

1-methylcyclopropene (1-MCP) : สารยับยั้งการทำงานของ เอทิลีนในผัก ผลไม้ และดอกไม้สด

1-methylcyclopropene (1-MCP): Ethylene Inhibitors in Vegetables, Fruits and Flowers

วัฒนา อัจฉริยะโพธา^{1*} และ สมโภชน์ น้อยจินดา²

¹หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์หลัก (Corresponding Author) E-mail: Wattana@vru.ac.th

บทคัดย่อ

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่อยู่ในรูปของก๊าซมีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในพืชไม่ว่าจะเป็นการหลุดร่วง การเสื่อมตามอายุ เร่งการสุก ความผิดปกติทางสรีรวิทยา การแตกหน่อ การเกิดสีน้ำตาล (browning) และการกระตุ้นของระบบการป้องกัน ตลอดจนการสูญเสียคลอโรฟิลล์ อย่างไรก็ตามการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวพืชส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องการควบคุมการผลิตเอทิลีนเนื่องจากการเสื่อมสลายของผัก ผลไม้ และดอกไม้ประดับที่เหี่ยวแห้งและร่วงโรยของกลีบดอกโดยจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีน สาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมพืชสวนเพื่อที่จะพยายามรักษาคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นบทความนี้จึงสนใจบทบาทของ 1-MCP ที่มีต่อการผลิตเอทิลีนในผัก ผลไม้ และดอกไม้ ทั้งในด้านการแสดงออกของยีนที่สังเคราะห์เอทิลีน และกระบวนการผลิตเอทิลีน โดยมีงานวิจัยนำดอกไม้ที่ได้รับเอทิลีนและ 1-MCP มาศึกษา ยีน *DcACS1* และ *DcACO1* ซึ่งเป็นยีนที่สังเคราะห์เอทิลีนในดอกคาร์เนชั่นซึ่งรายงานไว้ว่า 1-MCP จะทำให้เกิดการชะลอการลอกรหัสของยีน *DcACS1* ในกลีบดอกคาร์เนชั่นทำให้ดอกคาร์เนชั่นมีการร่วงโรยที่ช้าลง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบของ 1-MCP และเอทิลีนในการเร่งการสุก และอัตราการหายใจในดอกกล้วยไม้ ผัก ผลไม้ ได้แก่ สตอเบอร์รี่ กล้วย และบรอกโคลี หลังการเก็บเกี่ยว 1-MCP ยังสามารถชะลอการเกิดสีเหลือง ลดอัตราการหายใจ ชะลอการเสื่อมสลายตามอายุและยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้และดอกไม้ประดับได้หลายชนิด

คำสำคัญ: 1-methylcyclopropene (1-MCP), เอทิลีน, การยับยั้งเอทิลีน

Abstract

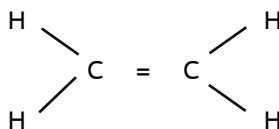
Ethylene is a plant hormone that is in the form of gases, affecting various physiological processes in plants, including fall aging and maturation, physiological disorders, sprouting, browning and the defense system activation as well as the loss of chlorophyll. However, most post-harvest management focuses on the control of ethylene production due to the degradation in vegetables, fruits and ornamental flowers that inrolling and wilting of petals, which is related to the synthesis of ethylene. 1-methylcyclopropene (1-MCP) is a useful substance for the horticulture industry in an effort to maintain the quality of post-harvest products. Thus, this article was to study the role of 1-MCP on ethylene production in vegetables, fruits and flowers, which studying both the expression of ethylene synthesis and ethylene production process. The flowers were treated with ethylene and 1-MCP to study the genes *DcACS1* and *DcACO1*, both that synthesizes ethylene in the carnation. 1-MCP will cause the translation inhibition of the gene *DcACS1* in carnation petals causes carnation to slow down. There is also a study of the effects of 1-MCP can be delayed to stop or even reverse the negative effects of ethylene exposure in mini-Phalaenopsis. And delayed respiration rate in fruits, strawberries, bananas, and broccoli after harvest. 1-MCP can also slow down the yellowing, reduce respiration rate, slow down the aging process and extend the shelf life of many vegetables, fruits and ornamental flowers.

Keywords: 1-methylcyclopropene (1-MCP), ethylene, ethylene inhibition

บทนำ

เอทิลีน เป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมให้พืชเกิดการเสื่อมสภาพตามอายุ (senescence) โดยทั่วไปเอทิลีนอยู่ในรูปของก๊าซไม่สามารถมองเห็นหรือได้กลิ่น เป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น น้ำมัน ถ่านหิน คาร์บอนจากท่อไอเสียรถยนต์ จากโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งที่พบเอทิลีนประกอบด้วย ไอเสียจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์/เครื่องทำความร้อน การสุบบุหรี การเชื่อมโลหะ หรือแม้แต่ในผลไม้สุก เอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนพืชที่มีผลกระทบต่อการกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในพืชรวมทั้งการสุกของผลไม้ การเหนี่ยวนำให้เกิดดอก การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การหลุดร่วงของใบ การหุบของใบ ความผิดปกติทาง

สรีรวิทยา การแตกหน่อ การเกิดสีน้ำตาล (browning) และการกระตุ้นของระบบการป้องกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานที่ต้องการของผลผลิต ซึ่งผลกระทบเหล่านี้สามารถเป็นได้ทั้งผลดีหรือผลเสียต่อสินค้า



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเอทิลีน

เอทิลีน มีผลในทางบวกและทางลบต่อพืช เช่น ทางบวกใช้เร่งการสุกของผลไม้ หรือทางลบนั้นจะเกิดความเสียหายให้กับพืช เช่น การเกิดสีเหลืองของผัก หรือการหลุดร่วงของใบพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน

สิ่งสำคัญที่ควรรู้เกี่ยวกับเอทิลีนในพืช คือ

1. พืชที่อยู่ตามธรรมชาติและมีการเจริญเติบโตเองในธรรมชาติ จะมีการผลิตเอทิลีนออกมาเป็นจำนวนมาก

2. ปัจจัยที่มีผลตอบสนองต่อเอทิลีน จะขึ้นอยู่กับ

2.1 กรรมวิธีการเพาะปลูก

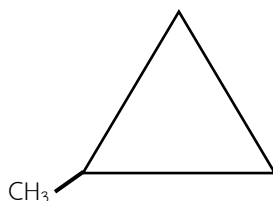
2.2 ขั้นตอนของการปลูก

2.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา

2.4 ความเข้มข้นของเอทิลีนที่ใช้

2.5 ระยะเวลาของการได้รับเอทิลีน

เอทิลีน ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อเร่งการสุกของผลไม้เช่น มะเขือเทศ กล้วย ลูกแพร์ และผลไม้อื่นๆ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว แต่อย่างไรก็ตามการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องการควบคุมการผลิตเอทิลีนในพืชโดยนำเอา 1-MCP มาทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอทิลีนโดยควบคุมการสุกของผลไม้ ซึ่ง 1-MCP เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบ cyclopropenes มีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วย คาร์บอน 4 อะตอม และ ไฮโดรเจน 6 อะตอม (C_4H_6) เป็น ไซโคลโพรเพนที่มีมวลโมเลกุล 54.09 ดาลตัน (ภาพที่ 2) 1-MCP ได้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมส่งออกพืชเพื่อชะลอการเสื่อมสลายของพืชที่เกิดจากการทำงานของฮอร์โมนเอทิลีน



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของ 1-MCP

การนำ 1-MCP มาใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น จำนวนของพืชที่ต้องการใช้ ความเข้มข้นของ 1-MCP ในปัจจุบันการใช้งาน 1-MCP ต้องใช้เวลาที่มีความยาวนานเพียงพอเพื่อให้ก๊าซที่ปล่อยและเข้าไปถึงเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้อุณหภูมิซึ่งใช้ก็ต้องให้สัมพันธ์กับระยะเวลา ซึ่ง 1-MCP สามารถนำมาใช้ในอุณหภูมิห้องได้ ดังนั้น 1-MCP จึงสามารถที่จะเป็นเครื่องมือที่มีความสะดวกมากเมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว

1-MCP มีความสำคัญต่อการตอบสนองหลังการเก็บเกี่ยวในด้านความผิดปกติทางด้านสรีรวิทยาของพืช ความผิดปกติเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ดังนี้ :

1. ความผิดปกติของการผลิตเอทิลีน ตัวอย่างได้แก่ การเกิดจุดน้ำตาลปนแดงของผักกาดหอมและการเกิด isocoumarin สะสมในแครอท การเกิด lignification ของหน่อไม้ฝรั่ง และการช่น้ำของแตงโม ความผิดปกติเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในตัวของผลไม้

2. ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพตามอายุ ตัวอย่าง เช่นการชะลอการเสื่อมสภาพตามอายุของแอปเปิ้ล การเสื่อมสภาพตามอายุหยุดลงของลูกแพร์ และการชะลอการเกิดสีเหลืองของบรอกโคลี ความผิดปกติเหล่านี้ยังจะมีการป้องกันโดยการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน

3. ความผิดปกติที่เกิดจากความเย็น ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการยับยั้งการทำงาน เอทิลีน ตัวอย่าง ได้แก่ อาการสะท้อนหนาวของส้มและกล้วย และการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลพันธุ์ 'เอ็มไพร์'

4. ความผิดปกติที่เกิดจากความเย็นที่มีการปรับตัวลดลงเมื่อมีการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ตัวอย่าง ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลภายในของอะโวคาโดและสับปะรด และการสะท้อนหนาวของหน่อไม้แตงโม และลูกพลับ

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงศึกษาบทบาทของ 1-MCP ที่มีต่อการทำงานของเอทิลีนในผัก ผลไม้ และดอกไม้ว่าเมื่อมีการใช้ 1-MCP ในระดับต่างๆ จะส่งผลต่อการทำงานของเอทิลีนได้อย่างไรบ้าง

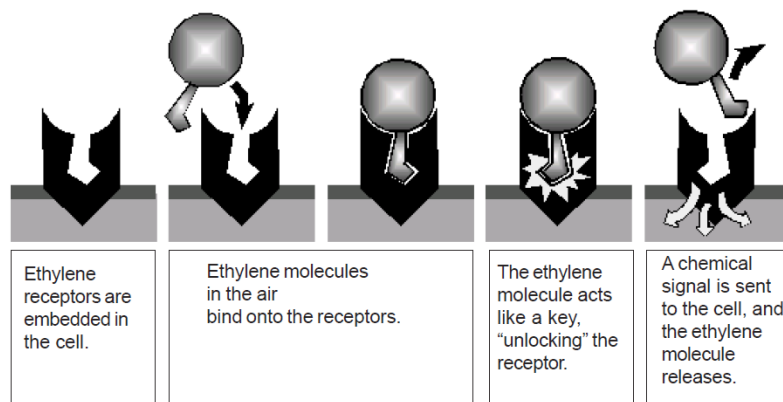
เนื้อเรื่อง

กลไกการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนด้วย 1-MCP

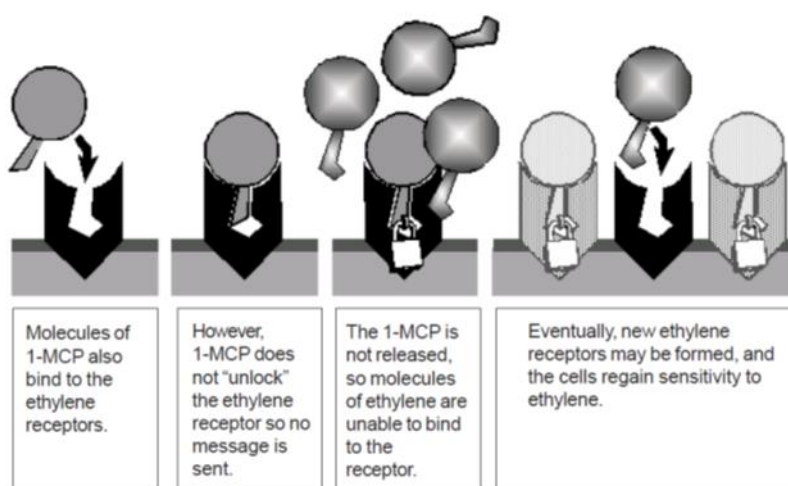
หลักการทำงานของเอทิลีนจะยึดติดกับตัวรับ (Ethylene receptors) ซึ่งอยู่บนโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช ลักษณะการเข้าจับเป็นรูปแบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (ภาพที่ 3) โดยเอทิลีนทำหน้าที่เป็น “ลูกกุญแจ” และตัวรับทำหน้าที่เป็น “แม่กุญแจ” เมื่อเอทิลีนยึดติดกับตัวรับตรงตำแหน่ง active site จะส่งผลกระทบต่างๆ ต่อสรีรวิทยาของพืช เช่น ผลไม้เริ่มที่จะมีผิวที่อ่อนนุ่ม ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือดอกไม้ร่วงหล่น แต่สำหรับ 1-MCP มีความสามารถที่จะแนบตัวไปกับตัวรับเอทิลีนและสามารถทำหน้าที่เป็นเหมือนกับ “ลูกกุญแจ” แทนและจะไปเข้า “ล็อก” กับแม่กุญแจ แต่ 1-MCP ไม่สามารถที่จะไปหมุนไขกุญแจแล้วทำให้เซลล์ทำงานได้ตามปกติและเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับที่เอทิลีนทำได้ พืชจึงไม่เกิด

ลักษณะที่กล่าวมาได้ ดังนั้น 1-MCP ทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในพืชได้ในลักษณะที่เป็นการยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibition) (ภาพที่ 4)

สาร 1-MCP ส่วนใหญ่มักถูกทำให้อยู่ในรูปของแข็งหรือเป็นผงและเมื่อผสมกับน้ำจะกลายเป็นก๊าซ และเมื่ออยู่ในพื้นที่หรือภาชนะที่ต้องการจะสามารถเคลื่อนที่ไปในบริเวณที่ต้องการได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเงื่อนไขอื่นๆ เช่น ใช้ช่วงเวลาหนึ่งๆ จึงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน การใช้งานในลักษณะหลังการเก็บเกี่ยวแบบปกติอาจจะมีการนำผลผลิตพืชมาไว้ในภาชนะ/ห้อง แล้วปล่อยก๊าซ 1-MCP เข้าไปในภาชนะ/ห้อง อาจใช้ระยะเวลาสั้น ๆ (6 ถึง 24 ชั่วโมง) ผลผลิตจะนำออกมาในที่ที่มีอากาศหรือสภาวะที่มีการควบคุมบรรยากาศต่อไป



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการเข้าจับของโมเลกุลเอทิลีนกับตัวรับเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในเนื้อเยื่อพืช ที่มา: (ดัดแปลงจาก Sylvia, 2001)



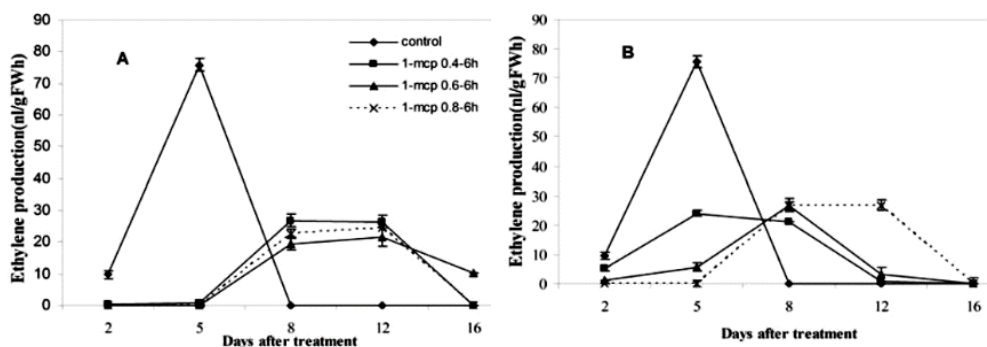
ภาพที่ 4 ตัวอย่างของ 1-methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการผลิเอทิลีนที่ยับยั้งการ

จากการศึกษาถึงผลของ 1-MCP ได้รายงานไว้ว่าสามารถที่จะยับยั้งการทำงานของเอทิลีนโดยมีลักษณะการยับยั้งแบบแข่งขันกับตัวรับเอทิลีน กระบวนการยับยั้งนี้ส่งผลให้ก่อให้เกิดประโยชน์และเพิ่มความสะดวกในอุตสาหกรรมผักผลไม้สด มีข้อมูลความปลอดภัยที่ดีเยี่ยม ไม่มีสารตกค้างในใบไม้หรือในผลไม้ในช่วงระยะเวลาก่อนการเก็บเกี่ยว 1-MCP มีผลต่อการชะลอการเติบโต ชะลอการสุก และยังสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยว สามารถใช้งานได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำมาก (ส่วนต่อพันล้านส่วน) อัตราความเข้มข้นของ 1-MCP ก็มีผลต่อการนำมาประยุกต์ใช้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะมีผลตอบสนองทางสรีรวิทยา และมีเสถียรภาพเป็นไปตามข้อกำหนดโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

ตัวอย่างของ 1-MCP ต่อการผลิตเอทิลีน

ผลของ 1-MCP ต่อการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในดอกไม้สด

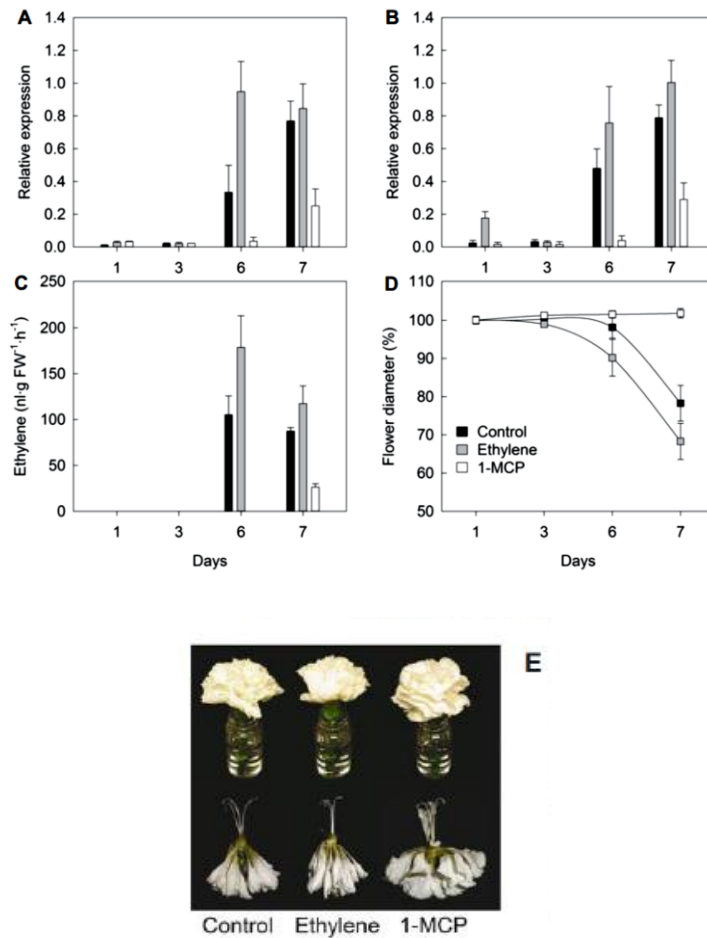
การศึกษายาทบาทของ 1-MCP ที่มีต่ออายุการปักแจกันและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกคาร์เนชั่นโดยการวิจัยของ Moazzam และคณะ (2013) ได้ทดลองใช้ความเข้มข้น 1-MCP ที่สี่ระดับ (0, 0.4, 0.6 และ 0.8 g/m³) และ ระยะเวลาของการปรับสภาพที่ 2 ระดับ (ที่ 3 และ 6 ชั่วโมง) นักวิจัยได้รายงานไว้ว่าการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในดอกไม้ที่ไม่ได้รับ 1-MCP แต่ดอกไม้ที่มีการปรับสภาพด้วย 1-MCP มีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การผลิตเอทิลีนสูงสุดในไม้ตัดดอกที่ไม่ได้รับ 1-MCP ให้ผลสูงสุดวันที่ 5 ของการทดลอง แต่ผลความเข้มข้น 1-MCP และระยะเวลาของการปรับสภาพ ต่อการผลิตเอทิลีนในวันที่ 2, 5, 8, และ 12 ให้ผลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การรับ 1-MCP ให้ผลการยับยั้งการผลิตเอทิลีนเมื่อได้รับเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดีกว่าการได้รับที่ 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 6A และ B) ในการศึกษา ปัจจุบัน 1-MCP ทุกความเข้มข้นลดการผลิตเอทิลีนและความเสื่อมโทรมของไม้ตัดดอก การนำ 1-MCP มาใช้เพื่อยืดอายุการปักแจกันของดอกคาร์เนชั่นจะชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด ลดการผลิตเอทิลีน



ภาพที่ 6 ผลของ 1-MCP ที่ 0.4 , 0.6 และ 0.8 g·m⁻³ ที่ 6 ชั่วโมง (A) และ 3 ชั่วโมง (B) ที่มีผลต่อการผลิตเอทิลีน ของดอกคาร์เนชั่นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในช่วงอายุหลังการเก็บเกี่ยว

ที่มา: Moazzam et.al. (2013)

การเสื่อมสภาพตามอายุภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในด้านการตลาดของไม้ตัดดอกจำนวนมากและมีความพยายามที่จะพัฒนาวิธีการรักษาความสดภายหลังจากการเก็บเกี่ยวของดอกไม้ในเชิงพาณิชย์ ในงานศึกษาของ Byung และคณะ (2015) ที่ทำการศึกษาลงยีนทำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนในดอกคาร์เนชั่น คือ DcACS1 และ DcACO1 ซึ่งเป็นยีนที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพตามอายุในช่วงแรกของดอกคาร์เนชั่น โดยมีการเหี่ยวแห้งและร่วงโรยของกลีบดอกเนื่องจากการลดลงของภาวะเต่งซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีนภายในกลีบดอก ดังนั้นนักวิจัยจึงได้ทดลองนำดอกไม้ที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 1-MCP มาศึกษาขึ้นโดยใช้เทคนิค Reverse transcription PCR (RT-PCR) ได้ผลว่ามีมีการยับยั้งการเหนี่ยวนำให้เกิดการถอดรหัสของยีน DcACS1 และ DcACO1 โดยดอกไม้ชุดควบคุมมีการถอดรหัสของยีนทั้งสองอยู่ในระดับต่ำมากหรือตรวจสอบไม่พบจนกระทั่งถึงวันที่ 3 และจากนั้นในวันที่ 6 และ 7 มีการถอดรหัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายในกลีบดอกจนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพตามอายุ (ภาพที่ 7A และ 8B) โดยปกติเอทิลีนในดอกคาร์เนชั่นจะถูกสังเคราะห์ในวงเกสรเพศเมีย (gynoecium) จากนั้นกระจายจากรังไข่ไปยังฐานกลีบดอกทำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนโดยอัตโนมัติในกลีบดอก ทำให้เป็นสัญญาณในช่วงอายุดอกบาน ซึ่งยีน DcACS1 และ DcACO1 มีบทบาทในการผลิตเอทิลีนโดยอัตโนมัติโดยถ้าระดับของยีนเหล่านี้เพิ่มขึ้นระดับเอทิลีนก็มีการเพิ่มขึ้นตามและเกิดความเสื่อมสภาพตามอายุของกลีบดอก ในทางตรงกันข้ามเมื่อระดับของยีนลดลงระดับเอทิลีนลดลงและกลีบดอกจะยืดอายุการเสื่อมสภาพตามอายุออกไปได้อีก ระดับการถอดรหัสของยีน DcACS1 และ DcACO1 ในดอกไม้ชุดควบคุมอยู่ในระดับต่ำมากหรือตรวจไม่พบจนกระทั่งวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลีบดอกในวันที่ 6 และ 7 (รูปที่ 7A และ 6B) ดอกคาร์เนชั่นที่ปรับสภาพด้วยเอทิลีน เข้มข้น 5 μL มีการอัตราผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น 70% ในวันที่ 6 แล้วลดลงในวันที่ 7 ในทางตรงกันข้ามดอกไม้ที่ปรับสภาพด้วย 1-MCP เข้มข้น 0.1 μL มีอัตราการผลิตเอทิลีนล่าช้าคือไม่สามารถวัดได้จนมาถึงวันที่ 7 (รูปที่ 7C) ซึ่งผลการผลิตเอทิลีนสอดคล้องกับสัญญาณวิทยาของดอกคาร์เนชั่นโดยดอกคาร์เนชั่นที่ได้รับการปรับสภาพด้วยเอทิลีนมีขนาดดอก (เส้นผ่าศูนย์กลาง) เริ่มลดลงในวันที่ 6 ซึ่งเป็นการแสดงออกของลักษณะดอกที่พร้อมกันกับจุดสูงสุดในการผลิตเอทิลีน (รูปที่ 7C และ D) และเริ่มมีลักษณะเหี่ยวเฉาในวันที่ 7 (พร้อมกับการลดลงของการสังเคราะห์เอทิลีน) ในทางตรงกันข้าม ดอกไม้ที่ปรับสภาพด้วย 1-MCP นั้นยังมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางกลีบดอกที่ยังไม่ลดลง (รูปที่ 7D) สำหรับผลที่มีต่อดอกไม้ที่ปักในแจกันนั้นนักวิจัยได้อธิบายไว้ว่าอิทธิพลจากการสังเคราะห์เอทิลีนทั้งในชุดควบคุมและดอกไม้ชุดที่ได้รับเอทิลีนมีการเสื่อมสลายที่ชัดเจนในวันที่ 7 และดอกไม้ก็เสื่อมสภาพตายไปอย่างสมบูรณ์ ในวันที่ 7.3 และ 8.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยอาการที่เด่นชัดมากในดอกไม้ที่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 6E, บน) โดยกลีบดอก มีการร่วงโรยและเหี่ยวแห้ง อย่างไรก็ตามดอกไม้ในแจกันที่ได้รับ 1-MCP กลับสามารถอยู่ได้ยาวนานขึ้นอีก 2.8 วัน เมื่อเทียบกับดอกไม้ชุด



ภาพที่ 7 การแสดงออกของยีนที่สังเคราะห์เอทิลีน (A);DcACS1, (B);DcACO1, C;การผลิตเอทิลีนในดอกไม้, D; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกไม้, ■ ชุดควบคุม (Control) เป็นดอกไม้ที่ไม่มีการให้ก๊าซใด ๆ, ■ ดอกไม้ที่ได้รับเอทิลีน 5 $\mu\text{L/L}$ และ □ ดอกไม้ที่ได้รับ 1-MCP ปริมาณ 0.1 $\mu\text{L/L}$ ตามลำดับ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง E; ดอกคาร์เนชั่นเหี่ยวแห้ง (บน) และกลีบร่วงโรย (ล่าง) ในดอกคาร์เนชั่นดอกไม้ที่มา: (ดัดแปลงจาก Byung และคณะ, 2015)

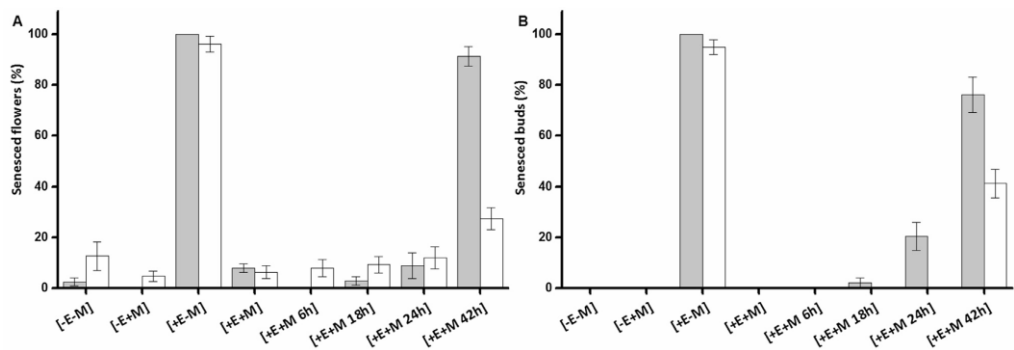
ตารางที่ 1 อายุการปักแจกัน ของ ดอกคาร์เนชั่น พันธุ์ Moonstone วิเคราะห์โดยการร่วงโรยของกลีบดอก และการเหี่ยวแห้งของดอกไม้ การเก็บเกี่ยว จะเก็บในขณะที่มีการบานเต็มที่ เท่านั้น

สภาวะ	อายุการปักแจกัน (วัน)
Control	8.0 ± 0.41^b
Ethylene	7.3 ± 0.48^b
1-MCP	10.8 ± 0.48^a

หมายเหตุ: ที่ความเชื่อมั่น $p < 0.05$ (n=9)

ที่มา: Byung et.al. (2015)

ในรายงานการศึกษาวิจัยผลของ 1-MCP ที่ยับยั้งเอทิลีนในกล้วยไม้โดย Bruno และคณะ (2016) ที่ได้ศึกษาผลของ 1-MCP ที่ยับยั้งเอทิลีนฟาลานอปซิสขนาดเล็ก (Phalaenopsis) สายพันธุ์ 'Allen' และ 'Venice' ซึ่งเป็นกล้วยไม้ที่ไวต่อเอทิลีนโดยเอทิลีนจะทำให้ดอกไม้เหี่ยวเฉา เกิดการร่วงของทั้งดอกตูมและดอกบาน ผู้วิจัยทำการศึกษานำกล้วยไม้มารับเอทิลีนและ 1-MCP ที่สภาวะต่าง ซึ่งได้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการชราภาพของกล้วยไม้ทั้งสองพันธุ์เมื่อได้รับ เอทิลีนเพียงอย่างเดียวจะมีอัตราการชราภาพที่สูงโดยสายพันธุ์ 'Allen' และ 'Venice' มีอัตราการชราภาพ คือ $100.0\% \pm 0.0$ และ $96.1\% \pm 3.2$ ตามลำดับ (รูปที่ 8A) แต่ถ้ามีการได้รับ 1-MCP ที่ 200 nL/L แม้จะได้รับ เอทิลีนเข้มข้น 100 nL/L ด้วย ก็ทำให้อัตราการชราภาพมีค่าที่ลดต่ำที่สภาวะที่ได้รับ 1-MCP พร้อมเอทิลีนหรือได้รับ 1-MCP หลังจากที่ได้รับเอทิลีนแล้ว แต่ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการได้รับ 1-MCP หลังจากได้รับเอทิลีนคือ ไม่เกิน 27 ชั่วโมง ซึ่งผลงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงคุณค่าที่มีต่อช่วงเวลาในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาดอกกล้วยไม่ว่าควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 °C ซึ่งจะสามารถแก้ไขผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ในดอกกล้วยไม้ด้วยการใช้ 1-MCP



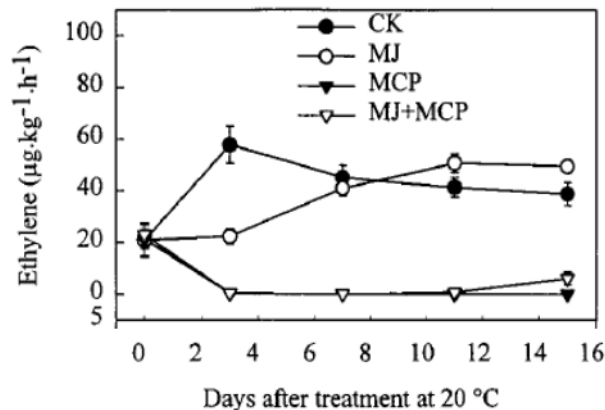
ภาพที่ 8 การชราภาพของดอก (A) และดอกตูม (B) ที่ได้รับเอทิลีน และ 1-MCP โดย สภาวะที่เป็นอากาศในชั้นบรรยากาศอย่างเดียว = [-E- M]; เอทิลีน เพียงอย่างเดียว = [+ E - M]; 1-MCP เพียงอย่างเดียว = [-E + M]; เอทิลีนและ 1-MCP ในเวลาเดียวกัน = [+ E + M] และมีให้ 1-MCP หลังจากได้รับเอทิลีน 6 ชั่วโมง = [+E+M 6 h]; 18 ชั่วโมง = [+E+M 18 h]; 24 ชั่วโมง = [+E+M 24 h] และ 42 ชั่วโมง = [+E+M 42 h]

ที่มา: Bruno et.al. (2016)

ผลของ 1-MCP ต่อการผลิตเอทิลีนในผักและผลไม้

การนำ 1-MCP มาใช้ในการเก็บรักษาแอปเปิ้ลในรายงานวิจัยของ Fan และ Mattheis (1999a) ได้นำ 1-MCP มาใช้ศึกษาบทบาทที่มีต่อเอทิลีนในการพัฒนาแอปเปิ้ลฟูจิ โดยแอปเปิ้ลที่ได้รับ 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 1 $\mu\text{L/L}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่ 20°C จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ที่ 0°C เป็นเวลา 4 เดือน ผลที่ได้พบว่าการผลิตเอทิลีนมีระดับที่ลดลงมีปริมาณ ต่ำกว่า 1 $\mu\text{L/L}$ โดยวันที่ 1 และ 7 ที่สภาวะ 20°C มีระดับเอทิลีน 0.5 $\mu\text{L/L}$ และ 0.6 $\mu\text{L/L}$ ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาแอปเปิ้ลที่ 0°C เป็นเวลา 8 เดือน และนำออกมาวัดการผลิตเอทิลีนในวันที่ 1 และ 7 ที่สภาวะ 20°C มีระดับเอทิลีน 1.2 $\mu\text{L/L}$ และ 10.5 $\mu\text{L/L}$ ตามลำดับ กลับกลายเป็นว่าปริมาณเอทิลีนที่ผลิตจากแอปเปิ้ลมีปริมาณที่มากกว่าแอปเปิ้ลที่ได้รับ 1-MCP ที่เก็บรักษาไว้ 4 เดือน ถือว่าเป็นตัวอย่างพืชที่เห็นผลผลิตอย่างชัดเจนเนื่องจากถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลกเพื่อรักษาคุณภาพในห่วงโซ่การตลาด ตั้งแต่การจัดเก็บไปจนถึงผู้บริโภค อัตราการใช้ 1-MCP สำหรับแอปเปิ้ลจะใช้ในช่วงตั้งแต่ 625 ถึง 1,000 nL/L ขึ้นอยู่กับประเทศที่ลงทะเบียนไว้ ประโยชน์ที่สำคัญของ 1-MCP นั้นคือจะยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิ้ลให้ยังคงมีคุณภาพสูงอยู่ผ่านช่องทางการตลาดไปยังผู้บริโภค คุณภาพของแอปเปิ้ลหลังการเก็บเกี่ยวมีการอ่อนนุ่มเพียงเล็กน้อยจนถึงเนื้อกรอบเป็นที่พึงปรารถนาของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการใช้งาน 1-MCP กับผลไม้จะทำให้ผลไม้มีลักษณะที่ดี (เนื้อ รสชาติ กลิ่น สี) ตามที่ผู้บริโภคคาดหวัง นอกจากนี้ Fan และ Mattheis (1999b) ก็ได้ศึกษาการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (MJ) ในการผลิตเอทิลีนในแอปเปิ้ล ฟูจิ โดยใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 10 $\mu\text{L/L}$ และ methyl jasmonate ความเข้มข้น 2 mmol/L จากนั้นเก็บรักษาผลไม้ไว้ที่ 20°C

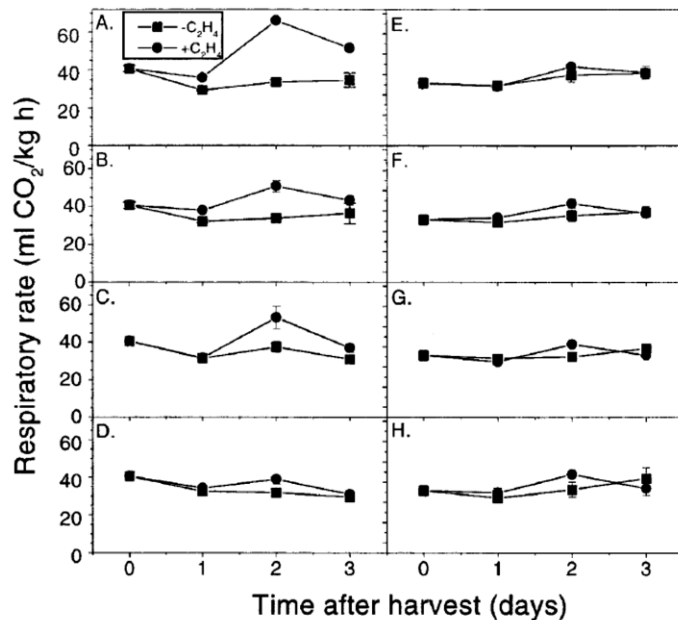
แล้ววัดอัตราการผลิตเอทิลีนเป็นเวลา 15 วัน เทียบกับแอปเปิ้ลที่มีการให้ MJ และ น้ำ ผลที่ได้คือแอปเปิ้ลที่มีการให้ MJ และ น้ำ มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นระหว่างวันที่ 0 และ 3 หลังการรักษาและอัตราจะค่อนข้างคงที่ตลอดไปจนถึงวันที่ 15 (ภาพที่ 9) แต่การใช้ 1-MCP อย่างเดียว หรือการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MJ มีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ไปจนตลอดการศึกษา



ภาพที่ 9 การผลิตเอทิลีนของแอปเปิ้ลฟูจิที่ได้รับการปรับสภาพด้วยน้ำ (CK), MJ ความเข้มข้น 2 mmol/L (MJ), 1-MCP ความเข้มข้น 10 µL/L (1-MCP) และการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MJ (MJ+MCP) และเก็บไว้ที่ 20°C

ที่มา: (ดัดแปลงจาก Fan และ Mattheis, 1999b)

นอกจากนี้ผลกระทบของ 1-MCP และเอทิลีนจากภายนอกที่มีผลต่อการสุกของสตรอเบอร์รี่ได้ทำการศึกษาโดย Tian และคณะ (2000) ซึ่งได้ศึกษาอัตราการหายใจ การนำออกซิเจน และกิจกรรมการเอนไซม์ peroxidase ในผลสตรอเบอร์รี่สด โดยปกติแล้วสตรอเบอร์รี่สามารถทำให้สุกได้โดยไม่ต้องรับเอทิลีนจากภายนอก แต่ถ้าได้รับเอทิลีนจากภายนอกอย่างต่อเนื่องที่ระดับความเข้มข้น 100 µL/L จะกระตุ้นการหายใจในผลไม้ภายใน 2 วันแรก หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงไปอยู่ในระดับใกล้เคียงกับผลไม้ที่ไม่ได้ให้เอทิลีนในวันที่ 3 ของการทดสอบและถ้ามีการให้ 1-MCP กับสตรอเบอร์รี่ให้ผลในการยับยั้งการผลิตเอทิลีนที่ส่งผลให้เพิ่มการหายใจในผลไม้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงต้น (ภาพที่ 9C) อย่างไรก็ตามในผลไม้ที่เก็บเกี่ยวช่วงปลาย 1-MCP ไม่ได้ให้ผลการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในด้านการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ หรือ 1-MCP อาจจะมีอิทธิพลต่อเอทิลีนที่ชักนำให้เกิดการหายใจที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 10E, G) 1-MCP กระตุ้นการผลิตเอทิลีนในภายหลังแต่ไม่ได้ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจในสตรอเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวในช่วงปลาย ระบบการหายใจจะขึ้นอยู่กับปริมาณเอทิลีนที่เกิดขึ้น ดังนั้นผลนี้สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจในผลไม้สตรอเบอร์รี่จำเป็นต้องมีความเข้มข้นของเอทิลีนมากขึ้นในภายหลังอันเกิดจากการชักนำของ 1-MCP

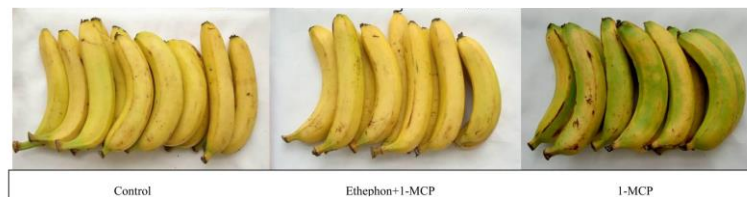


ภาพที่ 10 อัตราการหายใจ (ml/kg·h) ของช่วงต้น (A-D) ช่วงปลาย (E-H) ของสตอเบอรี่ ที่เก็บเกี่ยวในระยะต่างๆ ที่มีการให้เอทิลีน (100μl/l) หลังจากที่ถูกปรับสภาพด้วย 1 – MCP (2 μl/l) และ Cycloheximide (1 มิลลิเมตร)

ที่มา: Tian et.al. (2000)

1-MCP มีผลอย่างชัดเจนในการชะลอการสุกของผลกล้วยที่เก็บเกี่ยว โดย Xiaoyang และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลของการรวมกันของ ethephon กับ 1-MCP ต่อการสุกของผลกล้วยตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี การหายใจของผลกล้วยถูกยับยั้งโดยการทำงานของ 1-MCP แต่ถ้ามมีการใช้ ethephon มาร่วมในการเก็บรักษาผลกล้วยหอมจะทำให้กล้วยหอมมีลักษณะดัชนีของสีและเนื้อที่ดี จากการศึกษาพบว่าในชุดควบคุมจะมีการผลิตเอทิลีนระดับสูงในวันที่ 12 และอีกครั้งในวันที่ 18 แต่ผลกล้วยหอมที่ได้รับ 1-MCP อย่างเดียว และ 1-MCP ที่ทำงานร่วมกับ ethylene จะมีผลยับยั้งการผลิตเอทิลีน โดยกล้วยหอมที่ได้รับ 1-MCP อย่างเดียว และ 1-MCP ที่ทำงานร่วมกับ ethylene จะมีช่วงเวลาการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 18 และ 20 ตามลำดับ (รูปที่ 11C) ผู้วิจัยยังได้แสดงผลของการทำงานร่วมกันของ ethephon เข้มข้น 50 μl/l กับ 1-MCP เข้มข้น 400 n/l ที่ระยะเวลา 16 ชั่วโมง เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้การสุกของกล้วยหอมช้าลงอย่างมีนัยสำคัญและรักษาคูณลักษณะของผลกล้วยที่เก็บเกี่ยว ซึ่งการใช้สารทั้งสองชนิดทำให้ลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ให้ผลการทดลองเพิ่มอีกว่า 1-MCP ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสถานะ

เสื่อมของกล้วยหอมอันได้แก่ pectin lyase (PL), pectin methylesterase (PME), cellulase (CX) และ polygalacturonase (PG) และยับยั้งชะลอการทำงานของ ACC synthase (ACS) และ ACC oxidase (ACO) (ข้อมูลไม่ได้แสดง) อีกทั้งยังชะลอการเกิดสารระเหยที่จะเกิดเมื่อผลกล้วยสุก แต่ไม่ส่งผลเสียต่อปริมาณสารหอมระเหยโดยเฉพาะสารในกลุ่มเอสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 12A เป็นการแสดงให้เห็นว่าการใช้ 1-MCP 400 n/L และ ethephon เข้มข้น 50 μ L/L ทำให้กล้วยแสดงลักษณะที่ดีของดัชนีสี โดยมีการสุกอย่างสม่ำเสมอ เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างสมบูรณ์ซึ่งสามารถยืดอายุได้ถึง 25 วัน โดยมีอายุที่นานกว่าชุดควบคุม 5 วัน ซึ่งแม้ว่ากล้วยหอมที่มีการใช้ 1-MCP เข้มข้น 400 n/L เพียงอย่างเดียวเป็นความเข้มข้นที่ดีที่สุดในบรรดาการใช้สารทั้งหมดและผลไม้สุกล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ แต่ลักษณะของเนื้อมีกล้วยหอมจะนุ่มอย่างสม่ำเสมอแต่ยังมีความเขียวของเปลือกบ้างและยังสุกไม่สมบูรณ์มีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้ร่วมกับ ethephon จึงเป็นการแก้ปัญหาให้กล้วยมีลักษณะที่ดีตามต้องการ



ภาพที่ 11 ผลกระทบของ ethephon ร่วมกับ 1-MCP ต่ออัตราการผลิตเอทิลีน (a) ของผลกล้วยที่เก็บเกี่ยว (b),(c) ลักษณะกล้วยหอมที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 20 โดย (b) เป็นสภาวะที่ใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 400 n/L ร่วมกับ ethephon เข้มข้น 50 μ L/L (c) เป็นสภาวะที่ใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 400 n/L เพียงอย่างเดียว

ที่มา: Xiaoyang et.al. (2015)

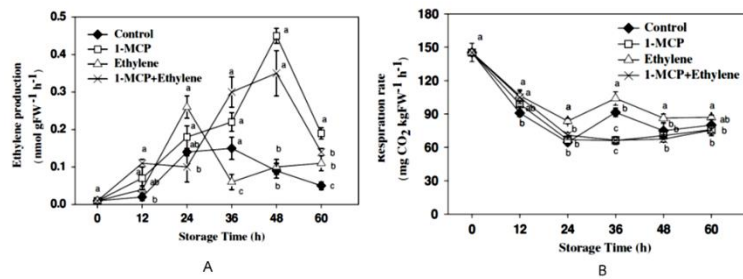


ภาพที่ 12 ดัชนีสีของผลกล้วยหอมที่มีการใช้ 1-MCP ร่วมกับ ethephon โดย (a) เป็นสภาวะที่ใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 400 nL/L เพียงอย่างเดียว (b) เป็นสภาวะที่ใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 400 nL/L ร่วมกับ ethephon เข้มข้น 50 $\mu\text{L/L}$ (c) เป็นสภาวะที่ใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 400 nL/L ร่วมกับ ethephon เข้มข้น 100 $\mu\text{L/L}$

ที่มา: Xiaoyang et.al. (2015)

สำหรับการใช้ 1-MCP ต่อการยับยั้งเอทิลีนในการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของบรอกโคลีตาม การศึกษาของ Gang และคณะ (2009) ศึกษาผลของ 1-MCP ต่อยับยั้งการกระทำของเอทิลีนในการ เสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของบรอกโคลี (*Brassica oleracea*, L. var. Italica) บรอกโคลีสดเป็นผักที่ เน่าเสียอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิปกติแต่การศึกษากลไกพบว่า 1-MCP มีผลชะลอการเกิดสี เหลืองของดอกย่อย โดยยับยั้งการหลั่งเอทิลีนออกสู่ภายนอกของบรอกโคลีเมื่อมีการปรับสภาพบล็อกคอลลี ด้วย 1-MCP นั้นงานวิจัยนี้ได้กล่าวไว้ว่าเอทิลีนมีบทบาทสำคัญในขั้นตอนของการลดเสื่อมสลายตามอายุของ ดอกบรอกโคลีสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษา การผลิตเอทิลีนของบรอกโคลีชุดควบคุมที่ไม่ได้ปรับสภาพ ด้วยอะไรเลยมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นของดอกย่อยจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 12 เป็นไปอย่างช้าๆ แล้วมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดหลังจากผ่านไป 36 ชั่วโมง ($0.15 \text{ กรัม nmol g FW}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (ภาพ ที่ 13) บรอกโคลีที่ได้รับการปรับสภาพด้วยเอทิลีนมีค่าการผลิตเอทิลีนสูงสุดปรากฏที่เวลาชั่วโมงที่ 24 หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทิลีนมีค่าลดลง ในขณะที่ 1-MCP ให้ผลการผลิตเอทิลีนสูงสุดล่าช้าออกไปอีก 12 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

ในการศึกษาอัตราการหายใจของบรอกโคลีหลังจากมีการเก็บเกี่ยวมีอัตราการหายใจลดลงแต่อัตรา การหายใจมีการเพิ่มขึ้นในชุดควบคุมที่ไม่มีการให้เอทิลีนและ 1-MCP ในชั่วโมงที่ 36 ชุดทดสอบที่มีการ ปรับสภาพด้วยเอทิลีนมีการอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นไปจุดสูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้ 1-MCP และ การใช้ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีนในการปรับสภาพให้บล็อกโคลีนั้นได้ส่งผลให้เห็นว่ามีการระงับ การหายใจของพืชโดยการหายใจมีอัตราที่ลดลงเรื่อยๆ และคงที่หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 A การผลิตเอทิลีนที่มีการเปลี่ยนแปลงของดอกบรอกโคลีระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 20°C, B อัตราการหายใจที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในของหัวบรอกโคลีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C

ที่มา: (ดัดแปลงจาก Gang และคณะ, 1999)

บทสรุป

การศึกษาการอิทธิพลของ 1-MCP ที่มีต่อการผลิตเอทิลีนในผัก ผลไม้ และดอกไม้ว่าเมื่อมีการใช้ 1-MCP ในระดับต่างๆ ได้แสดงให้เห็นว่าการที่เอทิลีนมีการผลิตออกมาแล้วทำให้พืชมีลักษณะที่เสื่อมสลายตามอายุหรือเร่งการสุกนั้นมียีนเป็นตัวสังเคราะห์เอทิลีน โดยเมื่อนำผลไม้มาใส่ 1-MCP จะสังเกตได้ว่าการที่พืชเกิดการชะลอการลอกรหัสของยีน *DcACS1* ซึ่งเป็นยีนที่สังเคราะห์เอทิลีนในกลีบดอกคาร์เนชั่น อายุของดอกไม้ที่ปักในแจกันก็สามารถอยู่ได้ยาวนานขึ้นอีกเมื่อเทียบกับดอกไม้ชุดควบคุม 1-MCP อาจมีผลกระทบต่อการผลิตเอทิลีน แต่ไม่ได้ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจในสโตรเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวในช่วงปลาย แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจในผลไม้สโตรเบอร์รี่จำเป็นต้องมีความเข้มข้นของเอทิลีนมากขึ้นอันเกิดจากการชักนำของ 1-MCP ได้ นอกจากนี้ผลของ 1-MCP ต่อยับยั้งการกระทำของเอทิลีนในการชราภาพของบรอกโคลี ภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมีผลชะลอการเกิดสีเหลืองของดอกย่อย โดยยับยั้งการหลั่งเอทิลีนออกสู่ภายนอกของบรอกโคลี โดยที่ 1-MCP มีผลทำให้การผลิตเอทิลีนสูงสุดล่าช้าออกไปอีก 12 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการหายใจของบรอกโคลีมีการลดลงหลังจากมีการเก็บเกี่ยว และ การใช้ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีนได้ส่งผลในการระงับการแสดงออกของการหายใจของพืช ในการใช้ 1-MCP สำหรับการชะลอการสุก การรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้และพืชไม้ประดับ 1-MCP สามารถชะลอการเกิดสีเหลือง ลดอัตราการหายใจ ชะลอการเสื่อมสลายและยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้และดอกไม้ประดับได้หลายชนิด

เอกสารอ้างอิง

- ไพบุลณั แสงแก้ว. (2549). **พฤกษศาสตร์**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. จังหวัดปทุมธานี.
- Byung Chun In, Josh Strable, and Sara E. Patterson. (2015). **Effects of 1-Methylcyclopropene on Flower Senescence and Petal Abscission in *Dianthus caryophyllus* L.** *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56(6): 786-792.
- Fan, X.T., Mattheis, J.P. (1999a). **Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP.** *J Agric Food Chem.* 47: 3063–8.
- Fan, X.T., Mattheis, J.P. (1999a). **Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production.** *J Agric Food Chem.* 47:2847–53.
- Gang Ma, Ran Wang, Cheng-Rong Wang, Masaya Kato, Kazuki Yamawaki, Fei-fei Qin, and Hui-Lian Xu. (2009). **Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli.** *Plant Growth Regul.* 57:223–232.
- Hopkins, W. G., Hüner, N.P.A. (2004). *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley & Sons, Inc. p.333.
- Moazzam Hassanpour Asil, Mahnaz Karimi, and Hedayat Zakizadeh. (2013). **1-MCP Improves the Postharvest Quality of Cut Spray Carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) ‘Optima’ Flowers.** *Hort. Environ. Biotechnol.* 54(1): 58-62.
- Sylvia Blankenship. (2001). **Ethylene Effects and the Benefits of 1-MCP.** *Perishables Handling Quarterly*. November, No. 108, PP 2-4.
- 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.
- Trevenzoli Favero, Efstratia Poimenopoulou, Martin Himmelboe, Theodoros Stergiou, Renate Müller, Henrik Lütken. (2016). **Efficiency of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment after ethylene exposure of mini-Phalaenopsis Bruno.** *Scientia Horticulturae* 211: 53–59.
- Vijay Paul and Rakesh Pandey. (2013). **Delaying tomato fruit ripening by using 1-methylcyclopropene (1-MCP) for better postharvest management: current status and prospects in India.** *Ind J Plant Physiol.* (July–September) 18(3): 195–207.

Xiaoyang Zhu, Lin Shen, Danwen Fu, Zhenwei Si, Bin Wub, Weixin Chen, Xueping Li,. (2015).

Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 107: 23–32.

Yueming Jiang, Daryl C. Joyce and Andrew J. Macnish. (1999). **Responses of banana fruit**

to treatment with 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation*. 28: 77–82.