การใช้ 1-เมทิลไซโคลโพรพีนร่วมกับนาโนเซลลูโลสแอโรเจล เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’

น.ส.ณิชกานต์ ทรัพย์ธำรงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF 1-METHYLCYCLOPROPENE WITH NANOCELLULOSE AEROGEL TO MAINTAIN POSTHARVEST QUALITY OF *ONCIDIUM* 'GOLDIANA' ORCHID CUT FLOWER

Miss Nichakan Supthamrong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology
Common Course
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ 1-เมทิลไซโคลโพรพีนร่วมกับนาโนเซลลูโลสแอโรเจล เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'
โดย	น.ส.ณิชกานต์ ทรัพย์ธำรงค์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ภาคาผล ศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ภาคาผล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรตรา เพียภูเขียว)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ อบสุวรรณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ณิชกานต์ ทรัพย์ธำรงค์ : การใช้ 1-เมทิลไซโคลโพรพีนร่วมกับนาโนเซลลูโลสแอโรเจล เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' . (USE OF 1-METHYLCYCLOPROPENE WITH NANOCELLULOSE AEROGEL TO MAINTAIN POSTHARVEST QUALITY OF *ONCIDIUM* 'GOLDIANA' ORCHID CUT FLOWER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.กมลวรรณ ภาคาผล,ศ. ดร.ดวงดาว อาจองค์

ปัจจุบันกล้วยไม้เป็นหนึ่งในสินค้าทางการเกษตรที่มีมูลค่าสูงและมีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศไทย กล้วยไม้สกุล *Oncidium* เป็น 1 ใน 3 สกุลที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แต่เนื่องด้วยช่อดอกกล้วยไม้สกุล *Oncidium* มีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวลดต่ำลงระหว่างการขนส่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ 1-MCP (1-methylcyclopropene) รวมถึงการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับนาโนเซลลูโลส แอโรเจล (nanocellulose aerogel) ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอกของ *Oncidium* 'Goldiana' โดยจากผลของการใช้ 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันด้วยวิธีการรมพบว่า 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb สามารถลดการบานเพิ่มของดอกตูม การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบานได้ จากนั้นนำ nanocellulose aerogel ที่ผลิตจากเส้นใยกัญชง ใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำ ร่วมกับ 1-MCP เพื่อใช้รักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ 1-MCP 1000 ppb ร่วมกับนาโนเซลลูโลสแอโรเจลในลักษณะบรรจุภัณฑ์รูปแบบซอง (sachet) โดยนำ sachet ไปจุ่มน้ำก่อนใช้ เป็นวิธีที่ดีเทียบเท่ากับวิธีการรม 1-MCP ในการรักษาคุณภาพของกล้วยไม้ตัดดอก โดยสามารถช่วยลดการบานเพิ่มของดอกตูม การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน ลดปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ซึ่งแสดงการลดลงของลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ลดอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีน ในขณะเดียวกันยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) ได้แก่ คาทาเลส (catalase, CAT) และแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase, APX) ดังนั้นวิธีการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถประยุกต์กับอุตสาหกรรมการส่งออกได้ โดยเป็นวิธีที่สะดวก ลดต้นทุน รวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถเพิ่มมูลค่าในการส่งออกของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ	ลายมือชื่อนิสิต	
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม	
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม	

6270041123 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORD: 1-MCP, Nanocellulose, Aerogel, Oncidium, Orchids, Postharvest technology

Nichakan Supthamrong : USE OF 1-METHYLCYCLOPROPENE WITH NANOCELLULOSE AEROGEL TO MAINTAIN POSTHARVEST QUALITY OF *ONCIDIUM* ‘GOLDIANA’ ORCHID CUT FLOWER. Advisor: Asst. Prof. Dr. Kanogwan Seraypheap Co-advisor: Dr. KAMONWAN PACAPHOL,Prof. Dr. DUANGDAO AHT-ONG

Orchid is one of the agricultural produces in Thailand with high export volume. *Oncidium* is among the top 3 of fresh-cut orchids ranked by the most popular consumption. However, the exportation of *Oncidium* faces a considerable problem of quality retention after harvest, resulting in a significant loss during transportation. Consequently, this research aimed to investigate an appropriate concentration of 1- methylcyclopropene (1-MCP) and the use of 1-MCP with nanocellulose aerogel to maintain the quality of fresh-cut *Oncidium* ‘Goldiana’ orchids. The effects of different concentrations of 1-MCP on quality retention during storage were determined. It was found that the fumigation of 1000 ppb 1-MCP resulted in the decreasing of flower buds opening, blooming, and wilting. Furthermore, nanocellulose aerogel from hemp was prepared as a water-absorbent material and then was applied together with 1-MCP to preserve the quality of the fresh-cut orchid. The results demonstrated that 1000 ppb of 1-MCP with nanocellulose aerogel in a sachet dipped in water before use was the best condition as same as 1-MCP fumigation that maintained the quality of inflorescences by reducing flower buds opening, blooming, wilting, malondialdehyde (MDA) content, lipid peroxidation, respiration rate, and ethylene production. At the same time, the increases in antioxidant enzyme activities, including catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX), were also observed. Accordingly, this finding implies that 1-MCP with nanocellulose aerogel condition could be potentially applied in the orchid industry as a rapid, low cost and green condition to increase the export value of *Oncidium* 'Goldiana'.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Biotechnology	Student's Signature ....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ภาคาผล และศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาที่ดี แนะแนวทาง สนับสนุนในทุกด้าน ให้กำลังใจ เอื้อเฟื้อสถานที่ทำทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรตรา เพียภูเขียว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ อบสุวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้การสนับสนุนสารเคมีที่จำเป็นในงานวิจัย ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ไกรวิชญ์ ปากอุตสาห์ และ ดร.อินทัช หงส์รัตนวิจิตร ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสกัดเยื่อเพื่อทำนาโนเซลลูโลสและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการทำนาโนเซลลูโลส แอโรเจล

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจาก บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงพระชนมายุครบ 72 พรรษา

ขอขอบคุณ สวนกระบองเพชรชัยเจริญ ที่เอื้อเฟื้อกล้วยไม้ในการทำวิจัย รวมถึง บริษัท บี เจ ออร์คิด (ไทยแลนด์) จำกัด และบริษัท เจซิม (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณ อริสา วันทัศน์ คุณ ชวิศา สุขพิทักษ์ คุณ ศิวากร พลคำ และพี่ๆ เพื่อนๆ สมาชิกศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืชทุกคน ที่ให้คำแนะนำ ให้การช่วยเหลือช่วยเหลือ เกี่ยวกับสารเคมีและการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ รวมถึงเป็นกาลังใจ และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ น้องสาวทั้งสองคน และครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆ และพี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจสำคัญ ให้ความช่วยเหลือและคอยสนับสนุนเสมอมา

ณิชกานต์ ทรัพย์ธำรงค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ซ

สารบัญภาพ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 6

1. การเสื่อมตามอายุหรือการวายของดอก (flower senescence) 6
2. เอทิลีน 9
3. การยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก 12
4. 1-MCP 16
5. นาโนเซลลูโลส (nanoellulose) 21

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 24

1. พืชทดลอง 24
2. วัสดุอุปกรณ์ 24
3. วัตถุดิบและสารเคมี 26
4. วิธีการทดลอง 27

บทที่ 4 ผลการทดลอง 35

1. ผลของ 1-MCP ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ผลของ 1-MCP และแก๊สเอทิลีนต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' 40

3. ผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' 44

4. การทดลองซ้ำเพื่อเปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 56

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 61

1. ผลของ 1-MCP และเอทิลีนต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' 61

2. ผลของการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' 62

3. การทดลองซ้ำเพื่อเปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 66

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 68

บรรณานุกรม 70

ประวัติผู้เขียน 121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ภาพช่อดอกกล้วยไม้การทดลองศึกษาผลการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา 92

ตารางที่ 2 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ความเข้มข้นที่แตกต่าง 93

ตารางที่ 3 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 94

ตารางที่ 4 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 95

ตารางที่ 5 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 96

ตารางที่ 6 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรมด้วย 1-MCP และเอทิลีน 97

ตารางที่ 7 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 98

ตารางที่ 8 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 99

ตารางที่ 9 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 100

ตารางที่ 10 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 101

ตารางที่ 11 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 12 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 103

ตารางที่ 13 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 104

ตารางที่ 14 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 105

ตารางที่ 15 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 106

ตารางที่ 16 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 107

ตารางที่ 17 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 108

ตารางที่ 18 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 109

ตารางที่ 19 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 110

ตารางที่ 20 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 111

ตารางที่ 21 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 112

ตารางที่ 22 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 113

ตารางที่ 23 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 114

ตารางที่ 24 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 115

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 25 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 116

ตารางที่ 26 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP .. 117

ตารางที่ 27 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 118

ตารางที่ 28 แอกทิวิทีของของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP .. 119

ตารางที่ 29 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 วัฏจักรการสร้างเอทิลีน 10

ภาพที่ 2 การกำจัดเอทิลีนของ $KMnO_4$ 13

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการกำจัดเอทิลีนของ TiO_2 15

ภาพที่ 4 การจับระหว่าง 1-MCP และตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) 17

ภาพที่ 5 การลดขนาดของเส้นใยเป็น cellulose nanofibrils (CNF) 22

ภาพที่ 6 ภาพถ่ายเทคนิค FE-SEM แสดงโครงสร้างของ cellulose nanofibrils (CNF) 23

ภาพที่ 7 ลักษณะของดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana'ที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว และตัวเลขใต้ภาพระบุคะแนนการวายของดอกตามเกณฑ์ข้อ 4.2.3 29

ภาพที่ 8 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 36

ภาพที่ 9 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 37

ภาพที่ 10 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 38

ภาพที่ 11 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 39

ภาพที่ 12 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรมด้วย 1-MCP และเอทิลีน 41

ภาพที่ 13 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ Oncidium 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 41

ภาพที่ 14 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 15 ให้คะแนนดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน 43

ภาพที่ 16 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 45

ภาพที่ 17 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 46

ภาพที่ 18 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 47

ภาพที่ 19 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 48

ภาพที่ 20 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 49

ภาพที่ 21 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 50

ภาพที่ 22 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 51

ภาพที่ 23 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 52

ภาพที่ 24 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 53

ภาพที่ 25 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน 54

ภาพที่ 26 ภาพถ่ายเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า แสดงโครงสร้างของ nanocellulose aerogel (ก) ก่อนใช้งาน (ข) หลังจุ่มน้ำ และ (ค) จุ่มน้ำและอยู่ในถุง sachet เป็นเวลา 7 วัน 55

ภาพที่ 27 การบานเพิ่มและการเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ Oncidium ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 28 การเหี่ยวของดอกบาน (%) และการให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 57

ภาพที่ 29 อัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 58

ภาพที่ 30 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) และปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 59

ภาพที่ 31 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) และแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน กล้วยไม้เป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญในการส่งออกของประเทศไทย โดยมีมูลค่าการส่งออกทั่วโลกใน พ.ศ. 2562 เท่ากับ 2,201,465,900 บาท (TRADEMAP, 2015) ซึ่งกล้วยไม้สกุลที่มีการส่งออกมากที่สุด 4 อันดับแรก คือ สกุลหวาย (*Dendrobium*) อะแรนดา (*Aranda*) อะแรคนิส (*Arachnis*) และ ออนซิเดียม (*Oncidium*) การรวบรวมข้อมูลการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกในประเทศไทยจากสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (ปรางนุช เลิศหิรัณย์, 2019) พบว่า กล้วยไม้สกุลออนซิเดียมเป็น 1 ใน 3 สกุลที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ทั้งนี้ กล้วยไม้สกุลออนซิเดียมมีดอกขนาดเล็กและมีสีสันที่สวยงาม มีความหลากหลายของสีดอก เช่น สีเหลือง หรือมีพื้นสีเหลืองลายสีน้ำตาล สีแดง สีขาวและสีชมพู แม้จะเป็นกล้วยไม้ที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับต้น ๆ แต่การส่งออกยังคงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับกล้วยไม้สกุลอื่น เนื่องด้วยช่อดอกกล้วยไม้สกุลออนซิเดียม มีก้านเล็กเปราะบาง และดอกหลุดร่วงง่าย (Raffeiner, Serek and Winkelmann, 2009) คุณภาพของกล้วยไม้ตัดดอกที่ลดต่ำลงระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาเนื่องจากดอกไม้แสดงอาการวายอย่างรวดเร็ว โดยปรากฏลักษณะดอกเหี่ยวเฉา มีสีน้ำตาล และหลุดร่วงในที่สุด สาเหตุหลักที่ส่งผลต่อการวายของกล้วยไม้ตัดดอกหลังการเก็บเกี่ยว คือ แก๊สเอทิลีน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กล้วยไม้ตัดดอกมีอายุสั้น จึงส่งผลต่อการส่งออกของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลออนซิเดียม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แก๊สเอทิลีน เป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นและสามารถพบได้ในอากาศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้ผลไม้สุก (ripening) ดอกเข้าสู่กระบวนการวาย โดยทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น ทำให้เกิดการนิ่มและเน่าเสียของผล ทำให้เกิดการเหี่ยวและหลุดร่วง (abscission) ของดอก ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของดอกและผล เพิ่มอัตราการหายใจ เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มการผลิตแก๊สเอทิลีนในพืชให้มากขึ้น กระตุ้นการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำลายสารต่าง ๆ ในผนังเซลล์ของพืช และกระตุ้นให้พืชเกิดความเครียดที่มาจากอนุมูลอิสระ และทำให้เซลล์ตายในที่สุด (Castillejo et al.,

2004; Giné-Bordonaba et al., 2017; Wei et al., 2021) โดยสารที่ใช้ยับยั้งหรือลดปริมาณแก๊สเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ถ่ายกัมถันต์ (activated carbon) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide,TiO_2) (Álvarez-Hernández et al., 2019) มีรายงานระบุว่าซิลเวอร์ไธโอซัลเฟต (silver thiosulfate ,STS) สามารถยับยั้งการทำงานของแก๊สเอทิลีนได้ โดยเป็นสารที่มีความเสถียรและมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในไม้ตัดดอกและไม้ต้นและถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Veen and van de Geijn, 1978) ต่อมามีรายงานว่า STS มีผลเสียกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีไอออนของโลหะหนักเงิน (silver ion) เป็นส่วนประกอบ และไม่สามารถนำมายืดอายุกับผักและผลไม้สำหรับบริโภคได้ (Sisler and Serek, 1997) ต่อมามีการค้นพบ 1-เมทิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene; 1-MCP) ซึ่งสามารถใช้ยืดอายุพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยมากกว่า STS (Serek, Sisler and Reid, 1994)

ปัจจุบัน มีการใช้ 1-MCP ในการยืดอายุผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด 1-MCP เป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่ำ (Salaun and Baird, 1995) และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการใช้งานของผลผลิตเนื่องจากสามารถจับกับตัวรับของเอทิลีนและยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตให้คงอยู่ในลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการเป็นเวลานาน (Sisler, Dupille and Serek, 1996) ดังนั้น จึงมีการนำ 1-MCP มาใช้ยืดอายุผลผลิตอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการส่งออกผักและผลไม้ เช่น กล้วย มะละกอ มะม่วง สตรอเบอร์รี มะเขือเทศ เป็นต้น (Hofman et al., 2001; Jiang, Joyce and Macnish, 1999; Tian et al., 2000) และไม้ตัดดอกหรือไม้ประดับ เช่น กุหลาบ คาร์เนชัน ลิลลี เป็นต้น (Çelikel, Dodge and Reid, 2002; Serek, Sisler and Reid, 1995; Serek, Sisler and Reid, 1996) ในรายงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับกล้วยไม้ตัดดอก การศึกษาผลของการใช้ 1-MCP กับดอกตูมและดอกบานของกล้วยไม้สกุลหวาย *Dendrobium* ‘Karen’ โดยทำการทดลองใช้ 1-MCP รมกล้วยไม้ตัดดอก เพื่อศึกษาการยืดอายุการปักแจกัน (vase life) ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกปลดปล่อยโดยดอกไม้ การร่วงของดอกตูมและดอกบาน (%) รวมถึงศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน จากผลการทดลองพบว่าการใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 300-500 ppb สามารถยืดอายุของกล้วยไม้สกุลหวาย ประมาณ 12-13 วัน อีกทั้งสามารถลดปริมาณแก๊สเอทิลีนที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้โดยช่วยลดปริมาณ ACC synthase ในดอกบาน และลดปริมาณ ACC oxidase ในดอกตูม (Uthaichay, Ketsa and van Doorn, 2007) ต่อมามีรายงานการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปลี่ยนแปลงของแก๊สเอทิลีน ต่อกล้วยไม้ตัดดอกสกุลแวนดา ทั้งหมด 3 พันธุ์ปลูก คือ ‘Pure Wax’, ‘Pachara Delight’ และ ‘Sansai Blue’ โดยใช้ 1-MCP เข้ามาช่วยในการศึกษาเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน โดยนำกล้วยไม้ทั้ง 3 พันธุ์ปลูก รมด้วย 1-MCP จากนั้นศึกษาการยืดอายุ การเปลี่ยนสีของดอกโดยวัดจากปริมาณของแอนโทไซยานินและศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวาย จากผลการทดลองพบว่า 1-MCP ความเข้มข้น 0.2 ppm สามารถใช้ยืดอายุของกล้วยไม้สกุลแวนดาทั้ง 3 พันธุ์ปลูกได้ ประมาณ 12-15 วัน รวมถึงช่วยลดการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินที่ดอกโดยมีสาเหตุจากแก๊สเอทิลีนได้ (Khunmuang et al., 2019a)

นอกจากนี้ มีรายงานการศึกษาการใช้สาร 1-MCP กับกล้วยไม้สกุลออนซิเดียม โดยการใช้ 1-MCP ในการยับยั้งแก๊สเอทิลีนในกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Sweet Sugar’ และ *Odontoglossum* ‘Stefan Isler Lava Flow’, ‘Hansueli Isler’ และ ‘Cambria Plush’ ทั้งแบบต้นและตัดดอก การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP การใช้ 1-MCP ร่วมกับแก๊สเอทิลีน และการใช้แก๊สเอทิลีน โดยศึกษาระยะเวลาในการยืดอายุ จากผลการทดลองพบว่า แก๊สเอทิลีนมีผลต่อการวายของกล้วยไม้สกุล *Oncidium* และ *Odontoglossum* และ 1-MCP ความเข้มข้น 200 ppb สามารถใช้ยืดอายุของกล้วยไม้ทั้ง 2 สกุล เพิ่มขึ้น 2-10 วัน (Raffeiner et al., 2009) นอกจากนั้นมีรายงานเกี่ยวกับการใช้ 1-MCP ยืดอายุของกล้วยไม้ *Oncidium varicosum* ‘Samurai’ ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการใช้ยืดอายุ โดยทดลองเปรียบเทียบความเข้มข้น 250, 500 และ1000 ppb จากผลการทดลองพบว่า 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีประสิทธิภาพในการยืดอายุของกล้วยไม้พันธุ์นี้มากที่สุด (Mattiuz et al., 2012b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เพื่อให้วิธีการใช้ 1-MCP สำหรับยืดอายุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากงานวิจัยก่อนหน้าพบว่า นาโนเซลลูโลส (nanocellulose) เป็นวัสดุทางชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี และนิยมใช้เป็นตัวช่วยปลดปล่อยสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยวิธีห่อหุ้ม (encapsulation) (de Oliveira et al., 2019) และมีการศึกษาโครงสร้างที่มีรูพรุนของ nanocellulose ในรูปของ แอโรเจล (aerogel) เป็นตัวนำส่งยา (drug delivery) เนื่องจากเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม (Horcajada et al., 2004) และมีการใช้ nanocellulose เพื่อพัฒนาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวโดยการใช้เคลือบใบผักโขม (Pacaphol, Seraypheap and Aht-Ong, 2019) ต่อมามีการใช้วัสดุทางชีวภาพที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ

nanocellulose คือ cucurbit[6]uril เป็นตัวดูดซับร่วมกับ 1-MCP โดยใช้วิธีการ encapsulation เพื่อช่วยในการปล่อยแก๊ส 1-MCP จากผลศึกษาพบว่า cucurbit[6]uril เป็นตัวดูดซับที่ดี ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยใช้ cucurbit[6]uril ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ 1-MCP 75 ppb ผ่านวิธี encapsulation เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Zhang et al., 2011)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาการยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ 1-MCP สำหรับยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยใช้วิธีการรม หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของ 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมร่วมกับ nanocellulose aerogel ในรูปแบบถุง (sachet) ต่อความสามารถในการยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' เนื่องจาก nanocellulose aerogel มีรูพรุนสูง และมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมาก อีกทั้งยังสามารถกักเก็บน้ำได้ดี ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นกลไกการยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอกของ 1-MCP จึงมีความเป็นไปได้ที่ nanocellulose aerogel จะช่วยรักษาประสิทธิภาพของ 1-MCP ให้ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการขนส่งระยะทางไกลสำหรับอุตสาหกรรมส่งออก โดยในการทดลองนี้ศึกษาการใช้งานถุงยืดอายุดังกล่าวทั้งแบบจุ่มและไม่จุ่มน้ำใส่ในกล่องกระดาษโดยจำลองบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมส่งออก เพื่อเปรียบเทียบการใช้งานต่อการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' ในระหว่างการขนส่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของ 1-MCP ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

2. ศึกษาผลของ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการยืดอายุของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘goldiana’ ด้วยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ที่มีประสิทธิภาพเพื่อประยุกต์ในการส่งออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

1. การเสื่อมตามอายุหรือการวายของดอก (flower senescence)

การเสื่อมตามอายุหรือการวาย (senescence) คือ กระบวนการที่พืชมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยและการตายโดยถูกกำหนดไว้แล้วทางพันธุกรรม (programmed cell death, PCD) PCD เป็นกระบวนการกำจัดเซลล์ที่หมดอายุหรือตายแล้ว โดยปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับอายุขัยของพืช (van Doorn and Woltering, 2004) โดยการวายของพืชอาจถูกเร่งให้เกิดได้เร็วขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่มีปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพ เช่น ฮอร์โมนเอทิลีน การถ่ายละอองเรณู (pollination) และความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ภาวะแล้ง ความเค็ม อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม และการขาดธาตุ เป็นต้น (Quijia Pillajo, Chapin and Jones, 2018) โดยยีนที่ควบคุมลักษณะการเสื่อมสภาพต่าง ๆ ถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกที่มากขึ้น และส่งผลให้พืชมีอาการที่แสดงถึงการเสื่อมสภาพของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ลักษณะการวายใบ เช่น การเหี่ยวและหลุดร่วงของใบ การม้วนงอของใบ เป็นต้น การวายของผล เช่น การเปลี่ยนสีของเปลือก การนิ่มของผล ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้นในผล เป็นต้น (Sarwat and Tuteja, 2019)

1.1 การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาของดอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ลักษณะที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาของดอกมีปลายประการ ได้แก่ การเปลี่ยนสีและการเหี่ยวของกลีบดอก การหลุดร่วงของดอก การลดลงของน้ำหนักสดและขนาดของดอก (Price et al., 2008) ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ในเซลล์พืชถูกทำลาย โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับชนิดของพืช เช่น Carnation และ Ranunculus แสดงการหลุดร่วงหลังจากการเกิดอาการวาย เช่น การเปลี่ยนสีและการเหี่ยว ในขณะที่ดอกไม้บางชนิด เช่น Tulip Alstroemeria และ Consolida มีการหลุดร่วงทันทีก่อนการแสดงอาการวาย เป็นต้น (Sarwat and Tuteja, 2019) มีการรายงานเกี่ยวกับความเสียหายของเนื้อเยื่อบริเวณกลีบดอก โดยพบความเสียหายของเนื้อเยื่อ mesophyll ในระยะเริ่มต้น จากนั้น พบความเสียหายของเนื้อเยื่อชั้น epidermis ต่อมาและพบความเสียหายของเนื้อเยื่อ vascular เป็นขั้นสุดท้าย ทั้งนี้ พบว่าความเสื่อมถอยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการลำเลียงอาหารมายังดอก จาก

การศึกษาในดอก *Alstroemeria* (Wagstaff et al., 2003) พบว่า เยื่อหุ้มเซลล์มีการถูกทำลายจากการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ซึ่งเป็นกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์โดย reactive oxygen species (ROSs) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ในการทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านลดลง ตลอดจนมีการกระตุ้นประสิทธิภาพการทำงานของ เอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (lipoxygenase, LOX) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กระตุ้นการเกิด lipid peroxidation (Ahmad and Tahir, 2016)

1.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

Reactive oxygen species (ROSs) เป็นสารที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณในพืช และมีความสำคัญในการเกิดออกซิเดชัน เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) เป็นสารส่งสัญญาณที่สำคัญ มีการผลิตและสลายในเซลล์พืช เซลล์พืชมีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นระหว่างดอกเกิดการวาย (Hossain et al., 2006) เนื่องจากการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยา oxidation ที่ทำลายการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดผลิตภัณฑ์รองที่เป็นอันตรายต่อเซลล์พืช โดยมีการรายงานเกี่ยวกับการแสดงออกที่เพิ่มขึ้นของยีน LcMCII-1 ซึ่งตอบสนองต่อ ROSs เมื่อพืชเกิดการวาย (Wang et al., 2017a) โดยเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) ที่สำคัญใช้ทำลาย H_2O_2 ในเซลล์พืช คือ เอนไซม์แอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase, APX) และ เอนไซม์คาทาเลส (catalase, CAT) โดยเอนไซม์ APX ใช้กลไกการทำงานของ ascorbate-glutathione cycle ในการกำจัด H_2O_2 โดยการทำปฏิกิริยา oxidation เปลี่ยนจาก ascorbate เป็น dehydro-ascorbate และกลไกการทำงานของเอนไซม์ CAT โดยการเปลี่ยน H_2O_2 เป็นน้ำและออกซิเจน (O_2) (Quan et al., 2008) จากการศึกษาพบว่า เมื่อดอกมีการวาย ปริมาณ H_2O_2 จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ APX และ CAT ลดลง (Panavas and Rubinstein, 1998) โดยประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์จะลดลงเมื่อดอกหมดอายุการใช้งานและกลีบดอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Bartoli et al., 1997)

1.3 การสังเคราะห์และการสลายของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid)

การแสดงออกของยีนควบคุมกระบวนการวายของพืช โดยมีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ PCD มากขึ้นเมื่อดอกเกิดการวาย โดยพบว่าในระยะแรกของการเกิด senescence มีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แสดงออกของยีนที่ควบคุมการทำงานของผนังเซลล์และเมทาบอลิซึม (metabolism) ในเซลล์พืช และในกระบวนการวายระยะสุดท้าย พบว่ามีการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการจับของโปรตีนจับโลหะและโลหะ จากการศึกษาในดอก *Alstroemeria* (Breeze et al., 2004) พบว่า การทำลาย DNA และ RNA จะเกิดขึ้นเมื่อดอกเกิดการวาย โดยจากการศึกษาการเกิด DNA fragmentation ในดอก *Gypsophila paniculata* พบว่า DNA fragmentation สามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยเอทิลีน และมีปริมาณมากขึ้นเมื่อปริมาณเอทิลีนมากขึ้นด้วย (Hoeberichts, de Jong and Woltering, 2005) และพบว่ากรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid; GA) กระตุ้นกระบวนการทำลายสารพันธุกรรมในเซลล์พืชเมื่อพืชเข้าสู่กระบวนการ PCD (Fath, Bethke and Jones, 1999) นอกจากนี้ ยังมีการรายงานเกี่ยวกับการแสดงออกของกลุ่มยีน senescence-associated genes (SAGs) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่สลาย nucleic acid คือเอนไซม์ bifunctional nuclease I (*BFN1*) โดยยีน SAGs มีการแสดงออกเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชเข้าสู่ภาวะการวาย ซึ่งพบทั้งในดอก ใบ และลำต้น (Pérez-Amador et al., 2000)

1.4 การสลายโปรตีน (protein degradation)

จากการศึกษาการสังเคราะห์และการสลายโปรตีนเมื่อดอกเข้าสู่กระบวนการวาย พบว่าปริมาณโปรตีนในเซลล์พืชลดลง เนื่องจากมีเกิด protein degradation มากขึ้นในขณะที่ไม่มีการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน (van Doorn and Woltering, 2008) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโปรตีนมีการลดลงก่อนการบานของกลีบดอก 10 ชั่วโมง และการเกิด protein degradation สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในการสลายโปรตีนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย (Sarwat and Tuteja, 2019) จากการศึกษาการแสดงออกของยีนเมื่อดอกเข้าสู่กระบวนการวาย พบว่า มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวกับการส่งสัญญาณ การรับและส่งสารเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ endoxyloglucan transferase และ sucrose synthase และ protein degradation ได้แก่ aspartic proteinase ในดอก *Alstroemeria* (Breeze et al., 2004) และ *Mirabilis jalapa (Xu et al., 2007)*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. เอทิลีน

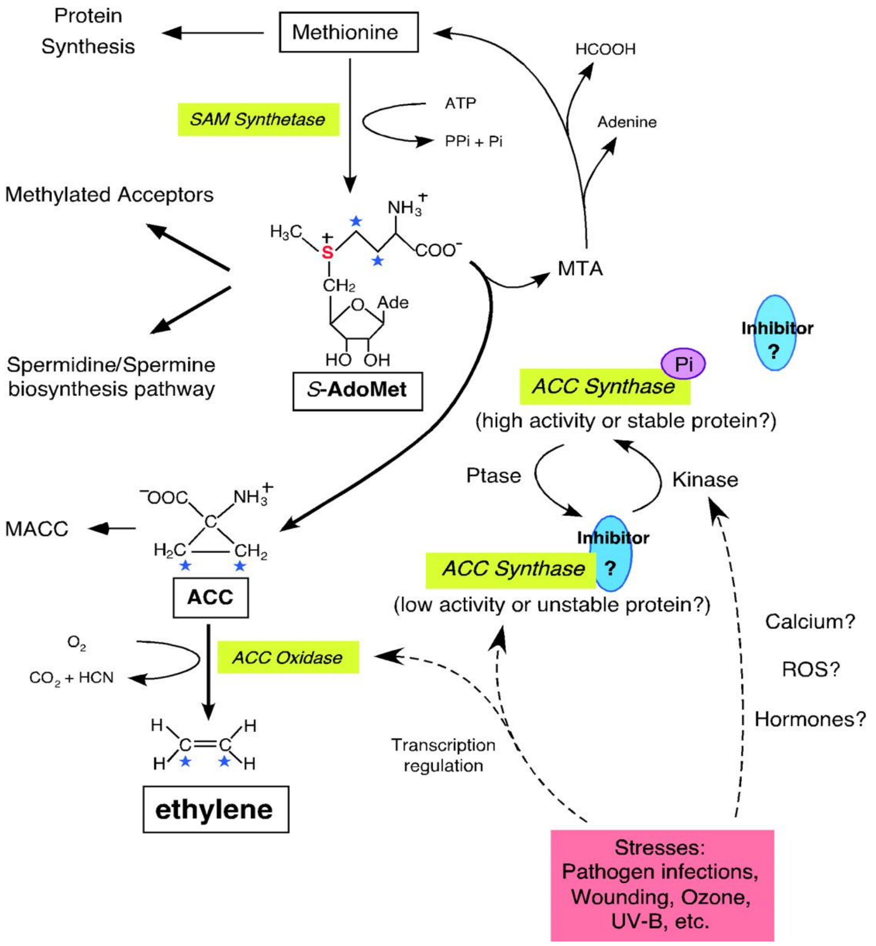
เอทิลีนเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโมเลกุลเป็น C_2H_4 มีสถานะเป็นแก๊ส พืชสามารถสร้างเอทิลีนได้โดยเอทิลีนเป็นฮอร์โมนสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช โดยเอทิลีนมีผลต่อการตอบสนองของดอกกล้วยไม้ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา เช่น การเปลี่ยนสีของกลีบดอก (Khunmuang et al., 2019b) การเหี่ยวหรือหลุดร่วงกลีบดอก (Woltering and Van Doorn, 1988a) เป็นต้น นอกจากนี้ เอทิลีนยังมีผลต่อเมทาบอลิซึมของเซลล์พืช เช่น ทำให้มีปริมาณ ROSs เพิ่มขึ้น มีอัตราการหายใจระดับเซลล์เพิ่มขึ้น หรือการลดลงของประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) (Leshem, 1988) เป็นต้น ทั้งนี้ แต่ละระยะพัฒนาการของดอก มีการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่ต่างกัน โดยระยะดอกตูมมีการผลิตเอทิลีนน้อยที่สุด และระยะที่ดอกมีการบานอย่างสมบูรณ์มีการผลิตเอทิลีนมากขึ้น เนื่องจากเอทิลีนสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์ตัวเองในปริมาณที่มากขึ้น (autocatalysis) (ten Have and Woltering, 1997) โดยเอทิลีนเข้าจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) ในเซลล์พืชส่งสัญญาณกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์และปลดปล่อยเอทิลีนมากขึ้นในพืช และทำให้มีการเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนสีของกลีบดอก และทำให้ดอกหลุดร่วงในที่สุด

2.1 การสังเคราะห์เอทิลีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เอทิลีนสามารถสังเคราะห์ได้จากทุกส่วนของพืช โดยสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เอทิลีน คือ methionine จากนั้นถูกเปลี่ยนเป็น S-adenosyl-L-methionine (S-AdoMet) โดยอาศัยพลังงานจากadenosine triphosphate (ATP) 1 โมเลกุลและการทำงานของเอนไซม์ *S*-adenosyl-L-methionine synthetase (SAM synthetase) จากนั้น S-AdoMet จะถูกเปลี่ยนให้เป็น 1-amino-cyclopropane carboxylate (ACC) โดยการทำงานของเอนไซม์ 1-amino-cyclopropane carboxylate synthase (ACC synthase) ACC ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สองทางคือ ถูกเติมหมู่ malonyl เป็น N-malonyl-ACC (MACC) เป็นการลด ACC ส่งผลให้มีการผลิตเอทิลีนน้อยลง และ ACC สามารถถูกเปลี่ยนเป็น ethylene ได้โดยการเร่งของเอนไซม์ ACC oxidase และผลิตภัณฑ์รองจากการสร้าง ACC คือ 5’-methylthioadenosine (MTA) จะถูกเปลี่ยนเป็น methionine และถูกนำกลับเข้าวัฏจักรการสร้างเอทิลีนอีกครั้ง (Wang, Li and Ecker, 2002) (ภาพที่ 1)

พืชมีการปลดปล่อยเอทิลีนเมื่อเข้าสู่กระบวนการการสุกของผล (ripening) หรือเมื่อเกิดกระบวนการ วายของใบและดอก เอทิลีนที่ถูกสร้างขึ้นทำหน้าที่เป็นตัวเร่งอัตโนมัติ (autucatalyst) โดยการกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของ ACC (Yang and Hoffman, 1984) รวมถึงเปลี่ยนกลับจากสาร ACC เป็นเอทิลีนได้ (Mayak, Legge and Thompson, 1981) ส่งผลให้มีการสังเคราะห์เอทิลีนที่มากขึ้น จึงทำให้พืชมีการสุกหรือมีกระบวนการวายมากขึ้น



ภาพที่ 1 *วัฏจักรการสร้างเอทิลีน*

(Yang and Hoffman, 1984)

2.2 ผลของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของดอก

เมื่อเอทิลีนเข้าจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) ทำให้ให้พืชเกิดการวาย ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลให้พืชเข้าสู่ PCD โดยผลของเอทิลีนต่อการเกิดอาการวายของดอกขึ้นกับ

ความสามารถในการตอบสนองต่อเอทิลีน ซึ่งทั้งนี้อาจจะแตกต่างกันในดอกไม้แต่ละชนิด (Trobacher, 2009)

จากรายงานการศึกษาการตอบสนองและการสร้างเอทิลีนที่ต่างกันในดอกรักเร่ (*Dahlia variabilis*) โดยจากผลการวิจัยพบว่าเอทิลีนเป็นปัจจัยหลักในการกระตุ้นการหลุดร่วงและการเหี่ยวของดอก โดยดอกรักเร่แต่ละพันธุ์มีการสร้างเอทิลีนในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าพันธุ์ปลูก 'Carnelian' และ 'Port Light Pair Beauty' มีการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่มากกว่าพันธุ์ 'Heavenly Peace' และ 'Purple Stone' (Azuma, Onozaki and Ichimura, 2020) นอกจากนี้เอทิลีนสามารถกระตุ้นการหลุดร่วงของดอกไม้หลายชนิด เช่น *Phalaenopsis amabilis (Chang et al., 2013)* *Cymbidium* (Heyes and Johnston, 1998) Lilium 'MonaLisa' และ 'Stargazer' (Çelikel et al., 2002) เป็นต้น

นอกจากนี้มีรายงานว่าเอทิลีนสามารถกระตุ้นอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในดอก ส่งผลให้ดอกมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้น (Serek et al., 1995) และมีการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนในดอกไม้หลายชนิด เช่น ดอกกุหลาบพันธุ์ปลูก 'Osiana' (Cordeiro et al., 2020) ดอก Metrofsideros (Sun, Jameson and Clemens, 2000) เป็นต้น จากการศึกษาผลของเอทิลีนต่อสรีรวิทยาและเมทาบอลิซึมเมื่อเกิดกระบวนการวายในดอก *Tulipa gesneriana* 'American Dream' พบว่า เมื่อดอกแสดงอาการวายเนื่องจากถูกกระตุ้นโดยเอทิลีนเกิดการเหี่ยวและเสื่อมสภาพ พบว่าดอกที่เหี่ยวมีปริมาณ H_2O_2 ซึ่งเป็นหนึ่งใน ROSs สูงขึ้น และมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte leakage) เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) สูงกว่าดอกที่ไม่มีลักษณะอาการเหี่ยว (Wang et al., 2020) นอกจากนี้ มีการศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของไม้ตัดดอก *Alstroemeria* cvs. Hercules และ Mayfair โดยเปรียบเทียบการใช้ 1-MCP ผลการวิจัยพบว่า ดอกมีการสร้างเอทิลีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง รวมถึงมีประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ CAT และ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase; SOD) ซึ่งทำหน้าที่เป็น antioxidant enzyme ที่ลดลงในไม้ตัดดอก *Alstroemeria* ทั้งสองพันธุ์ปลูกที่ไม่ได้รมด้วย 1-MCP (Nasiri, Ahmadi and Movahed, 2020)

ส่วนผลของเอทิลีนในกล้วยไม้ มีรายงานว่าพืชในวงศ์ Orchidaceae มีการตอบสนองต่อเอทิลีน ไม่ว่าจะเป็นกล้วยไม้ *Vanda* 'Miss Joaquim', *Dendrobium* 'Jaquelyn Hawaii',

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Cattleya ‘Lady fordyce’, *Cattleya* ‘Pearl Harbor’, *Cymbidium* ‘Angelica’, *Cymbidium* ‘King Arthur’, *Paphiopedilum*, *Oncidium* ‘Carnival Costume’ และ *Oncidium* ‘Summer Sprite’ (Goh et al., 1985) และเอทิลีนส่งผลต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก ดังเช่นงานวิจัยที่ศึกษาการยับยั้งผลของเอทิลีนโดยการใช้ 1-MCP กับ *Oncidium* cv. ‘Sweet Sugar’ พบว่า 1-MCP ลดการบานเพิ่มของดอกตูมและการเปลี่ยนสีของก้านดอก แสดงถึงผลของเอทิลีน สามารถกระตุ้นการบานเพิ่มของดอกตูมและกระตุ้นการเปลี่ยนสีของก้านดอกเป็นสีเหลืองของกล้วยไม้ตัดดอกชนิดนี้ และส่งผลให้มีอายุการใช้งานสั้นลง (Shahri and Tahir, 2011) หรือจากการศึกษาผลของเอทิลีนต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของ *Oncidium varicosum* ‘Samurai’ โดยนำกล้วยไม้ตัดดอกมารมด้วยเอทิลีน และจากการรายงานพบว่าเอทิลีนกระตุ้นการเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน ส่งผลให้เกิดการหลุดร่วงเนื่องจากดอกมีการเสื่อมคุณภาพ นอกจากนี้ เอทิลีนส่งผลให้กล้วยไม้ตัดดอกมีการดูดน้ำลดลง ลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในเซลล์พืช รวมทั้งกระตุ้นการหายใจที่มากขึ้นในพืช (Ariadne et al., 2016)

ดังนั้น การลดปริมาณหรือกำจัดเอทิลีนมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้ตัดดอกให้ยาวนานยิ่งขึ้น และเป็นประโยชน์อย่างมากในการส่งออกดอกไม้เพื่อดอกไม้ที่จัดส่งยังคงคุณภาพที่ดีเมื่อถึงมือผู้บริโภค

3. การยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก

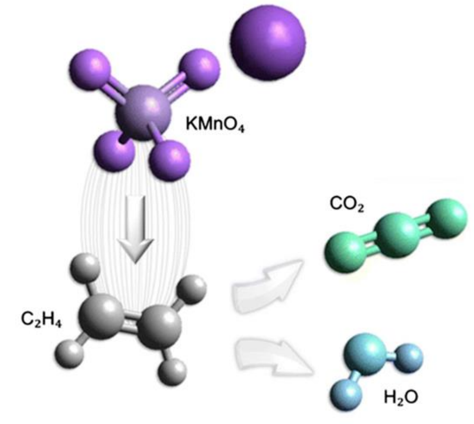
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้วยไม้ตัดดอกเป็นสินค้าที่สำคัญทางการเกษตรที่สามารถสร้างมูลค่าต่อการส่งออกของประเทศไทยเนื่องด้วยปัญหาที่พบมากคือดอกกล้วยไม้เสื่อมสภาพ เกิดอาการเหี่ยว หลุดร่วง และหมดอายุการใช้งานในระหว่างขั้นตอนการส่งออก ส่งผลให้เมื่อสินค้าส่งถึงผู้ซื้อ กล้วยไม้ตัดดอกไม่อยู่ในสภาพใช้งานได้ ดังนั้น การยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอกให้คงคุณภาพที่ดีมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

จากที่กล่าวมาแล้วว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของกล้วยไม้ตัดดอก คือ เอทิลีน ซึ่งเป็นแก๊สที่ถูกผลิตโดยพืชและพบได้ในอากาศ ส่งผลให้พืชเกิดการวาย กลีบดอกเหี่ยว หลุดร่วง และหมดอายุการใช้งานในที่สุด ดังนั้น วิธีการลดหรือยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีนโดยสารเคมีชนิดต่าง ๆ เป็นวิธีที่สามารถยืดอายุของกล้วยไม้ตัดดอกได้ ดังนี้

3.1 โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)

$KMnO_4$ เป็นตัวออกซิไดซ์เอทิลีน สามารถลดปริมาณเอทิลีนจากภายนอก (exogenous ethylene) โดยผ่านกระบวนการ oxidation (Ozdemir and Floros, 2004) อาจใช้ $KMnO_4$ ร่วมกับตัวดูดซับชนิดอื่น เช่น อะลูมินา หรือซิลิกา เป็นต้น เพื่อดูดซับเอทิลีนและเกิดการออกซิไดซ์ สามารถสังเกตได้จากเปลี่ยนสีของ $KMnO_4$ จากสีม่วงเป็นสีน้ำตาล (Werner, Koontz and Goddard, 2017) โดยเอทิลีนถูกออกซิไดซ์ด้วย $KMnO_4$ ได้แอซีแทลดีไฮด์ (acetaldehyde) ในขั้นแรก จากนั้นถูกออกซิไดซ์ต่อได้กรดแอซีติก (acetic acid) และออกซิไดซ์ต่อในขั้นสุดท้ายได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำในที่สุด (ภาพที่ 2) ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือ สามารถสังเกตสีได้ง่ายเมื่อมีการทำปฏิกิริยากับเอทิลีน มีการนำ $KMnO_4$ ไปประยุกต์ใช้กับวิธีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การใช้ $KMnO_4$ ร่วมกับสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA) พบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่ง (*Psidium guajava* cv. Baruipur) ได้ โดยลดการนิ่มของผลและการเปลี่ยนสีของเปลือก รวมถึงช่วยลดสารประกอบฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกในผลฝรั่ง (Murmu and Mishra, 2018) เป็นต้น ข้อจำกัดในการใช้ $KMnO_4$ คือมีประสิทธิภาพต่ำในการใช้งานระยะยาวในที่ที่มีความชื้น และมีความเป็นพิษสูง ไม่สามารถใช้งานกับอาหารได้ (Yildirim et al., 2018)



ภาพที่ 2 การกำจัดเอทิลีนของ $KMnO_4$

(Álvarez-Hernández et al., 2018)

3.2 วัสดุดูดซับเอทิลีน (ethylene adsorber)

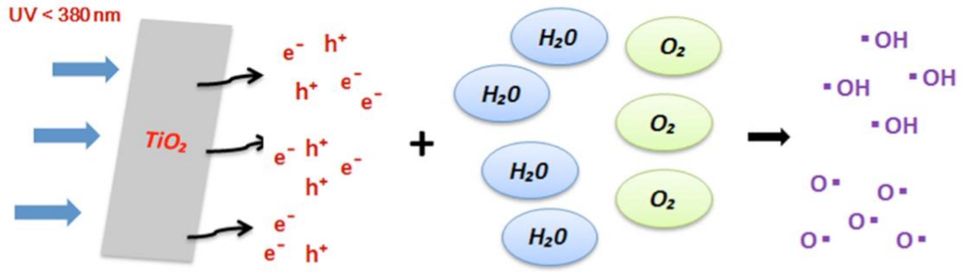
วัสดุดูดซับเอทิลีนมีคุณสมบัติในการดูดซับเอทิลีนไว้ที่ผิวหน้าของวัสดุดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซีโอไลต์ (zeolite) และแร่หิน (clays) เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้สามารถดูดซับเอทิลีนในช่องว่างบริเวณพื้นผิว โดยเฉพาะใน zeolite รูหรือช่องว่างบริเวณพื้นผิวมีขนาดใหญ่กว่าวัสดุอื่น จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม โดยนิยมนำไปทำเป็นฟิล์มเป็นบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้สำหรับดูดซับแก๊ส (Dirim et al., 2004) นอกจากนี้วัสดุดูดซับที่ได้รับความนิยมคือ activated carbon เนื่องเป็นวัสดุที่มีปริมาณรูพรุนสูง ขนาดใหญ่ สามารถดูดซับแก๊สปริมาตรมาก และมีราคาถูก โดยในงานวิจัยของ (Bailén et al., 2006) พบว่า การใช้ activated carbon ในรูปแบบของ sachet สามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้และสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก การนิ่ม และการเปลี่ยนสีของผลมะเขือเทศได้ จากนั้นมีการนำ activated carbon ไปใช้งานร่วมกับ พาลาเดียม (Pd) (Bailén et al., 2013) เพื่อศึกษาความสามารถในการลดปริมาณเอทิลีนในมะเขือเทศ 3 พันธุ์ปลูก พบว่าการใช้งานร่วมกันสามารถลดปริมาณเอทิลีนได้มาก รวมถึงสามารถลดการเปลี่ยนสีของผลและการนิ่มของผลมะเขือเทศได้ โดยเฉพาะ activated carbon แบบเม็ด (granular activated carbon) มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่า activated carbon แบบผง (powdered activated carbon)

3.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2)

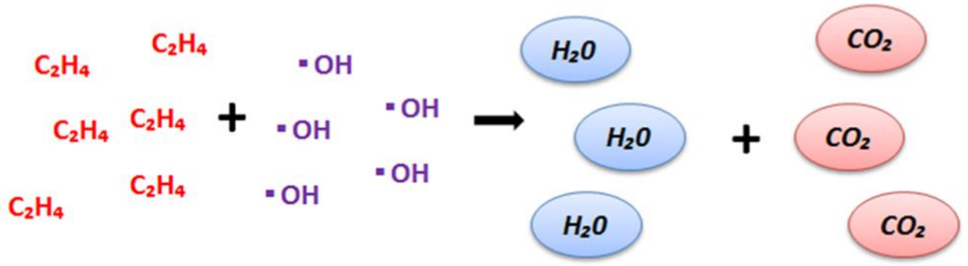
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

TiO_2 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แสงจาก UV (photocatalyst) โดยหลักการทำงานคือ รังสี UV จะทำปฏิกิริยากับผิวหน้าของ TiO_2 ทำให้เกิดการหลุดออกของ ROSs ซึ่งเป็นทำหน้าที่ออกซิไดซ์เอทิลีน เป็น CO_2 และน้ำ (Gaikwad, Singh and Negi, 2019) (ภาพที่ 3) มีรายงานการศึกษาการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วง (*Mangifera indica* L.) โดยนำ nano-TiO_2 มาใช้ร่วมกับ ไคโทซาน (chitosan) เป็นสารเคลือบ พบว่าการใช้งานของ chitosan/TiO_2 ที่ความเข้มข้น TiO_2 0.03% สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ ช่วยลดปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (total soluble solid, TTS) ส่งผลให้ลดการนิ่มของเปลือกผลมะม่วงได้ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เช่น เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) ลดปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการเสื่อมสภาพต่าง ๆ เมื่อเทียบกับการใช้ chitosan เพียงอย่างเดียว (Xing et al., 2020) โดยข้อจำกัดของการใช้สารนี้คือ TiO_2 ไม่สามารถทำงานได้

ในสภาวะ อุณภูมิและความดันสูง และจำเป็นต้องมีแสง UV ในการกระตุ้นการทำงานเพื่อให้เกิดเป็น ROS จึงไม่เป็นที่นิยมมากในในอุตสาหกรรมการส่งออก



ขั้นที่ 1 และ 2 แสง UV ทำปฏิกิริยากับผิวหน้าของ TiO_2 ได้อิเล็กตรอน จากนั้น อิเล็กตรอนทำปฏิกิริยาต่อกับน้ำและ O_2 เกิดเป็น reactive oxygen species (ROSs)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นที่ 3 reactive oxygen species (ROSs) ออกซิไดซ์เอทิลีน เป็น CO_2 และน้ำ

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการกำจัดเอทิลีนของ TiO_2

(Gaikwad et al., 2019)

3.4 ซิลเวอร์ไธโอซัลเฟต (silver thiosultfate; STS)

silver ion มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ จึงสามารถใช้ยืดอายุพืชให้มีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานขึ้นได้ (Beyer, 1976) ซึ่งการใช้ silver ion ที่อยู่ในรูปของสารประกอบ STS มีความเสถียรมาก และสามารถผ่านเข้าท่อลำเลียงของพืชได้ดี ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนสูง (Veen and van de Geijn, 1978) รวมถึง

ช่วยชะลอการบานของดอกตูม การเหี่ยวและหลุดร่วงของกลีบดอกและใบ เช่น ในดอกของพืชสกุล *Liliaceae* (Woltering and Van Doorn, 1988b) และในใบของดอก *Alstroemeria pelegrina* L . (van Doorn, Hibma and de Wit, 1992) เป็นต้น เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้สาร STS คือ เมื่อนำไปใช้กับพืชดอก จะส่งผลให้เกิดจุดสีดำบริเวณกลีบดอก รวมถึง silver ion เป็นโลหะหนัก ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับผักผลไม้สำหรับรับประทานได้ และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Van Altvorst and Bovy, 1995) ทำให้เป็นอันตรายต่อทั้งผลผลิตและผู้ผลิต จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการส่งออกในปัจจุบัน

3.5 เมทิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene; 1-MCP)

1-MCP เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยเข้าจับกับตัวจับเอทิลีนที่เซลล์ของพืช ส่งผลให้มีประสิทธิภาพที่ดีในการลดปริมาณเอทิลีน สามารถใช้ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวกับผักและผลไม้ทั่วไป ไม่เป็นอันตรายต่อผลผลิตและผู้ใช้ เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการส่งออกเป็นอย่างมาก การใช้ 1-MCP ยืดอายุของผักและผลไม้ เช่น สับปะรด (Selvarajah, Bauchot and John, 2001) อาโวกาโด น้อยหน่า มะม่วง มะละกอ (Hofman et al., 2001) ผักกวางตุ้ง (Able et al., 2002) แครอท (Fan and Mattheis, 2000) และผักกาดหอม (Wills, Ku and Warton, 2002) เป็นต้น

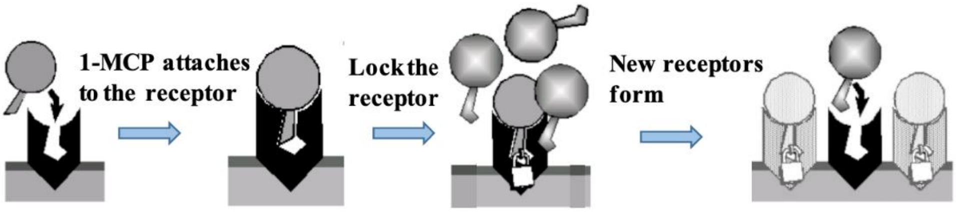
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. 1-MCP

1-MCP หรือ 1-methylcyclopropene เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_4 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 54.09 g/mol^{-1} มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็ง สีขาว อาจมีรูปแบบเป็นเม็ดหรือละเอียดเป็นผง ถูกค้นพบโดยคุณ Edward Sisler และ Sylvia Blanken- ship (1996) โดยมีการพัฒนามาจากสาร diazocyclopentadiene (DACP) เป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน มีประสิทธิภาพดี แต่ไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้งานจำเป็นต้องใช้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกระตุ้นการทำงานในสภาวะแก๊ส และมีสารที่อันตราย จากนั้นจึงมีการค้นพบ 1-MCP ในเวลาต่อมาซึ่งสามารถทำงานได้ในสภาวะแก๊สเช่นกัน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ดีและสามารถใช้งานได้ง่ายกว่า จึงเป็นที่นิยมและเป็นที่รู้จักของอุตสาหกรรมทั่วไป

4.1 หลักการทำงานของ 1-MCP

เนื่องจากแก๊สเอทิลีนเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้พืชเกิดการวาย ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่งผลให้พืชมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ลดลง ดังนั้นการกำจัดหรือยับยั้งการทำงานของเอทิลีน สามารถทำได้โดยการใช้สาร 1-MCP โดยมีน้ำเป็นตัวกระตุ้นการปลดปล่อยแก๊ส 1-MCP จากของแข็ง ดังสมการ $1\text{-MCP}_{(s)} + H_2O \rightarrow 1\text{-MCP}_{(g)}$ จากนั้น 1-MCP ในสภาวะแก๊สสามารถแพร่เข้าเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่เข้าแย่งจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) (ภาพที่ 4) (Hu et al., 2017) ที่เยื่อหุ้มของเอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัม (endoplasmic reticulum membrane, ER membrane) โดยมีการจับกันอย่างหนาแน่น ทำให้เอทิลีนไม่สามารถเข้าจับกับตัวรับเอทิลีนได้ ส่งผลให้เกิดการยั้บยั้งการทำงานของเอทิลีน ดังนั้น 1-MCP จึงสามารถใช้รักษาคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวให้อยู่ในลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการได้เป็นเวลานาน ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการส่งออก เนื่องจากมีการใช้งานง่ายและสะดวก ราคาไม่แพง เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษต่ำ ไม่เป็นอันตรายกับผลผลิต ผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม (Register, 2002; Salaun and Baird, 1995) จึงสามารถใช้กับผักและผลไม้สำหรับรับประทานได้



ภาพที่ 4 การจับระหว่าง 1-MCP และตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) (Hu et al., 2017)

การใช้ 1-MCP เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตทางเกษตรกรรม สามารถใช้ได้กับผลผลิตได้หลายชนิด และความเข้มข้นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทางการเกษตรอยู่ในช่วง 2.5 ppb ถึง 1 ppm (Blankenship and Dole, 2003) โดยขึ้นกับระยะเวลาในการใช้งาน หรือ

อุณหภูมิ ขึ้นกับชนิดและความหลากหลายของพืชที่ศึกษา จากการศึกษาผลของ 1-MCP ต่ออายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี (*Brassica oleracea* cv. Green Belt) พบว่าการรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1 ppm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่สามารถเพิ่มอายุการรักษาเมื่อเทียบกับไม่ใช้ 1-MCP สูงถึง 250% (Ku and Wills, 1999) และในปีเดียวกันมีการศึกษาการเปรียบเทียบการทำงานของ 1-MCP และ 3-MCP (3-methylcyclopropene) ซึ่งมีโครงสร้างคล้าย 1-MCP ต่อการหลุดร่วงของใบถั่วเขียว (*Vigna radiata* L.) โดยทำการรม 1-MCP และ 3-MCP เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นรมด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 100 ppb เป็นเวลา 17 ชั่วโมง พบว่า การใช้ 1-MCP สามารถลดการหลุดร่วงของใบถั่วเขียวได้ดีกว่าการใช้ 3-MCP รวมถึงสามารถลดการหลุดร่วงของใบส้ม (*Citrus sinensis* L.) ได้เช่นกัน นอกจากนี้ 1-MCP สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L.) และสามารถลดการเหี่ยวของดอกระฆัง (*Campanula carpatica*) และดอกกุหลาบหิน *Kalanchoe blossfeldiana* ในการศึกษาครั้งนี้อีกด้วย โดยพืชแต่ละชนิดมีการใช้ความเข้มข้นของสาร และสภาวะในการเก็บรักษาที่ต่างกัน (Sisler et al., 1999) ต่อมามีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานร่วมกันระหว่าง 1-MCP และถุงพอลิเอทิลีน (polyethylene) ต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วง (*Mangifera indica* L. cv. Zihua) จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ 1-MCP 100 ppm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ 50 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวได้ยาวนานยิ่งขึ้น ช่วยลดการนิ่มและการเปลี่ยนสีของผิวผลมะม่วง รวมถึงช่วยเพิ่มอายุการใช้งานอีกด้วย (Jiang and Joyce, 2000) และคุณ Dong Lurie และ Zhou (2002) ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ต่อการเหี่ยวของผลแอพริคอต ‘Canino’ และ พลัม ‘Royal Zee’ พบว่าการรม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ 0 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดการนิ่ม การเหี่ยว การเปลี่ยนสีของผล รวมถึงช่วยลดการสร้างเอทิลีน ลดอัตราการหายใจ ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษามากขึ้นในผลไม้ทั้งสองชนิด ละในปีเดียวกันมีงานวิจัยที่ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของกวางตุ้งฮ่องเต้ (*Brassica rapa* var. chinensis*)* โดยการรม 1-MCP ความเข้นข้น 12 ppm เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า 1-MCP สามารถช่วยลดการผลิตเอทิลีนได้ ส่งผลให้ผักกวางตุ้งมีอายุการเก็บรักษาที่มากขึ้น (Able et al., 2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยเหตุนี้ 1-MCP จึงนิยมใช้ยืดอายุผลไม้และพืชดอก เพื่อช่วยชะลออาการวายหลังการเก็บเกี่ยวที่เกิดในพืช โดยลดอัตราการหายใจ ลดปริมาณการผลิตเอทิลีน ชะลอการเสื่อมสภาพในการทำงานของ antioxidant enzyme ที่สำคัญ เช่น CAT และ APX เป็นต้น ชะลอการสร้าง ROSs เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide, O_2^-), H_2O_2 และ ออกซิเจนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single oxygen, $^1O_2$), เป็นต้น รวมถึงช่วยลดการทำลายของผนังเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ดอกไม้แสดงลักษณะเหี่ยว

4.2 ผลของ 1-MCP ต่อการตอบสนองของดอก

หลักการทำงานของ 1-MCP ในดอกเช่นเดียวกับการทำงานในผล คือเข้าจับกับ ethylene receptor ในเซลล์ของพืช เพื่อยับยั้งการทำงานของเอทิลีน รวมถึงยับยั้งอาการของการวาย ซึ่งมีเอทิลีนเป็นปัจจัยหลัก เช่น การเร่งการบานของดอกตูม เร่งการเจริญของดอกบาน ส่งผลให้ดอกเกิดอาการเหี่ยวและหลุดร่วง การเปลี่ยนสีของกลีบดอก การเพิ่มอัตราการหายใจ การสร้างอนุมูลอิสระในเซลล์พืช การลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เป็นต้น ส่งผลให้ดอกไม้มีอายุการใช้งานหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น โดยความเข้มข้นของ 1-MCP อุณหภูมิ ความชื้น หรือสภาวะที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพการทำงานสูงที่สุดของ 1-MCP ขึ้นกับชนิดของไม้ดอกเช่นเดียวกับพืชอื่น ๆ ดังเช่นรายงานการศึกษาของ De Wild และคณะ(2002) ซึ่งศึกษาผลของเอทิลีนในดอกทิวลิป (*Tulipa gesneriana L.* cv. Apeldoorn) โดยการใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1 ppm เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยรมดอกทิวลิป เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างดอกทิวลิปที่ถูกรมด้วยเอทิลีนและตัวยับยั้งเอทิลีน จากการรายงาน พบว่า 1-MCP สามารถช่วยลดอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนักสดของดอกทิวลิปได้ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการนำดอกทิวลิปที่รมด้วย 1-MCP แล้วไปรมคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่าสามารถช่วยลดปัจจัยต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับดอกทิวลิปที่ไม่ถูกรมด้วยสารใดเลย และจากการศึกษาผลของ 1-MCP ต่อการยืดอายุของลิลลีสายพันธุ์ผสม (*Lilium × `Mona Lisa' and `Stargazer'*) โดยรม 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า 1-MCP สามารถช่วยลดการบานเพิ่มของดอกตูม การเหี่ยวและหลุดร่วงของดอก และลดอาการวายอื่น ๆ ได้ เมื่อเทียบกับลิลลีที่ไม่ถูกรมด้วย 1-MCP (Çelikel et al., 2002) และในปีเดียวกัน มีรายงานการศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษา

ของดอกเบญจมาศ (*Chrysanthemum morifolium* RAM cv. Suny Reagan) และคาร์เนชัน (*Dianthus caryophyllus* L. cv. Asso) โดยศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่าง 0.3, 0.5 และ 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และระยะเวลาในการรมที่เหมาะสมระหว่าง 3 และ 6 ชั่วโมง ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด สำหรับไม้ดอกทั้งสองชนิด จากการรายงาน พบว่าการมด้วย 1-MCP สามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งาน ลดการสูญเสียของน้ำหนักสด โดยการใช้ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเบญจมาศ และคาร์เนชัน (Hassan and Gerzson, 2002) นอกจากนี้มีการรายงานพบว่า 1-MCP สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme คือ CAT, APX และ SOD รวมถึงสามารถลดปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์รองจากปฏิกิริยาการเกิด lipid peroxidation จากการรายงานพบว่า การลดลงของปริมาณ ROSs เกิดจากประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme ที่ดีขึ้น (Hassan and Ali, 2014)

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการใช้ 1-MCP ในกล้วยไม้ เนื่องจากกล้วยไม้เป็นไม้ตัดดอกที่สำคัญทางเศรษฐกิจการส่งออกของประเทศไทย และการส่งออกกล้วยไม้ยังคงมีความจำเป็นในการใช้สารยืดอายุเพื่อรักษาคุณภาพและเพิ่มอายุการใช้งานหลังการเก็บเกี่ยวให้มากขึ้น โดยมีรายงานการศึกษาผลของ 1-MCP ต่อกล้วยไม้ตัดดอกหลายพันธุ์ มีการรายงานการใช้ 1-MCP ต่อการเหี่ยวและหลุดร่วงของกล้วยไม้ตัดดอก พบว่า 1-MCP สามารถลดการหลุดร่วงของดอกตูมและดอกบาน ใน *Dendrobium*‘Karen’ (Uthaichay et al., 2007) รวมถึงสามารถลดการเหี่ยวของดอกตูม และดอกบาน ในดอกไม้พันธุ์อื่นๆ อาทิ *Dendrobium* ‘Jacky’ (Ketsa and Uthaichay, 2012) *Dendrobium* ‘Burana Jade’ (Yoodee and Obsuwan, 2013) mini-*Phalaenopsis* ‘Allen’ (Hansen, Müller and Lütken, 2013) *Mokara* ‘Oriental Red’ และ ‘Chao Praya Pink’ (Nur Azlin et al., 2013) *Dendrobium* ‘Aroon White’, *Mokara* ‘Jairak Gold’ และ *Vascostylis* ‘Sakura’ (Obsuwan and Uthairatanakij, 2007) เป็นต้น นอกจากนี้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกล้วยไม้ตัดดอก *Dendrobium* ‘Aroon White’ *Mokara* ‘Jairak Gold’ และ *Vascostylis* ‘Sakura’ เมื่อรมด้วย 1-MCP ในความเข้มข้นที่ต่างกัน เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับกล้วยไม้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพของการทำงานของ 1-MCP ขึ้นกับความเข้มข้น หากใช้ความเข้มข้นมาก จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของ 1-MCP สูง และพบว่า 1-MCP สามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานหลังเก็บเกี่ยว เพิ่มความสามารถใน

การดูดน้ำ และลดการสูญเสียน้ำหนักสด ความแตกต่างเกิดขึ้นชัดเจนโดยเฉพาะใน *Dendrobium* ‘Aroon’ ในทุก ๆ ความเข้มข้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่าการใช้ความเข้มข้นที่น้อยที่สุด คือ 250 และ 500 ppb สำหรับ *Mokara* ‘Jairak Gold’ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด และ 1-MCP ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ *Vascostylis* ‘Sakura’ (Obsuwan and Uthairatanakij, 2007) นอกจากนี้ พบว่า 1-MCP สามารถช่วยรักษาประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme คือ ascorbate peroxidase (APX), dehydroascorbate reductase (DHAR) glutathione reductase (GR) โดยการลดปริมาณ H_2O_2 จากการศึกษาในกล้วยไม้ *Dendrobium* ‘Khao Sanan’ (Chuchoisuwan et al., 2019b)

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของ 1-MCP กล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* เนื่องจากเป็นหนึ่งในสามสายพันธุ์ของกล้วยไม้ตัดดอกที่ได้รับความนิยมจากต่างประเทศมาก โดยในการศึกษาก่อนหน้า มีการศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* cv. ‘Sweet Sugar (Raffeiner et al., 2009)’ และ *Oncidium varicosum* ‘Samurai’ (Mattiuz et al., 2012a) พบว่า 1-MCP สามารถช่วยเพิ่มอายุหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงช่วยลดการบานเพิ่มของดอกตูม และการหลุดร่วงของดอกบานและดอกตูม นอกจากนี้ พบว่า 1-MCP สามารถลดอัตราการหายใจและปริมาณคาร์โบไฮเดรตละลายน้ำ รวมถึงสามารถช่วยเพิ่มปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ปริมาณแคโรทินอยด์ (carotenoid) ใน *Oncidium varicosum* ‘Samurai’

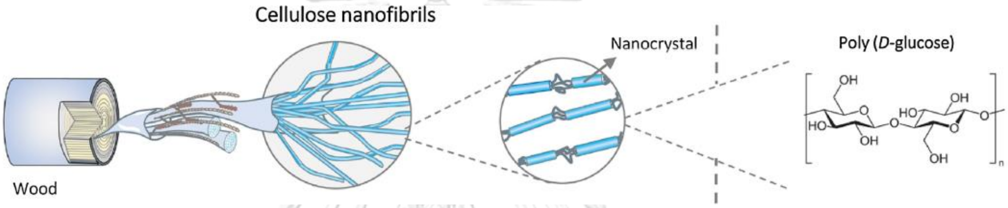
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. นาโนเซลลูโลส (nanoellulose)

เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) พบมากในพืช ทำหน้าที่คงรูปและเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของลำต้นและกิ่งก้านของพืช ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลดีกลูโคส (D-glucose) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bonds) ที่ตำแหน่ง β 1,4 เป็นสายโซ่ยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถพบได้มากในพืช และแบคทีเรียบางชนิด (de Souza Lima and Borsali, 2004)

นาโนเซลลูโลส (nanocellulose) เป็นการลดขนาดของเส้นใยเซลลูโลสจนกระทั่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยสามารถทำได้หลายวิธีทั้งกระบวนการทางเคมีและเชิงกล (Moon et al., 2011) นาโนเซลลูโลสที่ได้มีสมบัติเชิงกลดี มีความแข็งแรง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น วัสดุนาโนคอมโพสิต (nanocomposites) วัสดุในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ วัสดุ

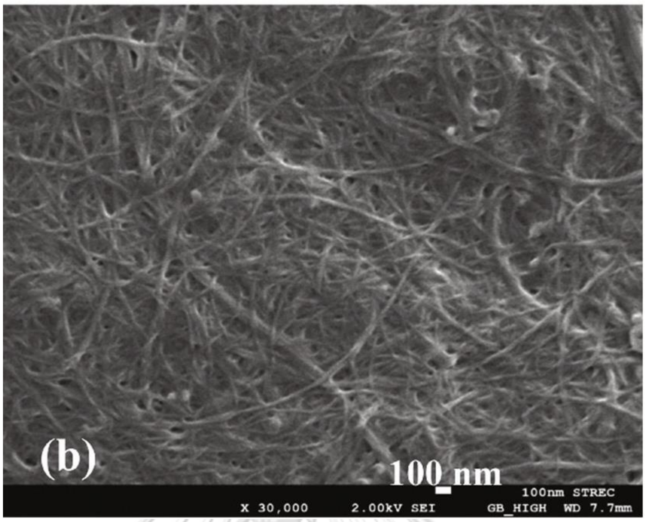
เคลือบ วัสดุกันการแพร่ผ่านของแก๊ส หรือ วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น (Abdul Khalil et al., 2014) นอกจากนี้ นาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติ จึงสามารถนำมาพัฒนาเป็นนวัตกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยนาโนเซลลูโลสแบ่งเป็นสองประเภท คือ นาโนเซลลูโลสที่ไม่มีลักษณะเป็นเส้นใย (cellulose nanocrystal; CNC หรือ nanocrystalline cellulose; NCC) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนสั้นคล้ายกับเมล็ดข้าวสาร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-30 นาโนเมตร คุณสมบัติมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าอีกประเภทหนึ่ง คือ นาโนเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสายยาว (cellulose nanofibrils; CNF) ลักษณะเป็นเส้นใยสายยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร (ภาพที่ 5) (Klemm et al., 2011)



ภาพที่ 5 การลดขนาดของเส้นใยเป็น cellulose nanofibrils (CNF)
(Ling et al., 2018)

cellulose nanofibrils มีชื่อย่อว่า CNF การลดขนาดของเส้นใยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร แต่คงความยาวไว้มากกว่า 1 ไมโครเมตร ทั้งนี้ความสามารถในการลดขนาดขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมาใช้ทำเส้นใย (Dufresne, 2013) โดยโครงสร้างมีอสัณฐาน (amorphous) มากกว่า และผลึก (crystalline) น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ CNC โดย CNF มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวที่เกี่ยวพันกัน (ภาพที่ 6) ส่งผลให้ CNF มีความยืดหยุ่น และสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่า CNC (Chauhan and Chakrabarti, 2012; Xu et al., 2013) โดยส่วนใหญ่นิยมผลิต CNF จากเปลือกของพืชที่เส้นใยมีความเหนียวและแข็งแรง เช่น กัญชง แฟล็กซ์ ปอ เป็นต้น การลดขนาดของเส้นใยให้เล็กลงจะใช้กระบวนการเชิงกลเป็นหลัก โดยสามารถใช้แรงเชิงกลก่อนหรือหลังการผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อช่วยลดขนาดตามแนวยาวของเส้นใย (Klemm et al., 2011) ซึ่งใช้หลักการการทำลายทุติยภูมิ อาทิ พันธะไฮโดรเจน ระหว่างเส้นใย ทำให้เส้นใยมีการแยกออกจากกันเป็นลักษณะไฟบริล ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นใยขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้นา

โนเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี (Szczesna-Antczak, Kazimierczak and Antczak, 2012)



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายเทคนิค FE-SEM แสดงโครงสร้างของ cellulose nanofibrils (CNF) (Pacaphol and Aht-Ong, 2017a)

CNF สามารถที่จะนำมาขึ้นรูปผ่านกระบวนการทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ (freeze drying) เป็นแอโรเจล (aerogel) (Kettunen et al., 2011; Khan et al., 2016) ซึ่งจะได้เป็นของแข็งที่มีน้ำหนักเบาลักษณะคล้ายโฟม มีพื้นที่ผิวมาก เนื่องจากของเหลวด้านในถูกแทนที่ด้วยอากาศ ส่งผลให้มีความเป็นรูพรุนสูงถึง 98% มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและปลดปล่อยความชื้นได้ (Wicklein et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ aerogel ของ CNF เป็นตัวดูดซับตัวทำละลายต่าง ๆ เช่น aerogel จากเยื่อของไผ่ (Jiao, Wan and Li, 2016) รวมทั้งยังมีการรายงานการใช้ aerogel ของ CNF เป็นตัวดูดซับในด้านอื่นๆได้แก่ aerogel จากเยื่อเซลลูโลสคาร์บอกซีเมทิล (carboxymethyl cellulose) ผสมกับกราฟีน (graphene) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแห้งสำหรับดูดซับสารอินทรีย์ (Xu et al., 2020) เป็นต้น

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. พืชทดลอง

กล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ ความยาวช่อดอก 55-60 เซนติเมตร จากสวนกระบองเพชรชัยเจริญ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าและขนส่งโดยรถยนต์ปรับอากาศเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ก่อนนำมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. วัสดุอุปกรณ์

2.1. อุปกรณ์สำหรับรมช่อดอกไม้

ถังพลาสติกมีฝาปิดขนาด 100 ลิตร

หลอดเซนตริฟิวจ์ขนาด 15 มิลลิลิตร

หลอดพลาสติก

กรรไกรตัดกิ่ง

เครื่องกวนสารให้ความร้อน

เทอร์โมมิเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2. อุปกรณ์สำหรับทำนาโนเซลลูโลสแอโรเจล (nanocellulose aerogel)

เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Beta 1-8 LSCbasic, Christ, Germany)

เครื่องผสมแรงดันสูง (LM20, Microfluidics, Westwood, MA)

เครื่องปั่นความเร็วสูง (BUO-122003, BUONO, Taiwan)

เครื่องกวนสารให้ความร้อน

ขวดแก้วพร้อมฝาเกลียวขนาด 200 มิลลิลิตร

เทอร์โมมิเตอร์

บรรจุภัณฑ์รูปแบบซอง (sachet) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดพอลิเอสเทอร์

2.3. อุกกรณ์สำหรับศึกษาปริมาณเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas chromatograph: GC7890B, Agilent Technologies Inc., USA)

เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

กล่องพลาสติกทรงกลม

2.4. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ มาลอนไดแอลดีไฮด์และแอกทิวิทีของเอนไซม์

เครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (Microplate reader: SpectraMax® M3, Molecular Devices, LLC., USA)

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer: G1103A, Agilent Technologies, Germany)

เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Universal 32R, Hettich, Germany)

ตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และ -80 องศาเซลเซียส

เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

96 well microplate

หลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

หลอดเซนทริฟิวจ์ ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร

ไมโครปิเปต ขนาด 20, 200 และ 1,000 ไมโครลิตร

ไมโครปิเปตแบบ 8 แชนแนล ขนาด 200 ไมโครลิตร

ไมโครปิเปตทิป ขนาด 20, 200 และ 1,000 ไมโครลิตร

กระติกน้ำเก็บความเย็นแบบอะลูมิเนียม

ขวดบรรจุสารเคมีขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

ชุดโกร่งบด

2.5. วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-IT500HR, JEOL, Peabody, MA)

3. วัตถุดิบและสารเคมี

3.1. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับช่อดอกไม้

1-MCP (1-methylcyclopropene) (EthylBloc®)

1% ethylene gas

น้ำกลั่น

3.2. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับนาโนเซลลูโลสแอโรเจล

เส้นใยจากแกนในของโคนลำต้นกัญชง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากแหล่งเพาะปลูกใน อ.พบพระ จ.ตาก

sodium hydroxide (NaOH)

acetic acid

sodium chlorite ($NaClO_2$)

3.3. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ethanol

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

3.4. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับการวัดปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content)

liquid nitrogen

trichloroacetic acid (TCA)

thiobarbituric acid (TBA)

3.5. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอกทิวิทีของคาทาเลส (catalase, CAT)

liquid nitrogen

potassium phosphate buffer (pH7.0)

polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)

phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF)

dithiothreitol (DTT)

hydrogen peroxide

3.6. วัตถุดิบและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิ-เดส (ascorbate peroxidase, APX)

liquid nitrogen

potassium phosphate buffer (pH7.0)

ascorbic acid

ethylenediaminetetraacetic acid

polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)

hydrogen peroxide

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. วิธีการทดลอง

4.1. คัดเลือกช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana'

นำกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' จากสวนกระบองเพชรชัยเจริญ มาทำการทดลองภายใน 4-5 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว โดยคัดเลือกช่อดอกกล้วยไม้ให้มีดอกบาน 60-70% โดยมีดอกตูมเริ่มต้น 4-6 ดอก และมีดอกบานเริ่มต้น 7-10 ดอก ความยาวของช่อ 55-60 เซนติเมตร และนำช่อดอกกล้วยไม้มาตัดก้านใต้น้ำให้มีความยาวเฉพาะส่วนก้านช่อดอกประมาณ 25-30 เซนติเมตร

4.2. ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ 1-MCP ในการยืดอายุกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' ด้วยวิธีการรม

นำช่อดอกไม้ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด มารมด้วย 1-MCP (EthylBloc®) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ ทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง (Mattiuz et al., 2012a) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่รม 1-MCP)

ชุดการทดลองที่ 2 รม 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb

ชุดการทดลองที่ 3 รม 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb

ชุดการทดลองที่ 4 รม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb

ชุดการทดลองที่ 5 รม 1-MCP ความเข้มข้น 1250 ppb

จากนั้นปักแจกันในน้ำและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 5% ภายใต้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยเปลี่ยนน้ำทุก 3 วัน บันทึกความเปลี่ยนแปลง ในวันที่ 3, 6, 9, 12, 15, และ18 ดังนี้

4.2.1. การบานและการเหี่ยวของดอกตูม (%)

นับจำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มและดอกตูมที่เหี่ยว นำมาคำนวณเป็นการบานและการเหี่ยวของดอกตูม (%) ดังนี้

$$\text{การบานเพิ่มของดอกตูม (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มสะสมจนถึงวันที่เก็บผล} \times 100}{\text{จำนวนดอกตูมเริ่มต้น}}$$

$$\text{การเหี่ยวของดอกตูม (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกตูมที่เหี่ยวสะสมจนถึงวันที่เก็บผล} \times 100}{\text{จำนวนดอกตูมเริ่มต้น}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 การเหี่ยวของดอกบาน (%)

นับจำนวนดอกบานที่เหี่ยว นำมาคำนวณเป็นการเหี่ยวของดอกบาน (%) ดังนี้

$$\text{การเหี่ยวของดอกบาน (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกบานที่เหี่ยวสะสมจนถึงวันที่เก็บผล} \times 100}{\text{จำนวนดอกบานเริ่มต้น}}$$

4.2.3 การให้คะแนนการวายของดอก (senescence score) โดยดัดแปลงเกณฑ์การให้คะแนนจาก Yan และ Schwartz (1999)

ให้คะแนนดอกตามเกณฑ์ (ภาพที่ 7) ดังนี้

4 หมายถึง ดอกบานเต็มที่ กลีบดอกแยกออกจากกันสมบูรณ์

3 หมายถึง กลีบดอกเริ่มหดตัว เกิดรอยย่นที่กลีบดอก เริ่มเห็นเส้น vein และก้านดอกยังคงเป็นสีเขียวมากกว่า 50% ของจำนวนดอกบานทั้งหมด

2 หมายถึง กลีบดอกเริ่มเห็นรอยย่นและเส้น vein ชัดกว่าเดิม กลีบดอกเริ่มเหี่ยว กลีบเลี้ยงเหี่ยวและหดตัว สีน้ำตาลที่กลีบดอกและกลีบเลี้ยงมีสีอ่อนลง และก้านดอกเป็นสีเหลืองทั้งหมด มากกว่า 50% ของจำนวนดอกบานทั้งหมด

1 หมายถึง ส่วนประกอบทั้งดอกเหี่ยวลีบและแห้ง สีของดอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนหรือดอกแห้งและหลุดออกจากช่อดอกมากกว่า 50% ของจำนวนดอกบานทั้งหมด

4 คะแนน **3 คะแนน** **2 คะแนน** **1 คะแนน**

ภาพที่ 7 ลักษณะของดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana'ที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว และตัวเลขใต้ภาพระบุคะแนนการวายของดอกตามเกณฑ์ข้อ 4.2.3 (Yang et al., 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ศึกษาผลของ 1-MCP และเอทิลีนต่อการตอบสนองของกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana'

นำช่อดอกกล้วยไม้ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดเช่นเดียวกับข้อ 4.1 มารมด้วย 1-MCP เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และรมเอทิลีน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ ทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่รม 1-MCP และเอทิลีน)

ชุดการทดลองที่ 2 รมเอทิลีนความเข้มข้น 400 ppb

ชุดการทดลองที่ 3 รม 1-MCP ความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากการทดลองข้อ 2.1 (750 และ 1000 ppb) และรมเอทิลีนความเข้มข้น 400 ppb

นำช่อดอกกล้วยไม้มาปักแจกันในน้ำและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85±5 % ภายใต้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยเปลี่ยนน้ำทุก 3 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 3, 6, 9, 11, 13, 15, และ17 และวัดผลเช่นเดียวกับข้อ 4.2

4.4 ศึกษาผลของการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ในการยืดอายุของกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’

4.4.1 เตรียม nanocellulose aerogel

ในงานวิจัยนี้นำโคนลำต้นกัญชงที่เป็นส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมนาโนเซลลูโลส ทั้งนี้ ปัจจุบันกัญชงได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลโดยอนุญาตให้มีการเพาะปลูกอย่างเสรี เพื่อเป็นพืชเศรษฐกิจทางเลือกของประเทศไทย โดยเส้นใยกัญชงเหมาะเป็นวัตถุดิบในการผลิตนาโนเซลลูโลส เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีมีปริมาณเซลลูโลสสูงถึง 73% (Pacaphol and Aht-Ong, 2017b) และเส้นใยมีความแข็งแรงและความเหนียวสูง นอกจากนี้มีปริมาณสารแคนนาบิไดออล (cannabidiol, CBD) สูง ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นในงานวิจัยนี้เตรียม nanocellulose โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากคุณ Pacaphol และ Aht-Ong (2017b) นำเส้นใยจากลำต้นกัญชง 40 กรัม มาทำให้บริสุทธิ์โดยต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 4 % w/v ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และกวนด้วยความเร็วรอบ 500 rpm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 รอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์

จากนั้น นำเยื่อที่สกัดได้มาฟอกขาว โดยนำมาต้มกับสารละลายฟอกขาวโซเดียมคลอไรท์ ($NaClO_2$) ความเข้มข้น 1.7 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และกวนด้วยความเร็วรอบ 500 rpm เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 5 รอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้เส้นใยที่มีความขาวสว่าง

จากนั้นนำเส้นใยที่ฟอกขาวแล้ว นำมาลดขนาดโดยใช้วิธีทางเชิงกล ด้วยเครื่องปั่น โดยใช้เยื่อที่ฟอกแล้ว 5 กรัมผสมกับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ปั่นเป็นเวลา 16 นาที จากนั้นนำเยื่อมาลดขนาดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นระดับนาโนเมตรด้วยการโดยผ่านแรงกระแทก

และแรงเฉือนภายใต้ความดัน 20,000 psi โดยมีรอบการทำ 200 มิลลิลิตร ต่อ 2.5 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

นำสารแขวนลอย nanocellulose ที่เตรียมไว้ปริมาตร 15 มิลลิลิตร หล่อในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จากนั้นนำไปทำให้อยู่ในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการระเหิดน้ำภายใต้ความดัน 0.2 mbar ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เป็นเวลา 27 ชั่วโมง โดยแผ่นแอโรเจลที่ได้มีความหนา 0.8 เซนติเมตร

4.4.2 ทดลองใช้งาน nanocellulose aerogel ร่วมกับ 1-MCP

คัดเลือกช่อดอกที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์เช่นเดียวกับข้อ 4.1 นำมาบรรจุใส่กล่องกระดาษขนาด 32 X 48 X 35 cm^3 จำนวนทั้งหมด 12 ช่อ ต่อหนึ่งชุดการทดลอง โดยทำชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่ sachet ในกล่อง)

ชุดการทดลองที่ 2 ใส่ sachet ที่มี 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.1 (1000 ppb) และจุ่มน้ำ บรรจุกล่อง

ชุดการทดลองที่ 3 ใส่ sachet ที่มี 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.1 (1000 ppb) และหุ้มด้วย aerogel บรรจุกล่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชุดการทดลองที่ 4 ใส่ sachet ที่มี 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.1 (1000 ppb) หุ้มด้วย aerogel และจุ่มน้ำ บรรจุกล่อง

ชุดการทดลองที่ 5 รม 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากการทดลองข้อ 3.1 (1000 ppb) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนบรรจุกล่อง

เก็บรักษากล่องบรรจุช่อดอกกล้วยไม้เป็นเวลา 7 วัน หลังจากครบกำหนดแล้วนำดอกไม้ออกจากกล่อง ปักแจกันในน้ำและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22 ± 1 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนน้ำทุก 3 วัน

4.4.3 บันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะดอกเช่นเดียวกับข้อ 4.2 ในวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12

4.4.4 บันทึกการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของดอก โดยวัดผลดังนี้

4.4.4.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 content) วิเคราะห์โดย gas chromatography

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 7 ช่อ นำช่อดอกไม้มาชั่งน้ำหนัก และนำใส่ในกล่องพลาสติกทรงกระบอกปริมาตร 308.7 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความสูง 6 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ปิดฝาและพันเทปรอบฝาอีกครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลผ่านเข้าและออก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำหลอดฉีดยาดูดอากาศจากตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร และฉีดผ่านเครื่อง gas chromatography โดยใช้อุณหภูมิคอลัมน์ 60 องศาเซลเซียส และมีแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา (carrier gas) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ CO_2 ต่อน้ำหนักของช่อดอกกล้วยไม้ (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.4.2 ปริมาณเอทิลีน (ethylene content) วิเคราะห์โดย gas chromatography

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 7 ช่อ นำช่อดอกไม้มาชั่งน้ำหนักและนำใส่ในกล่องพลาสติกทรงกระบอก ปริมาตร 308.7 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความสูง 6 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ปิดฝาและพันเทปรอบฝาอีกครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลผ่านเข้าและออก ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำหลอดฉีดยาดูดอากาศจากตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ละฉีดผ่านเครื่อง gas chromatography โดยใช้อุณหภูมิคอลัมน์ 75 องศาเซลเซียส และมีแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา (carrier gas) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเอทิลีนต่อน้ำหนักของช่อดอกกล้วยไม้ (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.4.3 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาสกัดด้วยสารละลายเอทานอล 80% (v/v) และวิเคราะห์โดยวิธี DPPH assay (Brand-Williams, Cuvelier and Berset, 1995) วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ 520 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาของแอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.4.4 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content)

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาสกัดด้วยสารละลาย TCA 5% (w/v) และวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS assay (Wang, Chu and Kou, 2017b) วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ 450, 532, 600 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ MDA ตามวิธีของ (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.4.5 แอกทิวิทีของเอนไซม์คาทาเลส (catalase, CAT)

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาสกัดด้วยสารสกัดบัฟเฟอร์ และวิเคราะห์แอกทิวิทีของ CAT ตามวิธีของ (Beers and Sizer, 1952) วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 240 นาโนเมตร โดยนำค่าที่ได้มาคำนวณหาการเกิดปฏิกริยาของ CAT โดยเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.4.6 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase, APX)

เก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เซลเซียส ก่อนนำมาสกัดด้วยสารสกัดบัฟเฟอร์ และวิเคราะห์แอกทิวิทีของ APX ตามวิธีของ และวิเคราะห์ตามวิธีของ (Nakano and Asada, 1981) วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 290 นาโนเมตร โดยนำค่าที่ได้มาคำนวณหาการเกิดปฏิกิริยาของ APX โดยเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

4.4.5 วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel

นำนาโนเซลลูโลสแอโรเจลทั้ง 3 แบบ คือ (1) นาโนเซลลูโลสแอโรเจลก่อนใช้งาน (2) นาโนเซลลูโลสแอโรเจลจุ่มน้ำ และ (3) นาโนเซลลูโลสแอโรเจลจุ่มน้ำและอยู่ในถุง sachet เป็นเวลา 7 วัน ไปเตรียมตัวอย่างโดยการนำไปเคลือบทอง (gold sputter-coating) เพื่อให้เยื่อมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้กำลังขยายในการวิเคราะห์ 10,000 เท่า ที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์

4.5 เปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับnanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

ทำการทดลองซ้ำโดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดการทดลองที่ดีที่สุดกับชุดการทดลองการรม 1-MCP ต่อการยืดอายุของกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับในข้อ 4.4.3 - 4.4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองด้วยวิธี One-way analysis of variance (ANOVA) โดยใช้ค่าความเชื่อมั่นหรือนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22.0 (IBM SPSS, Chicago, IL)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วนได้แก่ (1) ผลของ 1-MCP ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดสองความเข้มข้นเมื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป (2) ผลของ 1-MCP และแก๊สเอทิลีนต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยนำ 1-MCP ความเข้มข้นที่ดีที่สุด ในส่วนนี้เพื่อทดลองใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel (3) ผลของการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' และผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel และ (4) การเปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลของ 1-MCP ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

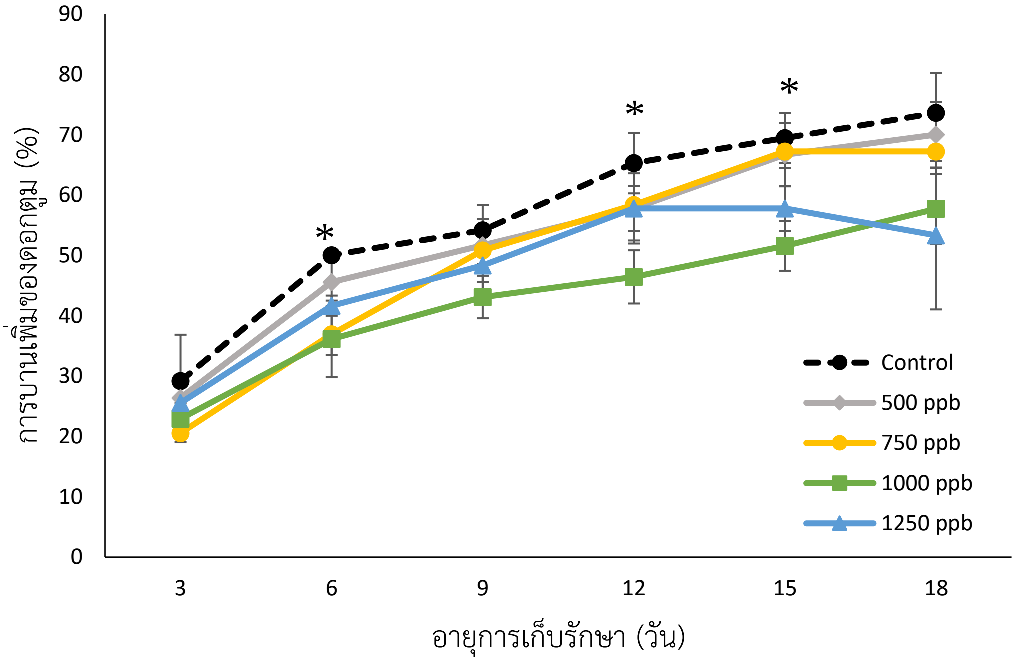
1.1 การบานเพิ่มและการเหี่ยวของดอกตูม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มของดอกบาน (%) เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่ากล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการบานของดอกตูม (%) เมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 750 ppb และชุดควบคุม ในวันที่ 12 รวมถึงมีการบานของดอกตูม (%) น้อยที่สุด ในวันที่ 6 ถึงวันที่ 15 และพบว่ากล้วยไม้ที่ไม่ได้รมด้วย 1-MCP หรือชุดการทดลองควบคุม มีการบานของดอกตูม (%) มากที่สุดและแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 6 12 และ 15 เมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ที่ความเข้มข้นอื่น ๆ (ภาพที่ 8 และภาคผนวก ข ตารางที่ 2)

จากการศึกษาการเหี่ยวของดอกตูม (%) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเหี่ยวของดอกตูม (%) จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการบานเพิ่มของดอกตูม และพบว่ากล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP

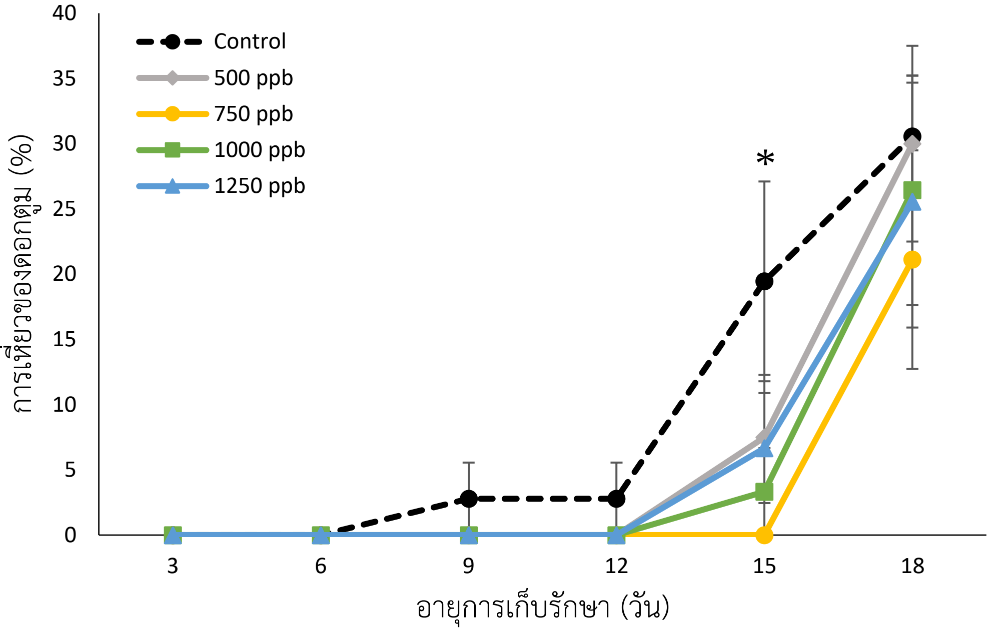
ความเข้มข้น 750 และ 1000 ppb มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) ลดลงและน้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 15 ของการทำการทดลอง และพบว่าชุดควบคุมหรือกล้วยไม้ที่ไม่ได้รม 1-MCP มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) มากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 9 และภาคผนวก ข ตารางที่ 3)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 8 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



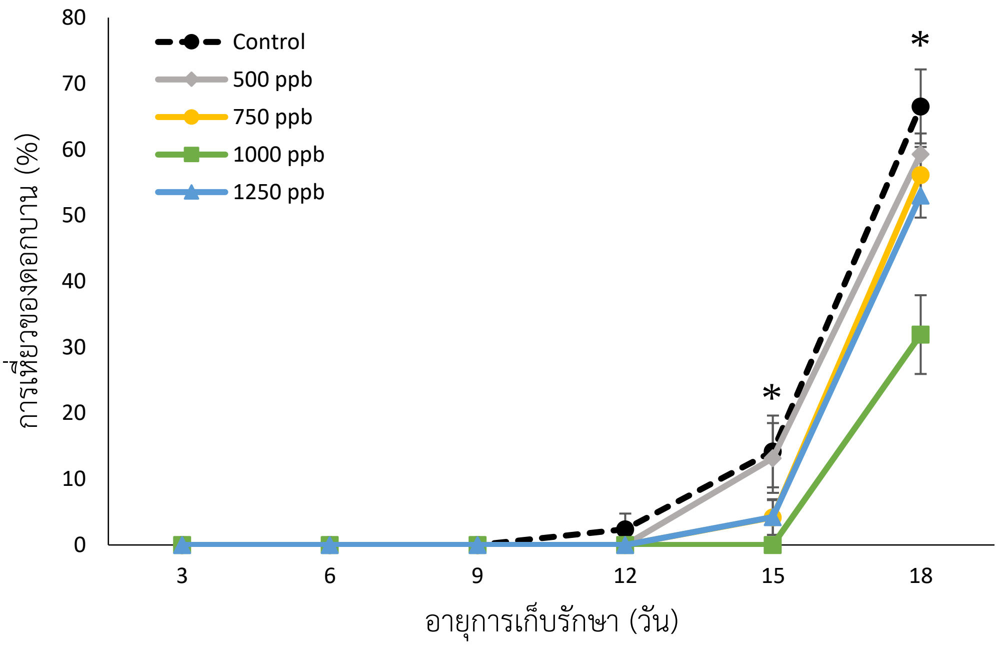
ภาพที่ 9 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 การเหี่ยวของดอกบาน

จากการทดลองพบว่า การเหี่ยวของดอกบาน (%) เพิ่มขึ้นเมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น และกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb สามารถลดการเหี่ยวของดอกบาน (%) ได้มากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ไม่ได้รม 1-MCP หรือชุดควบคุมในวันที่ 15 และกับกล้วยไม้ที่รม 1-MCP ความเข้มข้นอื่น ๆ ในวันที่ 18 นอกจากนี้ พบว่าชุดควบคุมมีการเหี่ยวของดอกบาน (%) มากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 10 และภาคผนวก ข ตารางที่ 4)

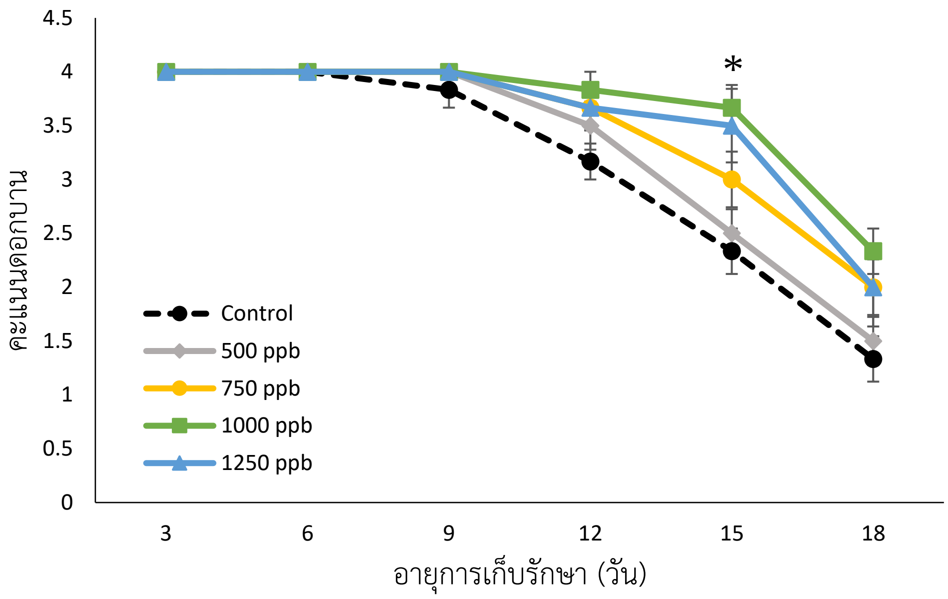


ภาพที่ 10 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.3 การให้คะแนนดอกบาน

กล้วยไม้ที่รม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีคะแนนดอกมากที่สุด โดยแสดงถึงอาการวาย น้อยที่สุดซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยไม้ที่ไม่ได้รม 1-MCP ซึ่งมีคะแนนน้อยที่สุด แสดงถึงกล้วยไม้มีอาการวายมากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 11 และภาคผนวก ข ตารางที่ 5)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 11 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

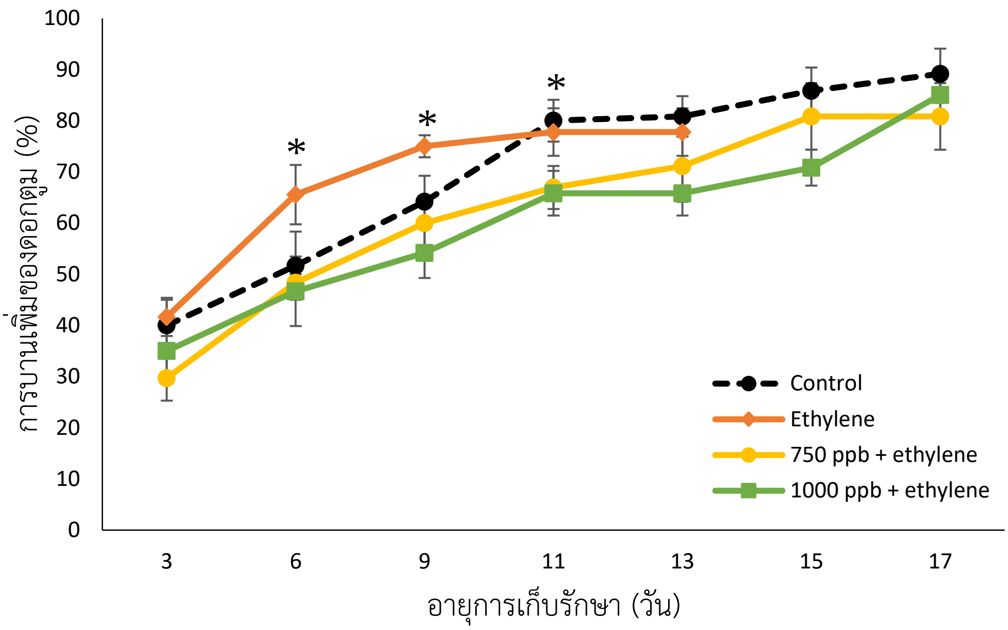
2. ผลของ 1-MCP และแก๊สเอทิลีนต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

ในการทดลองส่วนที่ 2 นำ 1-MCP ความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือ 750 และ 1000 ppb จากการทดลองส่วนที่ 1 มาทดลองซ้ำโดยรมเอทิลีนหลังจากรม 1-MCP เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมหรับการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

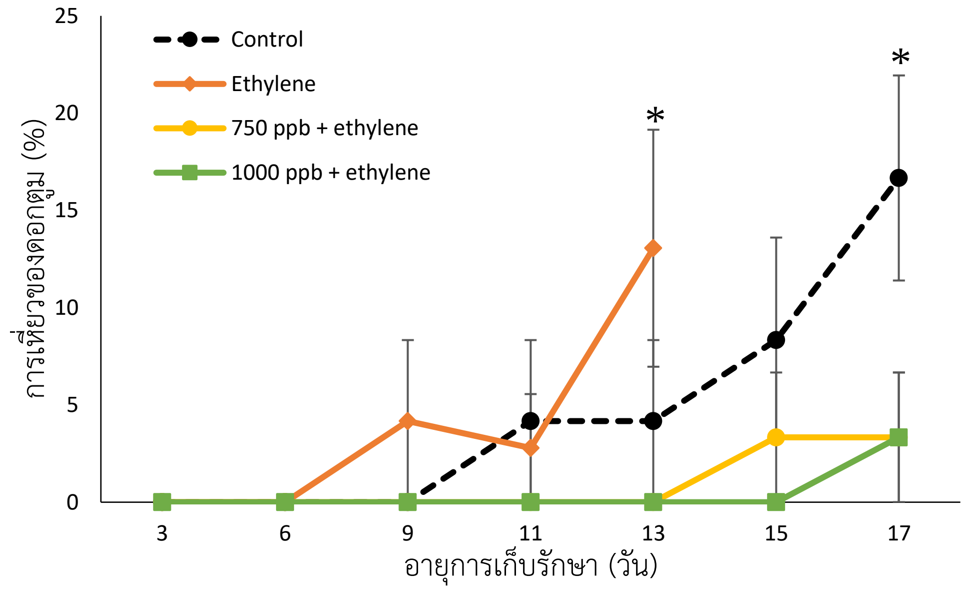
2.1 การบานและการเหี่ยวของดอกตูม

จากการทดลองพบว่า การบานของดอกตูม (%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 และพบว่า กล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ทั้งสองความเข้มข้น ช่วยลดการบานของดอกตูม (%) ได้ในทุกวันของการเก็บรักษาตลอดการทดลอง และมีความแตกต่างจากการบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของกล้วยไม้ที่รมด้วยเอทิลีนในวันที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ในวันที่ 6, 9 และ 11 มีการบานของดอกตูมน้อย (%) ที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่รมด้วยเอทิลีน (ภาพที่ 12 และภาคผนวก ข ตารางที่ 6)

จากผลการทดลองการเหี่ยวของดอกตูม (%) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเหี่ยวของดอกตูม (%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า และพบว่ากล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ทั้งสองความเข้มข้น มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) น้อยที่สุดในทุกวันของอายุการเก็บรักษา และมีความแตกต่างจากการเหี่ยวของดอกตูม (%) ของกล้วยไม้ที่รมด้วยเอทิลีนในวันที่ 13 และกล้วยไม้ที่เป็นชุดควบคุมในวันที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) น้อยที่สุดในการทดลองวันที่ 6 -15 ในขณะที่กล้วยไม้ที่ถูกรมเพียงแก๊สเอทิลีน มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) มากที่สุด ในวันที่ 13 และได้หมดอายุลง (ภาพที่ 13และภาคผนวก ข ตารางที่ 7)



ภาพที่ 12 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรมด้วย 1-MCP และเอทิลีน

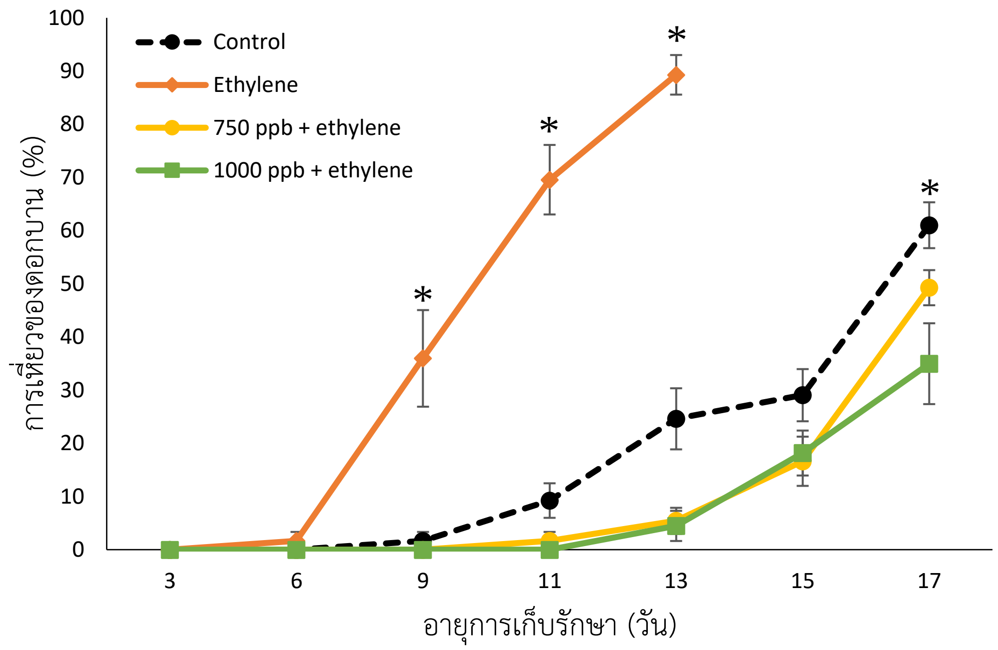


ภาพที่ 13 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.2 การเหี่ยวของดอกบาน

การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของกล้วยไม้ที่รม1-MCP ทั้งสองความเข้มข้นมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการเหี่ยวของดอกบาน (%) ของกล้วยไม้ชุดควบคุมในวันมี่ 13 และการเหี่ยวของดอกบาน (%) ของกล้วยไม้ที่รมเอทิลีนในวันที่ 9 11 และ 13 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กล้วยไม้ที่รมเอทิลีนหมดอายุการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 13 และพบว่าการรม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb สามารถลดการเหี่ยวของดอกบาน (%) ได้มากที่สุดซึ่งแตกต่างจากการใช้ความเข้มข้น 750 ppb และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 17 (ภาพที่ 14 และภาคผนวก ข ตารางที่ 8)

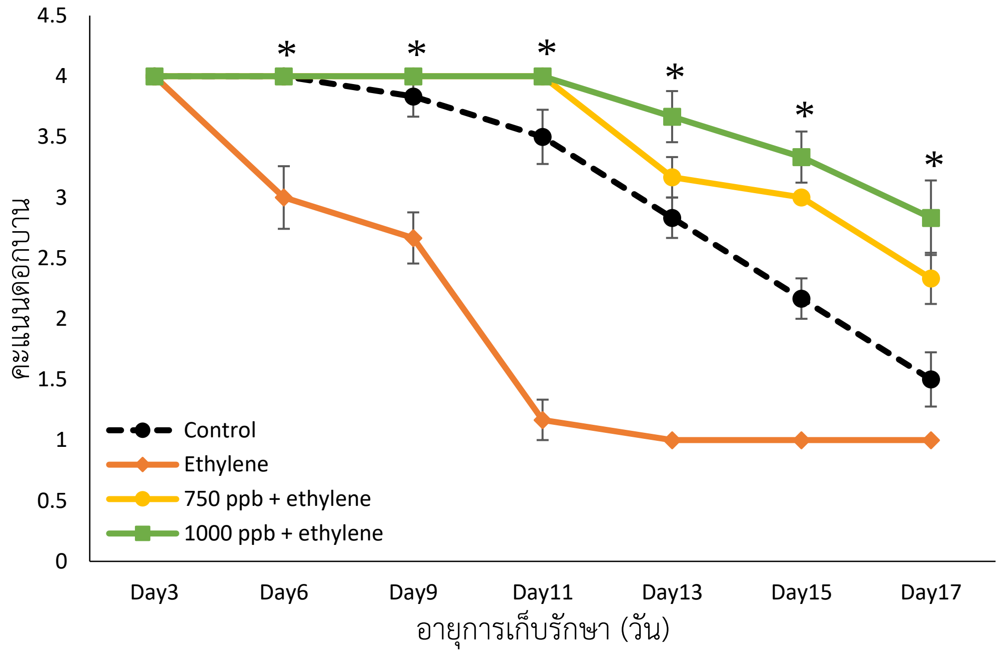


ภาพที่ 14 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.3 การให้คะแนนดอกบาน

จากผลการทดลองพบว่า คุณภาพของดอกลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น เห็นได้จากคะแนนดอกมีแนวโน้มลดลง กล้วยไม้ที่รม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีคะแนนดอกมากที่สุดในทุกวันตลอดการทดลอง นอกจากนี้พบว่ากล้วยไม้ที่รม 1-MCP ทั้งสองความเข้มข้นมีคะแนนดอกมากกว่ากล้วยไม้ที่รมเอทิลีนที่มีคะแนนของดอกน้อยที่สุด ซึ่งแสดงถึงอาการวายมากที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 6 จนถึงสิ้นสุดระยะการเก็บรักษา (ภาพที่ 15 และภาคผนวก ข ตารางที่ 9)



ภาพที่ 15 ให้คะแนนดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

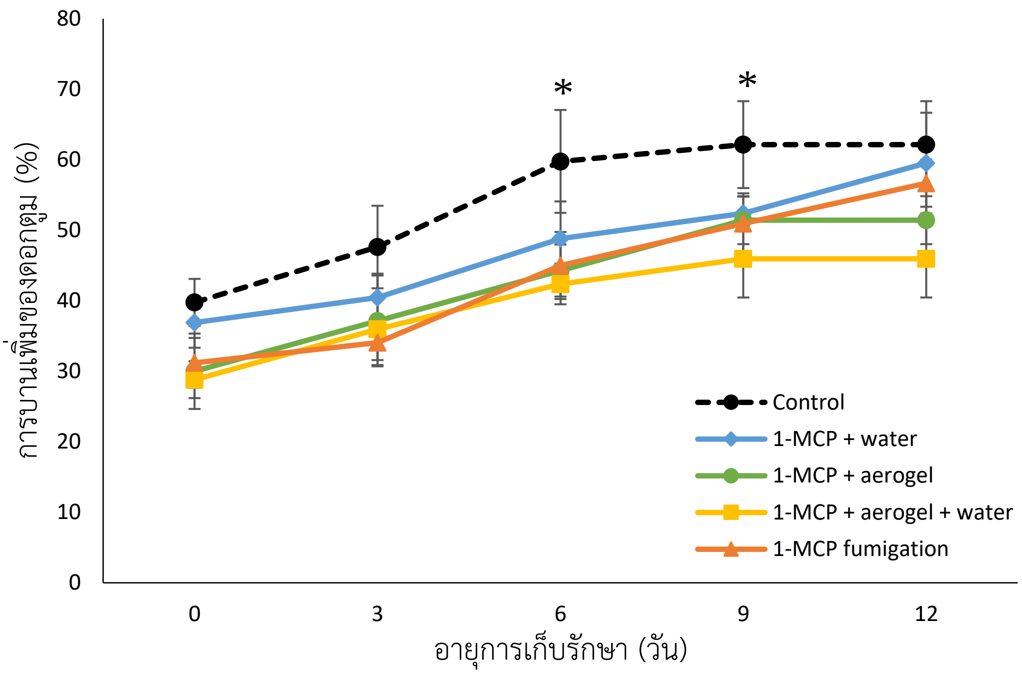
จากที่กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในบทที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' เนื่องด้วยคาดหวังให้ nanocellulose aerogel ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ 1-MCP ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอกได้ดีขึ้น โดยช่วยในการค่อยๆ ปลดปล่อยของ 1-MCP ดังนั้นจึงทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้ 1-MCP การใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำและไม่จุ่มน้ำ ในลักษณะถุง sachet และการใช้ 1-MCP ด้วยวิธีการรม โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การบานและการเหี่ยวของดอกตูม

จากการทดลองพบว่าในวันที่ 6 และ 9 ของการทดลอง กล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำมีการบานเพิ่มของดอกตูม (%) น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไม้ชุดควบคุม จากผลการทดลองพบว่าการบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของกล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงวันที่แรกถึงวันที่ 6 อย่างไรก็ตาม หลังจากวันที่ 6 พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีการบานเพิ่มของดอกตูม (%) มากที่สุด แนวโน้มของการบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP ยังคงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า (ภาพที่ 16 และภาคผนวก ข ตารางที่ 10)

จากการศึกษาผลของการเหี่ยวของดอกตูม พบว่ากล้วยไม้ชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ รวมถึงกล้วยไม้ที่รม 1-MCP มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไม้ชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบไม่จุ่มน้ำและกล้วยไม้ในชุดควบคุม ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 6 และ 9 ของการทดลอง นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่ากล้วยไม้ที่รม 1-MCP มีการเหี่ยวของดอกตูม (%) น้อย

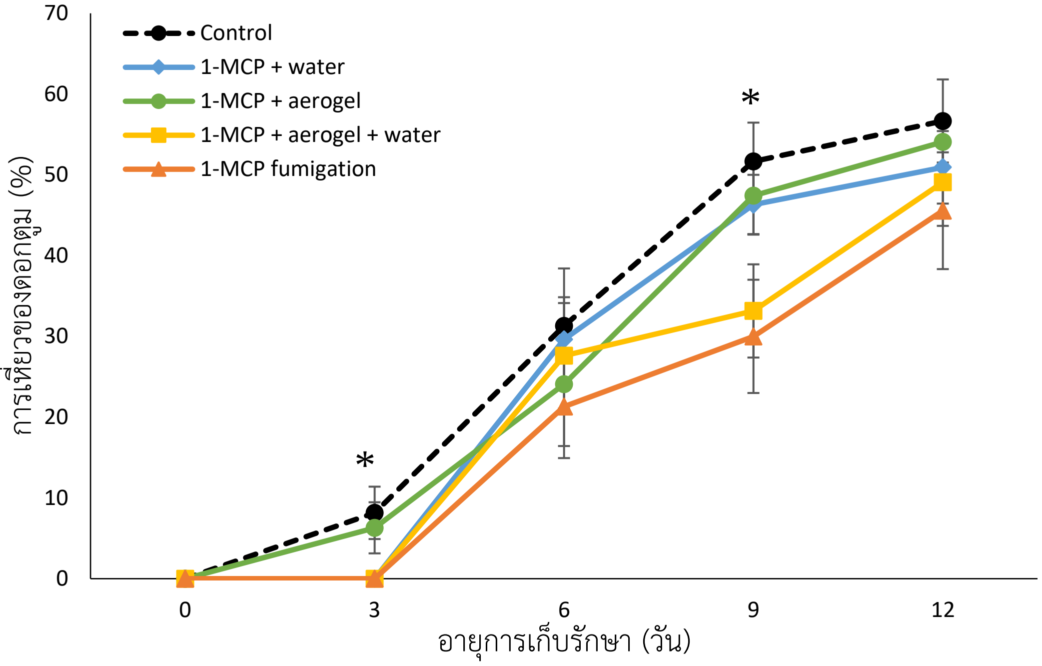
ที่สุดในทุกวันของการทดลอง โดยเห็นได้ชัดในวันที่ 9 ซึ่งมีความแตกต่างจากกล้วยไม้ในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 17 และภาคผนวก ข ตารางที่ 11)



ภาพที่ 16 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



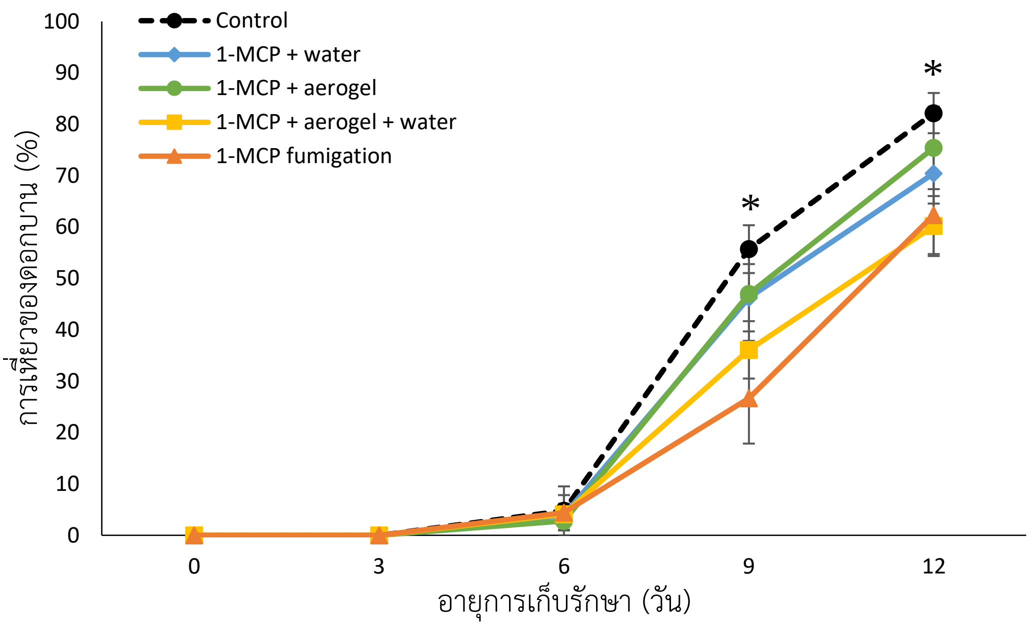
ภาพที่ 17 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 การเหี่ยวของดอกบาน

สำหรับการศึกษาการเหี่ยวของดอกบาน จากผลการทดลองพบว่าการเหี่ยวของดอกบาน (%) ของกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP ในวันที่ 9 และกล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ ในวันที่ 12 ของการทดลอง มีค่าน้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการเหี่ยวของดอกบาน (%) ของกล้วยไม้ในชุดควบคุมซึ่งมีค่ามากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 18 และภาคผนวก ข ตารางที่ 12)

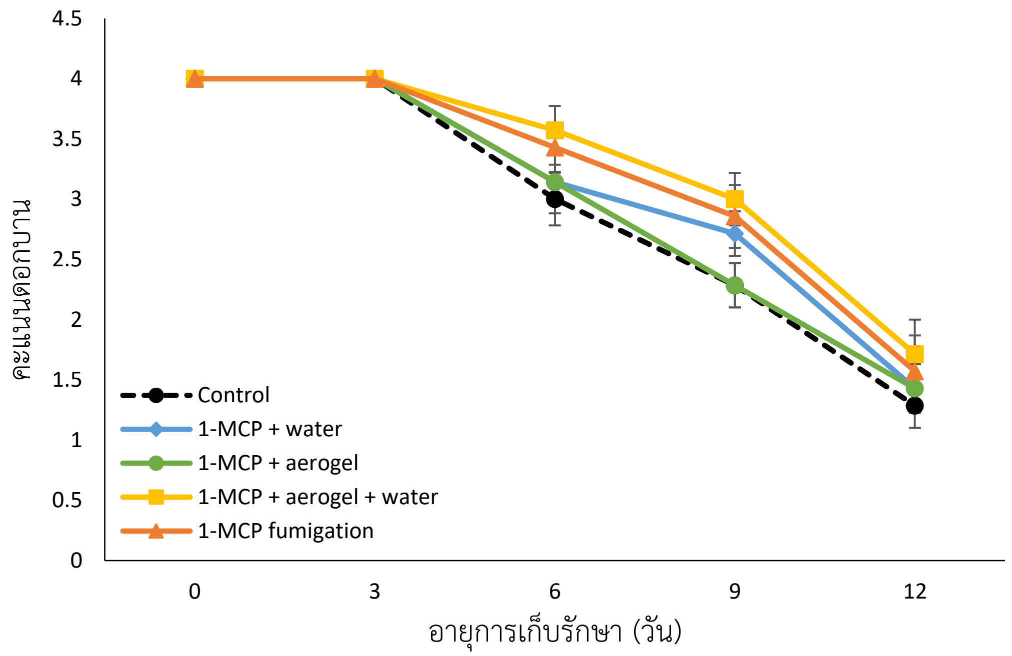


ภาพที่ 18 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.3 การให้คะแนนดอกบาน

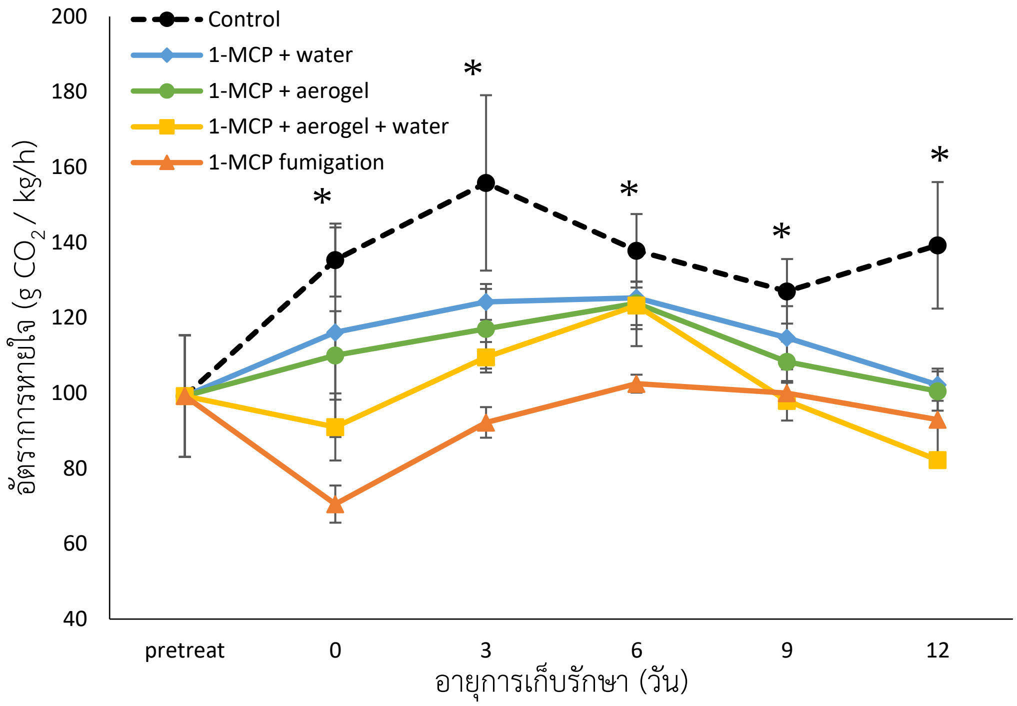
จากผลการทดลองพบว่า คะแนนดอกของกล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีค่ามากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและมีค่าใกล้เคียงกับคะแนนดอกของกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP ซึ่งแสดงถึงกล้วยไม้มีอาการวายน้อยเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และแนวโน้มของคะแนนดอกมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า (ภาพที่ 19 และภาคผนวก ข ตารางที่ 13)



ภาพที่ 19 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

3.4 อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจที่ได้จากการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้จากกระบวนการหายใจของพืช มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงวันแรกของการทดลอง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง จากการทดลองเห็นได้ว่ากล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำใกล้เคียงกับการรมด้วย 1-MCP และมีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ในชุดควบคุมที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดตั้งแต่วันแรกจนวันสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 20 และภาคผนวก ข ตารางที่ 14)

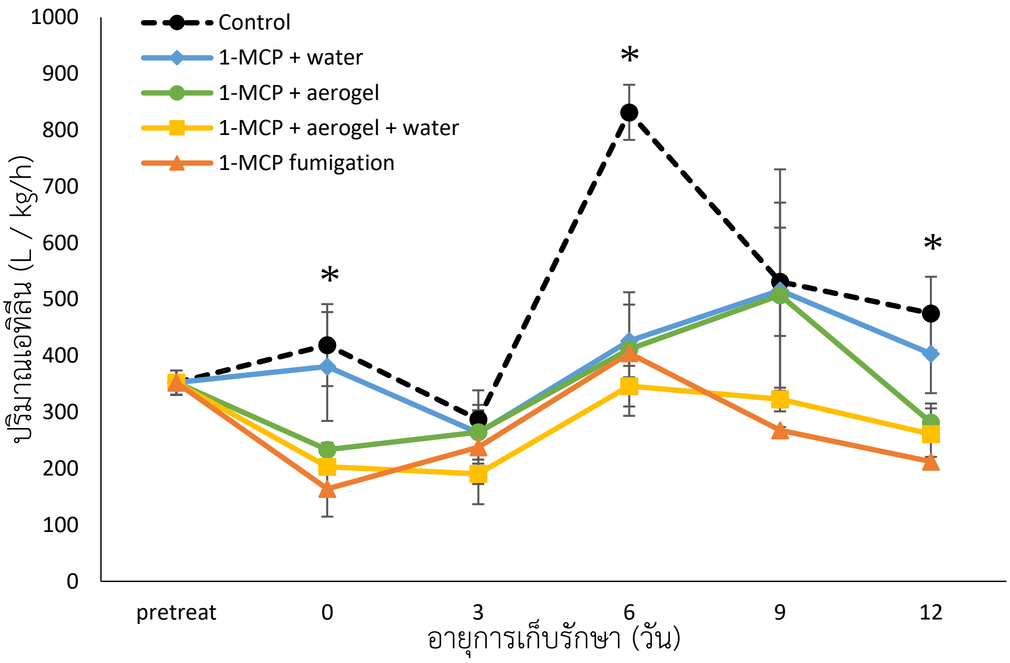


ภาพที่ 20 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.5 ปริมาณเอทิลีน

จากการศึกษาปริมาณเอทิลีน พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกับอัตราการหายใจ คือเอทิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวันที่ 3-6 จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปใกล้สิ้นสุดการทดลอง เอทิลีนมีแนวโน้มลดลง จากการทดลองพบว่า กล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ รวมถึงกล้วยไม้ในที่รมด้วย 1-MCP มีปริมาณเอทิลีนต่ำใกล้เคียงกันตลอดอายุการเก็บรักษา และปริมาณเอทิลีนของทั้งสองชุดการทดลองที่กล่าวมามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเอทิลีนที่มากที่สุดของกล้วยไม้ในชุดควบคุม ในวันแรกของการทดลอง วันที่ 6 และวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 21 และภาคผนวก ข ตารางที่ 15)

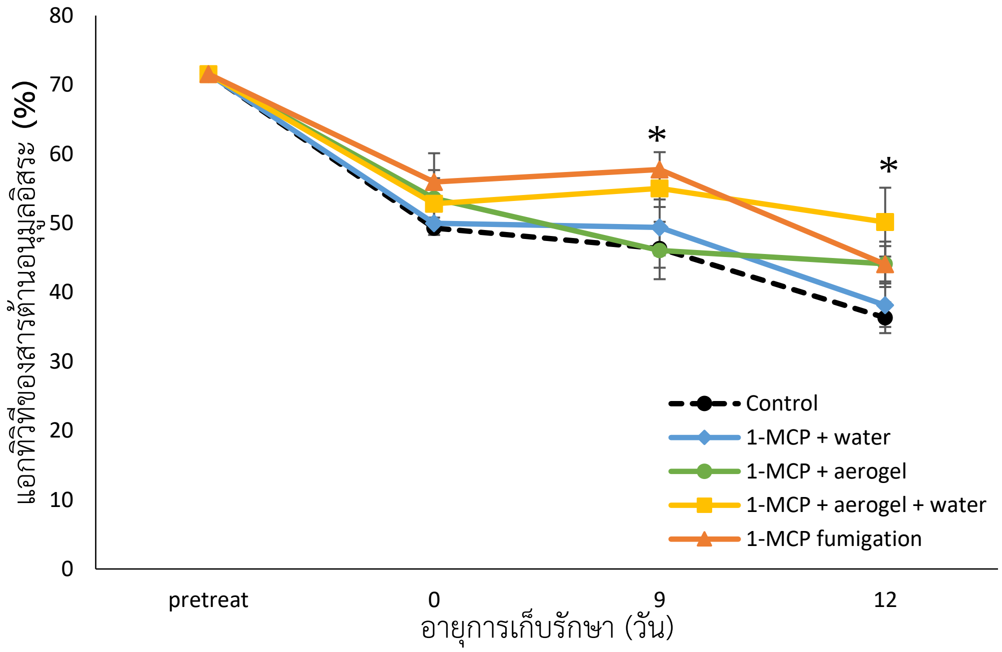


ภาพที่ 21 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.6 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

จากการศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยไม้มีแนวโน้มลดลง จากการทดลองพบว่าแอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระของกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP และกล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน และมีค่าสูงใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง โดยเฉพาะในวันที่ 9 นอกจากนี้ ในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่ากล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีค่าแอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระมากและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้เพียง 1-MCP แบบไม่จุ่มน้ำ และกล้วยไม้ในชุดควบคุม (ภาพที่ 22 และภาคผนวก ข ตารางที่ 16)

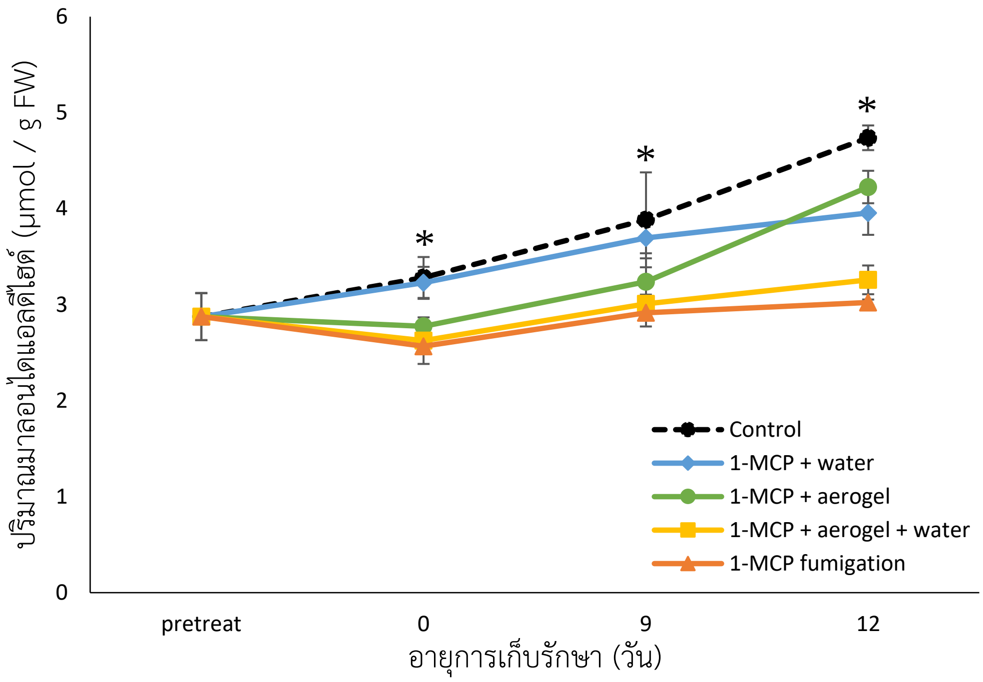


ภาพที่ 22 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content)

จากการศึกษา พบว่าปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยจากผลการทดลองพบว่ากล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ที่รม 1-MCP มีปริมาณ MDA น้อยที่สุดและเป็นปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าปริมาณ MDA ของทั้งสองชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ในชุดควบคุมซึ่งมีปริมาณ MDA มากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษาหลังจากนำกล้วยไม้ออกจากกล่อง (ภาพที่ 23 และภาคผนวก ข ตารางที่ 17)

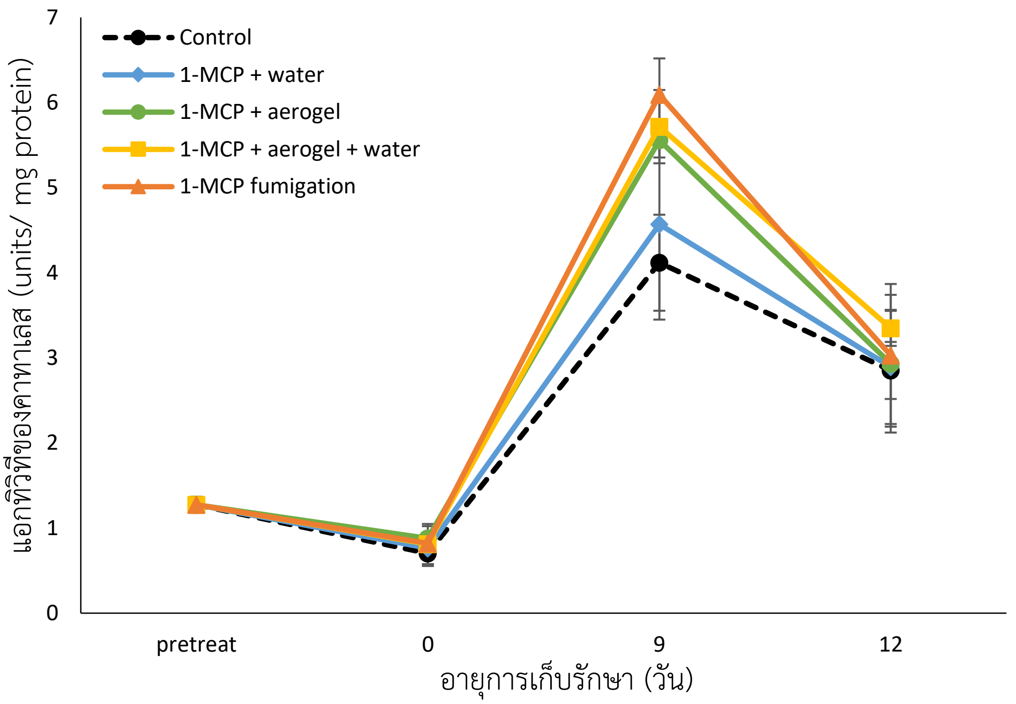


ภาพที่ 23 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.8 แอกทิวิทีของคาทาเลส (catalase, CAT)

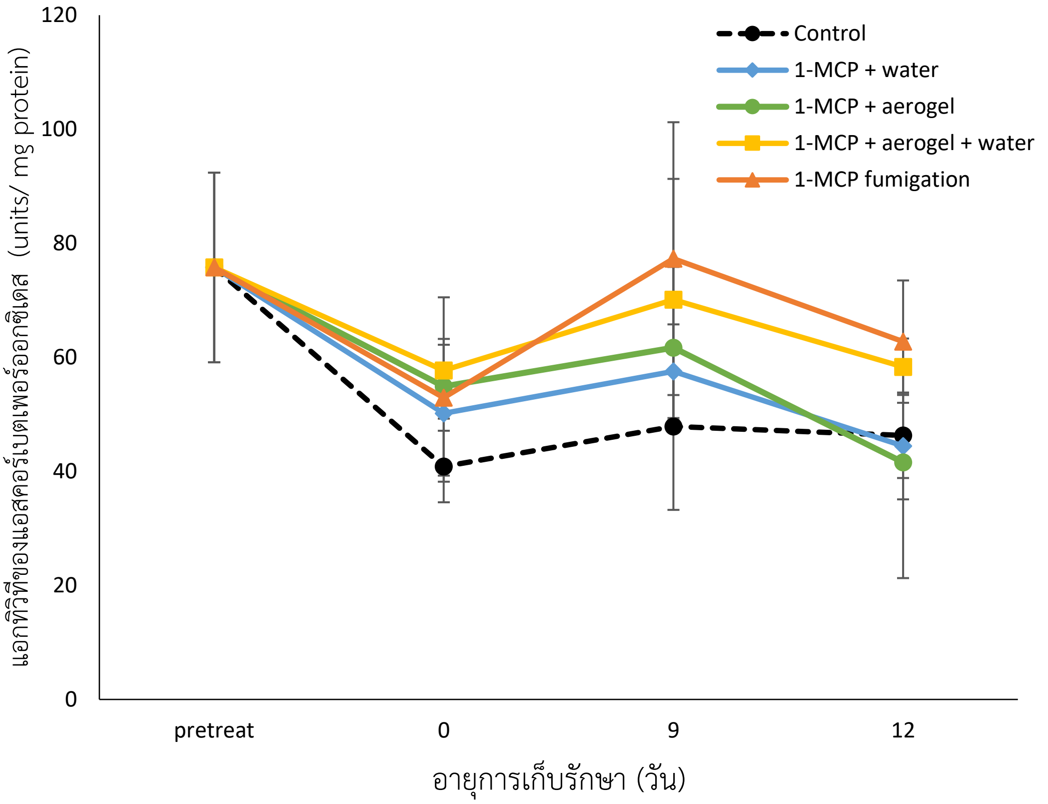
จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มของแอกทิวิทีของ CAT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของระยะการเก็บรักษา จากนั้นแอกทิวิทีเริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และจากผลการทดลองพบว่า กล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบไม่จุ่มน้ำ แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP มีแอกทิวิทีของ CAT ใกล้เคียงกันและแตกต่างจากกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่น โดยสามารถสังเกตเห็นได้ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาในการทดลอง (ภาพที่ 24 และภาคผนวก ข ตารางที่ 18)



ภาพที่ 24 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

3.9 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase, APX)

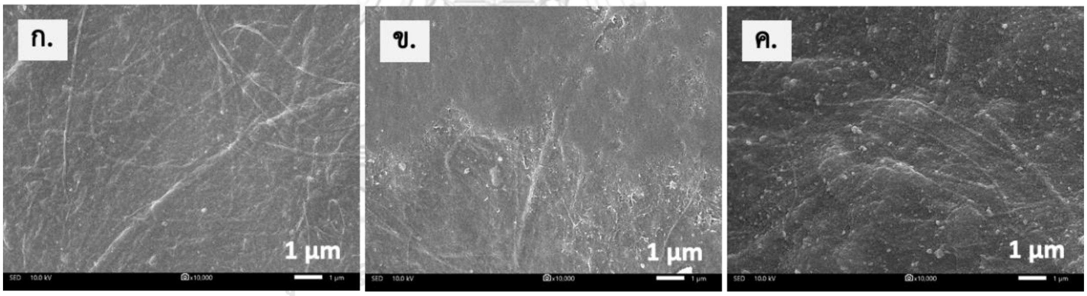
จากการศึกษาพบว่าแอกทิวิทีของ APX มีแนวโน้มคล้ายกับ CAT คือเพิ่มขึ้นช่วงแรกของระยะการเก็บรักษา จากนั้นแอกทิวิทีของ APX เริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่า กล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP มีแอกทิวิทีของ APX ใกล้เคียงกันและแตกต่างจากกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในการทดลอง (ภาพที่ 25 และภาคผนวก ข ตารางที่ 19)



ภาพที่ 25 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

3.10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel

จากการศึกษาพบว่า nanocellulose aerogel ก่อนใช้งานมีลักษณะเป็นเส้นใยยาว และเกี่ยวพันกัน เส้นใยบางเส้นเกาะกลุ่มกันจนดูคล้ายเป็นเส้นใยเส้นใหญ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 50-100 นาโนเมตร (ภาพที่ 26(ก)) หลังจากนำ nanocellulose aerogel จุ่มน้ำ พบว่าเส้นใยรวมกันเป็นกลุ่มก้อนเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนจากการมีน้ำเข้าแทรกบริเวณช่องว่างระหว่างเส้นใยในภาพ ข. บริเวณด้านบน ไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะเส้นใยได้อย่างชัดเจน เนื่องจากเกรนทองปกคลุม (ภาพที่ 26(ข)) และหลังจากนำ nanocellulose aerogel จุ่มน้ำในถุง sachet และทำการทดลองในกล่องเป็นเวลา 7 วัน พบว่า nanocellulose aerogel ยังคงลักษณะของเส้นใยยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตรเช่นเดิม (ภาพที่ 26(ค))



Chulalongkorn University

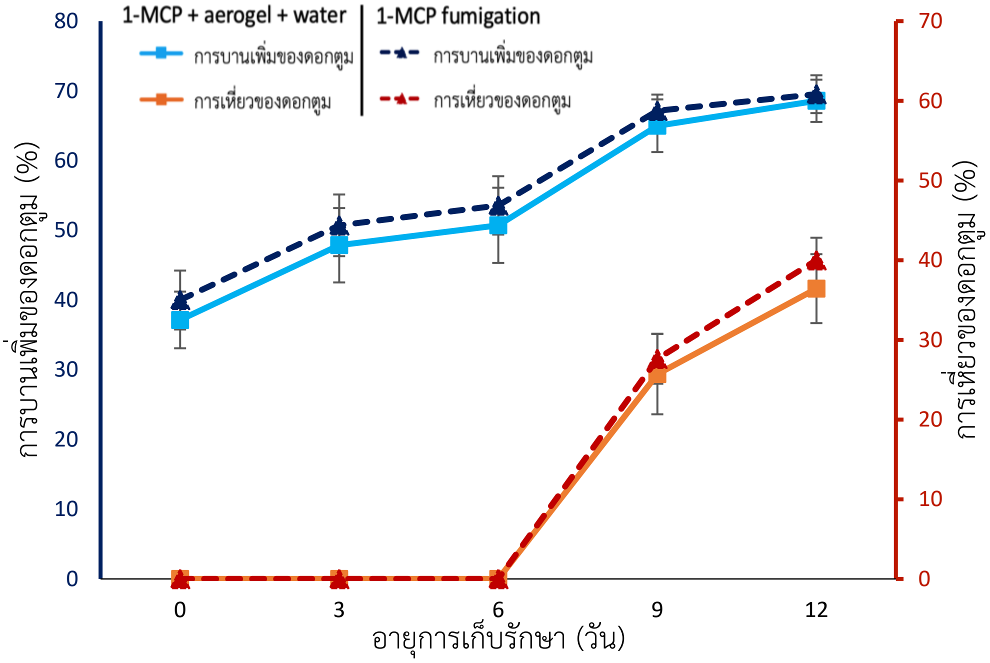
ภาพที่ 26 ภาพถ่ายเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า แสดงโครงสร้างของ nanocellulose aerogel (ก) ก่อนใช้งาน (ข) หลังจุ่มน้ำ และ (ค) จุ่มน้ำและอยู่ในถุง sachet เป็นเวลา 7 วัน

4. การทดลองซ้ำเพื่อเปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

ในส่วนที่ 4 เป็นทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ในลักษณะถุง sachet ซึ่งถูกคัดเลือกมาจากการทดลองส่วนที่ 3 และการรม 1-MCP ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม โดยศึกษาปัจจัยต่างๆตามการทดลองในส่วนที่ 3 มีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การบานและการเหี่ยวของดอกตูม

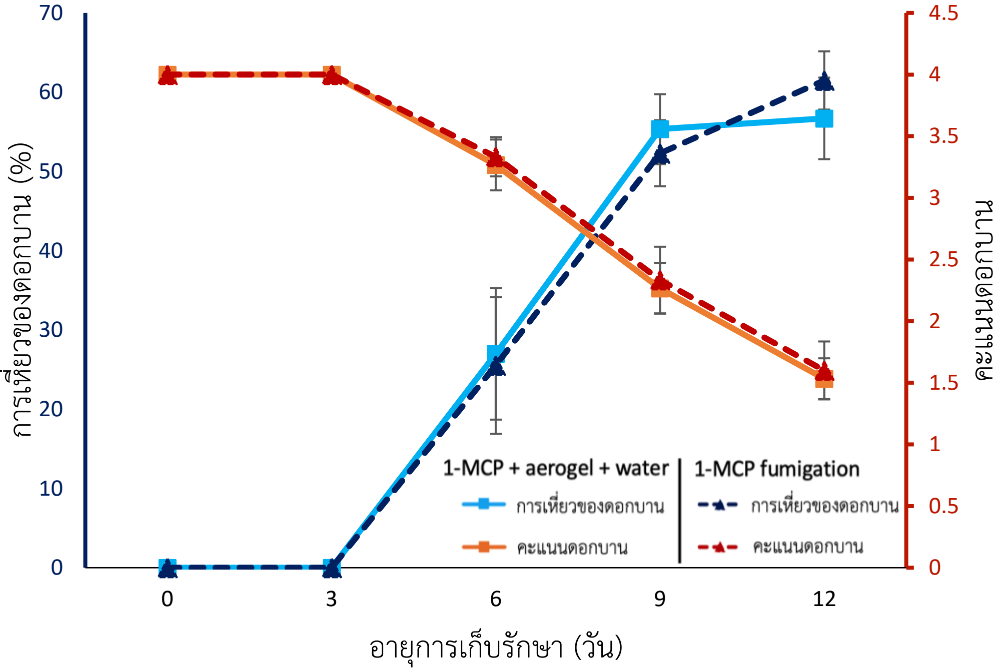
จากการทดลองพบว่า กล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP ไม่มีความแตกต่างจากการบานเพิ่ม (%) และการเหี่ยวของดอกตูม (%) ของกล้วยไม้ที่รม 1-MCP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและพบว่าค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า (ภาพที่ 27 และภาคผนวก ข ตารางที่ 20-21)



ภาพที่ 27 การบานเพิ่มและการเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

4.2 การเหี่ยวและคะแนนดอกบาน

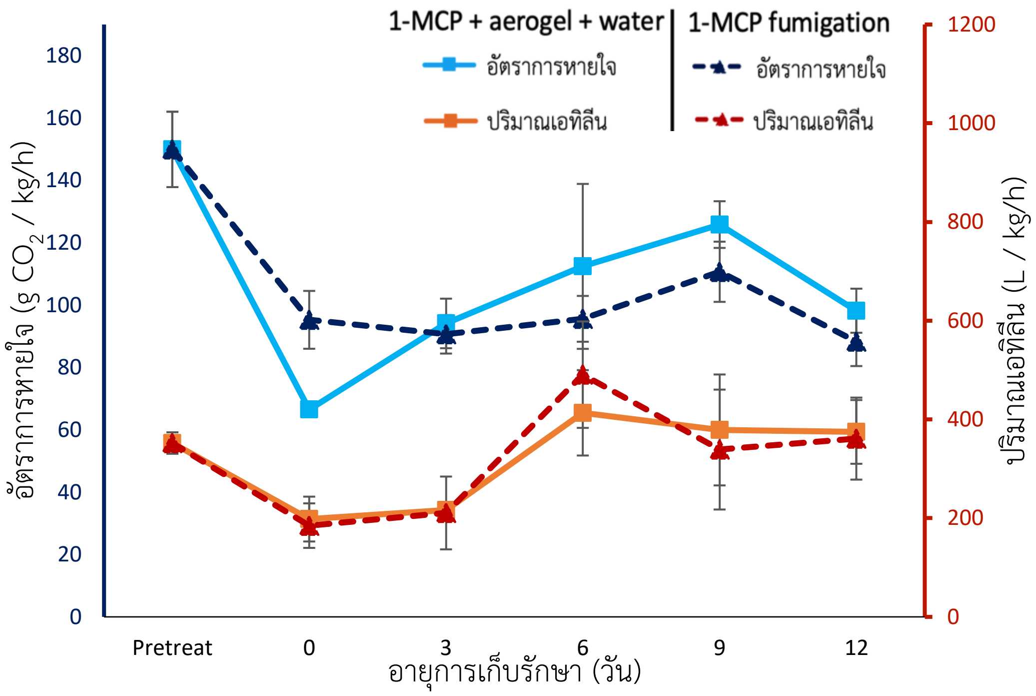
จากการศึกษาการเหี่ยวของดอกบาน จากผลการทดลองพบว่าในขณะที่การเหี่ยวของดอกบาน (%) มีแนวโน้มลดลง การให้คะแนนของดอกบานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า ซึ่งกล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP มีผลของการเหี่ยว (%) และการให้คะแนนดอกบาน ไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุเก็บรักษา (ภาพที่ 28 และภาคผนวก ข ตารางที่ 22-23)



ภาพที่ 28 การเหี่ยวของดอกบาน (%) และการให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

4.3 อัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีน

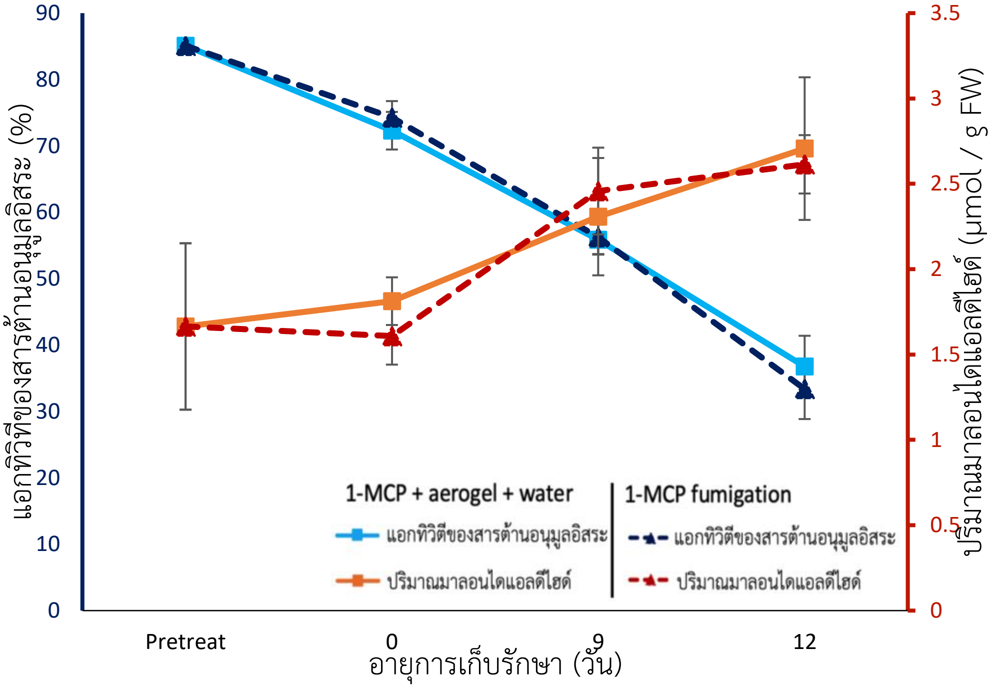
จากผลการวัดอัตราการหายใจโดยการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณเอทิลีน พบว่าทั้งสองค่าลดลงเมื่อเริ่มทำการทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า จากผลการทดลองพบว่ากล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนไม่มีความแตกต่างจากค่าของกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 29 และภาคผนวก ข ตารางที่ 24-25)



ภาพที่ 29 อัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

4.4 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) และปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content)

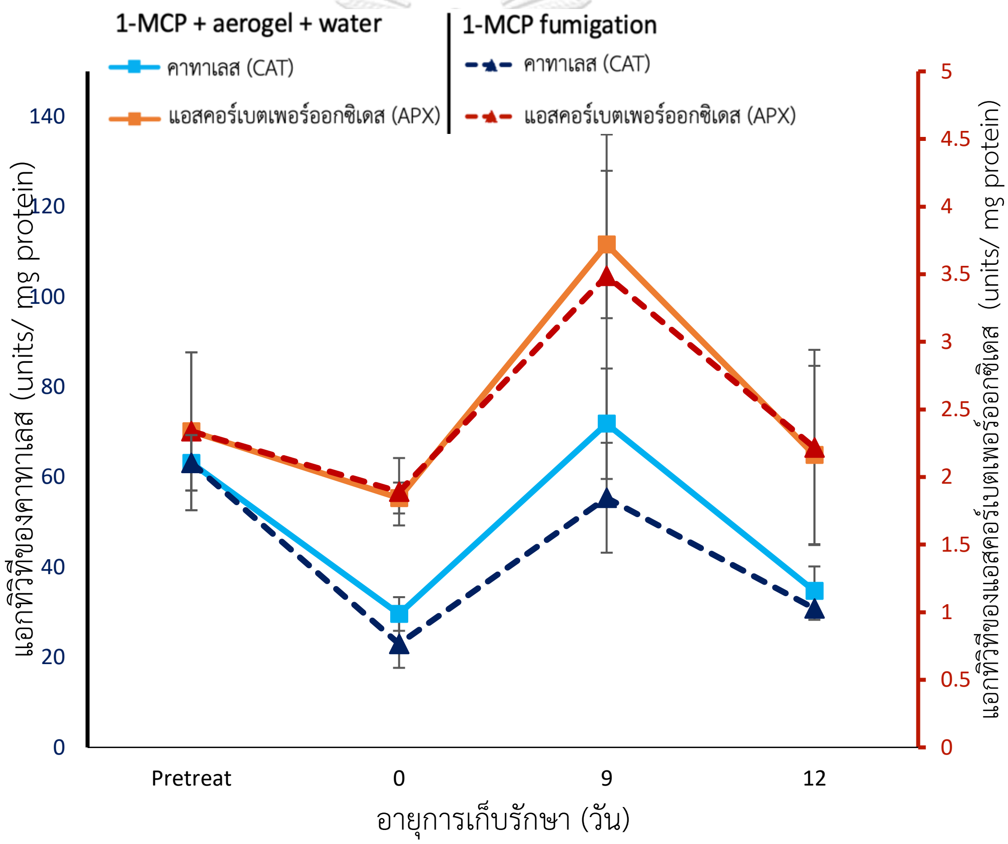
จากการศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระของกล้วยไม้ในชุดการทดลองการรมด้วย 1-MCP และกล้วยไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกวันของการทดลอง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า โดยจากผลการทดลองพบว่าปริมาณ MDA ในทั้งสองชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษาเช่นกัน (ภาพที่ 30 และภาคผนวก ข ตารางที่ 26-27)



ภาพที่ 30 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) และปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

4.5 แอกทิวิทีของคาทาเลส (catalase, CAT) และแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase, APX)

จากผลการทดลองพบว่ากล้วยไม้ที่ใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP มีแนวโน้มแอกทิวิทีของ CAT และ APX เพิ่มขึ้นช่วงแรกของระยะการเก็บรักษา จากนั้นแอกทิวิทีเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 9 เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า แอกทิวิทีของ CAT และ APX ของทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 31 และภาคผนวก ข ตารางที่ 28-29)



ภาพที่ 31 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) และแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลอง

1. ผลของ 1-MCP และเอทิลีนต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana'

เอทิลีนส่งผลให้กล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' มีการบานเพิ่ม การเหี่ยว และการหลุดร่วงของดอกตูมอย่างรวดเร็ว ดอกบานที่ได้รับเอทิลีนมีอาการเหี่ยวและหลุดร่วงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน โดยจากผลการทดลองการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนได้รับเอทิลีนและการได้รับเอทิลีนเพียงอย่างเดียว พบว่ากล้วยไม้ในชุดการทดลองที่รมเพียงเอทิลีน มีอาการวายและหมดอายุการเก็บรักษาเร็วที่สุดอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 12-15 และภาคผนวก ข ตารางที่ 6-9) สอดคล้องกับงานวิจัยของคุณ Raffeiner และคณะ (2009) ซึ่งในชุดการทดลองที่รมเอทิลีน ส่งผลให้กล้วยไม้ *Oncidium* 'Sweet Sugar' มีอายุการใช้งานสั้นที่สุดเช่นเดียวกัน เนื่องจากเมื่อเอทิลีนจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) (Sisler and Serek, 1997) จะทำให้เซลล์พืชมีการตอบสนองต่อเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น ชักนำการเพิ่มอัตราการหายใจมากกว่าปกติ ลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลต่อการกระตุ้นการแสดงออกของยีนส์ที่ควบคุมการทำลายผนังเซลล์ และเพิ่มการสร้างอนุมูลอิสระ ดอกจึงเกิดการเหี่ยว กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเกิดการหลุดร่วงในที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลจากการใช้ 1-MCP ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก พบว่า กล้วยไม้ตัดดอกที่รมด้วย 1-MCP มีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวดีกว่าชุดการทดลองควบคุม โดยมีอายุการปักแจกันนานกว่ากล้วยไม้ตัดดอกที่ไม่ได้รม 1-MCP ทั้งนี้ 1-MCP ทำหน้าที่จับกับตัวรับเอทิลีนที่เซลล์ของพืช ซึ่งนอกจากจะยับยั้งการวาย ของกล้วยไม้ตัดดอกได้แล้ว ยังสามารถยับยั้งการสร้างเอทิลีนของดอกได้ด้วย (Sisler et al., 1996; Sisler and Serek, 1997) จากการศึกษาผลของการใช้ 1-MCP พบว่าพบว่าที่ความเข้มข้นที่ 500 ppb ไม่เหมาะสมเนื่องจากปลดปล่อยปริมาณ 1-MCP ไม่มากเพียงพอเพื่อยับยั้งการทำงานของเอทิลีน และความเข้มข้นที่ 1250 ppb เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปและไม่เหมาะสมเช่นกัน และพบว่า 1-MCP ที่ความเข้มข้น 750 ppb และ 1000 ppb มีผลต่อการช่วยลด

การเปลี่ยนแปลงของดอกตูมและดอกบาน รวมถึงอาการการวายของดอกได้ใกล้เคียงกันและแตกต่างจากกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่นและชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 8-11 และภาคผนวก ข ตารางที่ 2-5) จึงเลือกความเข้มข้นของ 1-MCP ทั้งสองความเข้มข้นมาทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยืดอายุของช่อดอกกล้วยไม้ด้วยการรมเอทิลีนความเข้มข้น 400 ppb จากผลการทดลอง หลังรม 1-MCP พบว่า 1- MCP ที่ความเข้มข้น 1000 ppb มีความเหมาะสมสำหรับการรักษาคุณภาพของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’มากที่สุด เห็นได้ชัดจากการลดลงของการบานเพิ่มของดอกตูมและการเหี่ยว (%) ของดอกบานที่มีความแตกต่างจากกล้วยไม้ที่รมด้วยเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12-15 และภาคผนวก ข ตารางที่ 6-9) ซึ่งสอดคล้องกับงานของคุณ Mattiuz และคณะ (2012a) ที่รายงานว่าการรม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ส่งผลให้กล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium varicosum* ‘Samurai’ มีการบานเพิ่มของดอกตูมลดลง โดยการใช้ 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดและความหลากหลายของกล้วยไม้ตัดดอก ดังเช่น ความเข้มข้นของการใช้ 1-MCP ที่เหมาะสมเพื่อช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา และลดการหลุดร่วงของดอกตูมและดอกบานของกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Sweet Sugar’ คือความที่เข้มข้น 200 ppb (Raffeiner et al., 2009)

2. ผลของการใช้งาน 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’

ในการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาการใช้งานระหว่าง 1-MCP เข้มข้น 1000 ppb และ นาโนเซลลูโลสต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ โดยจากผลการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของช่อดอกกล้วยไม้ พบว่ากล้วยไม้ที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb มีการบานเพิ่มของดอกตูม (%) การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน (%) รวมถึงอาการวายหลังการเก็บเกี่ยวของ *Oncidium* ‘Goldiana’ ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่นและชุดควบคุม (ภาพที่ 16-19 และภาคผนวก ข ตารางที่ 1, 10-13) เนื่องจาก 1-MCP ทำหน้าหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นการวายของพืช ส่งผลให้สามารถชะลออาการวายต่าง ๆ ของกล้วยไม้ได้ จากการศึกษาอัตราการหายใจโดยวัดปริมาณของ CO_2 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการหายใจของพืช รวมถึงการวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีน พบว่ากล้วยไม้ที่ได้รับ 1-MCP มีอัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีนต่ำกว่ากล้วยไม้ในชุดชุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ควบคุม (ภาพที่ 20-21 และภาคผนวก ข ตารางที่ 14-15) เนื่องด้วย เมื่อ 1-MCP เข้าจับกับตัวรับเอทิลีนที่เซลล์ของพืช เพื่อยับยั้งการทำงานเอทิลีน เอทิลีนจึงไม่สามารถไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อื่น ๆ ที่ส่งผลให้เกิดอาการวายในพืช เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำลายผนังเซลล์ จึงสามารถลดการหลุดร่วงของดอกได้ นอกจากนี้ การใช้ 1-MCP ยังส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase และ ACC oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอทิลีนในสองขั้นตอนสุดท้าย (Wang et al., 2002) ทำให้มีการผลิตเอทิลีนได้น้อยลง เช่นเดียวกับรายงานการใช้ 1-MCP กับกล้วยไม้ตัดดอกชนิดอื่น พบว่า 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase และลดปริมาณ ACC ซึ่งสามารถกลายเป็นเอทิลีนได้ในขั้นต่อมา และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase ส่งผลถึงการลดการสร้างเอทิลีนใน *Mokara* 'Oriental Red' และ 'Chao Praya Pink' (Nur Azlin et al., 2013) นอกจากนี้ 1-MCP ส่งผลต่อการลดอัตราหายใจ เนื่องจากช่วยการชะลอการวาย ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Mattiuz และคณะ (2012a) ที่รายงานว่ากล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium varicosum* 'Samurai' ที่รม 1-MCP มีปริมาณ CO_2 ต่ำกว่ากล้วยไม้ในชุดควบคุม ในวันที่ 12-17 ของการเก็บรักษา

1-MCP สามารถช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาอื่น ๆ ที่สำคัญคือ ช่วยลดอนุมูลอิสระหรือ reactive oxygen species (ROSs) ในเซลล์พืชได้ โดยลดการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความเครียดที่เกิดจากการสะสมของ ROSs จากความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzymes ได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า กล้วยไม้ที่รมด้วย 1-MCP มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า (ภาพที่ 22 และภาคผนวก ข ตารางที่ 16) และเพิ่มประสิทธิภาพของ antioxidant enzymes คือ CATและ APX ได้มากกว่ากล้วยไม้ที่ไม่ได้รับ 1-MCP ในชุดควบคุม (ภาพที่ 24-25 และภาคผนวก ข ตารางที่ 18-19) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของคุณ Chuchoisuwan และคณะ (2019a) ที่ศึกษาการใช้ 1-MCP กับกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน พบว่า 1-MCP ช่วยลดปริมาณ H_2O_2 ซึ่งเป็นสามารถเปลี่ยนเป็น ROSs ชนิดอื่น ๆ ได้ ในขณะเดียวกัน 1-MCP ช่วยให้การทำงานของ APX มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ไม่ได้รับ 1-MCP รวมถึงสอดคล้องกับการใช้ 1-MCP ในช่อดอกแกลดิโอลัส พบว่าช่อดอกที่ไม่ได้รับ 1-MCP มีการทำงานของเอนไซม์ CAT น้อยกว่า ช่อดอกที่ได้รับ 1-MCP อย่างเห็นได้ชัด (Hassan and Ali, 2014) การเกิด lipid peroxidation ที่ลดลง เป็นผลจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การใช้ 1-MCP จากการทดลองสามารถวัดได้จากปริมาณ MDA ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์รองที่ได้จากปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์พืช โดยจากผลการทดลองพบว่า 1-MCP ช่วยลดปริมาณของ MDA ในกล้วยไม้ที่ได้รับ 1-MCP (ภาพที่ 23 และภาคผนวก ข ตารางที่ 17) แสดงถึงการเกิดการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นผลจากประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme มากขึ้น เมื่อเทียบกับกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับรายงานของ Mohammadpour และคณะ (2015) ที่ศึกษาการรม 1-MCP ในกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวาย พบว่าปริมาณ MDA ลดลงเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ได้รับสารผลิตเอทิลีนหรือเอทิฟอนและชุดควบคุม

ผลของการใช้ nanocellulose aerogel ร่วมกับ 1-MCP พบว่า กล้วยไม้ชุดการทดลองที่ใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ และกล้วยไม้ชุดการทดลองที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมส่งออก สามารถช่วยลดการบานเพิ่มของดอกตูม (%) การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน (%) อาการวายหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ ลดอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน (ภาพที่ 16-21 และภาคผนวก ข และตารางที่ 1, 10-15) อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณ ROSs ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิด oxidative stress ส่งผลให้การเกิด lipid peroxidation ในกล้วยไม้ลดลง (ภาพที่ 23 และภาคผนวก ข ตารางที่ 17) นอกจากนี้สามารถช่วยเพิ่มความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 22 และภาคผนวก ข ตารางที่ 16) และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme ได้แก่ CAT และ APX (ภาพที่ 24-25 และภาคผนวก ข ตารางที่ 18-19) ของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ ได้อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ในชุดการทดลองอื่น แสดงให้เห็นถึงการทำงานร่วมกันระหว่าง 1-MCP และ nanocellulose aerogel ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้เทียบเท่ากับวิธีการรมซึ่งเป็นที่นิยม nanocellulose ที่นำมาใช้ ผลิตมาจากเยื่อที่มีความเหนียวและแข็งแรงจากต้นกัญชงในส่วนของแกนลำต้นซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อลดขนาดเส้นใย จากระดับไมโครเมตรสู่ระดับนาโนเมตร ส่งผลให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากขึ้นเมื่อเทียบปริมาตรที่เท่ากัน ซึ่ง hydroxyl group เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วและมีลักษณะชอบน้ำ (hydrophilic) ประกอบกับเมื่อนำมาขึ้นรูปเป็น aerogel ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติเบาและรูพรุนสูง จึงส่งผลให้มีการดูดซับและกักเก็บน้ำที่ดี สามารถปลดปล่อยโมเลกุลน้ำได้อย่างช้าๆ สอดคล้องกับใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยก่อนหน้าของคุณ Mallepally และคณะ (2013) ซึ่งศึกษาความสามารถการเป็นตัวดูดซับของ aerogel ที่ผลิตจากโซเดียมแอลจิเนต พบว่า aerogel เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุนมาก จึงสามารถใช้เป็นตัวดูดซับน้ำได้ด้วยแรงคาพิลลารี (capillary force) นอกจากนี้ คุณ Bénézet และคณะ (2012) ซึ่งได้รายงานถึงความสามารถในการดูดซับความชื้นของ aerogel ที่ถูกผลิตจากเส้นใยกัญชง พบว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ในระดับสูงและดีกว่า aerogel ที่ทำจากเส้นใยฟางและคอตตอน เนื่องจากเส้นใยต้นกัญชงเป็นเส้นใยยาวและมีความเหนียว ดังนั้นในงานวิจัยนี้ พบว่า nanocellulose aerogel สามารถทำหน้าที่ดูดซับน้ำ เพื่อคงความชื้นให้แก่ 1-MCP ซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อกระตุ้นการปลดปล่อยของ 1-MCP ส่งผลให้ 1-MCP มีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีมาก เช่นเดียวกับวิธีการรม กล่าวได้ว่าการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำในการทดลอง สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของ *Oncidium* 'Goldiana' ได้เทียบเท่ากับวิธีการรม 1-MCP รวมถึงวิธีการใช้งานสะดวกกว่าวิธีการรม

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel พบว่า nanocellulose aerogel ก่อนจุ่มน้ำ มีลักษณะของเส้นใยยาวที่เกี่ยวพันกันและมีเส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 นาโนเมตร ภาพที่ 26(ก)) เช่นเดียวกับลักษณะทางกายภาพที่พบในงานวิจัยก่อนหน้า (Pacaphol and Aht-Ong, 2017a; Saito et al., 2007) และหลังจากนำ nanocellulose aerogel จุ่มน้ำ พบว่าเส้นใยรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่แน่น เนื่องจากการดูดซับน้ำที่ดีและน้ำได้เข้าแทรกยังบริเวณช่องว่างระหว่างเส้นใย (ภาพที่ 36 (ข)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของคุณ Zhang และคณะ (2012) ได้ศึกษาคุณสมบัติของ aerogel ที่ผลิตจากเยื่อไม้เนื้ออ่อน พบว่า nanocellulose aerogel มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้มากถึง 98% รวมถึงการศึกษาโครงสร้างโดย Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ของ cellulose เทียบกับ nanocellulose พบว่า nanocellulose มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าในโครงสร้างของ cellulose เนื่องจากการลดขนาดทำเส้นใยสู่ในระดับนาโนเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้น ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ส่งผลให้ nanocellulose มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า (Wulandari, Rochliadi and Arcana, 2016) นอกจากนี้ภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่า nanocellulose aerogel จุ่มน้ำในถุง sachet หลังอยู่ในกล่องเป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 36(ค)) ยังคงลักษณะเส้นใยยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตรเช่นเดียวกับ nanocellulose aerogel ก่อนจุ่มน้ำ และยังคงมีลักษณะกลุ่มของเส้นใยที่เกี่ยวพันกันเนื่องจากความชื้นที่ยังหลงเหลือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อยู่ แสดงให้เห็นถึงการคงสภาพของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ nanocellulose aerogel ก่อนใช้งาน ขณะจุ่มน้ำ และหลังใช้งาน 7 วัน

3. การทดลองซ้ำเพื่อเปรียบเทียบการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ โดยการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบวิธีการรม 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการส่งออก และวิธีการใช้ 1-MCP ในความเข้มข้นเดียวกัน ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ พบว่าทั้งสองวิธี มีการบานเพิ่มของดอกตูม (%) การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน (%) รวมถึงอาการวายหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ MDA ซึ่งแสดงถึงการเกิด lipid peroxidation และประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzymes ได้แก่ CAT และ APX (ภาพที่ 27-31 และภาคผนวก ข ตารางที่ 20-29) ของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ ที่มีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันระหว่าง 1-MCP และ nanocellulose aerogel ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวิธีการรมได้

การรมช่อดอกกล้วยไม้ด้วย 1-MCP แม้ว่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพแต่ต้องใช้เวลาในการรมมากถึง 6 ชั่วโมงเป็นอย่างต่ำ รวมทั้ง ผู้ประกอบการต้องมีพื้นที่ หรือห้องปิดที่มีขนาดเหมาะสมเพื่อใช้ในการรม 1-MCP หากในบางครั้งของการส่งออกมีปริมาณกล้วยไม้ไม่มากแต่ห้องที่ใช้รมมีขนาดใหญ่เกินไป ยังจำเป็นต้องใช้ 1-MCP ในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองได้ ดังนั้นการใช้ nanocellulose aerogel ในลักษณะของถุง sachet ช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาในการรม 1-MCP ในการส่งออกได้ โดยหลังจากขั้นตอนการคัดดอกไม้ ผู้ประกอบการสามารถนำดอกไม้บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ และใส่ถุง sachet สำเร็จรูป และนำส่งได้ทันที รวมถึง การใช้ถุง sachet สำเร็จรูป ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องสำหรับการรม 1-MCP ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ประกอบการ สามารถลดระยะเวลาในการทำงาน ลดการใช้แรงงานและลดต้นทุนในการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอก

นอกจากนี้ หากเปรียบเทียบกับการใช้ถุง sachet ที่ใช้ในบางอุตสาหกรรม เป็นการใช้เพียงสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจส่งผลให้มีการปลดปล่อยและยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ใน

ระยะเวลาไม่นาน และมีราคาใกล้เคียงกับการใช้ nanocellulose aerogel ในลักษณะของถุง sachet ในขณะที่การใช้ nanocellulose aerogel ในถุง sachet สามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยของ 1-MCP ส่งผลให้สามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอทิลีนระหว่างขนส่งได้ เนื่องจาก ช่อดอกกล้วยไม้ประกอบด้วยดอกย่อยทั้งดอกตูมและดอกบาน ตัวรับเอทิลีนในดอกบานนั้นถูกยับยั้งด้วย 1-MCP ในวันแรกของการบรรจุกล่อง แต่สำหรับดอกตูมที่มีการบานเพิ่มอาจเพิ่งมีการพัฒนาตัวรับเอทิลีนในระหว่างการขนส่ง ดังนั้น 1-MCP ที่ค่อย ๆ ปลดปล่อย (slow release) โดย nanocellulose aerogel สามารถเข้าไปจับกับตัวรับเอทิลีนดังกล่าวและช่วยชะลอการวายและการหลุดร่วงของดอกที่เริ่มบานระหว่างขนส่งกล่าวได้ว่าการใช้ nanocellulose aerogel ในลักษณะของถุง sachet มีประสิทธิภาพในการลดการทำงานของเอทิลีนและชะลอการวาย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้ส่งออกสามารถนำไปประยุกต์ได้ เพื่อรักษาคุณภาพของกล้วยไม้ตัดดอกส่งออกได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb เหมาะสมสำหรับการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' โดยทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ช่วยลดอาการวายต่าง ๆ ได้แก่ การบานเพิ่มและการเหี่ยวของดอกตูม การเหี่ยวของดอกบาน การเกิด lipid peroxidation บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ รวมถึงลดการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจของกล้วยไม้ นอกจากนี้ 1-MCP ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme ได้แก่ CAT และ APX ในกล้วยไม้ตัดดอก โดยดอกกล้วยไม้มีอายุการเก็บรักษาได้ถึง 17 วัน เมื่อมีการรมด้วย 1-MCP ที่ความเข้มข้นดังกล่าว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน

การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' ได้ใกล้เคียงกับวิธีการรม 1-MCP ในความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งการรมเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอก ทั้งนี้ การใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ช่วยลดการวายในกล้วยไม้ตัดดอกโดยลดการบานเพิ่มของดอกตูม การเหี่ยวของดอกตูมและดอกบาน ลดอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีน รวมถึงลดปริมาณ MDA จากการเกิด lipid peroxidation บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้ สามารถช่วยเพิ่มการต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ antioxidant enzyme ได้แก่ CAT และ APX ในกล้วยไม้ตัดดอก ทำให้ดอกกล้วยไม้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวรวมสูงถึง 19 วัน โดยอยู่ในบรรจุภัณฑ์เพื่อขนส่งเป็นเวลา 7 วัน และมีอายุการเก็บรักษา 12 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน

อาจกล่าวได้ว่า การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1000 ppb ร่วมกับ nanocellulose aerogel แบบจุ่มน้ำ ในลักษณะถุง sachet มีประสิทธิภาพการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* 'Goldiana' ได้เทียบเท่ากับวิธีการรม 1-MCP ในความเข้มข้นเดียวกัน ดังนั้น สามารถนำวิธีการใช้แบบถุง sachet มาใช้ทดแทนวิธีการรมได้ เพื่อประโยชน์ของผู้ประกอบการ ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาในการรม 1-MCP ลดการใช้แรงงาน และลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการส่งออกได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อเสนอแนะ

1) อาจนำผลิตภัณฑ์ถุง sachet จากงานวิจัยนี้ไปศึกษากับกล้วยไม้ตัดดอกหรือพืชชนิดอื่นเพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว
2) ควรมีการวิจัยต่อเพื่อให้มีต้นทุนในการผลิตที่ลดลง โดยเปลี่ยนประเภทเส้นใยที่ใช้ผลิต nanocellulose เป็นเส้นใยที่คงประสิทธิภาพการดูดซับน้ำและมีราคาถูกยิ่งขึ้น
3) ควรมีการวิจัยเพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเส้นใย nanocellulose aerogel ให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากขึ้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพมากในการปลดปล่อย 1-MCP ได้ยาวนานยิ่งขึ้น
4) ควรมีการวิจัยต่อเพื่อศึกษาใช้ยากำจัดศัตรูพืชร่วมกับถุง sachet เพื่อให้ลดขั้นตอนการรมหรือจุ่มยากำจัดศัตรูพืชก่อนการส่งออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

ปรางนุช เลิศหิรัณย์ (2019). fact sheet กล้วยไม้ ส.ค.62. Vol. 2020. กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ 563 ถนน นนทบุรี ตำบล บางกระสอ อำเภอเมืองนนทบุรี นนทบุรี 11000. สืบค้นเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2563, จาก https://www.ditp.go.th/ditp_web61/.

Abdul Khalil, H. P. S., Davoudpour, Y., Islam, M. N., Mustapha, A., Sudesh, K., Dungani, R., and Jawaid, M. (2014). Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. *Carbohydrate Polymers* 99, 649-665.

Able, A. J., Wong, L. S., Prasad, A., and O'Hare, T. J. (2002). 1-MCP is more effective on a floral brassica (Brassica oleracea var. italica L.) than a leafy brassica (Brassica rapa var. chinensis). *Postharvest Biology and Technology* 26, 147-155.

Ahmad, S. S., and Tahir, I. (2016). Increased oxidative stress, lipid peroxidation and protein degradation trigger senescence in Iris versicolor L. flowers. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 22, 507-514.

Álvarez-Hernández, M. H., Artés-Hernández, F., Ávalos-Belmontes, F., Castillo-Campohermoso, M. A., Contreras-Esquivel, J. C., Ventura-Sobrevilla, J. M., and Martínez-Hernández, G. B. (2018). Current Scenario of Adsorbent Materials Used in Ethylene Scavenging Systems to Extend Fruit and Vegetable Postharvest Life. *Food and Bioprocess Technology* 11, 511-525.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Álvarez-Hernández, M. H., Martínez-Hernández, G. B., Avalos-Belmontes, F., Castillo-Campohermoso, M. A., Contreras-Esquivel, J. C., and Artés-Hernández, F. (2019). Potassium Permanganate-Based Ethylene Scavengers for Fresh Horticultural Produce as an Active Packaging. *Food Engineering Reviews* 11, 159-183.

Ariadne, K., Ana, C., Kelly, M., Claudia, F., and Mattiuz, B.-H. (2016). Effects of ethylene on the postharvest quality of inflorescences of Oncidium varicosum Samurai. *African Journal of Agricultural Research* 11, 2456-2461.

Azuma, M., Onozaki, T., and Ichimura, K. (2020). Difference of ethylene production and response to ethylene in cut flowers of dahlia (Dahlia variabilis) cultivars. *Scientia Horticulturae* 273, 109635.

Bailén, G., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D., and Martínez-Romero, D. (2006). Use of Activated Carbon inside Modified Atmosphere Packages To Maintain Tomato Fruit Quality during Cold Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 2229-2235.

Bailén, G., Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Serrano, M., Valero, D., and Martínez-Romero, D. (2013). Use of a palladium catalyst to improve the capacity of activated carbon to absorb ethylene, and its effect on tomato ripening. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5, 579-586.

Bartoli, C. G., Simontacchi, M., Montaldi, E. R., and Puntarulo, S. (1997). Oxidants and antioxidants during aging of chrysanthemum petals. *Plant Science* 129, 157-165.

Beers, R. F., and Sizer, I. W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry* 195, 133-140.

Bénézet, J.-C., Stanojlovic-Davidovic, A., Bergeret, A., Ferry, L., and Crespy, A. (2012). Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. *Industrial Crops and Products* 37, 435-440.

Beyer, E. (1976). Silver ion: a potent antiethylene agent in cucumber and tomato. *Hortscience* 1, 195-196.

Blankenship, S. M., and Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28, 1-25.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28, 25-30.

Breeze, E., Wagstaff, C., Harrison, E., Bramke, I., Rogers, H., Stead, A., Thomas, B., and Buchanan-Wollaston, V. (2004). Gene expression patterns to define stages of post-harvest senescence in Alstroemeria petals. *Plant Biotechnology Journal* 2, 155-168.

Castillejo, C., de la Fuente, J. I., Iannetta, P., Botella, M. Á., and Valpuesta, V. (2004). Pectin esterase gene family in strawberry fruit: study of FaPE1, a ripening-specific isoform*. *Journal of Experimental Botany* 55, 909-918.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Çelikel, F. G., Dodge, L. L., and Reid, M. S. (2002). Efficacy of 1-MCP (1-methylcyclopropene) and Promalin for extending the post-harvest life of Oriental lilies (Liliumx'MonaLisa' and 'Stargazer'). *Scientia Horticulturae* 93, 149-155.

Chang, Y.-C. A., Lin, W.-L., Hou, J.-Y., Yen, W.-Y., and Lee, N. (2013). Concentration of 1-methylcyclopropene and the duration of its application affect anti-ethylene protection in Phalaenopsis. *Scientia Horticulturae* 153, 117-123.

Chauhan, V., and Chakrabarti, S. K. (2012). Use of nanotechnology for high performance cellulosic and papermaking products. *Cellulose Chemistry and Technology* 46, 389-400.

Chuchoisuwan, P., Sukpitak, C., Jongsri, P., Obsuwan, K., and Seraypheap, K. (2019a). Effects of 1-methylcyclopropene on ascorbate-glutathione cycle enzyme activities of postharvest Dendrobium 'Khao Sanan'. *Acta Horticulturae* 1262, 219-224.

Chuchoisuwan, P., Sukpitak, C., Jongsri, P., Obsuwan, K., and Seraypheap, K. (2019b). Effects of 1-methylcyclopropene on ascorbate-glutathione cycle enzyme activities of postharvest Dendrobium 'Khao Sanan'. *Acta Horticulturae*, 219-224.

Cordeiro, D. C., Pereira, A., Petrucci, K. P. O. S., and Finger, F. (2020). 1-methylcyclopropene prolongs the vase life of roses cv. Osiana. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences* 15, 1-4.

de Souza Lima, M. M., and Borsali, R. (2004). Rodlike Cellulose Microcrystals: Structure, Properties, and Applications. *Macromolecular Rapid Communications* 25, 771-787.

De Wild, H. P. J., Gude, H., and Peppelenbos, H. W. (2002). Carbon dioxide and ethylene interactions in tulip bulbs. *Physiologia Plantarum* 114, 320-326.

Dirim, S. N., Özden, H. Ö., Bayındırlı, A., and Esin, A. (2004). Modification of water vapour transfer rate of low density polyethylene films for food packaging. *Journal of Food Engineering* 63, 9-13.

Dong, L., Lurie, S., and Zhou, H.-W. (2002). Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biology and Technology* 24, 135-145.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Dufresne, A. (2013). Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Materials Today* 16, 220-227.

Fan, X., and Mattheis, J. P. (2000). Reduction of Ethylene-induced Physiological Disorders of Carrots and Iceberg Lettuce by 1-Methylcyclopropene. *HortScience HortSci* 35, 1312-1314.

Fath, A., Bethke, P. C., and Jones, R. L. (1999). Barley aleurone cell death is not apoptotic: characterization of nuclease activities and DNA degradation. *The Plant Journal* 20, 305-315.

Gaikwad, K., Singh, S., and Negi, Y. S. (2019). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters* 18, 1-16.

Giné-Bordonaba, J., Echeverria, G., Ubach, D., Aguiló-Aguayo, I., López, M. L., and Larrigaudière, C. (2017). Biochemical and physiological changes during fruit development and ripening of two sweet cherry varieties with different levels of cracking tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 111, 216-225.

Goh, C. J., Halevy, A. H., Engel, R., and Kofranek, A. M. (1985). Ethylene evolution and sensitivity in cut orchid flowers. *Scientia Horticulturae* 26, 57-67.

Hansen, M. M., Müller, R., and Lütken, H. (2013). Effect of the ethylene inhibitor 1-MCP in postharvest chains of mini-phalaenopsis. *Acta Horticulturae* 970, 205-212.

Hassan, F. A. S., and Ali, E. F. (2014). Protective effects of 1-methylcyclopropene and salicylic acid on senescence regulation of gladiolus cut spikes. *Scientia Horticulturae* 179, 146-152.

Hassan, F. A. S., and Gerzson, L. (2002). Effect of 1-MCP (1-methylcyclopropene) on the vase life of Chrysanthemum and Carnation cut flowers. *International Journal of Horticultural Science* 8, 29-32.

Heyes, J. A., and Johnston, J. W. (1998). 1‐methylcyclopropene extends Cymbidium orchid vaselife and prevents damaged pollinia from accelerating senescence. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 26, 319-324.

Hoeberichts, F. A., de Jong, A. J., and Woltering, E. J. (2005). Apoptotic-like cell death marks the early stages of gypsophila (Gypsophila paniculata) petal senescence. *Postharvest Biology and Technology* 35, 229-236.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hofman, P. J., Jobin-Decor, M., Meiburg, G. F., Macnish, A. J., and Joyce, D. C. (2001). Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 567-572.

Horcajada, P., Rámila, A., Pérez-Pariente, J., Vallet, R., x, and M. (2004). Influence of pore size of MCM-41 matrices on drug delivery rate. *Microporous and Mesoporous Materials* 68, 105-109.

Hossain, Z., Kalam Azad Mandal, A., Kumar Datta, S., and Krishna Biswas, A. (2006). Decline in ascorbate peroxidase activity – A prerequisite factor for tepal senescence in gladiolus. *Journal of Plant Physiology* 163, 186-194.

Hu, Z., Tang, C., He, Z., Lin, J., and Ni, Y. (2017). 1-Methylcyclopropene (MCP)-Containing Cellulose Paper Packaging for Fresh Fruit and Vegetable Preservation: A Review. *BioResources* 12, 2234-2248.

Jiang, Y., and Joyce, D. C. (2000). Effects of 1-methylcyclopropene alone and in combination with polyethylene bags on the postharvest life of mango fruit. *Annals of Applied Biology* 137, 321-327.

Jiang, Y., Joyce, D. C., and Macnish, A. J. (1999). Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology* 16, 187-193.

Jiao, Y., Wan, C., and Li, J. (2016). Synthesis of carbon fiber aerogel from natural bamboo fiber and its application as a green high-efficiency and recyclable adsorbent. *Materials & Design* 107, 26-32.

Ketsa, S., and Uthaichay, N. (2012). Effect of 1- MCP on senescence of Dendrobium flowers in simulated shipment for export. *Acta Horticulturae*, 375-380.

Kettunen, M., Silvennoinen, R. J., Houbenov, N., Nykänen, A., Ruokolainen, J., Sainio, J., Pore, V., Kemell, M., Ankerfors, M., Lindström, T., Ritala, M., Ras, R. H. A., and Ikkala, O. (2011). Photoswitchable Superabsorbency Based on Nanocellulose Aerogels. *Advanced Functional Materials* 21, 510-517.

Khan, Z. U., Edberg, J., Hamedi, M. M., Gabrielsson, R., Granberg, H., Wågberg, L., Engquist, I., Berggren, M., and Crispin, X. (2016). Thermoelectric Polymers and their Elastic Aerogels. *Advanced Materials* 28, 4556-4562.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Khunmuang, S., Kanlayanarat, S., Wongs-Aree, C., Meir, S., Philosoph-Hadas, S., and Buanong, M. (2019a). Variability in the response to ethylene of cut flowers of three Vanda orchid cultivars. *Acta Horticulturae* 1262, 241-249.

Khunmuang, S., Kanlayanarat, S., Wongs-Aree, C., Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Oren-Shamir, M., Ovadia, R., and Buanong, M. (2019b). Ethylene Induces a Rapid Degradation of Petal Anthocyanins in Cut Vanda 'Sansai Blue' Orchid Flowers. *Frontiers in plant science* 10, 1004-1004.

Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., and Dorris, A. (2011). Nanocelluloses: A New Family of Nature-Based Materials. *Angewandte Chemie International Edition* 50, 5438-5466.

Ku, V. V. V., and Wills, R. B. H. (1999). Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 17, 127-132.

Leshem, Y. a. Y. (1988). Plant senescence processes and free radicals. *Free Radical Biology and Medicine* 5, 39-49.

Ling, S., Chen, W., Fan, Y., Zheng, K., Jin, K., Yu, H., Buehler, M. J., and Kaplan, D. L. (2018). Biopolymer nanofibrils: structure, modeling, preparation, and applications. *Prog Polym Sci* 85, 1-56.

Mallepally, R. R., Bernard, I., Marin, M. A., Ward, K. R., and McHugh, M. A. (2013). Superabsorbent alginate aerogels. *The Journal of Supercritical Fluids* 79, 202-208.

Mattiuz, C., Mattiuz, B.-H., Rodrigues, T., Pietro, J., Martins, R., and Grossi, S. (2012a). Longevity of Oncidium varicosum (Orchidaceae) inflorescences treated with 1-methylciclopropene. *Ciência Rural* 42, 987-992.

Mattiuz, C. F. M., Mattiuz, B. H., de Jesus Deléo Rodrigues, T., de Pietro, J., Martins, R. N., and de Fátima Grossi, S. (2012b). Longevity of Oncidium varicosum (Orchidaceae) inflorescences treated with 1-methylciclopropene. *Ciencia Rural* 42, 987-992.

Mayak, S., Legge, R. L., and Thompson, J. E. (1981). Ethylene formation from 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid by microsomal membranes from senescing carnation flowers. *Planta* 153, 49-55.

Mohammadpour, R., Buanong, M., Jitareerat, P., Wongs-Aree, C., and Uthairatanakij, A. (2015). Response of Dendrobium 'Planty Fushia' to ethylene and ethylene inhibitor. *Acta Horticulturae* 1078, 99-106.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews* 40, 3941-3994.

Murmu, S. B., and Mishra, H. N. (2018). Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava during low-temperature storage. *Food Chemistry* 253, 55-62.

Nakano, Y., and Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22, 867-880.

Nasiri, A., Ahmadi, N., and Movahed, G. (2020). Effects of 1MCP and ethylene on preservation of quality and vase life of Alstroemeria (cvs. Hercules and Mayfair) cut flowers. *Advances in Horticultural Science* 34, 89-96.

Nur Azlin, R., Pauziah, M., Wan Mohd Reza Ikhwan, W. H., Mohd Kamal, M. T., Norhayati, M., Zaipun, M. Z., Tham, S. L., and Ibrahim, M. A. (2013). Potential use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment to reduce bud and flower abscission in Mokara orchids. *Acta Horticulturae* 1012, 589-592.

Obsuwan, K., and Uthairatanakij, A. (2007). The responses of different cut inflorescence of orchid hybrids to various 1-MCP concentrations. *Acta Horticulturae* 755, 465-470.

Ozdemir, M., and Floros, J. D. (2004). Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44, 185-193.

Pacaphol, K., and Aht-Ong, D. (2017a). The influences of silanes on interfacial adhesion and surface properties of nanocellulose film coating on glass and aluminum substrates. *Surface and Coatings Technology* 320, 70-81.

Pacaphol, K., and Aht-Ong, D. (2017b). Preparation of hemp nanofibers from agricultural waste by mechanical defibrillation in water. *Journal of Cleaner Production* 142, 1283-1295.

Pacaphol, K., Seraypheap, K., and Aht-Ong, D. (2019). Development and application of nanofibrillated cellulose coating for shelf life extension of fresh-cut vegetable during postharvest storage. *Carbohydrate Polymers* 224, 115167.

Panavas, T., and Rubinstein, B. (1998). Oxidative events during programmed cell death of daylily (Hemerocallis hybrid) petals. *Plant Science* 133, 125-138.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Pérez-Amador, M. A., Abler, M. L., De Rocher, E. J., Thompson, D. M., van Hoof, A., LeBrasseur, N. D., Lers, A., and Green, P. J. (2000). Identification of BFN1, a Bifunctional Nuclease Induced during Leaf and Stem Senescence in Arabidopsis1. *Plant Physiology* 122, 169-180.

Price, A. M., Aros Orellana, D. F., Salleh, F. M., Stevens, R., Acock, R., Buchanan-Wollaston, V., Stead, A. D., and Rogers, H. J. (2008). A Comparison of Leaf and Petal Senescence in Wallflower Reveals Common and Distinct Patterns of Gene Expression and Physiology *Plant Physiology* 147, 1898-1912.

Quan, L.-J., Zhang, B., Shi, W.-W., and Li, H.-Y. (2008). Hydrogen Peroxide in Plants: a Versatile Molecule of the Reactive Oxygen Species Network. *Journal of Integrative Plant Biology* 50, 2-18.

Quijia Pillajo, J., Chapin, L., and Jones, M. (2018). Senescence and Abiotic Stress Induce Expression of Autophagy-related Genes in Petunia. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 143, 154-163.

Raffeiner, B., Serek, M., and Winkelmann, T. (2009). 1-Methylcyclopropene inhibits Ethylene Effects in Cut Inflorescences and Potted Plants of Oncidium and Odontoglossum Orchid Species. *European Journal of Horticultural Science* 74, 10-15.

Register, F. (2002). Environmental protectionagency. *The United State National Archives and Records Administration* 67, 137.

Saito, T., Kimura, S., Nishiyama, Y., and Isogai, A. (2007). Cellulose Nanofibers Prepared by TEMPO-Mediated Oxidation of Native Cellulose. *Biomacromolecules* 8, 2485-2491.

Salaun, J., and Baird, M. S. (1995). Biologically active cyclopropanes and cyclopropenes. *Current Medicinal Chemistry* 2, 511-542.

Sarwat, M., and Tuteja, N. (2019). Chapter 13 - Flower Senescence: Present Status and Future Aspects. *Senescence Signalling and Control in Plants*, 211-225.

Selvarajah, S., Bauchot, A. D., and John, P. (2001). Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 23, 167-170.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Serek, M., Sisler, E. C., and Reid, M. S. (1994). Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 1230-1233.

Serek, M., Sisler, E. C., and Reid, M. S. (1995). Effects of 1-MCP on the vase life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regulation* 16, 93-97.

Serek, M., Sisler, E. C., and Reid, M. S. (1996). Ethylene and the postharvest performance of miniature roses. *Acta Horticulturae* 424, 145-149.

Shahri, W., and Tahir, I. (2011). Flower Senescence-Strategies and Some Associated Events. *The Botanical Review* 77, 152-184.

Sisler, E., Dupille, E., and Serek, M. (1996). Effect of 1-MCP and methylenecyclopropane on ethylene binding and action on cut carnations. *Plant Growth Regulation* 18, 79-86.

Sisler, E. C., and Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiologia Plantarum* 100, 577-582.

Sisler, E. C., Serek, M., Dupille, E., and Goren, R. (1999). Inhibition of ethylene responses by 1-Methylcyclopropene and 3-Methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation* 27, 105-111.

Sun, J., Jameson, P. E., and Clemens, J. (2000). Stamen abscission and water balance in Metrosideros flowers. *Physiologia Plantarum* 110, 271-278.

Szczesna-Antczak, M., Kazimierczak, J., and Antczak, T. (2012). Nanotechnology - methods of manufacturing cellulose nanofibres. *Fibres and Textiles in Eastern Europe* 91, 8-12.

ten Have, A., and Woltering, E. J. (1997). Ethylene biosynthetic genes are differentially expressed during carnation (Dianthus caryophyllus L.) flower senescence. *Plant Molecular Biology* 34, 89-97.

Tian, M. S., Prakash, S., Elgar, H. J., Young, H., Burmeister, D. M., and Ross, G. S. (2000). Responses of strawberry fruit to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regulation* 32, 83-90.

TRADEMAP (2015). List of importing markets for a product exported by Thailand Product: 060313 Fresh cut orchids and buds, of a kind suitable for bouquets or for ornamental purposes. Vol. 2020. trademap, International Trade Centre.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Trobacher, C. P. (2009). Ethylene and programmed cell death in plants. *Botany* 87, 757-769.

Uthaichay, N., Ketsa, S., and van Doorn, W. G. (2007). 1-MCP pretreatment prevents bud and flower abscission in Dendrobium orchids. *Postharvest Biology and Technology* 43, 374-380.

Van Altvorst, A. C., and Bovy, A. G. (1995). The role of ethylene in the senescence of carnation flowers, a review. *Plant Growth Regulation* 16, 43-53.

van Doorn, W. G., Hibma, J., and de Wit, J. (1992). Effect of exogenous hormones on leaf yellowing in cut flowering branches of Alstroemeria pelegrina L. *Plant Growth Regulation* 11, 59-62.

van Doorn, W. G., and Woltering, E. J. (2004). Senescence and programmed cell death: substance or semantics?. *Journal of Experimental Botany* 55, 2147-53.

van Doorn, W. G., and Woltering, E. J. (2008). Physiology and molecular biology of petal senescence*. *Journal of Experimental Botany* 59, 453-480.

Veen, H., and van de Geijn, S. C. (1978). Mobility and ionic form of silver as related to longevity of cut carnations. *Planta* 140, 93-96.

Wagstaff, C., Malcolm, P., Rafiq, A., Leverentz, M., Griffiths, G., Thomas, B., Stead, A., and Rogers, H. (2003). Programmed cell death (PCD) processes begin extremely early in Alstroemeria petal senescence. *New Phytologist* 160, 49-59.

Wang, C., Lü, P., Zhong, S., Chen, H., and Zhou, B. (2017a). LcMCII-1 is involved in the ROS-dependent senescence of the rudimentary leaves of Litchi chinensis. *Plant Cell Reports* 36, 89-102.

Wang, K. L. C., Li, H., and Ecker, J. R. (2002). Ethylene Biosynthesis and Signaling Networks. *The Plant Cell* 14, S131-S151.

Wang, Q., Chu, L., and Kou, L. (2017b). UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (Pleurotus ostreatus). *Scientia Horticulturae* 225, 380-385.

Wang, Y., Zhao, H., Liu, C., Cui, G., Qu, L., Bao, M., Wang, J., Chan, Z., and Wang, Y. (2020). Integrating physiological and metabolites analysis to identify ethylene involvement in petal senescence in Tulipa gesneriana. *Plant Physiology and Biochemistry* 149, 121-131.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., and Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry* 337, 127750.

Werner, B. G., Koontz, J. L., and Goddard, J. M. (2017). Hurdles to commercial translation of next generation active food packaging technologies. *Current Opinion in Food Science* 16, 40-48.

Wicklein, B., Kocjan, A., Salazar-Alvarez, G., Carosio, F., Camino, G., Antonietti, M., and Bergström, L. (2015). Thermally insulating and fire-retardant lightweight anisotropic foams based on nanocellulose and graphene oxide. *Nature Nanotechnology* 10, 277-283.

Wills, R. B. H., Ku, V. V. V., and Warton, M. A. (2002). Use of 1-methylcyclopropene to extend the postharvest life of lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 1253-1255.

Woltering, E. J., and Van Doorn, W. G. (1988a). Role of Ethylene in Senescence of Petals—Morphological and Taxonomical Relationships. *Journal of Experimental Botany* 39, 1605-1616.

Woltering, E. J., and Van Doorn, W. G. (1988b). Role of ethylene in senescence of petals - morphological and taxonomical relationships. *Journal of Experimental Botany* 39, 1605-1616.

Wulandari, W. T., Rochliadi, A., and Arcana, I. M. (2016). Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 107, 012045.

Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., Wang, Q., Li, W., Li, X., Shui, Y., Chen, C., and Zheng, Y. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO2 composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae* 263, 109135.

Xu, W., Chen, S., Zhu, Y., Xiang, X., Bo, Y., Lin, Z., Wu, H., and Liu, H. (2020). Preparation of hyperelastic graphene/carboxymethyl cellulose composite aerogels by ambient pressure drying and its adsorption applications. *Journal of Materials Science* 55, 10543-10557.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Xu, X., Gookin, T., Jiang, C.-Z., and Reid, M. (2007). Genes associated with opening and senescence of Mirabilis jalapa flowers. *Journal of Experimental Botany* 58, 2193-2201.

Xu, X., Liu, F., Jiang, L., Zhu, J. Y., Haagenson, D., and Wiesenborn, D. P. (2013). Cellulose Nanocrystals vs. Cellulose Nanofibrils: A Comparative Study on Their Microstructures and Effects as Polymer Reinforcing Agents. *ACS Applied Materials & Interfaces* 5, 2999-3009.

Yan, Y. E., and Schwartz, F. W. (1999). Oxidative degradation and kinetics of chlorinated ethylenes by potassium permanganate. *Journal of Contaminant Hydrology* 37, 343-365.

Yang, C. P., Xia, Z. Q., Hu, J., Zhuang, Y. F., Pan, Y. W., and Liu, J. P. (2019). Transcriptome analysis of Oncidium petals provides new insights into the initiation of petal senescence. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94, 12-23.

Yang, S. F., and Hoffman, N. E. (1984). Ethylene Biosynthesis and its Regulation in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35, 155-189.

Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., and Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 165-199.

Yoodee, S., and Obsuwan, K. (2013). Effects of 1-MCP on postharvest life of cut dendrobium 'Burana Jade' inflorescences. *Acta Horticulturae* 970, 261-266.

Zhang, Q., Zhen, Z., Jiang, H., Li, X.-G., and Liu, J.-A. (2011). Encapsulation of the Ethylene Inhibitor 1-Methylcyclopropene by Cucurbit[6]uril. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 10539-10545.

Zhang, W., Zhang, Y., Lu, C., and Deng, Y. (2012). Aerogels from crosslinked cellulose nano/micro-fibrils and their fast shape recovery property in water. *Journal of Materials Chemistry* 22, 11642-11650.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. วิธีหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)

นำดอกไม้บ่มแก๊สในขวดเก็บแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ด้วย Gas chromatography (GC) ฉีดแก๊สปริมาตร 3 มิลลิตร และค่าที่อ่านได้เท่ากับ A (%)

เทียบหาปริมาณ CO_2 ในปริมาตรแก๊สที่ฉีด 3 มิลลิลิตร

ในแก๊สปริมาตร 100 ลิตร มีปริมาณ CO_2 A ลิตร

ในแก๊สปริมาตร 0.003 ลิตร มีปริมาณ CO_2 $= \dfrac{A \times 0.003}{100}$ ลิตร

เทียบหาปริมาณ CO_2 ในขวดเก็บแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร

ในแก๊สปริมาตร 0.003 ลิตร มีปริมาณ CO_2 $= \dfrac{A \times 0.003}{100}$ ลิตร

ในแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร มีปริมาณ CO_2 $= \dfrac{A \times 0.003 \times 0.3087}{100 \times 0.003}$ ลิตร

$= \dfrac{A \times 0.3087}{100}$ ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เทียบหาปริมาณ CO_2 ต่อปริมาณดอกไม้ C กิโลกรัม

ดอกไม้ปริมาณ C กิโลกรัม มีปริมาณ CO_2 $= \dfrac{A \times 0.3087}{100}$ ลิตร

ดอกไม้ปริมาณ 1 กิโลกรัม มีปริมาณ CO_2 $= \dfrac{A \times 0.3087}{100}$ ลิตร

เทียบหาอัตราการหายใจโดยคิดปริมาณ CO_2 ต่อระยะเวลาการบ่ม 4 ชั่วโมง

มีปริมาณ CO_2 ลิตร/กิโลกรัม $= \dfrac{A \times 0.3087}{100 \times 2}$ ลิตร/กิโลกรัม/ชั่วโมง (L/kg/h)

เทียบหาอัตราการหายใจในหน่วย กรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้สมการแก๊สในอุดมคติ

$$PV = nRT$$

$$P\left(\frac{A \times 0.3087}{100 \times 2}\right) = \left(\frac{g}{MW}\right)RT$$

อัตราการหายใจ $$g = P\left(\frac{A \times 0.3087}{100 \times 2}\right) \times \left(\frac{MW}{RT}\right) \quad g/kg/h$$

โดย g = ปริมาณแก๊ส CO_2 (g)

P = ความดันบรรยากาศ (atm) = 1 atm

V = ปริมาตรแก๊ส CO_2 (L) $= \frac{A \times 0.3087}{100 \times 2}$

MW = มวลโมเลกุลของ CO_2 (g/mol) = 44

R = ค่าคงตัวของแก๊ส = 0.08206

T = อุณหภูมิ (K) = องศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) + 273

2. วิธีหาปริมาณเอทิลีน (C_2H_4)

นำดอกไม้บ่มแก๊สในขวดเก็บแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ด้วย Gas chromatography (GC) ฉีดแก๊สปริมาตร 3 มิลลิลิตร และค่าที่อ่านได้เท่ากับ A ppm หรือหนึ่งในล้านส่วน (10^6)

เทียบหาปริมาณ C_2H_4 ในปริมาตรแก๊สที่ฉีด 3 มิลลิลิตร

ในแก๊สปริมาตร 10^6 ลิตร มีปริมาณ C_2H_4 A ลิตร

ในแก๊สปริมาตร 0.003 ลิตร มีปริมาณ C_2H_4 $= \frac{A \times 0.003}{10^6}$ ลิตร

เทียบหาปริมาณ C_2H_4 ในขวดเก็บแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร

ในแก๊สปริมาตร 0.003 ลิตร มีปริมาณ C_2H_4 $= \frac{A \times 0.003}{10^6}$ ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในแก๊สปริมาตร 0.3087 ลิตร มีปริมาณ C_2H_4 $= \dfrac{A \times 0.003 \times 0.3087}{10^6 \times 0.003}$ ลิตร

$= \dfrac{A \times 0.3087}{10^6}$ ลิตร

เทียบหาปริมาณ C_2H_4 ต่อปริมาณดอกไม้ C กิโลกรัม

ดอกไม้ปริมาณ C กิโลกรัม มีปริมาณ C_2H_4 $= \dfrac{A \times 0.3087}{10^6}$ ลิตร

ดอกไม้ปริมาณ 1 กิโลกรัม มีปริมาณ C_2H_4 $= \dfrac{A \times 0.3087}{10^6 \times C}$ ลิตร

เทียบหาปริมาณ C_2H_4 ต่อระยะเวลาการบ่ม 4 ชั่วโมง

มีปริมาณ C_2H_4 ลิตร/กิโลกรัม $= \dfrac{A \times 0.3087}{10^6 \times C \times 4}$ ลิตร/กิโลกรัม/ชั่วโมง (L/kg/h)

3. การเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อสำหรับวิเคราะห์

1) นำตัวอย่างดอกไม้บดให้ละเอียดในโกร่งบดที่มีไนโตรเจนเหลว
2) ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 0.1 กรัม ในหลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
3) เก็บตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวหรือที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

4. วิธีวิเคราะห์แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) โดยวิธี DPPH assay (Brand-Williams et al., 1995)

1) สกัดตัวอย่างที่บดแล้ว 0.1 กรัม ด้วย 80% v/v ethanol ปริมาณ 400 ไมโครลิตร
2) นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 9000 rpm ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
3) นำสารละลายส่วนใส (supernatant) วิเคราะห์ตารางด้านล่าง โดยใช้ 96 well microplate

4) เก็บในที่มืด 10 นาที และวัดการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ด้วย microplate reader

Solution / well	$A_{\text{DPPH assay of sample}}$		$A_{\text{color of sample}}$	Blank
	Test	Control	Test	
Extract	5 µL	-	5 µL	-
DPPH 0.2 mM	195 µL	195 µL	-	-
80% v/v ethanol	-	5 µL	195µL	200µL

5) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ คำนวณเป็นแอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

$$\text{Antioxidant activity (\%)} = \frac{(A^{*}_{\text{sample}} - A_{\text{control}})}{A_{\text{control}}} \times 100$$

$$A^{*}_{\text{sample}} = (A_{\text{DPPH assay of sample}} - A_{\text{color of sample}})$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. วิธีหาปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content) ด้วยวิธี TBARS assay (Wang et al., 2017b)

1) สกัดตัวอย่างที่บดแล้ว 0.1 กรัม ด้วย 5% w/v TCA ปริมาณ 1000 ไมโครลิตร
2) นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 12,000 rpm ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
3) นำสารละลายส่วน supernatant ผสมกับสารละลายดังในตารางด้านล่างในหลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร โดยแบ่งเป็นวิเคราะห์ TBARS assay และสีของสารตัวอย่าง

Solution / eppendorf	A TBARS assay		A color of sample	
	Test	Blank	Test	Blank
Extract	500 µL	-	250 µL	-
0.5 % w/v TBA	300 µL	300 µL	-	-
5% w/v TCA	-	500 µL	-	250 µL
20% w/v TCA	-	-	150 µL	150 µL

4) นำสารละลายใน eppendorf ต้มที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็ง 5 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยา
5) นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 9000 rpm ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
6) นำสารละลายส่วน supernatant วิเคราะห์โดยใช้ 96 well microplate วัดการดูดกลืนแสงที่ 450, 532, 600 นาโนเมตร ด้วย microplate reader
7) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ คำนวณเป็นปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA content)

$$\text{MDA } (\mu \text{ mol/mg FW}) = \frac{[\,(\,(OD_{532} - OD_{600}\,) \times 6.452) - (0.559 \times OD_{450})\,] \times V_T}{W}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

V_T = Volume of extract (ml)

W = Weight of sample (g)

6. วิธีวิเคราะห์แอกทิวิทีของ CAT (Beers and Sizer, 1952) และ APX (Nakano and Asada, 1981)

1) สกัดตัวอย่างที่บดแล้ว 0.1 กรัม ด้วยสารละลายดังตารางด้านล่างสำหรับสกัด 30 มิลลิลิตร

Enzyme assay	CAT activity	APX activity
Extraction buffer	Phosphate buffer (pH7) 50 mM DTT 4 mM PMSF 1 mM PVPP 1% w/v	Phosphate buffer (pH7) 50 mM EDTA 10 mM ASA 10 mM PVPP 1% w/v

2) สกัดตัวอย่างที่บดแล้ว 0.1 กรัม ด้วยสารละลายดังตารางด้านล่างสำหรับสกัด 30 มิลลิลิตร
3) นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 12,000 rpm ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
4) นำสารละลายส่วน supernatant เตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ตามลำดับ ดังตารางด้านล่าง โดยใช้ cuvette ปิดฝาและเขย่าดังก่อนวัดการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer

Enzyme assay	CAT activity		APX activity	
	Solution	Volume (µL)	Solution	Volume (µL)
Reaction test (cuvette I)	1. Phosphate buffer 2. Extract 3. H_2O_2 10 mM	240 40 20	1. Phosphate buffer 2. Extract 3. EDTA 10mM 4. H_2O_2 10 mM 5. ASA 20 mM	140 20 20 10 10
Blank (cuvette II)	1. Phosphate buffer 2. Extract 3. น้ำกลั่น	240 40 20	1. Phosphate buffer 2. Extract 3. EDTA 10mM 4. H_2O_2 10 mM 5. น้ำกลั่น	140 20 20 10 10
OD	240 nm		290 nm	
Extinction coefficient	43.6 $mM^{-1}cm^{-1}$		2.8 $mM^{-1}cm^{-1}$	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5) อ่านค่า ณ ความยาวคลื่นนั้นของแต่ละ enzyme ที่ลดลงเป็นเวลา 2 นาที

6) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ คำนวณเป็นโดยเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด (มิลลิกรัม) เป็นแอกทิวิทีของ CAT และ APX ดังสูตรคำนวณด้านล่าง

$$\text{CAT activity (unit/mg protein)} = \frac{\dfrac{\Delta A240}{\text{min} \times \mu\text{L reaction volume}}}{(43.6 \times \mu\text{L extracted}) \times \dfrac{\text{mg protein}}{\mu\text{L extract}}}$$

$$\text{APX activity (unit/mg protein)} = \frac{\dfrac{\Delta A290}{\text{min} \times \mu\text{L reaction volume}}}{(2.8 \times \mu\text{L extracted}) \times \dfrac{\text{mg protein}}{\mu\text{L extract}}}$$

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	Control	1-MCP + water	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + water	1-MCP fumigation
วันที่ 0					
วันที่ 12					

ตารางที่ 1 ภาพช่อดอกกล้วยไม้การทดลองศึกษาผลการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel ต่อการยืดอายุและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอก *Oncidium* ‘Goldiana’ ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

ตารางที่ 2 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ความเข้มข้นที่แตกต่าง

	การบานเพิ่มของดอกตูม (%)					
	Control	1-MCP 500 ppb	1-MCP 750 ppb	1-MCP 1000 ppb	1-MCP 1250 ppb	
วันที่ 3	29.2 ± 7.7	26.4 ± 3.5	20.6 ± 1.5	23.0 ± 2.6	25.6 ± 3.6	ns
วันที่ 6	50.0 ± 0.00 ^{b}	45.5 ± 3.9 ^{ab}	36.9 ± 3.5 ^{a}	36.2 ± 6.4 ^{a}	41.7 ± 1.7 ^{ab}	*
วันที่ 9	54.2 ± 4.2	51.7 ± 3.1	50.8 ± 5.2	43.1 ± 3.5	48.3 ± 6.5	ns
วันที่ 12	65.3 ± 5.0 ^{b}	57.8 ± 5.8 ^{ab}	58.3 ± 5.9 ^{ab}	46.4 ± 4.4 ^{a}	57.8 ± 3.7 ^{ab}	*
วันที่ 15	69.4 ± 4.1 ^{b}	66.7 ± 5.2 ^{b}	67.2 ± 2.7 ^{b}	51.6 ± 4.1 ^{a}	57.8 ± 3.7 ^{ab}	*
วันที่ 18	73.6 ± 6.6	70.0 ± 5.4	67.2 ± 2.7	57.7 ± 5.8	53.3 ± 12.3	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

	การเหี่ยวของดอกตูม (%)					
	Control	1-MCP 500 ppb	1-MCP 750 ppb	1-MCP 1000 ppb	1-MCP 1250 ppb	
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	2.8 ± 2.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 12	2.8 ± 2.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 15	19.4 ± 7.7 ^{b}	7.5 ± 4.8 ^{ab}	0.0 ± 0.0 ^{a}	3.3 ± 3.3 ^{a}	6.7 ± 4.2 ^{ab}	*
วันที่ 18	30.6 ± 4.1	30.0 ± 7.5	21.1 ± 8.4	26.4 ±8.8	25.6 ± 9.7	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

	การเหี่ยวของดอกบาน (%)					
	Control	1-MCP 500 ppb	1-MCP 750 ppb	1-MCP 1000 ppb	1-MCP 1250 ppb	
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 12	2.4±2.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 15	14.2 ± 5.4 ^{b}	13.2 ± 5.3 ^{b}	4.2 ± 2.6 ^{ab}	0.0 ± 0.0 ^{a}	4.2 ± 2.7 ^{ab}	*
วันที่ 18	66.5 ± 5.6 ^{b}	59.3 ± 3.1 ^{b}	56.1 ± 4.2 ^{b}	31.9 ± 6.0 ^{a}	53.0 ± 3.4 ^{b}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรม 1-MCP ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

	คะแนนดอกบาน					
	Control	1-MCP 500 ppb	1-MCP 750 ppb	1-MCP 1000 ppb	1-MCP 1250 ppb	
วันที่ 3	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	3.8 ± 0.2	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 12	3.2 ± 0.2	3.5 ± 0.2	3.7 ± 0.2	3.8 ± 0.2	3.7 ± 0.2	ns
วันที่ 15	2.3 ± 0.2 ^{b}	2.5 ± 0.2 ^{ab}	3.0 ± 0.3 ^{ab}	3.7 ± 0.2 ^{a}	3.5 ± 0.3 ^{ab}	*
วันที่ 18	1.3 ± 0.2	1.5 ± 0.2	2.0 ± 0.3	2.3 ± 0.2	2.0 ± 0.4	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังจากการรมด้วย 1-MCP และเอทิลีน

	การบานเพิ่มของดอกตูม (%)				
	Control	Ethylene	1-MCP 750 ppb + ethylene	1-MCP 1000 ppb + ethylene	
วันที่ 3	40.0 ± 5.0	41.7 ± 3.7	29.7 ± 4.4	35.0 ± 5.5	ns
วันที่ 6	51.7 ± 6.7 [ab]	65.6 ± 5.8 [b]	48.3 ± 1.7 [ab]	46.7 ± 6.8 [a]	*
วันที่ 9	64.2 ± 5.1 [ab]	75.0 ± 2.2 [b]	60.0 ± 5.0 [a]	54.2 ± 4.9 [a]	*
วันที่ 11	80.0 ± 4.1 [ab]	77.8 ± 4.6 [b]	66.9 ± 4.2 [ab]	65.8 ± 4.4 [a]	*
วันที่ 13	80.8 ± 4.0	77.8 ± 4.6	71.1 ± 7.0	65.8 ± 4.4	ns
วันที่ 15	85.8 ± 4.0	N/A	80.8 ± 6.5	70.8 ± 3.5	ns
วันที่ 17	89.2 ± 4.9	N/A	80.8 ± 6.5	85.0 ± 4.8	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากกล้วยไม้หมดอายุการปักแจกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

	การเหี่ยวของดอกตูม (%)				
	Control	Ethylene	1-MCP 750 ppb + ethylene	1-MCP 1000 ppb + ethylene	
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	0.0 ± 0.0	4.2 ± 4.2	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 11	4.2 ± 4.2	2.8 ± 2.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 13	4.2 ± 4.2 [ab]	13.1 ± 6.1 [b]	0.0 ± 0.0 [a]	0.0 ± 0.0 [a]	*
วันที่ 15	8.3 ± 5.3	N/A	3.3 ± 3.3	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 17	16.7 ± 5.3 [b]	N/A	3.3 ± 3.3 [a]	3.3 ± 3.3 [a]	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากกล้วยไม้หมดอายุการปักแจกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 8 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

	การเหี่ยวของดอกบาน (%)				
	Control	Ethylene	1-MCP 750 ppb + ethylene	1-MCP 1000 ppb + ethylene	
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	0.0 ± 0.0	1.7 ± 1.7	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	1.7 ± 1.7 [a]	36.0 ± 9.1 [b]	0.0 ± 0.0 [a]	0.0 ± 0.0 [a]	*
วันที่ 11	9.2 ± 3.2 [a]	69.6 ± 6.5 [b]	1.7 ± 1.7 [a]	0.0 ± 0.0 [a]	*
วันที่ 13	24.6 ± 5.7 [b]	89.3 ± 3.7 [c]	5.4 ± 2.5 [a]	4.5 ± 2.8 [a]	*
วันที่ 15	29.0 ± 4.9	N/A	16.6 ± 4.6	18.2 ± 4.2	ns
วันที่ 17	61.0 ± 4.3 [b]	N/A	49.3 ± 3.3 [ab]	35.0 ± 7.6 [a]	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

N/A ไม่มีข้อมูล เนื่องจากกล้วยไม้หมดอายุการปักแจกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 9 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังจากการรม 1-MCP และเอทิลีน

	คะแนนดอกบาน				
	Control	Ethylene	1-MCP 750 ppb + ethylene	1-MCP 1000 ppb + ethylene	
วันที่ 3	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	4.0 ± 0.0 ^{b}	3.0 ± 0.3 ^{a}	4.0 ± 0.0 ^{b}	4.0 ± 0.0 ^{b}	*
วันที่ 9	3.8 ± 0.2 ^{b}	2.7 ± 0.2 ^{a}	4.0 ± 0.0 ^{b}	4.0 ± 0.0 ^{b}	*
วันที่ 11	3.5 ± 0.2 ^{ab}	1.2 ±0.2 ^{a}	4.0 ± 0.0 ^{b}	4.0 ± 0.0 ^{b}	*
วันที่ 13	2.8 ± 0.2 ^{ab}	1.0 ± 0.0 ^{a}	3.2 ± 0.2 ^{b}	3.7 ± 0.2 ^{b}	*
วันที่ 15	2.2 ± 0.2 ^{ab}	1.0 ± 0.0 ^{a}	3.0 ± 0.0 ^{b}	3.3 ± 0.2 ^{b}	*
วันที่ 17	1.5 ± 0.2 ^{ab}	1.0 ± 0.0 ^{a}	2.3 ± 0.2 ^{b}	2.8 ± 0.3 ^{b}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 10 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	การบานเพิ่มของดอกตูม (%)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	39.8 ± 3.3	36.9 ± 3.6	30.0 ± 5.3	28.8 ± 2.6	31.2 ± 3.5	ns
วันที่ 3	47.6 ± 5.9	40.5 ± 3.4	37.1 ± 6.4	36.0 ± 4.4	34.0 ± 3.2	ns
วันที่ 6	59.8 ± 7.3 ^{b}	48.8 ± 5.3 ^{ab}	44.3 ± 3.7 ^{ab}	42.4 ± 2.9 ^{a}	45.0 ± 4.8 ^{ab}	*
วันที่ 9	62.1 ± 6.2 ^{b}	52.4 ± 2.4 ^{ab}	51.4 ± 3.4 ^{ab}	46.0 ± 5.5 ^{a}	51.0 ± 4.3 ^{ab}	*
วันที่ 12	62.1 ± 6.2	59.5 ± 7.1	51.4 ± 3.4	46.0 ± 5.5	56.7 ± 3.3	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 11 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	การเหี่ยวของดอกตูม (%)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	8.1 ± 3.2 ^{b}	0.0 ± 0.0 ^{a}	6.3 ± 3.2 ^{b}	0.0 ± 0.0 ^{a}	0.0 ± 0.0 ^{a}	*
วันที่ 6	31.3 ± 7.1	29.6 ± 5.2	24.1 ± 7.7	27.6 ± 6.5	21.3 ± 6.4	ns
วันที่ 9	51.7 ± 4.8 ^{c}	46.3 ± 3.7 ^{bc}	47.4 ± 4.7 ^{bc}	33.1 ± 5.8 ^{ab}	30.0 ± 7.0 ^{a}	*
วันที่ 12	56.7 ± 5.1	50.9 ± 4.5	54.1 ± 3.2	49.1 ± 5.4	45.6 ± 7.2	ns

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 12 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	การเหี่ยวของดอกบาน (%)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	4.8 ± 4.8	3.9 ± 2.0	2.8 ± 1.8	4.1 ± 2.1	4.4 ± 3.4	ns
วันที่ 9	55.7 ± 4.7 [b]	46.2 ± 6.6 [ab]	47.0 ± 9.2 [ab]	36.1 ± 5.6 [ab]	26.7 ± 8.8 [a]	*
วันที่ 12	82.2 ± 3.9 [b]	70.4 ± 5.9 [ab]	75.4 ± 8.0 [ab]	60.2 ± 5.8 [a]	62.3 ± 7.6 [ab]	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	คะแนนดอกบาน					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	3.0 ± 0.2	3.1 ± 0.3	3.1 ± 0.1	3.6 ± 0.2	3.4 ± 0.2	ns
วันที่ 9	2.3 ± 0.2	2.7 ± 0.2	2.3 ± 0.2	3.0 ± 0.2	2.9 ± 0.3	ns
วันที่ 12	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.7 ± 0.3	1.6 ± 0.3	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	อัตราการหายใจ (g CO_2 / kg*h)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	99.21 ± 16.15	99.21 ± 16.15	99.21 ± 16.15	99.21 ± 16.15	99.21 ± 16.15	-
วันที่ 0	135.32 ± 9.69 ^{b}	116.16 ± 27.83 ^{ab}	110.00 ± 11.75 ^{ab}	91.02 ± 8.91 ^{ab}	70.53 ± 4.93 ^{a}	*
วันที่ 3	155.82 ± 23.28 ^{b}	124.21 ± 4.76 ^{ab}	117.09 ± 10.58 ^{ab}	109.52 ± 4.05 ^{a}	92.22 ± 4.06 ^{a}	*
วันที่ 6	137.78 ± 9.76 ^{b}	125.30 ± 12.83 ^{ab}	123.85 ± 5.78 ^{ab}	123.27 ± 6.28 ^{ab}	102.51 ± 2.38 ^{a}	*
วันที่ 9	127.03 ± 8.57 ^{b}	114.70 ± 8.38 ^{ab}	108.30 ± 5.41 ^{ab}	97.97 ± 5.2 ^{a}	100.04 ± 2.71 ^{a}	*
วันที่ 12	139.23 ± 16.80 ^{b}	102.23 ± 4.27 ^{a}	100.54 ± 5.21 ^{a}	82.26 ± 1.03 ^{a}	92.92 ± 9.27 ^{a}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 15 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	ปริมาณเอทิลีน (L / kg•h)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	352.25 ± 21.62	352.25 ± 21.62	352.25 ± 21.62	352.25 ± 21.62	352.25 ± 21.62	-
วันที่ 0	418.84 ± 72.67 ^{c}	380.97 ± 96.51 ^{bc}	233.46 ± 1.64 ^{abc}	203.30 ± 42.31 ^{ab}	164.02 ± 49.28 ^{a}	*
วันที่ 3	286.96 ± 16.45	263.29 ± 37.94	264.36 ± 48.51	190.62 ± 18.12	237.78 ± 100.96	ns
วันที่ 6	831.59 ± 48.87 ^{b}	426.32 ± 64.40 ^{a}	411.31 ± 101.28 ^{a}	346.22 ± 52.73 ^{a}	404.49 ± 22.47 ^{a}	*
วันที่ 9	531.08 ± 96.01	515.95 ± 214.56	507.43 ± 164.05	323.10 ± 14.80	268.20 ± 5.57	ns
วันที่ 12	475.02 ± 65.03 ^{c}	403.76 ± 70.15 ^{bc}	281.60 ± 25.11 ^{ab}	261.07 ± 54.30 ^{ab}	212.55 ± 8.08 ^{a}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 16 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	71.55 ± 0.81	71.55 ± 0.81	71.55 ± 0.81	71.55 ± 0.81	71.55 ± 0.81	-
วันที่ 0	49.27 ± 0.99	49.99 ± 0.81	53.58 ± 4.08	52.78 ± 3.72	55.94 ± 4.16	ns
วันที่ 9	46.31 ± 2.77 ^{b}	49.38 ± 4.04 ^{ab}	46.04 ± 4.15 ^{b}	55.00 ± 2.67 ^{ab}	57.74 ± 2.52 ^{a}	*
วันที่ 12	36.32 ± 2.22 ^{b}	38.13 ± 3.14 ^{b}	44.12 ±2.55 ^{ab}	50.14 ± 4.98 ^{a}	44.04 ± 3.28 ^{ab}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 17 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (µmol / g FW)					
	control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
pretreat	2.88 ± 0.25	2.88 ± 0.25	2.88 ± 0.25	2.88 ± 0.25	2.88 ± 0.25	-
วันที่ 0	3.28 ± 0.21 ^{b}	3.23 ± 0.17 ^{b}	2.77 ± 0.17 ^{ab}	2.63 ± 0.24 ^{a}	2.57 ± 0.05 ^{a}	*
วันที่ 9	3.88 ± 0.49 ^{b}	3.69 ± 0.16 ^{ab}	3.24 ± 0.05 ^{ab}	3.01 ± 0.10 ^{a}	2.92 ± 0.14 ^{a}	*
วันที่ 12	4.74 ± 0.13 ^{c}	3.96 ± 0.23 ^{b}	4.23 ± 0.17 ^{b}	3.26 ± 0.15 ^{a}	3.02 ± 0.03 ^{a}	*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 18 แอกทิวิทีของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	แอกทิวิทีของคาทาเลส (units / mg protein)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	1.2733 ± 0.0921	1.2733 ± 0.0921	1.2733 ± 0.0921	1.2733 ± 0.0921	1.2733 ± 0.0921	-
วันที่ 0	0.7027 ± 0.1487	0.7639 ± 0.0306	0.8794 ± 0.1426	0.8122 ± 0.2358	0.8206 ± 0.0773	ns
วันที่ 9	4.1179 ± 0.5640	4.5691 ± 1.1197	5.5567 ± 0.2025	5.7171 ± 0.4308	6.0913 ± 0.4274	ns
วันที่ 12	2.8519 ± 0.3352	2.8934 ± 0.6708	2.9313 ± 0.8092	3.3465 ± 0.2058	3.0297 ± 0.8381	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 19 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ หลังเก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลา 7 วัน

	แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (units / mg protein)					
	Control	1-MCP + H_2O	1-MCP + aerogel	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	75.7606 ± 16.6274	75.7606 ± 16.6274	75.7606 ± 16.6274	75.7606 ± 16.6274	75.7606 ± 16.6274	-
วันที่ 0	40.8483 ± 6.2714	50.1942 ± 12.0063	54.886 ± 15.6329	57.7008 ± 5.5267	52.9156 ± 3.6724	ns
วันที่ 9	47.8679 ± 14.6250	57.5616 ± 8.2128	61.6963 ± 14.1572	70.1244 ±21.1643	77.3039 ± 23.9221	ns
วันที่ 12	46.2841 ± 7.4535	44.4558 ± 9.3658	41.5839 ± 20.3002	58.3461 ± 4.9485	62.7496 ± 10.7295	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 20 การบานเพิ่มของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	การบานเพิ่มของดอกตูม (%)		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
วันที่ 0	37.1 ± 4.1	40.0 ± 4.2	ns
วันที่ 3	47.9 ± 5.3	50.7 ± 4.4	ns
วันที่ 6	50.7 ± 5.4	53.6 ± 4.2	ns
วันที่ 9	65.0 ± 3.8	67.1 ± 2.3	ns
วันที่ 12	68.6 ± 3.0	69.5 ± 2.7	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 21 การเหี่ยวของดอกตูม (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	การเหี่ยวของดอกตูม (%)		
	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 9	25.7 ± 5.1	27.6 ± 3.1	ns
วันที่ 12	36.4 ± 4.3	40.0 ± 2.8	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 22 การเหี่ยวของดอกบาน (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	การเหี่ยวของดอกบาน (%)		
	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
วันที่ 0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	27.0 ± 8.3	25.5 ± 8.6	ns
วันที่ 9	55.3 ± 4.4	52.3 ± 4.2	ns
วันที่ 12	56.7 ± 5.1	61.5 ± 3.7	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 23 การให้คะแนนดอกบานของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	คะแนนดอกบาน		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
วันที่ 0	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 3	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	ns
วันที่ 6	3.3 ± 0.2	3.3 ± 0.2	ns
วันที่ 9	2.3 ± 0.2	2.3 ± 0.3	ns
วันที่ 12	1.5 ± 0.2	1.6 ± 0.2	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 24 อัตราการหายใจของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	อัตราการหายใจ (g CO_2 / kg*h)		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
Pretreat	149.94 ± 12.09	149.94 ± 12.09	-
วันที่ 0	66.49 ± 0.80	95.28 ± 9.27	ns
วันที่ 3	94.12 ± 7.95	90.63 ± 6.17	ns
วันที่ 6	112.43 ± 26.46	95.60 ± 7.34	ns
วันที่ 9	125.83 ± 7.49	110.70 ± 9.65	ns
วันที่ 12	98.20 ± 7.07	88.29 ± 7.85	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 25 ปริมาณเอทิลีนของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	ปริมาณเอทิลีน (L / kg·h)		
	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	352.25 ± 21.62	352.25 ±21.62	-
วันที่ 0	198.15 ± 45.43	184.85 ± 45.08	ns
วันที่ 3	216.29 ± 7.65	210.54 ± 73.75	ns
วันที่ 6	413.37 ± 86.48	490.69 ± 107.82	ns
วันที่ 9	378.68 ± 112.35	338.97 ± 121.43	ns
วันที่ 12	374.71 ± 64.59	361.17 ± 83.07	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 26 แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	แอกทิวิทีของสารต้านอนุมูลอิสระ (%)		
	1-MCP + aerogel + H_20	1-MCP fumigation	
Pretreat	85.10 ± 0.20	85.10 ± 0.20	-
วันที่ 0	72.29 ± 2.83	74.31 ± 2.44	ns
วันที่ 9	55.89 ± 2.26	56.24 ± 2.52	ns
วันที่ 12	36.77 ± 4.63	33.38 ± 4.53	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 27 ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* 'Goldiana' เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (µmol / g FW)		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
Pretreat	1.66 ± 0.49	1.66 ± 0.49	-
วันที่ 0	1.81 ± 0.14	1.61 ± 0.17	ns
วันที่ 9	2.31 ± 0.34	2.46 ± 0.25	ns
วันที่ 12	2.71 ± 0.42	2.61 ± 0.17	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 28 แอกทิวิทีของของคาทาเลส (CAT) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ ที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	แอกทิวิทีของคาทาเลส (units / mg protein)		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
Pretreat	2.105 ± 0.2050	2.105 ± 0.2050	-
วันที่ 0	0.9866 ± 0.1245	0.7655 ± 0.1773	ns
วันที่ 9	2.3938 ± 0.4085	1.8465 ± 0.4065	ns
วันที่ 12	1.1565 ±0.1817	1.0279 ± 0.0844	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 29 แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) ของช่อดอกกล้วยไม้ *Oncidium* ‘Goldiana’ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ 1-MCP ร่วมกับ nanocellulose aerogel และการรมด้วย 1-MCP

	แอกทิวิทีของแอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (units / mg protein)		
	1-MCP + aerogel + H_20	**1-MCP fumigation**	
Pretreat	70.1361 ± 17.5163	70.1361 ± 17.5163	-
วันที่ 0	55.3337 ± 3.4269	56.7275 ± 7.4753	ns
วันที่ 9	111.5923 ± 16.3527	104.6174 ± 31.3869	ns
วันที่ 12	64.876 ± 19.7878	66.5574 ± 21.6583	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณิชกานต์ ทรัพย์ธำรงค์
วัน เดือน ปี เกิด	11 สิงหาคม 2564
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2561 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนด้านการศึกษาจากทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจาก บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบามสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงพระชนมายุครบ 72 พรรษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY