิททำให้เกิดช่องว่าง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับดอกผีเสื้อในบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ

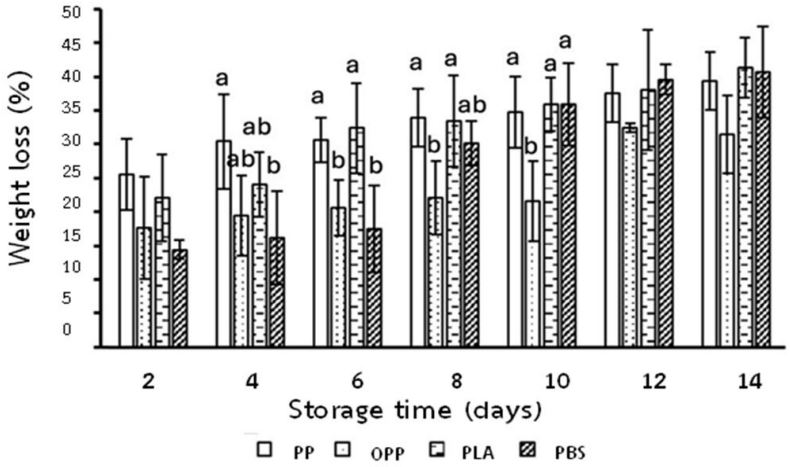

Figure 3 Weight loss of China pink flowers stored at 4°C for 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 14 days in PP container, OPP film bag, PLA film bag, and PBS film bag. Bars with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). PP = polypropylene clamshell, OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate.

การเปลี่ยนแปลงสีของดอกผีเสื้อ

การเปลี่ยนแปลงสีของดอกผีเสื้อแสดงด้วยค่า L*, a*, b*, chroma และ hue angle พบว่า ค่า L*, ค่า a*, ค่า b*, ค่า chroma และค่า hue angle ของดอกผีเสื้อในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ค่า a* และค่า b* ของดอกผีเสื้อใน 4 บรรจุภัณฑ์ มีค่าสีแดง (+) และสีน้ำเงิน (–) สอดคล้องกับลักษณะสีของกลีบดอกผีเสื้อที่นำมาตรวจค่าสีซึ่งเป็นสีม่วง และสอดคล้องกับค่า hue angle ที่พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าประมาณ 330° ซึ่งเป็นค่ามุมสีน้ำเงินแดง สำหรับค่า a* ในทุกบรรจุภัณฑ์พบว่า ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายมีค่าลดลงเล็กน้อย สอดคล้องกับการทดลองของ Parveen *et al*. (2022) ที่พบว่าอาการของการเสื่อมสลาย (Senescence) ในดอกผีเสื้อ คือ กลีบดอกเหี่ยว และสีของกลีบดอกเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Table 3 CIE L* a* b* color parameters of China pink petals in 4 packages at harvest and after 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 14 days of storage at 4°C

Variables	Day of storage							
	0	2	4	6	8	10	12	14
L*								
PP container (Control)	29.91 ± 5.52	33.85 ± 1.96	33.62 ± 4.01	34.76 ± 3.97	37.32 ± 3.07	32.68 ± 5.75	34.05 ± 0.96^{a}	28.00 ± 6.65
OPP film bag	29.91 ± 5.52	26.73 ± 2.00	38.35 ± 4.32	25.32 ± 4.82	34.44 ± 2.76	29.40 ± 4.53	29.40 ± 3.89^{ab}	28.70 ± 4.92
PLA film bag	29.91 ± 5.52	33.16 ± 7.80	36.33 ± 8.42	28.85 ± 12.83	32.72 ± 4.64	29.80 ± 5.27	26.49 ± 3.99^{b}	30.55 ± 3.66
PBS film bag	29.91 ± 5.52	31.08 ± 7.40	36.06 ± 2.12	26.08 ± 0.27	33.95 ± 0.99	30.17 ± 5.35	28.17 ± 4.70^{ab}	30.42 ± 1.50
a*								
PP container (Control)	39.96 ± 6.30	28.51 ± 0.02	25.29 ± 2.58	25.19 ± 4.00	31.35 ± 3.12	26.41 ± 10.40	27.23 ± 4.67^{ab}	28.43 ± 3.97
OPP film bag	39.96 ± 6.30	33.23 ± 5.47	28.91 ± 5.48	31.26 ± 6.41	29.87 ± 3.27	28.38 ± 2.61	33.16 ± 3.92^{a}	28.03 ± 5.40
PLA film bag	39.96 ± 6.30	33.15 ± 0.87	29.60 ± 3.58	30.53 ± 8.27	32.14 ± 6.78	28.78 ± 7.47	30.54 ± 0.58^{ab}	23.98 ± 4.03
PBS film bag	39.96 ± 6.30	33.89 ± 5.38	31.58 ± 4.55	33.04 ± 0.90	31.71 ± 2.75	25.42 ± 6.20	24.89 ± 2.12^{b}	21.59 ± 3.17
b*								
PP container (Control)	-11.98 ± 8.68	-12.47 ± 4.99	-13.56 ± 1.35	-20.40 ± 2.28	-16.09 ± 6.94	-16.07 ± 6.94	-16.07 ± 0.86^{b}	-17.89 ± 2.64
OPP film bag	-11.98 ± 8.68	-14.95 ± 4.60	-14.01 ± 1.69	-18.23 ± 1.47	-17.57 ± 1.47	-17.57 ± 1.79	-19.41 ± 1.80^{a}	-15.93 ± 3.89
PLA film bag	-11.98 ± 8.68	-15.45 ± 1.49	-15.17 ± 3.37	-17.14 ± 4.63	-16.23 ± 0.94	-16.23 ± 0.94	-16.25 ± 1.79^{b}	-16.02 ± 2.04
PBS film bag	-11.98 ± 8.68	-13.46 ± 0.81	-17.71 ± 1.61	-18.94 ± 0.88	-14.55 ± 2.90	-14.55 ± 2.90	-15.73 ± 0.98^{b}	-15.38 ± 3.55
Chroma								
PP container (Control)	41.63 ± 7.49	30.56 ± 13.62	29.00 ± 5.57	30.92 ± 8.30	37.45 ± 4.63	30.95 ± 11.59	31.68 ± 7.66^{ab}	33.73 ± 6.37
OPP film bag	41.63 ± 7.49	35.40 ± 8.35	32.25 ± 5.86	35.55 ± 9.53	34.98 ± 8.15	33.54 ± 5.58	38.57 ± 5.06^{a}	32.42 ± 4.49
PLA film bag	41.63 ± 7.49	36.19 ± 6.93	33.50 ± 35.85	35.52 ± 8.85	36.55 ± 13.47	33.25 ± 6.98	34.63 ± 5.95^{ab}	28.95 ± 8.25
PBS film bag	41.63 ± 7.49	36.48 ± 4.35	35.86 ± 5.71	37.64 ± 5.65	36.97 ± 5.79	29.42 ± 6.00	29.46 ± 5.40^{b}	26.56 ± 5.98
Hue angle								
PP container (Control)	323.34 ± 11.68	336.87 ± 4.62	331.51 ± 2.01	326.96 ± 3.47	327.50 ± 2.05^{b}	329.06 ± 1.62	329.18 ± 3.39	327.51 ± 2.93
OPP film bag	323.34 ± 11.68	335.47 ± 5.94	333.59 ± 5.39	332.99 ± 3.01	328.49 ± 0.77^{ab}	327.88 ± 3.72	329.61 ± 3.72	330.23 ± 9.60
PLA film bag	323.34 ± 11.68	334.84 ± 2.59	332.77 ± 7.86	331.38 ± 6.17	333.10 ± 4.12^{a}	329.75 ± 6.78	332.10 ± 2.58	326.30 ± 3.27
PBS film bag	323.34 ± 11.68	338.42 ± 1.31	330.92 ± 3.04	329.98 ± 1.01	329.10 ± 1.13^{ab}	329.81 ± 6.07	328.68 ± 3.74	324.69 ± 2.12

Data are expressed as the mean of 3 replications ± standard deviation. Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by the Duncan's multiple range test at 5% probability level. PP = polypropylene clamshell, OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate.

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสให้คะแนนผ่านการมองเห็นรูปลักษณ์ภายนอกโดยรวมของดอกผีเสื้อ กำหนดให้คะแนนที่ยอมรับได้เท่ากับ 3 คะแนน (Figure 4) หากคะแนนต่ำกว่านี้ถือว่าไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากกลีบดอกเหี่ยวเฉาอย่างชัดเจน (ดังแสดงใน Figure 2 ลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมของดอกผีเสื้อ) จากผลการทดลองพบว่า ดอกผีเสื้อที่อยู่ในฟิล์ม OPP สามารถรักษาคุณภาพได้นานสุดถึง 12 วัน โดยในวันที่ 12 สภาพของดอกผีเสื้อยังมีลักษณะปรากฏที่ดี กลีบดอกแข็งแรง แต่มีเพียงบางดอกที่มีลักษณะเหี่ยว รองลงมาคือ PBS ที่ 8 วัน กล่อง PP 6 วัน และ PLA สามารถรักษาคุณภาพของดอกผีเสื้อได้เพียง 4 วัน หลังจากวันที่ 4 ดอกส่วนมากเริ่มเหี่ยว ขอบกลีบดอกม้วนเข้าด้านใน ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค (Figure 5) โดยผลคะแนนลักษณะปรากฏสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อ (Figure 4) ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักเกิดจากการสูญเสียน้ำในดอกไม้ทำให้เกิดอาการเหี่ยว หากมีการสูญเสียน้ำหนักมากดอกไม้จะเหี่ยวมากเช่นกัน (Pêgo *et al*., 2022) ประกอบกับดอกไม้มีลักษณะกลีบดอกบาง มีพื้นที่ผิวที่เกิดการสูญเสียน้ำได้มากเมื่อเทียบกับปริมาตรของดอก จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักและเหี่ยวได้ง่าย นอกจากนี้ การสูญเสียน้ำหนักที่มากขึ้นอาจทำให้ดอกไม้เกิดสภาพเครียดจากการขาดน้ำและมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ดอกผีเสื้อเข้าสู่การเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

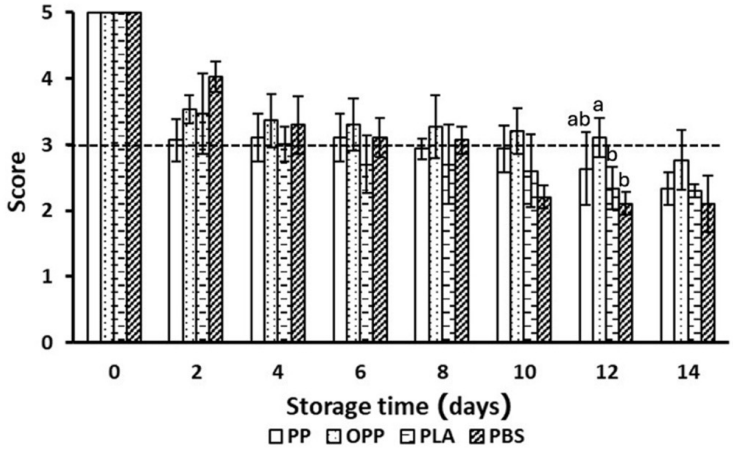

Figure 4 Visual quality scores of China pink petals at harvest and after 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 14 days of storage at 4°C in PP container, OPP film bag, PLA film bag, and PBS film bag. Bars with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). PP = polypropylene clamshell, OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate.

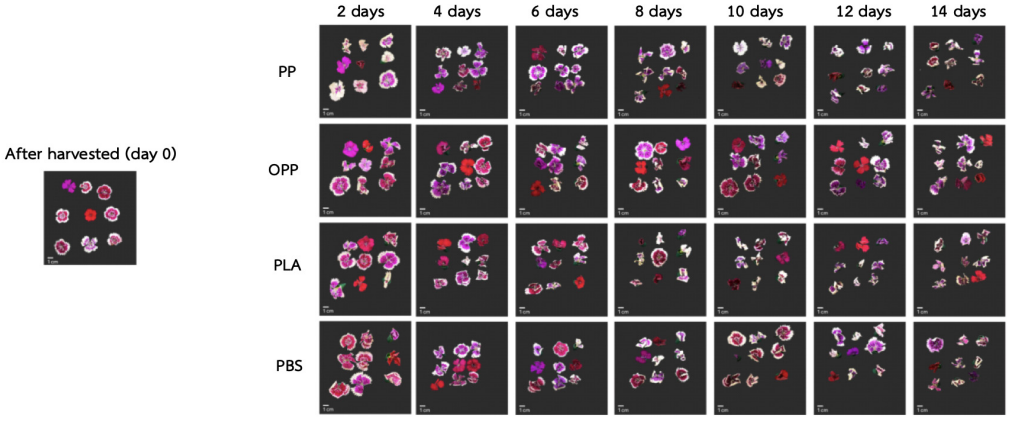

Figure 5 China pink flowers after harvested (Day 0) and after 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 14 days of storage at 4°C in PP container, OPP film bag, PLA film bag, and PBS film bag. PP = polypropylene clamshell, OPP = oriented polypropylene, PLA = polylactic acid, and PBS = polybutylene succinate.

สรุป

ฟิล์ม OPP, PLA และ PBS สร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลไม่แตกต่างจากอากาศปกติมากนักในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา มีค่า O_2 ในช่วง 17.65 ± 0.83% และ CO_2 1.90 ± 0.24% โดยฟิล์ม OPP สามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาดอกผีเสื้อได้นานที่สุด 12 วัน เนื่องจากมีการยอมให้ผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด จึงช่วยรักษาความสดและลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกผีเสื้อได้มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ฟิล์ม PBS และกล่อง PP สามารถยืดอายุการเก็บรักษาดอกผีเสื้อได้นาน 8 วัน และ 6 วัน ตามลำดับ ขณะที่ฟิล์ม PLA สามารถรักษาคุณภาพของดอกผีเสื้อได้เพียง 4 วัน เนื่องจากมีการยอมให้ออกซิเจนและไอน้ำผ่านได้สูงที่สุด จึงเกิดการเสื่อมสถาพของดอกผีเสื้อเร็วที่สุด จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แม้ว่าฟิล์ม PBS จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาดอกผีเสื้อได้น้อยกว่า OPP แต่ยังคงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของดอกผีเสื้อได้ดีกว่ากล่อง PP ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้จำหน่ายปลีกดอกไม้กินได้โดยทั่วไป ด้วยคุณสมบัติการเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์ม PBS จึงมีแนวโน้มและศักยภาพในการช่วยรักษาคุณภาพของดอกไม้กินได้และนำมาใช้ทดแทนพลาสติกฐานปิโตรเลียมชนิดดั้งเดิมเพื่อช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่อาจต้องมีการพัฒนาเทคนิคและกระบวนการผลิตให้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ PBS มีสภาพให้ซึมผ่านได้ทั้งอากาศและไอน้ำ รวมทั้งการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลที่เหมาะสมกับดอกไม้กินได้มากขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีโพลิเมอร์ขั้นสูง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ PLA และ PBS เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน และห้องปฏิบัติการกลางคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่สำหรับทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Casalini, T., F. Rossi, A. Castrovinci and G. Perale. 2019. A perspective on polylactic acid-based polymers use for nanoparticles synthesis and applications. Front. Bioeng. Biotechnol. 7: 259. https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00259.

Cheng, J., R. Gao, Y. Zhu and Q. Lin. 2024. Applications of biodegradable materials in food packaging: A review. Alex. Eng. J. 91: 70–83. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.01.080.

Demasi, S., M.G. Mellano, N.M. Falla, M. Caser and V. Scariot. 2021. Sensory profile, shelf life, and dynamics of bioactive compounds during cold storage of 17 edible flowers. Horticulturae. 7(7): 166. https://doi.org/10.3390/horticulturae7070166.

Fadda, A., A. Palma, E. Azara and S. D'Aquino. 2020. Effect of modified atmosphere packaging on overall appearance and nutraceutical quality of pot marigold held at 5 °C. Food Res. Int. 134: 109248. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109248.

Fang, Y. and M. Wakisaka. 2021. A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting–edge technologies. Agriculture. 11(10): 992. https://doi.org/10.3390/agriculture11100992.

Kasakun, N., P. Saobuntan, W. Watcharawipa, N. Kaewsangiem and S. Kamthai. 2017. Efficiency of packaging bag for extending storage-life of fresh-cut lettuce (*Lactuca sativa* L.). Agricultural Sci. J. 48(Suppl. 3): 375–378. (in Thai)

Kou, L., E.R. Turner and Y. Luo. 2012. Extending the shelf life of edible flowers with controlled release of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging. J. Food Sci. 77(5): S118–S193. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02683.x.

Lufu, R., A. Ambaw and U.L. Opara. 2019. The contribution of transpiration and respiration processes in the mass loss of pomegranate fruit (cv. Wonderful). Postharvest Biol. Technol. 157: 110982. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110982.

Mistriotis, A., A. Giannoulis, D. Giannopoulos and D. Briassoulis. 2011. Analysis of the effect of perforation on the permeability of biodegradable non-barrier films. Procedia Food Sci. 1: 32–38. https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.006.

Mistriotis, A., D. Briassoulis, A. Giannoulis and S. D'Aquino. 2016. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. Postharvest Biol. Technol. 111: 380–389. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.022.

Nilsen-Nygaard, J., E.N. Fernández, T. Radusin, B.T. Rotabakk, J. Sarfraz, N. Sharmin, M. Sivertsvik, I. Sone and M.K. Pettersen. 2021. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 20(2): 1333–1380. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715.

Parveen, S., F. Altaf, S. Farooq, A.U. Haq and I. Tahir. 2022. Phenylmethylsulfonyl fluoride pulse and cold storage independently or synergistically alleviate postharvest losses in *Dianthus chinensis* L. Sci. Hortic. 291: 110574. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110574.

Pêgo, R.G., C.V.A. Fiorini, T.A.D. Deco, R.C.C. Coneglian, M.C.G. Xavier and W.P.C. Ferreira. 2022. Postharvest of edible flowers. Pesq. Agropec. Bras. 57: e02953. https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02953.

Samatova, S.U. and Y.Y. Mirzaeva. 2023. The intensity of respiration in plants depends on the environment, seasons, temperature, humidity depending on the change. Sci. Innov. 2(12): 836–839. https://doi.org/10.5281/zenodo.10402618.

Shantamma, S., E.M. Vasikaran, R. Waghmare, S. Nimbkar, J.A. Moses and C. Anandharamakrishnan. 2021. Emerging techniques for the processing and preservation of edible flowers. Future Foods. 4: 100094. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100094.

Stefaniak, A. and M.E. Grzeszczuk. 2019. Nutritional and biological value of five edible flower species. Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj Napoca. 47(1): 128–134. https://doi.org/10.15835/nbha47111136.

Taib, N.A.A.B., M.R. Rahman, D. Huda, K.K. Kuok, S. Hamdan, M.K.B. Bakri, M.R.M.B. Julaihi and A. Khan. 2023. A review on poly lactic acid (PLA) as a biodegradable polymer. Polym. Bull. 80: 1179–1213. https://doi.org/10.1007/s00289-022-04160-y.

Tengrang, S., K. Loylerd and S. Changprasert. 2012. Effects of additives on the properties of bioplastic packaging for prolong the storage life of rambutan. Agricultural Sci. J. 43(Suppl. 3): 375–378. (in Thai)

Tholen, D.J., V.G. Tejfel and A.N. Cox. 2000. From Earth, pp. 258–259. *In* A.N. Cox, ed. Allen's Astrophysical Quantities. 4th edition. Springer, New York, USA.