

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยรหัส ก-ษ (ค) 10.52

การควบคุมการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว
Control of Ripening in Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.)
Fruit after Harvest

สายชล เกตุษา

พัชร ปิริยะวินิตร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ 2552
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการควบคุมการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2552 ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ได้ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อไทย	1
บทคัดย่ออังกฤษ	3
คำนำ	4
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	6
วิธีวิจัย	20
ผลการทดลอง	29
วิจารณ์ผลการทดลอง	59
สรุปผลการทดลอง	66
เอกสารอ้างอิง	67
ตารางภาคผนวก	84

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2552

โครงการวิจัยรหัส ก-ข (ค) 10.52

การควบคุมการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว

Control of Ripening in Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.)

Fruit after Harvest

สายชล เกตุษา และ พัทชร ปิริยะวินิต⁽¹⁾

Saichol Ketsa and Phatchara Piriyavinit

บทคัดย่อ

การทดลองเพื่อกระตุ้นและชะลอการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว โดยจุ่มผลมังคุดระยะสายเลือดในสารละลายเอทิลอนความเข้มข้น 250 และ 500 ไมโครลิตรต่อลิตร และบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 และ 10 กรัมต่อผลมังคุด 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิห้อง (29 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์) นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำผลมังคุดมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการพัฒนาสีของเปลือกผล ความแข็งของเปลือกผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลิน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างผลมังคุดที่บ่มและไม่บ่มด้วยเอทิลอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ ส่วนการชะลอการสุกของผลมังคุดระยะสายเลือดที่รมด้วย 1-methylcyclopropene (1-MCP) ความเข้มข้น 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมงที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าผลมังคุดรมด้วย

คำสำคัญ: ผลมังคุด การสุก แคลเซียมคาร์ไบด์ เอทิลอน 1-MCP

⁽¹⁾ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

1-MCP สามารถชะลอการพัฒนาสีของเปลือก และการลดลงของความแข็งของเปลือก และทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าน้อยลงในช่วงการเก็บรักษา ขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ผลมั่งคุดรมด้วย 1-MCP แล้วเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจสูงสุดเกิดขึ้นช้ากว่าผลมั่งคุดสดควบคุม โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมั่งคุดได้นาน 11 วัน สีเปลือกผลจึงเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำ ขณะที่ผลมั่งคุดรมด้วย 1-MCP แล้วเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจลดลงและชะลอการสังเคราะห์เอทิลีน สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมั่งคุดได้นาน 27 วัน จึงหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส การรมผลมั่งคุดด้วย 1-MCP ยังชะลอการสะสมของ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) และลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase (ACS) และ ACC oxidase (ACO) ในเปลือก แต่ในเนื้อของผลมั่งคุดที่รมด้วย 1-MCP กิจกรรมของเอนไซม์ ACO และปริมาณ ACC ถูกชะลอแต่กิจกรรมของเอนไซม์ ACS เพิ่มขึ้น

Abstract

The objective of study was carried out to control ripening of mangosteen fruits. Ethephon and calcium carbide were used to stimulate ripening, while 1-methylcyclopropene (1-MCP) and low temperature were used to delay ripening and improve quality of mangosteen fruits. Mangosteen fruits at stage 1 (green with trace of red) were treated with 0, 250 and 500 μLL^{-1} ethephon and with 0, 5 and 10 g calcium carbide /1 kg fruit at room temperature for 24 hours and then stored at room temperature ($29\pm 1^{\circ}\text{C}$, 80-90% RH). It was found that development of pericarp color, firmness, soluble solids content (SSC), titratable acidity (TA), SSC:TA ratio, respiration rate and ethylene production were not significantly different in mangosteen fruits with and without ethephon and calcium carbide treatments. Mangosteen fruits at stage 1 were fumigated with 1,000 nLL^{-1} 1-MCP for 6 hours at 25°C then stored at 15°C and 25°C . 1-MCP fumigation delayed development of pericarp color, softening and the peak of ethylene production of fruits stored at both temperatures. The reduction and delay of respiration rate occurred in treated mangosteen fruits stored at 15°C and 25°C , respectively. SSC of fruits fumigated with 1-MCP was lower than non-fumigated fruits, while their TA and SS:TA ratio were not significantly different. 1-MCP fumigation delayed development of pericarp color more than 9 and 4 days compared with non-fumigated fruits stored at 15 and 25°C , respectively. 1-MCP fumigation delayed accumulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) content in aril and pericarp of mangosteen fruits stored at both temperatures. The activity of ACC synthase (ACS) decreased in pericarp but increased in aril fumigated with 1-MCP while the activity of ACC oxidase (ACO) decreased in pericarp and delayed in aril of fumigated mangosteen fruits stored at both temperatures.

Key words: mangosteen fruit, ethephon, calcium carbide, ripening, 1-MCP

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่ส่งออกผลมังคุดเป็นอันดับ 1 ของโลก มูลค่าประมาณปีละกว่า 500 ล้านบาท และมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นในทุกปี โดยในช่วงปี 2547-2549 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 268,047 288,619 และ 337,034 ไร่ตามลำดับ ให้ผลผลิต 235,272 199,693 และ 171,881 ตันตามลำดับ เนื่องจากเป็นที่ต้องการทั้งภายในและภายนอกประเทศ ทำให้มีปริมาณการส่งออกของผลมังคุดเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยส่งออกผลสดไปยังหลายประเทศเช่น จีน ฮองกง ญี่ปุ่น และเวียดนาม รวมทั้งผลแช่เย็นแช่แข็งไปยังประเทศญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ในปี 2550 มีการส่งออกคิดเป็นมูลค่า 755.65 ล้านบาท และมีปริมาณ 47,233 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550; 2551)

แม้ว่ามังคุดจะเป็นผลไม้ที่ต่างชาติชื่นชอบในรสชาติ แต่การส่งออกของผลมังคุดกลับมีปริมาณไม่มากเท่าที่ควร อาจเนื่องมาจากปัญหาด้านคุณภาพและการดูแลหลังการเก็บเกี่ยว (โหมสิต, 2548) เพราะเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลมังคุดจะเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่้วยสายเลื้อยจนถึงระยะผลสีม่วงดำ ทำให้ผลมังคุดไม่มีความสม่ำเสมอส่งผลต่อคุณภาพโดยรวมของผลมังคุด และผลมังคุดหลังจากเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวผลมังคุดจากต้นแล้วผลมังคุดจะยังมีการเปลี่ยนแปลงภายในต่อไป (สุรพล, 2541) ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น เป็นที่ทราบกันว่าเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกของพืช (McGlasson, 1985) ส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของพืชที่เกิดขึ้นตามมาอีกมากมาย (Wills and Ku, 2002; Lurie, 2005) ดังนั้นการควบคุมทั้งการกระตุ้นและชะลอกระบวนการสุกของผลมังคุด โดยควบคุมการสร้างและการทำงานของเอทิลีนก็เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมให้ผลมังคุดมีการสุกอย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพที่ดีขึ้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้สารเคมีที่ควบคุมการสุกโดยใช้เอทิลีนและแคลเซียมคาร์ไบด์กระตุ้นการสุกของผลมังคุดให้มีการสุกที่สม่ำเสมอ และการควบคุมการทำงานของเอทิลีนโดยใช้ 1-MCP (1-methylcyclopropene) ซึ่งมีส่วนช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลในหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) และกิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase (ACS) และ ACC oxidase (ACO) ซึ่งเป็นสารและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีน เมื่อได้รับ 1-MCP เพื่อใช้ในการอธิบายกระบวนการสุกของผลมังคุดต่อไป

วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการกระตุ้นการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้เอทิลฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์
2. เพื่อศึกษาวิธีการชะลอการเก็บรักษาผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้ 1-MCP
3. เพื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลินในผลมังคุดที่ได้รับ การชะลอการสุกด้วย 1-MCP

ตรวจเอกสาร

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมเป็นราชินีของไม้ผลเขตร้อน (Harlan, 1995) และนิยมปลูกเป็นการค้ามากขึ้น เพราะมังคุดเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยมีแนวโน้มของการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปีเนื่องจากมังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีและมีการส่งออกทั้งในรูปผลสดและแช่แข็ง (สมเกียรติ, 2543) โดยปกติเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวผลมังคุดหลายระยะ เมื่อต้องส่งออกไปต่างประเทศจะต้องมีการคัดแยกผลที่อ่อนแก่ออกจากกัน โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลเป็นเกณฑ์อาจแยกได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ยังมีสีเขียวที่ผิวผล กลุ่มที่ผิวผลมีสีแดงอ่อนจนถึงแดง และกลุ่มที่ผิวผลมีสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำ ซึ่งสองพวกแรกนั้นเหมาะสำหรับส่งตลาดที่อยู่ไกล ส่วนกลุ่มสุดท้ายควรส่งตลาดท้องถิ่นหรือตลาดที่อยู่ไม่ไกลนัก ประเทศไทยมีแหล่งการผลิต 3 แหล่ง คือ พื้นที่ในเขตภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคกลาง (กวิศร, 2536) จังหวัดที่มีการปลูกมังคุดมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จันทบุรี นครศรีธรรมราช ชุมพร ตรัง และระยอง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550)

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

การคัดเลือกผลิตผลก่อนเก็บเกี่ยวให้มีคุณภาพที่ดีจะส่งผลต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวที่มีคุณภาพ (Watada *et al.*, 1984) ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์หลังการเก็บเกี่ยว สำหรับการส่งออกจะให้ความสำคัญของระยะเวลาและระยะทางในการขนส่งประกอบกับอาศัยลักษณะที่มองเห็นได้จากภายนอก และองค์ประกอบทางเคมีของผลเป็นตัวกำหนด ส่วนดัชนีการเก็บเกี่ยวของมังคุดจะอาศัยระดับสีของเปลือกผลมังคุดโดยแบ่งออกเป็น 7 ระดับ โดย Tongdee and Suwanagul (1989) ได้กำหนดไว้ดังนี้

1. ระยะที่ 0 ผลมีสีเขียวเหลืองสม่ำเสมอ หรือสีชาวมเหลืองมีจุดสีเขียวอ่อน ภายในเปลือกมียางสีเหลืองในระดับที่รุนแรงมาก เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนไปเป็นระยะที่ 6 แล้วก็ตาม จะมีรสชาติไม่ดี ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บเกี่ยวผลมังคุดในระยะดังกล่าว

2. ระยะที่ 1 ผลระยะสายเลือด มีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดประสีชมพูกระจายทั่วผล ภายในเปลือกยังคงมีอยู่มาก เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แต่เหมาะต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการขนส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ หรือสามารถบริโภคได้ภายในประเทศ

3. ระยะที่ 2 ผลมีสีน้ำตาลแดงเรื่อ ๆ เกือบทั้งผล หรือมีสีเหลืองอ่อนอมชมพูกระจายไปทั่วผล มียางภายในเปลือกอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อกับเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง

4. ระยะที่ 3 ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกันไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจน ยางภายในเปลือกมีน้อยถึงน้อยมาก การแยกตัวระหว่างเนื้อกับเปลือกปานกลาง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกต่างประเทศ

5. ระยะที่ 4 ผลมีสีแดง หรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ยางภายในเปลือกมีน้อยถึงไม่มีเลย การแยกตัวระหว่างเนื้อกับเปลือกดีมากเหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศเป็นระยะเกือบที่จะรับประทานได้

6. ระยะที่ 5 ผลมีสีม่วงอมแดง ภายในเปลือกไม่มียางเหลือ เนื้อกับเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ซึ่งเป็นระยะที่ใช้รับประทานได้

7. ระยะที่ 6 ผลมีสีม่วงหรือม่วงเข้มจนถึงม่วงดำ ภายในเปลือกไม่มียางเหลือ เนื้อกับเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการรับประทานให้มีรสชาติดีมากที่สุด ผลในระยะนี้สามารถอยู่ได้อีกประมาณ 10 วันถ้ามีการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างถูกต้อง

การพิจารณาความอ่อนแก่ของมังคุดที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคนั้นต้องคำนึงถึงระยะเวลาการขนส่งจากแหล่งผลิตถึงผู้บริโภคและการรอเวลาการจำหน่าย เพื่อให้ผู้บริโภคมีผลมังคุดที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ สมโภชน์ (2535) ได้ทำการศึกษาผลมังคุดตั้งแต่ระดับสี -1 ซึ่งผลมีสีเขียวเข้ม พบว่าระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวแล้วผลผลิตยังมีคุณภาพที่ดีในการบริโภคเมื่อผลสุกอยู่ที่ระยะที่ 0 ถึง 4 และระยะของมังคุดที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวระยะที่ 0 ถึง 1 เป็นช่วงที่ควรเก็บเกี่ยวเพื่อส่งไปจำหน่ายยังตลาดที่อยู่ห่างไกล แต่มีข้อเสนอแนะจากบางคนว่าระยะที่ 3 เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก (สมเกียรติ, 2543) ดังนั้นการศึกษาระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวจะขึ้นอยู่กับกำหนดระยะเวลาในการขนส่ง โดยการเก็บรักษาผลมังคุดไว้ได้นานเกี่ยวข้องกับความแก่ของผลที่เก็บเกี่ยว เนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวผลมังคุดจากต้นแล้วผลมังคุดจะยังมีการเปลี่ยนแปลงภายในต่อไป (สุรพล, 2541) ทำให้ผลมังคุดมีอายุการเก็บรักษาสั้น เมื่อผลสุกแล้วจะเก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน เนื่องจากมีอาการเปลือกแข็ง นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวผลมังคุดในระยะที่ไม่เหมาะสมเช่นขณะที่ผลมังคุดยังเขียว (สุรพงษ์, ม.ป.ป.) ยังเป็นปัญหาต่อการส่งออกของมังคุดไปต่างประเทศเพราะการส่งออกมีกฎเกณฑ์การรับซื้อผลมังคุดที่ต่างจากตลาดภายในประเทศ เพื่อรักษาคุณภาพของผลมังคุดเพื่อการส่งออก

การเปลี่ยนแปลงของมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว

ผลมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะทำให้มีระยะเวลาในการเก็บรักษา และวางจำหน่ายให้กับผู้บริโภคสั้น โดยผลมังคุดมีอายุการวางจำหน่ายไม่เกิน 1 สัปดาห์ (อนุวัตร และจิตติยา, 2546)

1. การเปลี่ยนแปลงของก้านผลและกลีบเลี้ยง

ผลมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและสีอย่างรวดเร็ว โดยบริเวณส่วนของกลีบเลี้ยงและขั้วผลมักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลพร้อมกับการเกิดอาการแข็งตัวของเปลือกผล (สุรพงษ์, 2529) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นปัญหาที่สำคัญของการจำหน่ายผลมังคุด เนื่องจากไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงสีเกิดจากการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ โดยมีการสลายตัวเกิดมากกว่าการสร้างทำให้คลอโรฟิลล์หมดไป (กวิศร์, 2522) แต่การเสียน้ำที่เปลือกและขั้วนั้นมีน้อยเนื่องจากมีความหนาและมีไขเคลือบผิว (รุจิรา, 2540)

2. การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมังคุด

ผลมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยสีแดงของสายเลือดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีสีชมพูแดงเต็มผล แล้วเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง ม่วงเข้มขึ้นจนกระทั่งม่วงดำในที่สุด สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเอทิลินที่ผลมังคุดผลิตขึ้นขณะเข้าสู่กระบวนการสุกจะเร่งให้เกิดการสร้างแอนโทไซยานินและยังมีผลในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อีกด้วย (Abeles, 1973; Goldschmidt *et al.*, 1977) เช่นเดียวกับการกระตุ้นสีผิวของแอปเปิ้ล (Chalmers and Faragher, 1977)

3. การอ่อนตัวและการแข็งตัวของเปลือก

เปลือกผลมังคุดจะมีการอ่อนตัวเมื่อสุกพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง (ศิริวรรณ, 2543) การอ่อนตัวที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเพคติน (Noichinda *et al.*, 2007) แต่เมื่อเก็บรักษามังคุดไว้นานขึ้นพบว่ามังคุดจะเกิดอาการแข็งตัวของเปลือกผลซึ่งอาจบอกถึงการเน่าเสียภายในผล หรืออาจเกี่ยวกับการกระทบกระเทือนขณะหรือหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นผลจากปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นและส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลินด้วย (อาภาภรณ์, 2537; สายชล, 2548; Ketsa and Atantee, 1998; Bunsiri *et al.*, 2003) และการได้รับอุณหภูมิต่ำเกินไปก็สามารถกระตุ้นการแข็งตัวของเปลือกผลมังคุดได้ (อภิรดี, 2538)

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ผลมังคุดภายหลังการเก็บเกี่ยวมีระดับความหวานเพิ่มขึ้นไม่เด่นชัดเหมือนผลไม้พวก climacteric อื่น ๆ เนื่องจากผลมังคุดสะสมอาหารไว้ในรูปของกรดแทนที่จะเป็นแป้ง (Cadlish *et al.*,

1987) ดังนั้นการสลายตัวของอาหารสะสมเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลจึงเกิดขึ้นน้อย ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ค่อนข้างคงตัว ส่วนปริมาณกรดในน้ำคั้นนั้นจะลดลงมาก เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื่องจากกรดที่มีอยู่ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (สมโภชน์, 2534; จริงแท้, 2546; Wills *et al.*, 1998)

5. การสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจ

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่นการสุกและการชราภาพของพืช (Abeles , 1973) โดยผลมั่งคุดมีรูปแบบการหายใจเป็น climacteric และเมื่อสุกจะมีการหายใจสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดลงพร้อมกับเกิดการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นสีม่วง โดยมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว และอัตราการหายใจจะมีค่าสูงสุดเป็น 3 เท่า ของระดับปกติและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่พบช่วง pre-climacteric (สมโภชน์, 2535)

6. การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ

การสุกของผลมั่งคุดจะทำให้เนื้อผลดิบที่แข็งนุ่มลง มีรสหวาน กลิ่นหอมและปริมาณยางลดลง มีรอยแยกระหว่างเนื้อและเปลือก (กวิศร์, 2522) และมีการเน่าเนื่องจากเชื้อในส่วนต่าง ๆ ของผล

การสังเคราะห์เอทิลีน

พืชสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้จาก methionine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเซลล์ และจะถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl-L-methionine (SAM) โดยการทำงานของ เอนไซม์ methionine-S-adenosyl transferase ร่วมกับ adenosine triphosphate (ATP) ต่อมา SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase (ACS) นอกจากถูกเปลี่ยนเป็น ACC แล้วบางส่วนของ SAM ยังถูกเปลี่ยนไปเป็น 5-methylthioadenosine ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้สังเคราะห์กรดอะมิโน methionine ได้ใหม่ส่วน ACC จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น เอทิลีนโดยเอนไซม์ ACC oxidase (ACO) (Yang and Hoffman, 1984) นอกจากนี้ ACC ยังสามารถเปลี่ยนเป็น 1-(malonylamino) cyclopropane-1-carboxylic acid (MACC) โดยเอนไซม์ ACC malonyltransferase (Yang, 1985; Kende, 1993) ซึ่งพืชสามารถเปลี่ยน MACC เป็นเอทิลีนได้น้อยเมื่อสุก และในบางครั้งอาจพบการสะสมของ MACC เพิ่มขึ้นในเปลือกของผลขณะที่ในเนื้อผลมีระดับไม่เปลี่ยนแปลง (Dominguez and Vendell, 1993; Vilaplana *et al.*, 2007) ในผล pawpaw พบว่าเมื่อเกิดการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดจะมีการทำงานของกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO และมีการสะสมของปริมาณ ACC ในขณะที่มีการลดปริมาณของ MACC และการทำงานของเอนไซม์ ACC malonyltransferase (Koslanund *et al.*, 2005) แสดงให้เห็นว่าการ

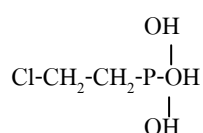
ทำงานของกิจกรรมของเอนไซม์ malonyltransferase จะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ชนิดและพันธุ์ของพืชนั้น (Larrigaudiere *et al.*, 1997)

กิจกรรมของเอนไซม์ ACO จะทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนสูงเพียงพอสำหรับปฏิกิริยา oxidation ที่เกิดขึ้นและมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ โดยความสามารถในการสังเคราะห์เอทิลินของพืชขึ้นอยู่กับระยะการพัฒนาและปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เอทิลินสามารถควบคุมกระบวนการสังเคราะห์ตัวมันเองได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า autoregulation ซึ่งมีทั้ง autocatalysis และ autoinhibition การสังเคราะห์เอทิลินแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ system I เป็นการสังเคราะห์ในปริมาณน้อยและพบได้ในผลไม้ทุกชนิด และ system II เป็นการสังเคราะห์ในปริมาณมากและพบเฉพาะในผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งการผลิตเอทิลินจะเกิดจากการกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลินได้ด้วยเอทิลินเพียงเล็กน้อยในระบบ System I โดยเอทิลินไปกระตุ้นการทำงานของกิจกรรมเอนไซม์ ACS และ ACO มากขึ้น ซึ่งเป็น rate-limiting step ในการสังเคราะห์เอทิลินอยู่ที่ ACS (Czarny *et al.*, 2006) เรียกกระบวนการสังเคราะห์เอทิลินในระบบ System II นี้ว่า autocatalysis (McMurchie *et al.*, 1972; Liberman, 1979) ซึ่งจะไม่พบกระบวนการดังกล่าวในผลไม้ที่แสดงการหายใจแบบ non-climacteric ส่วนการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์เอทิลินที่เรียกว่า autoinhibition เกิดขึ้นเนื่องจากการเอทิลินไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ทำให้การสังเคราะห์เอทิลินลดลง ได้มีการศึกษาในระดับยีนพบว่ามีการยับยั้งการถอดรหัสของเอนไซม์ ACS (Liberman, 1979; Liu *et al.*, 1985; Alexander and Grierson, 2002) การสังเคราะห์เอทิลินในผลไม้พวก climacteric เมื่อเริ่มสุกจึงสามารถอธิบายได้ในระดับเอนไซม์ โดยการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์เอทิลินอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็น peak เกิดจากขั้นตอนที่เริ่มจากการสะสมของยีน *MA-ACSI* ส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของ climacteric rise ตามด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ACC ส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลิน โดยที่กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ถูกทำงานเพิ่มขึ้นจากการสะสมของ *MA-ACO1* ตอนเริ่มสุกแล้วสุดท้ายกิจกรรมของเอนไซม์ ACO จะลดลงอย่างรวดเร็วผ่านทาง cofactor เช่น ascorbate และ เหล็ก (Liu *et al.*, 1999) การสังเคราะห์เอทิลินจะเพิ่มสูงขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ทั้งในเนื้อและเปลือกระหว่างการสุกของกล้วย (Inaba *et al.*, 2007) พลัมพันธุ์ 'Tegan Blue' (Khan and Singh, 2007) เนคทารีนพันธุ์ 'Flavortop' (Dong *et al.*, 2001) และแอปเปิ้ล (Vilaplana *et al.*, 2007)

การเหนี่ยวนำเอทิลิน

เอทิลินเป็นตัวการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสุกของพืชพวก climacteric เช่น มะเขือเทศ ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเกิดขึ้นตามมาอีกมาก (Wills and Ku, 2002; Lurie, 2005) โดยมีสารหลายอย่างที่สามารถนำไปใช้ในการบ่มผลไม้เพื่อให้ผลไม้มีความสม่ำเสมอของสีและมีคุณภาพดีขึ้นหลังการบ่ม (สุชัยญา, 2530; Khanna, 2006) อีกทั้งช่วยลดการเน่าเสียเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ การใช้สารดังกล่าวที่สามารถกระตุ้นการสุกของผลไม้ เช่น เอทิลฟอน แคลเซียมคาร์ไบด์ โพรพิลีน และ อะเซตทิลีน เป็นต้น (เรณู, 2527; Nanos *et al.*, 2002)

เอทิลฟอน พบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ใน ค.ศ. 1964 ผลิตสารที่ให้เอทิลินมีชื่อทางเคมีว่า 2-chloroethylphosphonic acid ซึ่งมีสูตรดังนี้



เอทิลฟอนบริสุทธิ์เป็นของแข็งสีขาว ละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ ในสภาพเป็นกรดจัด (pH น้อยกว่า 3.8) ไม่มีผลต่อการสลายตัวของเอทิลฟอน แต่ในสภาพเป็นด่างจะสลายตัวได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อนและยอด ดอก ผลได้ โดยมีการใช้ทั้งก่อนเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว (Lahav and Gottreich, 1984) เช่นในแอปเปิ้ล ซึ่งมีการใช้เอทิลฟอนในหลายความเข้มข้นตั้งแต่ 200-500 ไมโครลิตรต่อลิตร (μLL^{-1}) เอทิลินที่ได้จากการสลายตัวของเอทิลฟอนมีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวเช่นการเปลี่ยนสีในแอปเปิ้ล (Jones, 1979; Larrigaudiere *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2002), ราสเบอร์รี่สีแดงพันธุ์ ‘Sceptar’ (Gerasopoulos and Stavroulakis, n.d.) มะม่วง (Singh and Janes, 2001) กล้วยหอมทองและกล้วยหอมแกรนด์เนน (สุจริต, 2548) มีผลทางอ้อมในการกระตุ้นการทำงานของคลอโรฟิลเลส พร้อมกระตุ้นการสะสมปริมาณแอนโทไซยานิน และนอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพของรสชาติของผลไม้โดยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) การลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และการอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น ในผลไม้หลายชนิด เช่น มะม่วง (Singh and Janes, 2001; Mahayothee *et al.*, 2004) กล้วยหอมทองและกล้วยหอมแกรนด์เนน (สุจริต, 2548) การใช้เอทิลฟอนในผลมะม่วงร่วมกับการดัดแปลงบรรยากาศพบว่าปริมาณการสังเคราะห์เอทิลินที่เพิ่มสอดคล้องกับความเข้มข้นของเอทิลฟอน (Singh and Janes, 2001)

ในมังคุดมีการใช้เอทิลฟอนความเข้มข้น 200-400 ไมโครลิตรต่อลิตร ฟ่นไปบนต้นของมังคุดที่มีผลมังคุดอยู่ในระยะสายเลื้อยพบว่าจะชักนำให้ผลมังคุดเปลี่ยนสีเร็วขึ้น (อัมพิกา และ คณะ, 2540)

แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีเทาดำ มีสูตรโมเลกุล CaC_2 (Houghton Mifflin Company, 2000) พบโดย Thomas L. Willson ชาวแคนาดาในปี ค.ศ. 1892 (Willson, 1896) เมื่อได้รับความร้อนจะทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้ก๊าซอะเซทิลีน (acetylene) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และปล่อยความร้อนสู่อากาศด้วย (Hawley, 1987) ต่อมาได้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายทาง เช่นพบสารที่ทำให้เกิดประกายไฟใช้การทำระเบิด ทำให้เกิดแสงสว่างในบ้านเรือน (Willson, 1896) มีการทดลองใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัมต่อ 1 กิโลกรัมกล้วยหอมพันธุ์แกรนด์เนนทำให้เปลี่ยนสีเร็วขึ้น ลดความฝาดเร็วขึ้น สุกเร็วขึ้น 13 วันผลที่บ่มมีคุณภาพดีทั้งสี รส ความแน่นเนื้อ (สุภาพรณ, 2538) ในกล้วยไข่จะทำให้เปลือกกล้วยบาง จากการเสียน้ำและกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนจากภายในเร่งการเสื่อมสภาพ ความแน่นเนื้อลดลง ขั้วผลไม่แข็งแรงแต่สุกสม่ำเสมอขึ้น (สุพจน์, 2538) ในมะม่วงใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 10-20 กรัมต่อ 1 กิโลกรัมช่วยเร่งการสุกและทำให้ผลสุกสม่ำเสมอ (เรณู, 2527; อัญชลี, 2531; กาญจนา, 2537; Shah *et al.*, 2002; Mahayothee *et al.*, 2004) รวมถึงการนำไปใช้ในการเร่งการสุกของมะละกอ แอปเปิ้ล และพ룬 ซึ่งผู้ค้าแนะนำการบ่มด้วยวิธีการนี้มากกว่าวิธีการชักนำให้เกิดการสุก ด้วยการจุ่มผลในสารละลายเอทิลฟอน หรือการใช้ก๊าซเอทิลีน สัญญาณจากเอทิลีนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเอนไซม์ใหม่ในกระบวนการ catalyse เช่น การสลายคลอโรฟิลล์ และสร้างสารสีชนิดอื่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนเนื้อสัมผัส สี รสชาติ และกลิ่น (Khanna, 2006)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบ่มผลิตผล

1. ประเภทของผลผลิต การเหนี่ยวนำด้วยเอทิลีนมีผลกับผลไม้ที่ต้องการเอทิลีนเพื่อกระตุ้นการสุกคือพวก climacteric เช่น มะม่วง ละครุด กล้วย และมังคุด เป็นต้น (สายชล, 2549; Alexander and Grierson, 2002)
2. ปริมาณที่เหมาะสม ขึ้นกับชนิดและพันธุ์ของผลผลิต เช่น ใช้เอทิลฟอน 500 ไมโครลิตรต่อลิตร ในกล้วยหอมพันธุ์ 'แกรนด์เนน' (สุจริต, 2548) แต่ในมะม่วงใช้ความเข้มข้น 200 ไมโครลิตรต่อลิตร (Mahayothee *et al.*, 2004) ส่วนแคลเซียมคาร์ไบด์ ใช้ความเข้มข้น 5 กรัมต่อ 1 กิโลกรัม ในกล้วยหอมพันธุ์ 'แกรนด์เนน' (สุภาพรณ, 2538) แต่ในมะม่วงใช้ 10-20 กรัมต่อ 1 กิโลกรัม และมะม่วงแก้วจะกระตุ้นการสุกได้ดีว่าในมะม่วงน้ำดอกไม้ (Mahayothee *et al.*, 2004)

3. แหล่งของเอทิลีน พบว่าการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเอทิลอน (Mahayothee *et al.*, 2004) เนื่องจากจะมีกลิ่นของ acetylene ติดไปกับผลผลิต แต่ในทางปฏิบัติจะเหมาะสมต่อการใช้ เพราะประหยัดกว่าและไม่ต้องใช้อุปกรณ์ราคาสูงในการบ่ม (นฤมล, 2525; สุภาพรรณ, 2538)

4. ระยะเวลาในการบ่ม โดยปกติจะบ่มผลไม้ให้สุกประมาณ 60-70% โดยอาจอาศัยการพัฒนาของสีของผล เช่น ผลกล้วยจะบ่มให้มีสีเหลืองเท่ากับสีเขียวจะไม่บ่มจนกระทั่งผลไม้สุกเลย (สายชล, 2549)

5. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ต้องเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทดี (อัญชลี, 2531; สุภาพรรณ, 2538; Nagaraj *et al.*, 1984) เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่ล้อมรอบผล ปริมาณของผลไม้ เช่น แคลเซียมคาร์ไบด์อากาศที่มีความชื้นสูงช่วยในการเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะให้ก๊าซ acetylene (Khanna, 2006)

6. คุณภาพของผลผลิตก่อนบ่ม เช่นการเลือกใช้วัยที่เหมาะสม ในกล้วยหอมทองพบว่ากล้วยอายุ 55 วันหลังตัดหัวปลี ซึ่งเป็นผลที่อ่อนที่สุดที่ใช้ทำการทดลองและใช้เวลาบ่มนานที่สุด (แก้วกาญจน์, 2539)

การยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีน

สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งเอทิลีนแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือสารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene biosynthesis) และสารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (ethylene action) (มณฑินี, 2544) ซึ่งมีหลักการในการควบคุมคือ ยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนจากตัวพืช ป้องกันการจับกันของเอทิลีนและตัวรับเอทิลีน (ethylene-receptors) และป้องกันปฏิกิริยาของพืชต่อการจับกันของเอทิลีนและตัวรับเอทิลีน (Serek *et al.*, 2006) เช่นสาร aminoethoxyvinylglycine (AVG) ไปยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนซึ่งมีผลต่อการทำงานของ ACS (Yang and Hoffman, 1984) และสาร 2-aminooxyacetic acid (AOA) ไปยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน ซึ่งมีผลต่อการทำงานของ ACS และ phenylalanine ammonia lyase (PAL) โดย PAL เป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ phenolic (Kamo, 2000) สารจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เช่น การใช้ 2, 5-norbornadiene (Sisler and Serek, 1999) และ 1-methylcyclopropene (1-MCP) จัดขวางเอทิลีนในการเข้าเกาะกับตำแหน่งรับแบบไม่ย้อนกลับทำให้ไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ (Lurie, 2005) โดยสารแต่ละชนิดให้ผลช่วงเวลาการทำงานที่แตกต่างกันไปตามชนิด

1-methylcyclopropene (1-MCP)

สาร 1-MCP เป็นสารที่มี 4 คาร์บอนโมเลกุล (C_4H_6) มีองค์ประกอบเป็นสามเหลี่ยม 3 คาร์บอนที่มีหมู่ methyl เกาะอยู่และเกิดจากกระบวนการสลายของ diazocyclopropene (Blankenship and Dole, 2003; Lurie, 2005) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเอทิลีนและขัดขวางการจับกันของตัวรับเอทิลีนได้ (Sisler and Serek, 1999) ทำให้ตัวรับเอทิลีนไม่ทำงานส่งผลต่ออินที่เกี่ยวกับกระบวนการสุก จึงทำให้การสุกของผลไม้ถูกยับยั้ง (Watkins and Nock, 2000) จากการที่ 1-MCP เป็นสารที่อยู่ในรูปก๊าซ ซึ่งไม่สะดวกในการเก็บ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาสารนี้ให้อยู่ในรูปของแข็งที่เป็นผง โดยรวมตัวกับ γ -cyclodextrin เป็นสารประกอบเชิงซ้อนในรูปผง ที่อยู่ในสภาพเสถียร สามารถผสมรวมกับน้ำและปลดปล่อยก๊าซ 1-MCP ออกมา นำมาใช้รมผลไม้ได้ (Watkins, 2006) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารที่ใช้ผสมน้ำแล้วอยู่ในรูปสารละลายซึ่งสามารถจุ่มผลผลิตลงในสารละลาย 1-MCP ได้ (Manganaris *et al.*, 2007)

1-MCP เป็นสารเคมียับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยเข้าไปจับกับตัวรับเอทิลีนอย่างถาวร (Sisler and Serek, 1997) ทำให้เอทิลีนไม่สามารถส่งสัญญาณในการทำงานต่อไปได้ (Jiang *et al.*, 1999) และ 1-MCP สามารถแย่งจับกับตัวรับได้ดีกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า (Serek *et al.*, 1994) จึงยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดจากกระบวนการ autocatalysis แต่ไม่มีผลต่อเอทิลีนที่ได้จากระบบพื้นฐาน (Pathak *et al.*, 2003) เป็นสาเหตุในการป้องกันผลของเอทิลีนที่ได้รับจากภายนอกและเอทิลีนที่เกิดจากภายใน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนแบบย้อนกลับ (feedback inhibition) (Blankenship and Dole, 2003) สามารถแบ่งการควบคุมย้อนกลับของการสังเคราะห์เอทิลีนมีทั้งแบบกระตุ้นและยับยั้ง (positive และ negative feedback) ทั้งคู่มีการควบคุมในทิศทางตรงข้ามกัน แบบกระตุ้นพบในผลไม้ที่สุกหรือดอกไม้ที่กำลังวัย โดยเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเองจากภายในสามารถชักนำการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นในแอปเปิ้ล (Fan *et al.*, 1999) ส่วนแบบยับยั้งพบในช่วงที่ผลไม้ยังไม่บรรลุนิยาม หรือเมื่ออยู่ในสภาพเครียด (Kende, 1993) ซึ่งในกล้วยมีการรายงานว่าการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนจากกระบวนการ autocatalytic ในช่วง pre-climactericอยู่นอกเหนือการควบคุมโดยเอทิลีนหรือกลไกควบคุมแบบยับยั้ง (negative feedback) เมื่อผลไม้สุก (Golding *et al.*, 1998) การพิสูจน์รูปแบบการควบคุมแบบย้อนกลับต้องอาศัยการทำงานของ 1-MCP ในการยับยั้งทั้งการสังเคราะห์เอทิลีนที่กระตุ้นแบบ autocatalysis และการทำงานของเอทิลีนด้วยการจับกับตัวรับเอทิลีนอย่างถาวร (Sisler *et al.*, 1996a; 1996b) อีกทั้ง 1-MCP ยังเป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัยในการนำไปใช้กับผลผลิต เนื่องจากเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ

ไม่เป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Bates and Warner, 2001; PMEP staff, 2002) อีกทั้งไม่มีกลิ่น มีความปลอดภัยต่อ คน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Sisler and Serek, 1999)

จากคุณสมบัติในข้างต้นทำให้มีการใช้ 1-MCP อย่างกว้างขวางที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 200-1,000 นาโนลิตรต่อลิตร (nLL⁻¹) กับพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเช่น ถั่วลิสง (Jiang *et al.*, 2004) ผลแอฟริคอต (Dong *et al.*, 2002) และแอปเปิ้ล (Saftner *et al.*, 2003) โดยสามารถชะลออัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน แต่การรมด้วย 1-MCP อาจให้ผลแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้และระยะการพัฒนามิ เช่น ผลถั่วลิสง (Pelayo *et al.*, 2003) ทำให้อัตราการหายใจลดลง แต่ผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนสูงขึ้นเมื่อรมด้วย 1-MCP นอกจากนี้ 1-MCP ยังมีผลต่อกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสุกเช่น การชะลอการอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อ และการเปลี่ยนแปลงสีของผลถั่วลิสง (Pelayo *et al.*, 2003; Jiang *et al.*, 2004; Inaba *et al.*, 2007) และแอปเปิ้ล (Mir and Beaudry, 2001; Saftner *et al.*, 2003) การเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) นั้นพบว่าแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของผลไม้ เช่น ผลส้ม (Porat *et al.*, 1999) และแอฟริคอตพันธุ์ 'Canino' (Dong *et al.*, 2002) เมื่อรม 1-MCP จะให้ผลไม่แตกต่าง ขณะที่ผลไม้หลายชนิดเช่น ถั่วลิสง (Jiang *et al.*, 2004) เนคทารีนพันธุ์ 'Stark Red Gold' พบว่าจะไปช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของ SSC และการลดลงของ TA หรือในพลัมพันธุ์ 'Royal Zee' (Dong *et al.*, 2002) จะไปช่วยชะลอการลดลงของ TA แต่ไม่มีผลต่อ SSC ได้มีการศึกษาในผลมังคุดเบื้องต้นพบว่าเมื่อรมผลมังคุดด้วยสายเคเบิลด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 1 ไมโครลิตรต่อลิตร (μLL^{-1}) นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถชะลอผลมังคุดให้อยู่ในระยะที่ 2 ได้นาน 1 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าเก็บรักษาผลมังคุดที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 7 วันแล้วย้ายมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถพัฒนาสีผลจากระดับที่ 2 ถึง 5 ในระยะเวลา 4 วันหลังย้าย (ยศพล และสายชล, 2548)

ในกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนจะมี ACC เป็นตัวกลางในการสร้างและมี ACS และ ACO เป็นเอนไซม์สำคัญในการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีน (Yang and Hoffman, 1984) การใช้ 1-MCP ในการชะลอการสุกโดยจะไปชะลอและจำกัดการสังเคราะห์เอทิลีนช่วง pre-climacteric หรือช่วงสุกโดยอาจเกิดจากการชักนำโดยเอทิลีนที่ได้รับจากภายนอกหรือไม่ก็ได้ ซึ่งจะไปลดการสังเคราะห์เอทิลีนโดยการควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO (Riov and Yang, 1982; Nakatsuka *et al.*, 1997) เช่น เนคทารีนพันธุ์ 'Flavortop' ที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ลดลง (Dong *et al.*, 2001) แต่ในบางครั้งไปเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ACO (Pelayo *et al.*, 2003) หรือการพบระดับการสะสม MACC เพิ่มขึ้นเมื่อสุกในเปลือกของผลไม้ ขณะที่ในเนื้อผลมี

ระดับ MACC ไม่เปลี่ยนแปลง (Dominguez and Vendrell, 1993; Vilaplana *et al.*, 2007) โดยการตอบสนองจะแตกต่างกันไปตามชนิดและส่วนของเนื้อเยื่อนั้นส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีน (McGlasson, 1985) ซึ่งการใช้ 1-MCP จะเป็นการพิสูจน์รูปแบบการควบคุมเอทิลีนแบบย้อนกลับได้ โดยเมื่อรม 1-MCP ในผลพลับ (Nakano *et al.*, 2003) และกล้วย (Inaba *et al.*, 2007) โดยในพลับจะช่วยลดปริมาณการสังเคราะห์เอทิลีนทุกส่วนทั้งในเนื้อและเปลือกยกเว้นกลีบเลี้ยง การสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมโดยการแสดงออกของยีนโดยพบว่าในเนื้อและเปลือกของพลับจะมีการแสดงออกของยีน *DK-ACS* และ *DK-ACO* family ลดลงเมื่อได้รับ 1-MCP ส่งผลต่อปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ลดลงทั้งในเนื้อและเปลือกของผลพลับ เช่นเดียวกับผลพลัมพันธุ์ 'Tegan Blue' (Khan and Singh, 2007) และแอปเปิ้ล (Vilaplana *et al.*, 2007) ขณะที่ในผลกล้วย 1-MCP จะไปช่วยกระตุ้นปริมาณการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อให้เพิ่มสูงขึ้น แต่ลดการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกกล้วย ซึ่งเข้าใจว่าเป็นการควบคุมแบบ negative feedback ในเนื้อของกล้วยแต่ในเปลือกของกล้วยจะเป็นการควบคุมแบบ positive feedback ขณะที่ในผลกล้วยจะมีผลต่อยีน *MA-ACSI* และ *MA-ACO1* เฉพาะในเปลือกของผลแต่ในเนื้อจะไปเพิ่มการแสดงออกของยีน *MA-ACSI* ส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์คือไปลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ในเปลือกของผลแต่ไปเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเนื้อ

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของสาร 1-MCP

1. ความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตผลเช่น ในเมล็ดกล้วย 10 ไมโครลิตรต่อลิตร แต่ในขณะที่ในคาร์เนชั่นพบว่าใช้ความเข้มข้นเพียง 0.5 นาโนลิตรต่อลิตร (Sisler *et al.*, 1996b) นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแก่ของดอกปีโกเนี่ยที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเป็นเส้นตรงตามการเพิ่มความเข้มข้นของ 1-MCP (Serek *et al.*, 1994)

2. ระยะเวลาในการรม ระยะเวลาในการรมเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับปัจจัยอื่นเช่น ความเข้มข้นของสาร 1-MCP ที่ใช้ โดยจะมีผลต่อการการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลซึ่งได้มีการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้รมและชนิดพันธุ์ของผลิตผล เช่นแอปเปิ้ลพันธุ์ 'Cortland' ต้องรมด้วย 1-MCP ที่ 3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 9 ชั่วโมง แต่ถ้ารมที่ 13 หรือ 23 องศาเซลเซียสต้องอย่างน้อย 6 ชั่วโมง แต่ในพันธุ์ 'Empire' ซึ่งรมด้วย 1-MCP ที่ 3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 3 ชั่วโมง จะช่วยชะลอการอ่อนนุ่ม (DeEll *et al.*, 2002)

3. อุณหภูมิที่ใช้ขณะรมและขณะเก็บรักษา มีการพบว่าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้การใช้ไม่มีประสิทธิภาพ แต่อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและช่วงเวลารม 1-MCP ที่ใช้ด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วในแอปเปิ้ล (DeEll *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีการทดลองในผลกีวี่ที่รมด้วย 1-MCP ความ

เข้มข้น 100 นาโนลิตรต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง รม 2 ครั้งจะช่วยลดการอ่อนนุ่มของผลดีกว่าครั้งเดียว แต่การรมที่อุณหภูมิต่ำ (< 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งเดียวสามารถชะลอการอ่อนนุ่มได้เช่นกัน (Menniti *et al.*, 2005) ผลกล้วยที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 200 นาโนลิตรต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อ เพิ่มของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แต่การรมที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าจะช่วยชะลอได้น้อยกว่า (Jiang *et al.*, 2004) นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาก็มีผลต่อการชะลอการสุกได้เช่นกัน โดยผลแอปเปิ้ลรมด้วย 1-MCP แล้วเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการสุกได้ดีกว่าเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส (Jiang and Joyce, 2002)

4. ระยะพัฒนาและการสุกของพืช ระยะพัฒนาการเก็บขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลด้วย ซึ่งผลิตผลแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อ 1-MCP แตกต่างกัน โดยผลกล้วยระยะ mature green ซึ่งเป็นช่วง pre-climacteric stage จะตอบสนองต่อ 1-MCP ได้ดี (Golding *et al.*, 1998; Jiang *et al.*, 2004) หรือการชะลอการสุกของมะเขือเทศอย่างมีประสิทธิภาพต้องรมก่อนที่จะสุกแดงเต็มที่ (Hoeberichts *et al.*, 2002) หรือมีการตอบสนองที่แตกต่างกันคือถ้าผลมีความบริบูรณ์มากจะตอบสนองแบบ positive feedback ไม่ตอบสนองต่อเอทิลินระดับต่ำจากภายนอก หากผลมีความบริบูรณ์น้อยจะไม่ไวต่อเอทิลินระดับต่ำและมีการตอบสนองแบบ negative feedback (Harris *et al.*, 2000)

5. ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปแล้วผลผลิตต้องรมด้วย 1-MCP เร็วที่สุดเพื่อช่วยให้การใช้ 1-MCP เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลด้วย มีการทดลองเกี่ยวกับวันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อการรมผลแอปเปิ้ลโดยยิ่งรมเร็วจะช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อได้ดี (Mattheis *et al.*, 2002) หรือในแอฟริคอตพันธุ์ 'Canino' และพลัมพันธุ์ 'Royal Zee' พบว่าการให้ 1-MCP หลังการเก็บรักษาจะให้ผลดีกว่าการให้ก่อนการเก็บรักษา (Dong *et al.*, 2002)

6. จำนวนครั้งในการรม เนื่องจากเชื่อว่าตัวรับเอทิลินจะถูกสร้างเพิ่มขึ้นตลอด ดังนั้นควรจะมีการเพิ่มจำนวนครั้งในการรม 1-MCP เพื่อยับยั้งการทำงานของตัวรับเอทิลินที่เกิดขึ้นใหม่ เช่นในมะเขือเทศรม 1-MCP สองครั้งในวันที่ 0 และ 7 ช่วยในการชะลอการเปลี่ยนสี ความแน่นเนื้อและการสังเคราะห์เอทิลิน ในระยะก่อนที่จะสุกแดงเต็มที่ (Hoeberichts *et al.*, 2002) หรือผลกีวี่ที่รมด้วย 1-MCP เข้มข้น 100 นาโนลิตรต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยรม 2 ครั้งจะทำให้ลดการอ่อนนุ่มของผลดีกว่าการรมครั้งเดียว (Menniti *et al.*, 2005) แต่มีการทดลองศึกษาในบร็อกโคลี่และ pak-choy เมื่อรม 1-MCP หลายครั้งไม่แสดงผลแตกต่างกับการรมเพียงครั้งเดียว (Able *et al.*, 2002)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาซึ่งจะช่วยในการชะลอการสุกและการเน่าเสียจะทำให้คงสภาพความสดของผลผลิตให้อยู่ได้เป็นเวลานาน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยในการลดกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ (จริงแท้, 2546) และยังช่วยในการลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Ullrich *et al.*, 2000) แม้ว่าอุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแต่มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ถ้าเก็บรักษาในที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหายจากความเย็นเรียกว่า “อาการสะท้านหนาว” (chilling injury) โดยระดับของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแล้วไม่ได้ทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหายขึ้นอยู่กับชนิดและถิ่นกำเนิดของผลผลิตนั้น ๆ คือถ้าถิ่นกำเนิดในแถบร้อนและกึ่งร้อนจะเกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายกว่าผลผลิตในเขตหนาว (จริงแท้, 2546) อาการเสียหายเนื่องจากการได้รับอุณหภูมิต่ำเกินไปที่พบในผลมังคุดจะเกิดเปลือกเริ่มแข็งและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลีบเลี้ยงเหี่ยวแห้ง เนื้อผลมีสีน้ำตาลและมีรสชาติผิดปกติ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการบริโภค (รุจิรา, 2540; Salunkhe and Desai, 1984) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาอยู่ที่ 40-55 องศาฟาเรนไฮต์ (4.4-12.8 องศาเซลเซียส) ซึ่งเก็บได้นาน 3-4 อาทิตย์ ในแต่ละประเทศกำหนดสภาพเก็บรักษาต่างกันไปขึ้นกับระยะทางในการขนส่งและการรอเวลาจำหน่ายแตกต่างกันไป เช่นอินเดียกำหนดที่ 39-42 องศาฟาเรนไฮต์ (3.9-5.6 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ แต่ในพม่าส่งไปที่อังกฤษใช้อุณหภูมิที่ 50-55 องศาฟาเรนไฮต์ (10-12.8 องศาเซลเซียส) (Morton, 1987) มีการทดลองพบว่าการเก็บรักษาผลมังคุดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ทำให้มังคุดมีคุณภาพดีที่สุดและไม่เกิดอาการสะท้านหนาว โดยเก็บรักษาได้นาน 20 วัน (สุมาลี, 2533; รุจิรา, 2540; Choehom *et al.*, 2003) ถ้าเก็บรักษาผลมังคุดในระยะสายเล็ดที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าจะช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของเปลือกผล โดยไปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเพคติน (Noichinda *et al.*, 2007) แต่ถ้ามังคุดที่ได้รับอุณหภูมิต่ำแล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีความแข็งของเปลือกมากกว่าที่ไม่ผ่านอุณหภูมิต่ำ (อภิรดี, 2538) จากรายงานต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิและช่วงเวลาในการเก็บรักษาที่กำหนดไว้แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะในแต่ละรายงานคำนึงถึงลักษณะการยอมรับในการรับประทานที่แตกต่างกันไป บางครั้งอาจใช้การแข็งตัวของเปลือกเป็นเกณฑ์ในบางครั้งอาจใช้เนื้อในเป็นเกณฑ์ นอกจากนี้การพิจารณาว่าจะเก็บเกี่ยวผลมังคุดในระยะใดนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งและการรอเวลาจำหน่ายเพื่อให้เมื่อถึงผู้บริโภคผลมังคุดมีความเหมาะสมสำหรับการบริโภคได้พอดี

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดได้ (Antunes *et al.*, 2000) เช่นในผลแอปเปิ้ลเมื่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนให้เพิ่มสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากความเครียดจากความเย็น แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

ตลอดจะช่วยลดและชะลอการสังเคราะห์เอทิลีน (Larrigaudiere *et al.*, 1997; Vilaplana *et al.*, 2007) อาจไปมีผลต่อการลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACO และการสะสมของปริมาณ ACC ในเนื้อของผลแอปเปิ้ลพันธุ์ ‘Granny Smith’ รวมทั้งเข้าใจว่าการเพิ่มสูงขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ ACO อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดอาการสะท้านหนาวที่พบที่เปลือกของผล (Lara and Vendrell, 2003) การควบคุมการสุกของผลไม้หลายชนิดเมื่อแก่แล้วจะสุกอย่างรวดเร็วและเน่าเสีย เนื่องจากผลไม้เป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามิน ดังนั้นการควบคุมการสุกของผลไม้ไม่ให้สุกเร็ว และชะลอให้สุกอย่างช้า ๆ หรือเร่งให้ผลสุกจึงมีประโยชน์มากสำหรับเกษตรกร ผู้บริโภคและผู้ขาย (สุรพล, 2541)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ 1-MCP ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่จะใช้จึงต้องมีการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นก่อนทำการทดลองโดยใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1000 นาโนลิตรต่อลิตร และระยะเวลาที่ใช้รม 6 และ 12 ชั่วโมง เพื่อหาความเหมาะสมสำหรับการใช้ให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่จะเก็บรักษาผลมังคุดพบว่าความเข้มข้นของ 1-MCP ที่เหมาะสม 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง แตกต่างกับยศพล และสายชล (2548) ที่ใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1 ไมโครลิตรต่อลิตร นาน 12 ชั่วโมง กับผลมังคุด้วยสายเลือดพบว่าเมื่อผลสุกเนื้อภายในมีอาการแข็งกรอบเป็นบางลูกแม้ว่าเปลือกภายนอกเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำแล้วก็ตาม

อุปกรณ์และวิธีการ

ผลมั่งคุดที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวจากต้นมั่งคุดที่มีอายุประมาณ 30 ปี ของสวนที่อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี โดยทำการเก็บเกี่ยวผลและคัดเลือกผลมั่งคุดระยะที่ 1 (ระยะสายเลือด) และไม่มีตำหนิบรรจุในตะกร้าพลาสติกขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง $37 \times 57 \times 32$ ตารางเซนติเมตร ขนส่งทันทีโดยรถยนต์ปรับอากาศอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เดินทางมาห้องปฏิบัติการใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการแล้วนำมาคัดเลือกผลมั่งคุดวัยสายเลือดที่ไม่มีตำหนิอีกครั้งหนึ่ง ก่อนเข้าทรีทเมนต์ทำการวิเคราะห์คุณภาพโดยบันทึกผลก่อนทำการทดลอง แล้วแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ซ้ำ ๆ ละ 4 ผล

1. การตอบสนองของมั่งคุดเมื่อป่นด้วยเอทิฟอนหรือแคลเซียมคาร์ไบด์หลังการเก็บเกี่ยว

จัดผลมั่งคุดเป็น 6 ทรีทเมนต์ (treatment) จำนวน 3 ซ้ำ จะมีหน่วยการทดลอง 18 หน่วย หน่วยการทดลองละ 40 ผล แยกมั่งคุดออกเป็น 2 ส่วน ผลมั่งคุด 9 หน่วยทดลองแรก นำไปจุ่มสารละลายเอทิฟอนที่มีสารออกฤทธิ์ 48 เปอร์เซ็นต์ ชื่อการค้า โพรเทรล® 48 (บริษัท โปรครอป จำกัด) โดยทำการดูดสารละลายมา 0.521 และ 1.0417 มิลลิลิตร แล้วละลายน้ำปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ผสมสารจับใบ tween-20 2 หยด จุ่มผลมั่งคุดลงในสารละลายจนเคลือบทั้งผลยกเว้นบริเวณขั้วและกลีบเลี้ยงฝักจนแห้ง ผลมั่งคุดอีก 9 หน่วยทดลอง นำไปป่นด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ทรีทเมนต์ละ 3 หน่วย โดยชั่งน้ำหนักของผลมั่งคุดที่จะนำมาป่น แล้วชั่งน้ำหนักแคลเซียมคาร์ไบด์ ใส่ห่อกระดาษหนังสือพิมพ์ห่อละ 1-2 กรัม แล้ววางไว้ในกองของผลมั่งคุดพร้อมปิดกองของผลมั่งคุดที่บรรจุในตะกร้าขนาด $35 \times 48 \times 16$ ตารางเซนติเมตร โดยวางผลมั่งคุดประมาณ 3 ชั้นป่นเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแข็งเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ครั้งละ 4 ผลทุกวัน จนกระทั่งสีผลดำ (ระยะที่ 6) จึงหยุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) แบ่งออกเป็น 6 ทรีทเมนต์ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 จุ่มในน้ำกลั่น

ทรีทเมนต์ที่ 2 จุ่มในสารละลายเอทิฟอน 250 ไมโครลิตรต่อลิตร (μL^{-1})

ทรีทเมนต์ที่ 3 จุ่มในสารละลายเอทิฟอน 500 ไมโครลิตรต่อลิตร

ทรีทเมนต์ที่ 4 ไม่รมด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์

ทรีทเมนต์ที่ 5 รมด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/ผลมั่งคุด 1 กิโลกรัม

ทรีทเมนต์ที่ 6 รมด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 10 กรัม/ผลมังคุด 1 กิโลกรัม

บันทึกผลการทดลองดังนี้

1.1 สีของเปลือกผลมังคุดโดยวัดสีของเปลือกซ้ำละ 4 ผล โดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-400 ในระบบ CIE โดยวัดบริเวณกลางผล 2 ด้านตรงข้ามกัน รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^*

ค่า L^* หมายถึง ความสว่าง (0-100: ค่า L^* มากแสดงถึงความสว่างมาก)

ค่า a^* มีค่าเป็นบวกหมายถึงสีแดง ค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว

ค่า b^* มีค่าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง ค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน

1.2 ความแข็งของเปลือกผลมังคุด โดยใช้ fruit firmness tester (Effegi) ที่รับแรงกด 10 กิโลกรัม โดยใช้แท่งกดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 และ 0.5 เซนติเมตร สำหรับความแน่นเนื้อของเปลือกมังคุด โดยวัดซ้ำละ 4 ผล ผลละ 2 ครั้งด้านตรงข้ามกัน ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นกิโลกรัม จากนั้นคำนวณค่าที่ได้เป็น นิวตัน (newtons) โดยคูณด้วย 9.807

1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids content: SSC) (A.O.A.C., 1984b) และ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) (A.O.A.C., 1984a) โดยการนำเนื้อของผลมังคุดมาคั้นน้ำ และนำมาวัด SSC ด้วยเครื่อง hand refractometer ของ Atago รุ่น ATC-1 อ่านค่าเป็น องศาบริกซ์ (°Brix) หรือเปอร์เซ็นต์ (%) โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวปรับศูนย์

ส่วน TA นำน้ำคั้นมาไทเทรตกับ 0.1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalein ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวบ่งชี้จุดยุติ คำนวณหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ในเนื้อผลไม้ 100 กรัม จากสูตร

$$\text{titratable acidity (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาตร NaOH (ml)} \times \text{meq. wt. ของกรดซิตริก} \times 100}{\text{ปริมาตรของน้ำผลไม้ (ml)}}$$

milliequivalent weight (meq. wt.) ของกรดซิตริก = 0.06404 (ศิริวรรณ, 2543)

1.4 อัตราการหายใจจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยนำผลมั่งคุดหลังจากเข้าทรีทเมนต์ใส่ในโหลแก้วทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 2 ผล แต่ละโหลต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) เพื่อควบคุมการไหลของก๊าซและอากาศผ่านผลิตผลอย่างสม่ำเสมอ แล้วปิดฝาเริ่มเก็บก๊าซเมื่อปิดฝาไปแล้ว 30 นาที และเก็บก๊าซทุก 6 ชั่วโมงในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่อยยืดระยะเวลาเก็บเป็นทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งผลมั่งคุดมีสีม่วงดำโดยใช้เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยางที่ปิดสนิทแล้วดูดอากาศเข้าออก 10-15 ครั้ง ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยาง แล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในโหลนำมาตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatograph ของ Shimadzu รุ่น GC-8A ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มาคำนวณเทียบกับน้ำหนักสดเป็นหน่วยมิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมของผลมั่งคุดต่อชั่วโมง ($\text{mgCO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

1.5 การสังเคราะห์เอทิลีนโดยนำผลมั่งคุดหลังจากเข้าทรีทเมนต์ใส่ในโหลแก้วทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 2 ผล แต่ละโหลต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) เพื่อควบคุมการไหลของก๊าซและอากาศผ่านผลิตผลอย่างสม่ำเสมอ แล้วปิดฝาเริ่มเก็บก๊าซเมื่อปิดฝาไปแล้ว 30 นาที และเก็บก๊าซทุก 6 ชั่วโมงในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่อยยืดระยะเวลาเก็บเป็นทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งผลมั่งคุดมีสีม่วงดำโดยใช้เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยางที่ปิดสนิทแล้วดูดอากาศเข้าออก 10-15 ครั้ง ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยาง แล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในโหลนำมาตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatograph นำค่าที่ได้มาคำนวณเทียบกับน้ำหนักสด เป็นหน่วยนาโนลิตรต่อกรัมของผลมั่งคุดต่อชั่วโมง ($\text{nL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

2. การตอบสนองของผลมั่งคุดหลังการเก็บเกี่ยวต่อ 1-Methylcyclopropene (1-MCP)

ให้ 1-MCP ชื่อการค้าว่า EthylBloc® (บริษัท Floralife) แก้มั่งคุดที่ความเข้มข้น 0 และ 1000 นาโนลิตรต่อลิตร (nLL^{-1}) โดยคำนวณหาปริมาณที่ใช้ตาม Rohm and Hass Co.Ltd และขนาดของภาชนะที่ใช้รม โดยชั่งสารผง 1-MCP จำนวน 0.2784 กรัม ใส่ในขวดแก้วปิดฝาจุกยาง หลังจากนั้นใช้เข็มฉีดยาดูดน้ำกลั่น 4.35 มิลลิลิตร ฉีดลงในขวดแก้ว เมื่อผสมผง 1-MCP กับน้ำ 1-MCP จะถูกปล่อยออกมาในรูปของก๊าซ นำขวดแก้วปิดฝาจุกใส่ในตู้อะลูมิเนียม เปิดฝาจุกขวดแก้วแล้วปิดตู้อะลูมิเนียมให้สนิท (ปริมาตร 0.174 ลูกบาศก์เมตร) รมเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำผลที่ได้แยกไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียสจะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแข็งเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 7 วันแรกหลังเข้าทรีทเมนต์บันทึกผลทุกวัน หลังจากนั้นบันทึกผลเป็นวันเว้นวัน จนกระทั่งวันที่ 15 จะ

บันทึกผลทุก 3 วันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 4 ผล มังคุดที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส หยุดการทดลองเมื่อผลมังคุดเปลี่ยนเป็นสีดำ (ระยะที่ 6) แต่ผลมังคุดที่เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส ไม่มีการพัฒนาสีจนเป็นสีม่วงดำจึงนำผลมังคุดบางส่วนย้ายมาเก็บรักษาต่อที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยวางไว้บนถาดโฟมแล้วห่อด้วยฟิล์ม PVC ป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำการย้ายออกมาทุก 3 วันเริ่มตั้งแต่วันที่ 15 ของการเก็บรักษา เพื่อสังเกตว่ามีการพัฒนาสีและคุณภาพเป็นที่ยอมรับหรือไม่ ถ้าไม่เป็นที่ยอมรับจึงหยุดการทดลอง โดยการจัดทริทเมนต์แบบแฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (factorial in randomized completely block design, RCBD) การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ทริทเมนต์ดังนี้

ทริทเมนต์ 1 มังคุดที่ไม่รมด้วย 1-MCP เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส

ทริทเมนต์ 2 มังคุดที่รมด้วย 1-MCP เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส

ทริทเมนต์ 3 มังคุดที่ไม่รมด้วย 1-MCP เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส

ทริทเมนต์ 4 มังคุดที่รมด้วย 1-MCP เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส

บันทึกผลการทดลองดังนี้

2.1 สีของเปลือกผลมังคุดโดยวัดสีของเปลือก โดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-400 ในระบบ CIE รายงานผลเช่นเดียวกับการทดลองแรก

2.2 ความแข็งของเปลือกผลมังคุด โดยใช้ fruit firmness tester (Effegi) รายงานผลเช่นเดียวกับการทดลองแรก

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids content: SSC) (A.O.A.C., 1984b) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) (A.O.A.C., 1984a) รายงานผลเช่นเดียวกับการทดลองแรก

2.4 อัตราการหายใจจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยนำผลมังคุดหลังจากเข้าทริทเมนต์ใส่ในโหลแก้วทริทเมนต์ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 2 ผล แต่ละโหลต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) เพื่อควบคุมการไหลของก๊าซและอากาศผ่านผลผลิตอย่างสม่ำเสมอ แล้วปิดฝาเริ่มเก็บก๊าซเมื่อปิดฝาไปแล้ว 30 นาที ทริทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บก๊าซทุก 6 ชั่วโมงในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่อยยืดระยะเวลาเก็บเป็นทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งผลมังคุดมีสี

มั่งคุดำ ส่วนมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จะเก็บก๊าซทุก 24 ชั่วโมงจนกระทั่งหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยางที่ปิดสนิทแล้วดูดอากาศเข้าออก 10-15 ครั้ง ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยาง แล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในโหลนำมาตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatograph ของ Shimadzu รุ่น GC-8A ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มาคำนวณเทียบกับน้ำหนักสดเป็นหน่วยมิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมของผลมั่งคุดต่อชั่วโมง ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

2.5 การสังเคราะห์เอทิลีนโดยนำผลมั่งคุดหลังจากเข้าทรีทเมนต์ใส่ในโหลแก้วทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 2 ผล แต่ละโหลต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) เพื่อควบคุมการไหลของก๊าซและอากาศผ่านผลิตผลอย่างสม่ำเสมอ แล้วปิดฝาเริ่มเก็บก๊าซ เมื่อปิดฝาไปแล้ว 30 นาที ทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บก๊าซทุก 6 ชั่วโมงในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่อยๆ ยืดระยะเวลาเก็บเป็นทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งผลมั่งคุดมีสีม่วงดำ ส่วนมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จะเก็บก๊าซทุก 24 ชั่วโมงจนกระทั่งหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยางที่ปิดสนิทแล้วดูดอากาศเข้าออก 10-15 ครั้ง ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยาง แล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในโหลนำมาตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatograph นำค่าที่ได้มาคำนวณเทียบกับน้ำหนักสด เป็นหน่วยนาโนลิตรต่อกรัมของผลมั่งคุดต่อชั่วโมง ($\text{nl} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

2.6 การเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์เอทิลีนของเนื้อและเปลือกมั่งคุดหลังการเก็บเกี่ยวที่รมด้วย 1-MCP โดยทำการแยกเนื้อและเปลือกมั่งคุดหลังจากเข้าทรีทเมนต์ออกจากกัน มั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส จะแยกเนื้อและเปลือก เก็บก๊าซทุก 6 ชั่วโมงในช่วง 2 วันแรกแล้วค่อย ๆ ยืดระยะเวลาเก็บเป็นทุก 24 ชั่วโมงจนกระทั่งผลมั่งคุดเปลี่ยนเป็นสีดำ ส่วนมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จะเก็บก๊าซทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จึงหยุด โดยการแยกเนื้อและเปลือกทำให้เกิดบาดแผลที่เหมือนกันก่อนนำไปแช่ด้วย aminooxyacetic acid (AOA) เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดขึ้นภายหลังหรือเอทิลีนที่เกิดจากบาดแผลแล้วนำตัวอย่างมาใส่ภาชนะปิดสนิทที่มีสายยางเพื่อดูดอากาศเข้าออก ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านสายยาง 10-15 ครั้ง ตรวจสอบปริมาณเอทิลีนจากตัวอย่างของอากาศภายในโหลทดลอง 1 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง gas chromatograph นำค่าที่ได้มาคำนวณเทียบกับน้ำหนักสด เป็นหน่วยนาโนลิตรต่อกรัมของผลมั่งคุดต่อชั่วโมง ($\text{nl} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ACC กิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase (ACS) และ ACC oxidase (ACO) ในเนื้อและเปลือกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวที่รมด้วย 1-MCP เก็บตัวอย่างโดยแยกส่วนของผลมังคุดออกเป็น 2 ส่วนคือ เนื้อและเปลือกแล้วนำไปแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส จากนั้นมาเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส ทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 4 ผล มังคุดที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส นำมาเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน จนกระทั่งผลมังคุดเปลี่ยนเป็นสีดำ (ระยะที่ 6) แต่ผลมังคุดที่เก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จะเก็บตัวอย่างทุก 4 วัน จนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษาจึงเก็บตัวอย่างทุก 6 วัน จนกระทั่งผลมังคุดหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส จึงหยุด เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณ ACC กิจกรรมเอนไซม์ ACS และ ACO ต่อไปนี้

2.7.1 การวิเคราะห์ปริมาณ ACC คัดแปลงวิธีของ Hoffman และ Yang (1982) การสกัดปริมาณ ACC โดยนำตัวอย่างเนื้อและเปลือกผลที่แช่แข็งมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 2 นาที เพื่อให้เนื้อและเปลือกผลอ่อนตัว แล้วจากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างมังคุดและสกัดด้วย trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยปั่นด้วยเครื่อง homogenizer ให้ละเอียด แล้ววางไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นานประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วจากนั้นนำมาเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่แรงเหวี่ยง 12,300 รอบต่อนาที (rpm) นาน 40 นาที นำเฉพาะสารละลายใสของเปลือกผลมังคุดที่สกัดได้มาทำให้เป็นกลาง (pH 7-8) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5 N บันทึกปริมาตรส่วนใสทั้งหมดหลังจากปรับให้เป็นกลางก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณ ACC โดยนำสารละลาย ACC ของเปลือกผลมังคุดที่สกัดได้หลังจากปรับให้เป็นกลางแล้ว ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร ตัวอย่างละ 6 หลอด ๆ ละ 500 ไมโครลิตร โดย 3 หลอดแรกเป็นตัวอย่างเดิมสารละลาย $HgCl_2$ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 30 ไมโครลิตร ส่วน 3 หลอดหลังเป็น internal standard มีส่วนผสมของสารละลาย ACC ของเปลือกผลมังคุดที่สกัดได้และ $HgCl_2$ เช่นเดียวกัน แต่เพิ่มน้ำกลั่นปริมาตร 250 ไมโครลิตร และสารละลาย 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.04 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากเติมสารแล้วปิดปากหลอดด้วยจุกยางให้แน่น แล้วเติมสารที่เย็นของสารละลาย NaOH ที่อิ่มตัวและ NaOCl (Clorox[®]) ความเข้มข้น 5.25 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (ประมาณ 10 หยด) แช่หลอดทดลองในอ่างน้ำแข็งประมาณ 3 นาที จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixture) นำหลอดทดลองแช่ในอ่างละลายน้ำแข็งประมาณ 3 นาที หลังจากนั้นผสมให้

เข้ากันอีกครั้งแล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลองเหนือสารละลายด้วยเข็มฉีดยาปริมาตร 2 มิลลิลิตร หลังจากดูดอากาศเข้าออก ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านจุกยาง 10-15 ครั้ง ตรวจสอบปริมาณเอทิลีนจากตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง gas chromatograph แล้วนำมาคำนวณความเข้มข้นของ ACC มีหน่วยเป็นนาโนโมลของ ACC ต่อกรัมของเนื้อเยื่อ (nmol ACC.g^{-1})

2.7.2 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ดัดแปลงวิธีของ Hoffman และ Yang (1982) การสกัดหากิจกรรมของเอนไซม์ ACS โดยนำตัวอย่างเนื้อและเปลือกผล (3 กรัม) ที่แช่แข็งมา ชั่งน้ำหนักแล้วเติมสารละลาย homogenization buffer ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 (น้ำหนักต่อ ปริมาตร) ในเนื้อและเปลือกตามลำดับ ใช้โกร่งและที่บดที่เย็นจัดบดตัวอย่างหรือปั่นด้วยเครื่อง homogenizer ให้ละเอียด นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่แรงเหวี่ยง 12,300 รอบต่อนาที (rpm) นาน 40 นาที นำเฉพาะสารละลายส่วนใสของเนื้อและเปลือกผลมา dialyze ด้วย สารละลาย dialysis buffer ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส นานประมาณ 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักของ ตัวอย่างที่นำมาสกัดและปริมาตรหลังจากการ dialyze แล้ว

การวิเคราะห์ โดยนำสารละลายเอนไซม์ที่ dialyze แล้วแบ่งสารปริมาตร 400 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร 6 หลอด เติม incubation buffer ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 90 ไมโครลิตร เขย่าเบา ๆ ให้เข้ากันแล้วอบที่อุณหภูมิ 30 องศา เซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มต้นปฏิกิริยาโดยเติมสารละลาย S-adenosylmethionine (SAM) ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 60 ไมโครลิตร นำหลอดทดลองแช่ในอ่างละลายน้ำแข็ง โดย 3 หลอดแรกเป็นตัวอย่าง เติม HgCl_2 ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรและน้ำ กลั่นปริมาตร 200 ไมโครลิตร ส่วน 3 หลอดหลังเป็น internal standard มีส่วนผสมของสารละลาย เอนไซม์ที่อบแล้ว SAM และ HgCl_2 เช่นเดียวกันแต่เพิ่มน้ำกลั่นปริมาตร 150 ไมโครลิตร และ สารละลาย ACC มาตรฐานความเข้มข้น 0.04 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากเติมสาร แล้วปิดจุกยางให้แน่นแล้วเติมสารผสมที่เย็นของสารละลาย NaOH ที่อิมิดัวและ NaOCl (Clorox[®]) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (ประมาณ 10 หยด) จากหลอดฉีดยาฉีดเข้าในหลอดทดลองผ่านจุกยางผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixture) นำหลอดทดลองแช่ในอ่างละลายน้ำแข็งประมาณ 3 นาที จากนั้นผสมให้เข้ากันอีก ครั้งแล้วเก็บตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลองเหนือสารละลายด้วยเข็มฉีดยาปริมาตร 2 มิลลิลิตรหลังจากดูดอากาศเข้าออก ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านจุกยาง 10-15 ครั้งโดยตรวจสอบ ปริมาณเอทิลีนจากตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตรด้วยเครื่อง gas chromatograph

แล้วนำมาคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ ACS โดยวิเคราะห์เทียบกับปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Bradford (1976) โดยมีหน่วยเป็นนาโนโมลของ ACC ต่อชั่วโมงต่อมิลลิกรัมโปรตีนของเนื้อเยื่อ ($\text{nmol ACC} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg protein}^{-1}$)

การเตรียมสารละลาย buffer ดังนี้

1. สารละลาย homogenization buffer ประกอบด้วย N-(2-hydroxyethyl) piperazine-N'-(3-propane-sulfonic acid); EPPS ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ dithiothreitol (DTT) ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ และ pyridoxal phosphate ความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ แล้วปรับ pH เป็น 8.5 ด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
2. สารละลาย dialysis buffer ประกอบด้วย EPPS ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ DTT ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ และ pyridoxal phosphate ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลาร์ แล้วปรับ pH เป็น 8.5 ด้วย KOH แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
3. สารละลาย incubation buffer ประกอบด้วย EPPS ความเข้มข้น 600 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับ pH เป็น 8.5 ด้วย KOH แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.7.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ดัดแปลงวิธีของ Kato และ Hyodo (1999) การสกัดหากิจกรรมของเอนไซม์ ACO โดยนำตัวอย่างเนื้อและเปลือกผลที่แช่แข็งมาชั่งน้ำหนักแล้วเติมด้วยสาร extract buffer อัตราส่วน 1:2 และ 1:5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในเนื้อและเปลือก ตามลำดับ ใช้โกร่งและที่บดที่เย็นจัดบดตัวอย่างหรือโดยปั่นด้วยเครื่อง homogenizer ให้ละเอียด แล้วกรองนำกากออก แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่แรงเหวี่ยง 12,300 รอบต่อนาที (rpm) นาน 40 นาที นำเฉพาะสารละลายของเนื้อและเปลือกผลมั่งคุดที่สกัดได้มาทำการวิเคราะห์ ACO

การวิเคราะห์ ACO โดยนำสารละลายเอนไซม์ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร 3 หลอด ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เปรียบเทียบกับอีก 3 หลอดที่ใส่ extract buffer ปริมาตร 500 ไมโครลิตร แล้วนำทั้ง 6 หลอดมาใส่ reaction buffer ปริมาตร 400 ไมโครลิตร และ สารละลาย ACC มาตรฐานความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วทำการบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งต้องปิดหลอดทันทีจากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixture) เก็บ

ตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลองหนึ่งสารละลายด้วยเข็มฉีดยาปริมาตร 2 มิลลิลิตร หลังจากดูดอากาศเข้าออก ระหว่างที่เข็มฉีดยาแทงผ่านจุกยาง 10-15 ครั้ง ตรวจสอบปริมาณเอทิลีนจากตัวอย่างของอากาศภายในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง gas chromatograph แล้วนำมาคำนวณความเข้มข้นของ ACO มีหน่วย นาโนลิตรของ ethylene production ต่อกรัม นำหนักสดต่อชั่วโมงต่อมิลลิกรัมโปรตีน ($\text{nl C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg protein}^{-1}$)

การเตรียมสารละลาย buffer ดังนี้

1. สารละลาย extract buffer ประกอบด้วย Tris (hydroxymethyl)-aminomethane ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยมีการปรับ pH ด้วย HCl ให้เป็น 7.2 นอกจากนี้ยังมีสาร DTT ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ L(+)-ascorbic acid sodium salt (Na-ascorbate) ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ และ 30% glycerol แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. สารละลาย reaction buffer ประกอบด้วย Tris-HCl ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยมีการปรับ pH ด้วย HCl ให้เป็น 7.2 นอกจากนี้ยังมีสาร sodium ascorbate (Na-ascorbate) ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ sodium bicarbonate (NaHCO_3) ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ ferrous sulfate (FeSO_4) ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ และ 30% glycerol แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนใช้ตามวิธีของ Bradford (1976)

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ต้องเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีน โดยดูดสารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย Coomassie Brilliant Blue G-250 ความเข้มข้น 0.0125 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5-60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-240 spectrophotometer โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ bovine serum albumin (BSA) ความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS) โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ผล

1. การตอบสนองของผลมังคุดเมื่อบ่มด้วยเอทิลฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์หลังการเก็บเกี่ยว

1.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลมังคุด

ผลมังคุดในทุกทรีทเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากระยะสายเลือดเป็นสีชมพูแดง (ระยะที่ 3-4) อย่างรวดเร็วภายใน 1 วันหลังจากได้รับการบ่ม (29 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับค่าความสว่าง (L^*) และค่าของสีเหลือง (b^*) ที่ลดลงตลอด และค่า a^* (ค่าของสีแดง) เพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 1 แสดงว่าสีเปลือกผลมังคุดเปลี่ยนจากระยะสายเลือดเป็นสีแดงอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 แล้วเมื่อเก็บรักษาผลมังคุดสีแดงต่อไปประมาณวันที่ 5 สีเปลือกผลมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีม่วงแดงและเป็นสีม่วงดำในที่สุดซึ่งเป็นช่วงที่ค่า L^* a^* และ b^* มีค่าลดลงโดยค่า L^* a^* และ b^* ของสีเปลือกผลมังคุดในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 1 และตารางผนวกที่ 1 2 และ 3)

1.2 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลมังคุด

ผลมังคุดทั้งที่ไม่บ่มและบ่มด้วยเอทิลฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์มีความแข็งของเปลือกผลลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการบ่ม (วันก่อนทำการบ่มถึงวันที่ 0) และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหลังการบ่มและไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ทั้งนี้ความแข็งของเปลือกผลมังคุดในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 2 และตารางผนวกที่ 4)

1.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (SSC:TA)

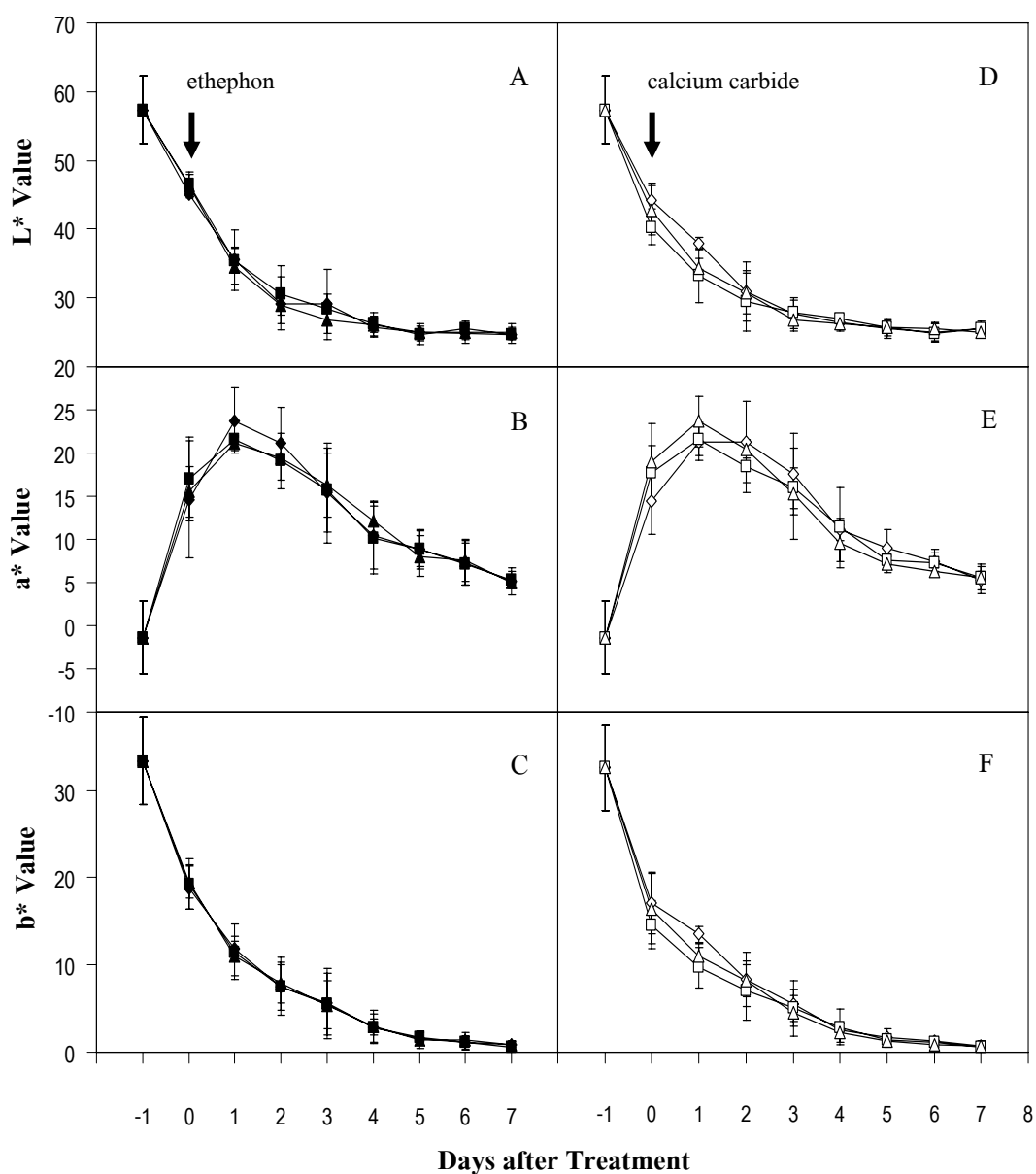
ปริมาณ SSC ก่อนข้างคงที่ประมาณ 14-18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณ SSC ของผลมังคุดในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณ TA มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการบ่มและไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง โดยค่าปริมาณ TA ของมังคุดในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ มีค่าประมาณ 0.6-1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่าง SSC:TA สูงขึ้นในระหว่างการบ่มหลังจากนั้นจึงมีค่าคงที่ตลอดการเก็บรักษา โดยผลมังคุดที่ไม่บ่มและบ่มด้วยเอทิลฟอนหรือแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่า SSC:TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 3 และตารางผนวกที่ 5 6 และ 7)

1.4 อัตราการหายใจ

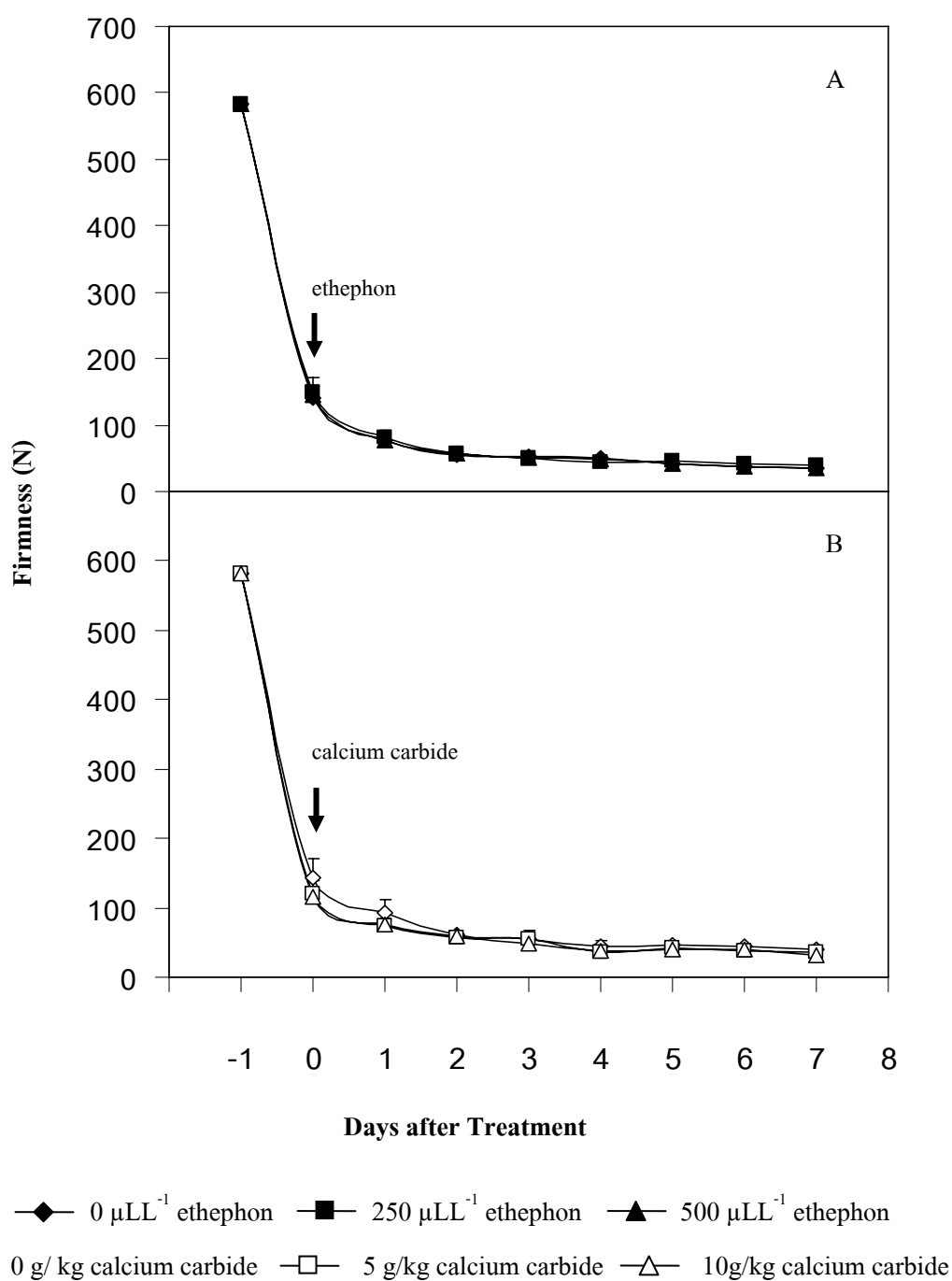
ผลมั่งคุดที่บ่มด้วยเอทิฟอน และแคลเซียมคาร์ไบด์มีอัตราการหายใจสูงสุดในช่วง 1 วันแรก หลังได้รับการบ่ม โดยมีอัตราสูงสุดประมาณ $32 \text{ mgCO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ แล้วกลับลดลงจนกระทั่งต่ำสุดในวันที่ 5 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วงที่สีของเปลือกผลมั่งคุดเริ่มมีค่าความสว่างคงที่ โดยผลที่บ่มและไม่บ่มด้วยเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (ภาพที่ 4)

1.5 การสังเคราะห์เอทิลีน

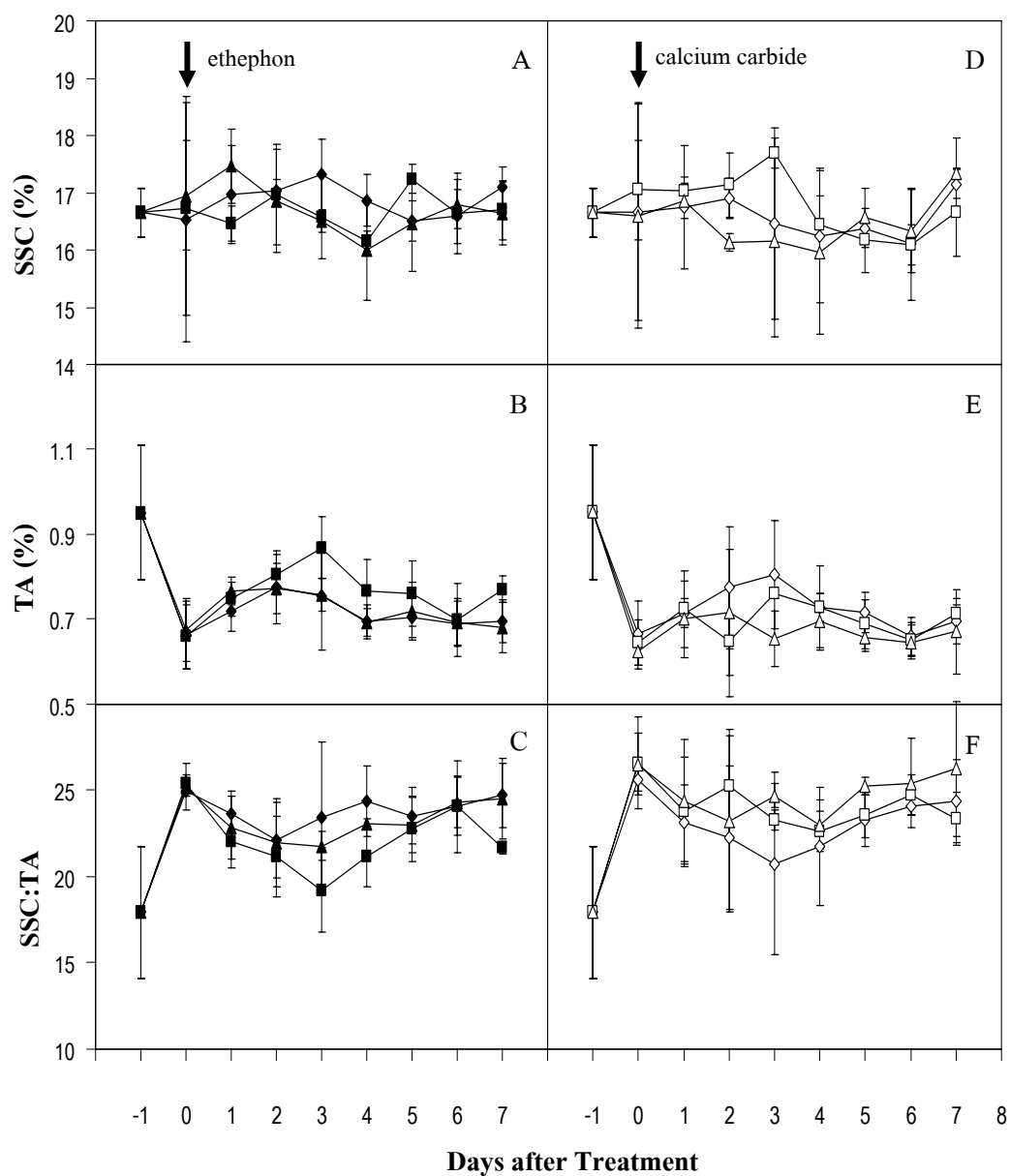
ผลมั่งคุดมีการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดในช่วง 1 วันแรกหลังได้รับทริทเมนต์ มีค่าสูงสุดประมาณ $60 \text{ nl.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ โดยการสังเคราะห์เอทิลีนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่ และมีการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์เอทิลีนอีกครั้งหนึ่งก่อนที่สีของเปลือกผลมั่งคุดเริ่มมีค่าความสว่างคงที่ โดยผลที่บ่มด้วยเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลของมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) ค่า L* (A และ D) a* (B และ E) และ b* (C และ F) เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเอทิฟอน (A B และ C) และ แคลเซียมคาร์ไบด์ (D E และ F) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้บ่ม แล้ว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีผลมีสีม่วงดำ (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)

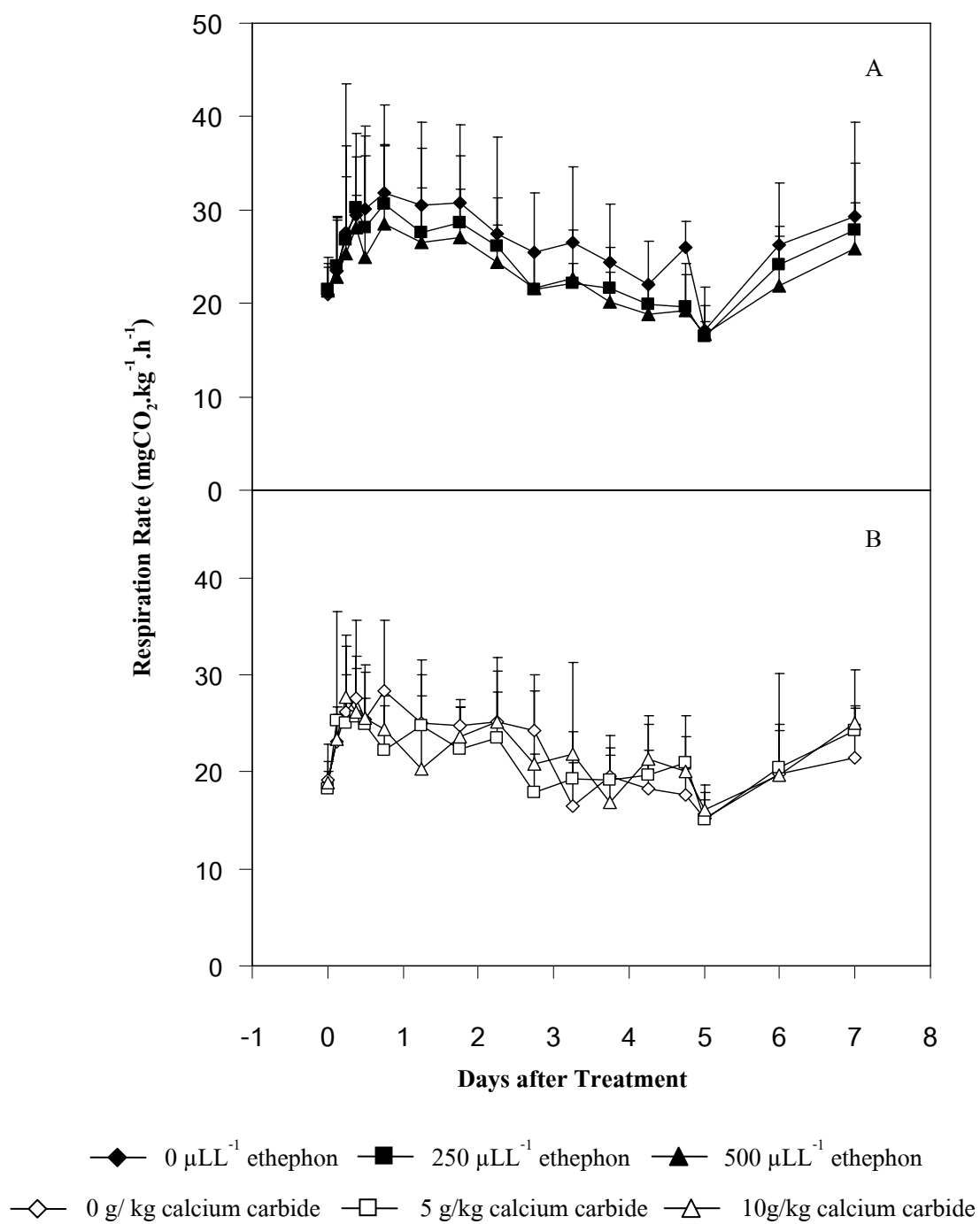


ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเอทิฟอน (A) และแคลเซียมคาร์ไบด์ (B) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้บ่ม แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีผลมีสีม่วงดำ (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)

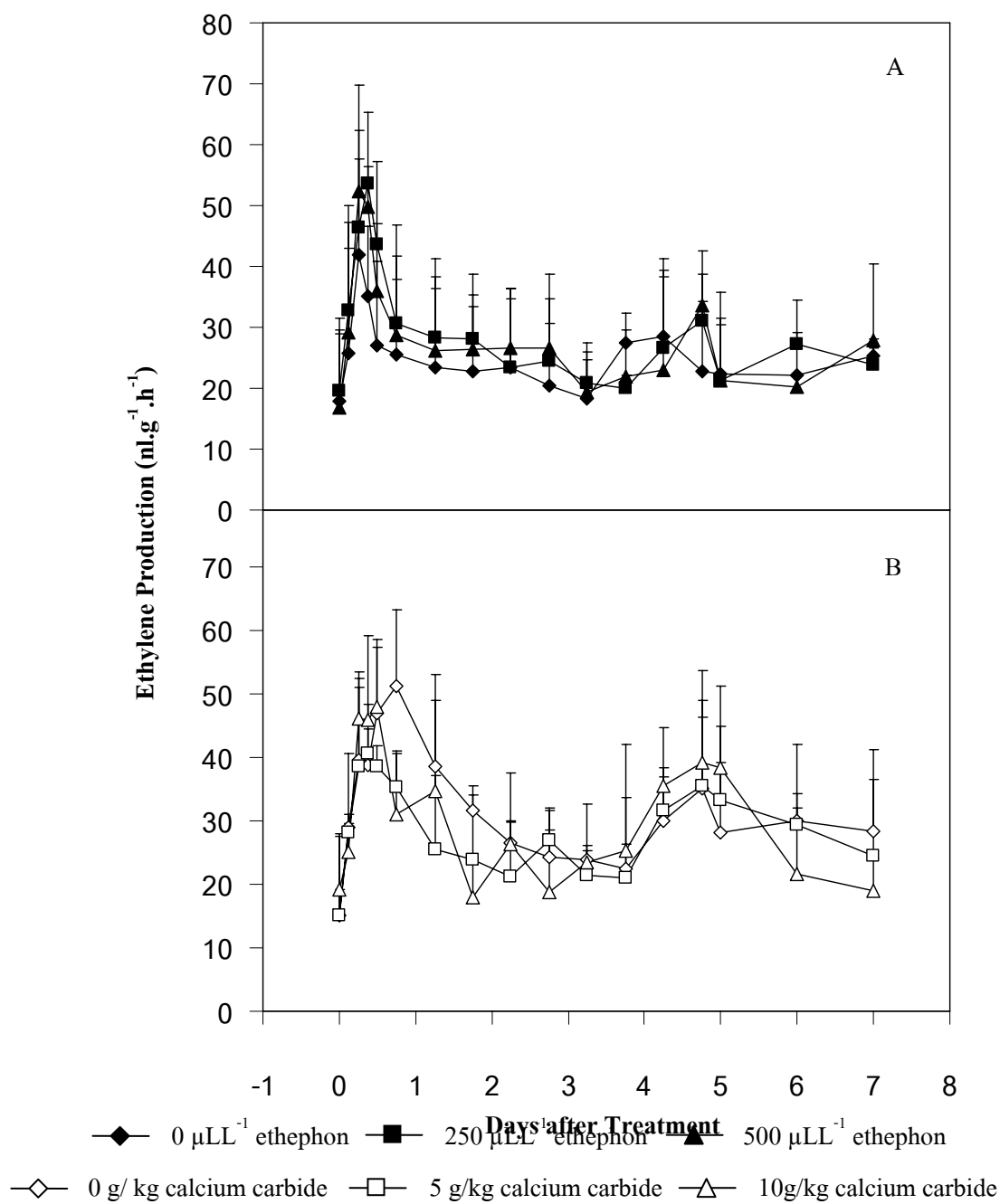


◆ 0 μLL^{-1} ethephon ■ 250 μLL^{-1} ethephon ▲ 500 μLL^{-1} ethephon
 ◇ 0 g/kg calcium carbide □ 5 g/kg calcium carbide △ 10g/kg calcium carbide

ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณ SSC (A และ D) ปริมาณ TA (B และ E) และอัตราส่วน SSC:TA (C และ F) ของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเอธิฟอน (A B และ C) และแคลเซียมคาร์ไบด์ (D E และ F) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้บ่ม แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีผลมีสีม่วงดำ (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



ภาพที่ 4 อัตราการหายใจของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) เมื่อป่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเอทิฟอน (A) และแคลเซียมคาร์ไบด์ (B) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ป่น แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีผลมีสีม่วงดำ



ภาพที่ 5 การสังเคราะห์เอทิลีนของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเอทิฟอน (A) และแคลเซียมคาร์ไบด์ (B) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้บ่ม แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีผลมีสีม่วงดำ

2. การตอบสนองของผลม้งคุดหลังการเก็บเกี่ยวต่อ 1-Methylcyclopropene (1-MCP)

2.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลม้งคุด

ผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลอย่างช้า ๆ โดยมีการลดลงของค่า L^* และ b^* ขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดในวันที่ 7 แล้วกลับลดลงหลังจากนั้น ซึ่งแตกต่างจากผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส โดยมีค่าของ L^* และ b^* ลดลง พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่า a^* แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของสีเปลือกผลเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จากระยะสายเลือดจนกระทั่งเป็นสีชมพูแดง (ระยะที่ 3-4) ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาและเมื่อเก็บรักษาผลม้งคุดสีแดงต่อไปประมาณวันที่ 5 สีของผลม้งคุดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีม่วงแดงและเป็นสีม่วงดำตรงกับ การลดลงของค่า L^* a^* และ b^* ที่ลดลง เมื่อรมผลม้งคุดด้วย 1-MCP พบว่าชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลจากสีเขียวเป็นสีชมพูแดง ทั้งที่เก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส โดยผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ส่วนผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วในวันที่ 6 ตามด้วยการลดลงของค่า L^* และ b^* ขณะที่ค่า a^* มีการเพิ่มขึ้นช้ากว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 6 และตารางผนวกที่ 8 9 และ 10) โดยผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างช้า ๆ แม้ว่าเก็บรักษาผลม้งคุดนานขึ้นเรื่อย ๆ แต่สีก็พัฒนาไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าเปลือกของผลมีจุดสีน้ำตาลกระจายตัวบนพื้นสีแดง และถ้าเก็บไว้นานขึ้นจะเริ่มมีการแข็งตัวของเปลือกผล ส่วนกลีบเลี้ยงและขั้วผลเหี่ยว อาการคล้ายกับอาการสะท้อนหนาวแต่เนื้อภายในรับประทานได้และรสชาติปกติ จึงนำผลม้งคุดบางส่วนย้ายมาเก็บรักษาต่อที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยวางไว้บนถาดโฟมแล้วห่อด้วยฟิล์ม PVC เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำการย้ายออกมาทุก 3 วันเริ่มตั้งแต่วันที่ 15 ของการเก็บรักษา เพื่อสังเกตว่ามีการพัฒนาสีและคุณภาพเป็นที่ยอมรับหรือไม่ ถ้าไม่เป็นที่ยอมรับจึงหยุดการทดลอง โดยการเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส และการใช้ 1-MCP จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลม้งคุดได้ (ตารางที่ 1) ส่วนผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เมื่อนำบางส่วนย้ายมาเก็บรักษาต่อที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าผลม้งคุดมีการเปลี่ยนแปลงสีและมีคุณภาพปกติและเมื่อได้รับ 1-MCP สามารถลดการแห้งเหี่ยวของกลีบเลี้ยงได้โดยสามารถเก็บรักษาต่อได้นานถึง 9 วันที่ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11 12 และ 13)

2.2 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลม้งคุด

ความแข็งของเปลือกผลมีการลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีความแข็งลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งคงที่ในวันที่ 9 ส่วนผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ความแข็งเปลือกมีค่าคงที่ ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ผลม้งคุด

ที่ได้รับ 1-MCP จะลดการลดลงของความแข็งของเปลือก โดยผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีความแข็งของเปลือกไม่เปลี่ยนแปลงในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาและค่าความแข็งของเปลือกผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 7 และตารางผนวกที่ 11)

2.3 การเปลี่ยนแปลง SSC, TA และ SSC:TA

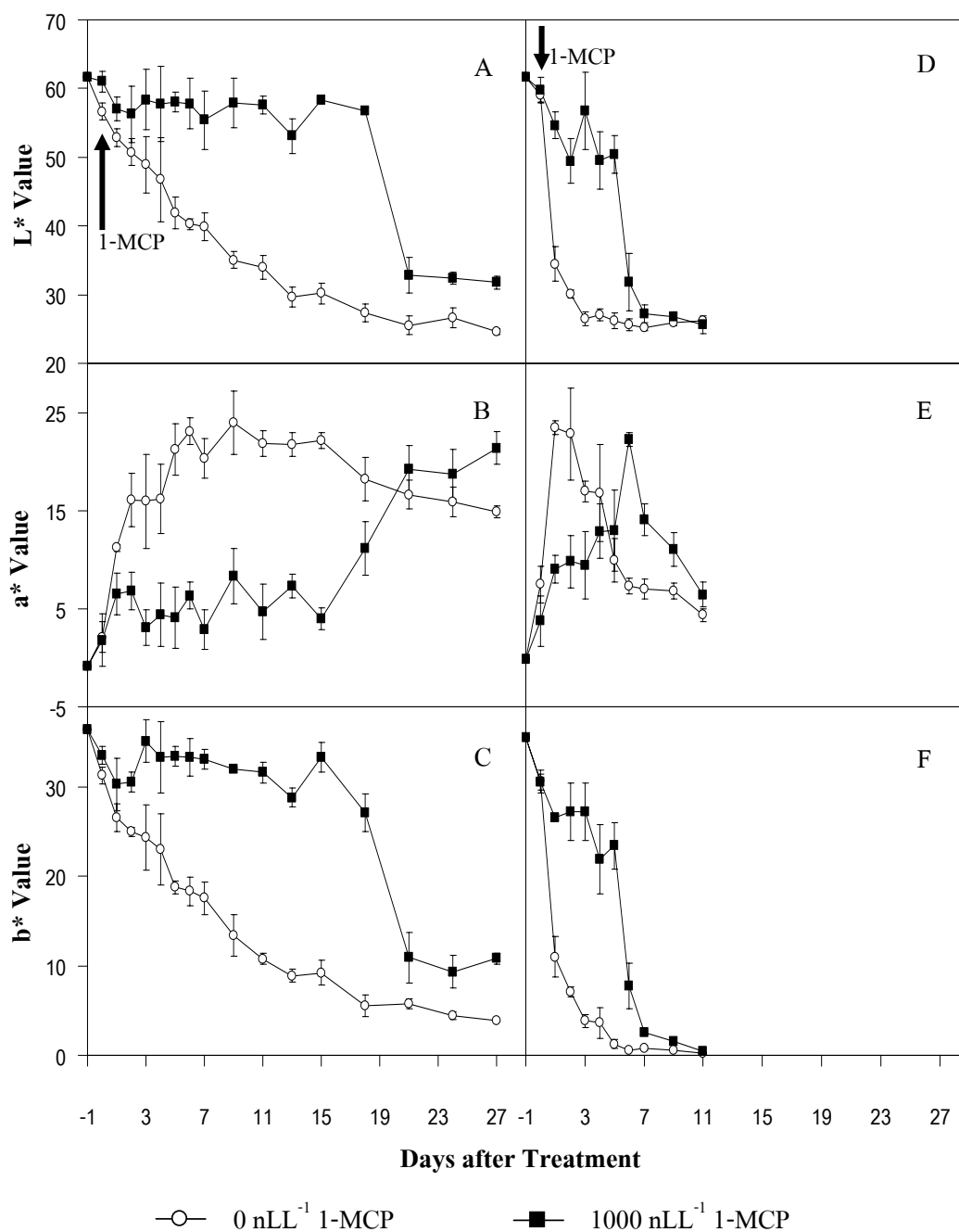
ปริมาณ SSC มีค่าคงที่ประมาณ 14-18 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณ TA มีค่าลดลง โดยปริมาณ TA มีค่าประมาณ 0.5-0.9 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราส่วนระหว่าง SSC:TA มีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเก็บรักษาผลมั่งคุดที่ 15 องศาเซลเซียส มีปริมาณ SSC ต่ำกว่าผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ในช่วงระหว่างการเก็บรักษา แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อได้รับ 1-MCP จะมีปริมาณ SSC ลดลง ขณะที่ปริมาณ TA และอัตราส่วนระหว่าง SSC:TA มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 12 13 และ 14)

2.4 อัตราการหายใจ

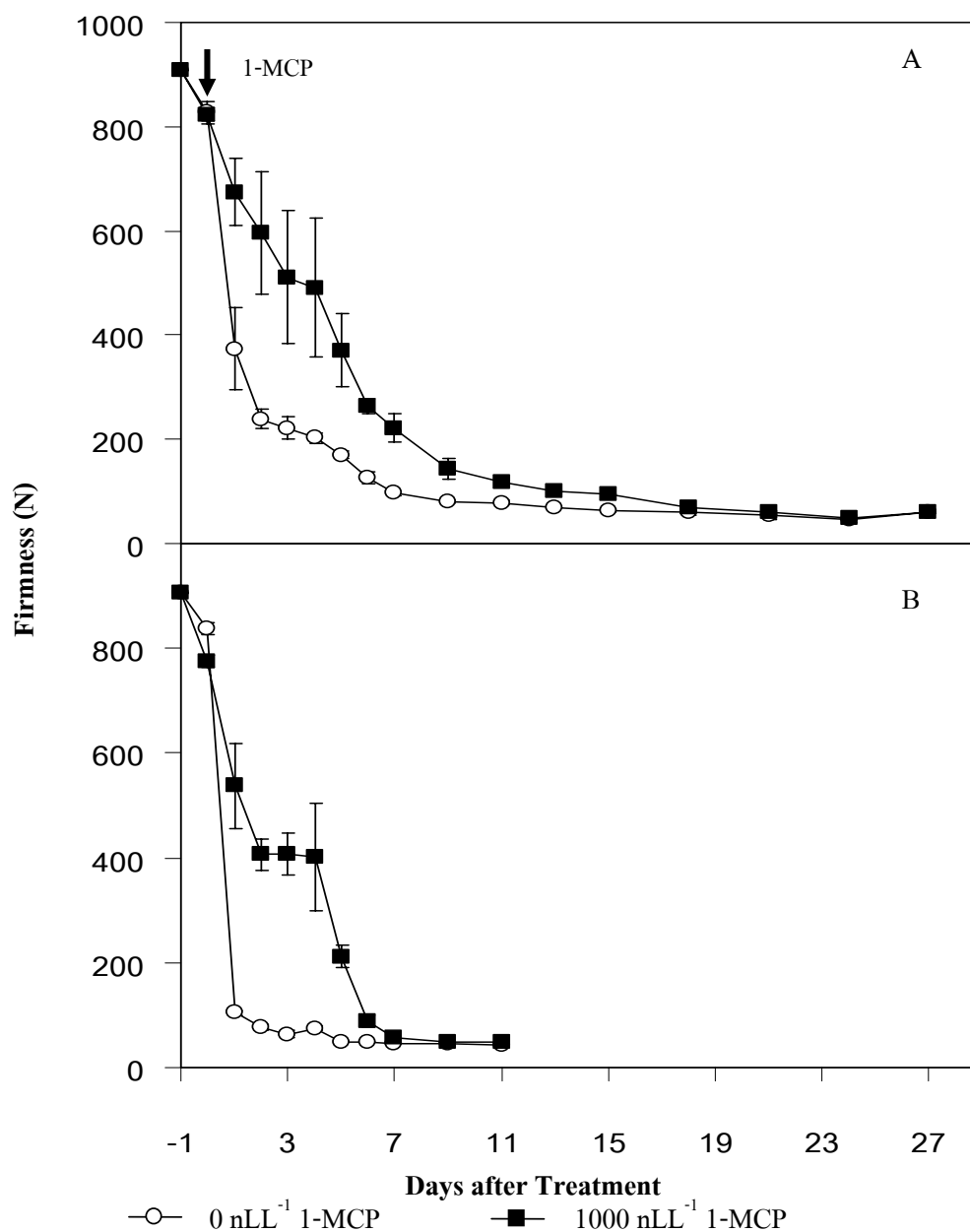
ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเมื่อรวมด้วย 1-MCP อัตราการหายใจของผลมั่งคุดลดลง ขณะที่ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจสูงสุด ในวันที่ 3 หลังจากเก็บรักษา เมื่อผลมั่งคุดรวมด้วย 1-MCP สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจสูงสุด โดยพบอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา อัตราการหายใจสูงสุดอยู่ที่ประมาณ $32 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (ภาพที่ 9)

2.5 การสังเคราะห์เอทิลีน

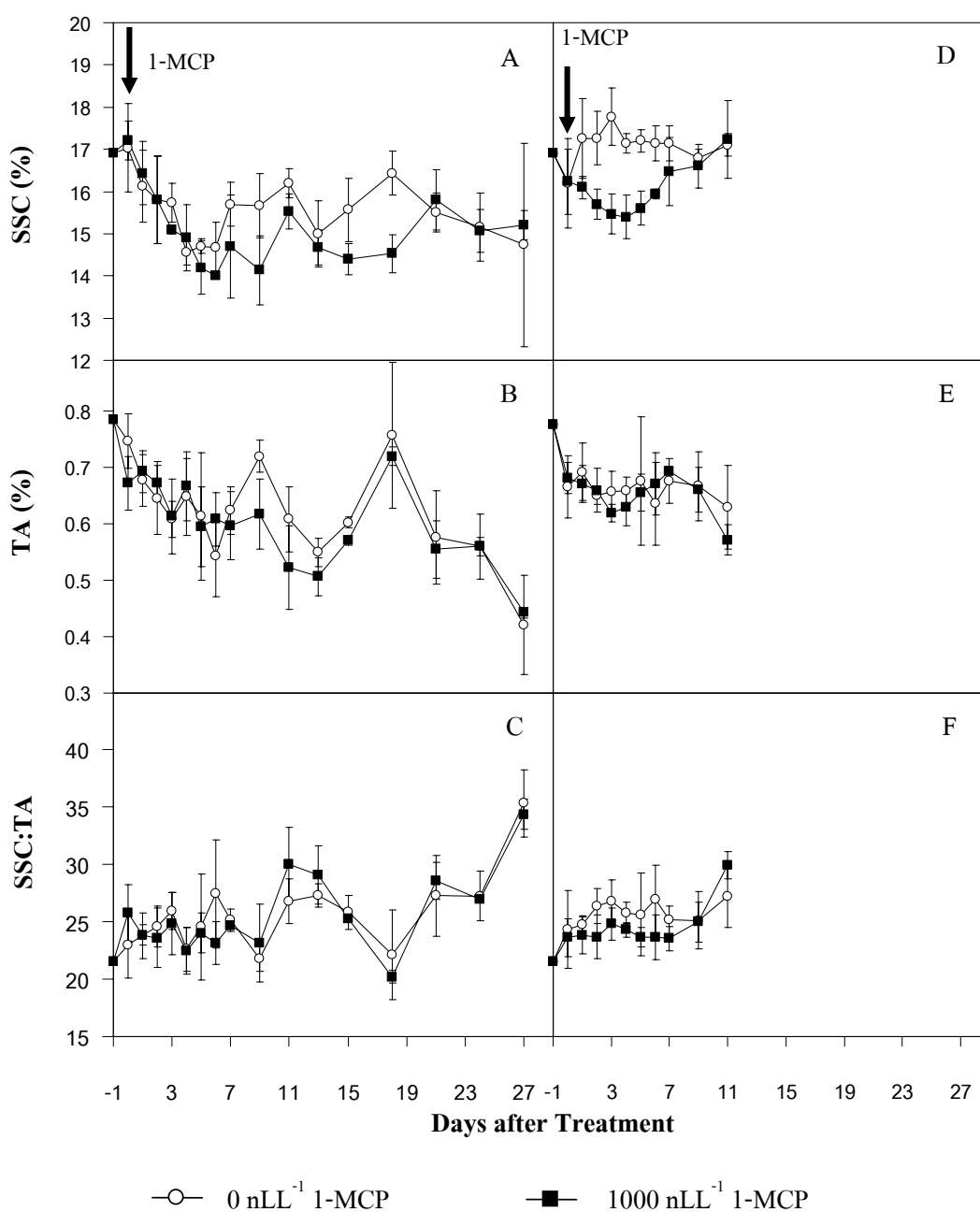
ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 หลังจากเก็บรักษา ทั้งผลมั่งคุดที่ไม่รวมและรวมด้วย 1-MCP ต่อจากนั้นการสังเคราะห์เอทิลีนจะลดลง และผลมั่งคุดชุดควบคุมจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วงวันที่ 18 หลังการรวม มีค่าสูงสุดประมาณ $16 \text{ nl.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ส่วนผลมั่งคุดที่รวมด้วย 1-MCP จะมีการเพิ่มอีกครั้งในช่วงวันที่ 21 หลังการรวม มีค่าสูงสุดประมาณ $21 \text{ nl.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อรวมด้วย 1-MCP สามารถชะลอการเพิ่มสูงสุดของการสังเคราะห์เอทิลีน โดยผลมั่งคุดที่ไม่รวมและรวมด้วย 1-MCP มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มสูงสุดในวันที่ 3 และ 8 หลังจากเก็บรักษาตามลำดับ โดยผลมั่งคุดชุดควบคุมมีปริมาณสูงสุดของการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดประมาณ $52 \text{ nl.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ และผลมั่งคุดที่รวมด้วย 1-MCP มีการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดประมาณ $68 \text{ nl.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (ภาพที่ 10)



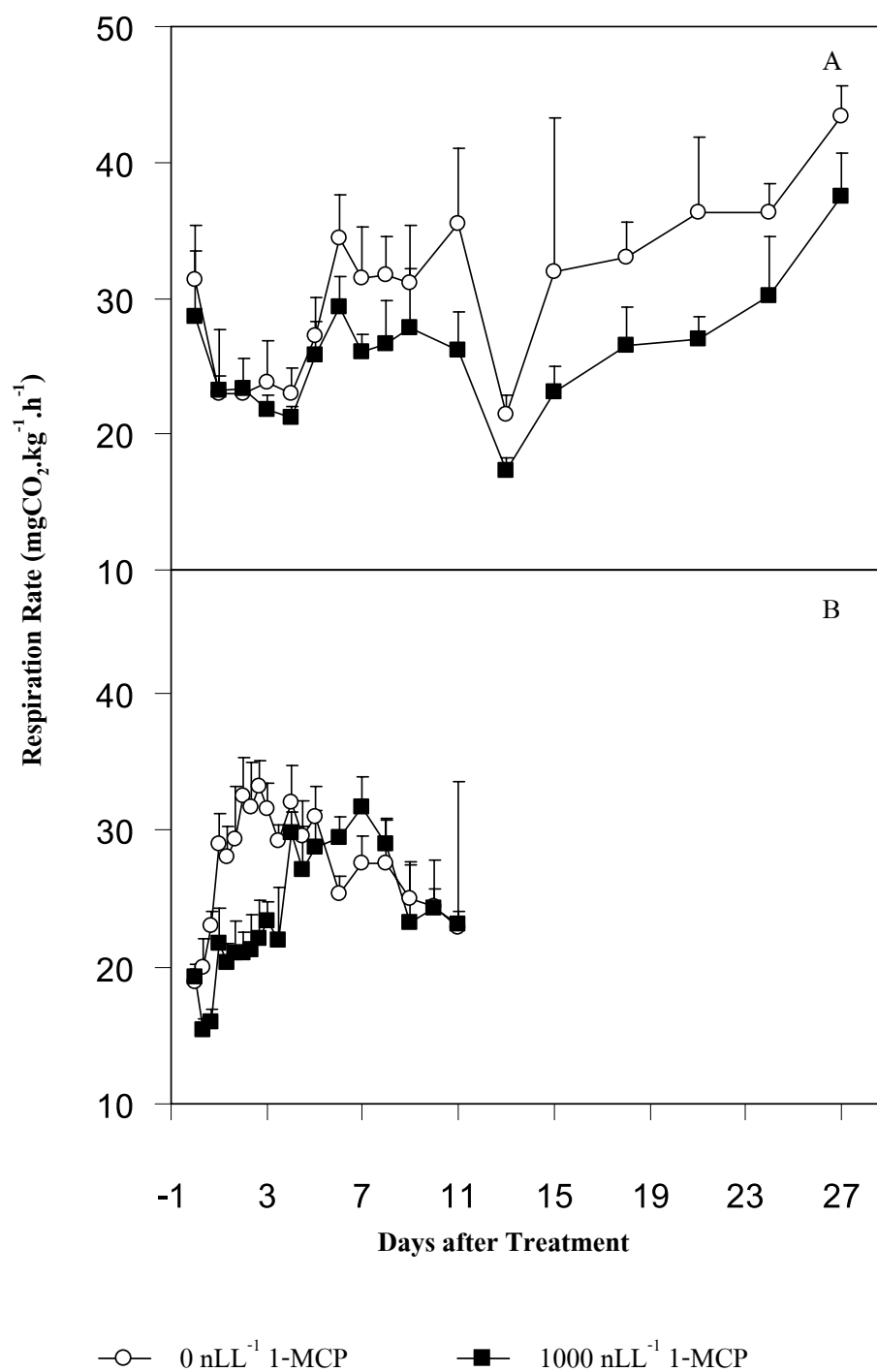
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (A และ D) a* (B และ E) และ b* (C และ F) ของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อรมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม แล้วนำมาเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A B และ C) หรือ 25 องศาเซลเซียส (D E และ F) จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



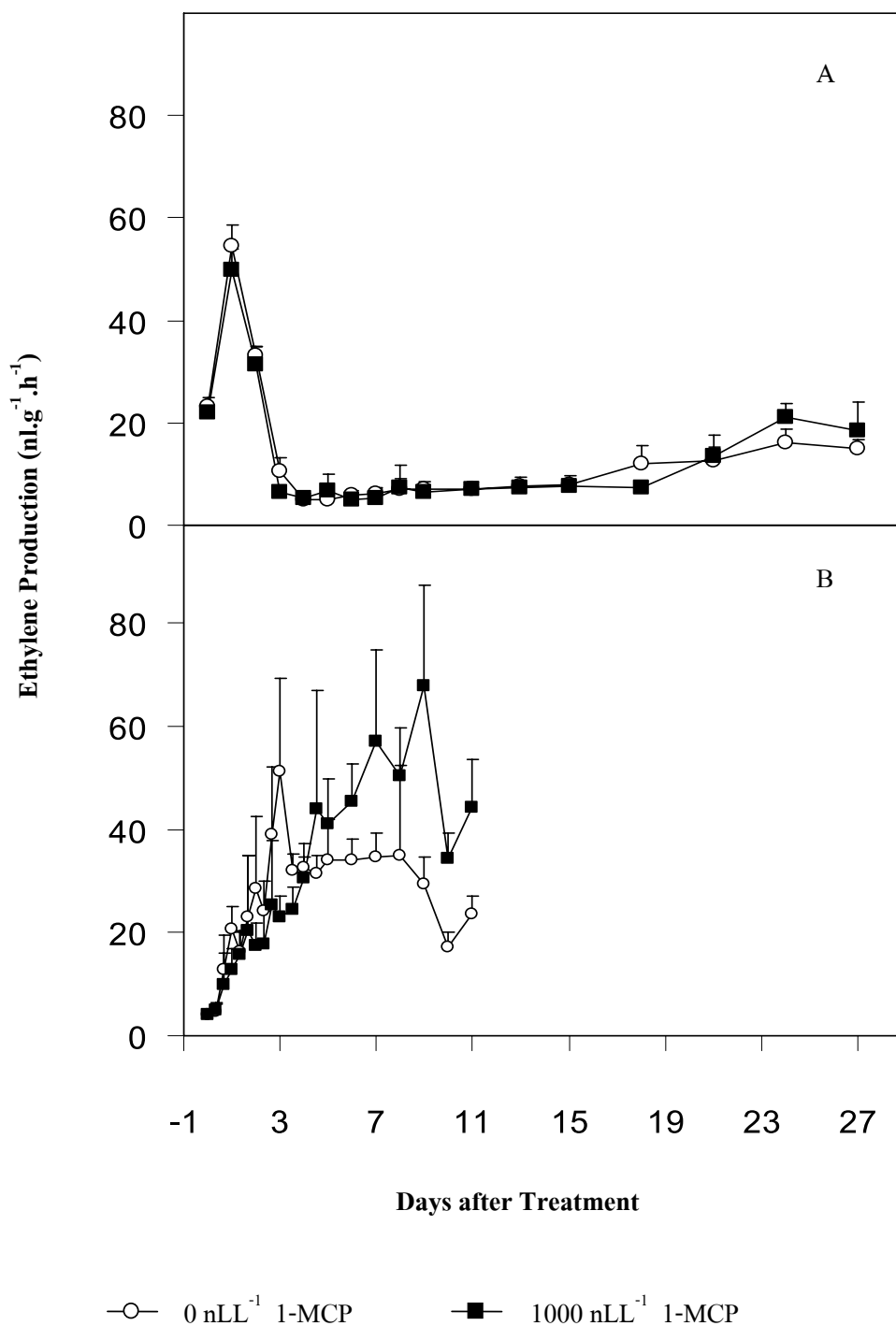
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



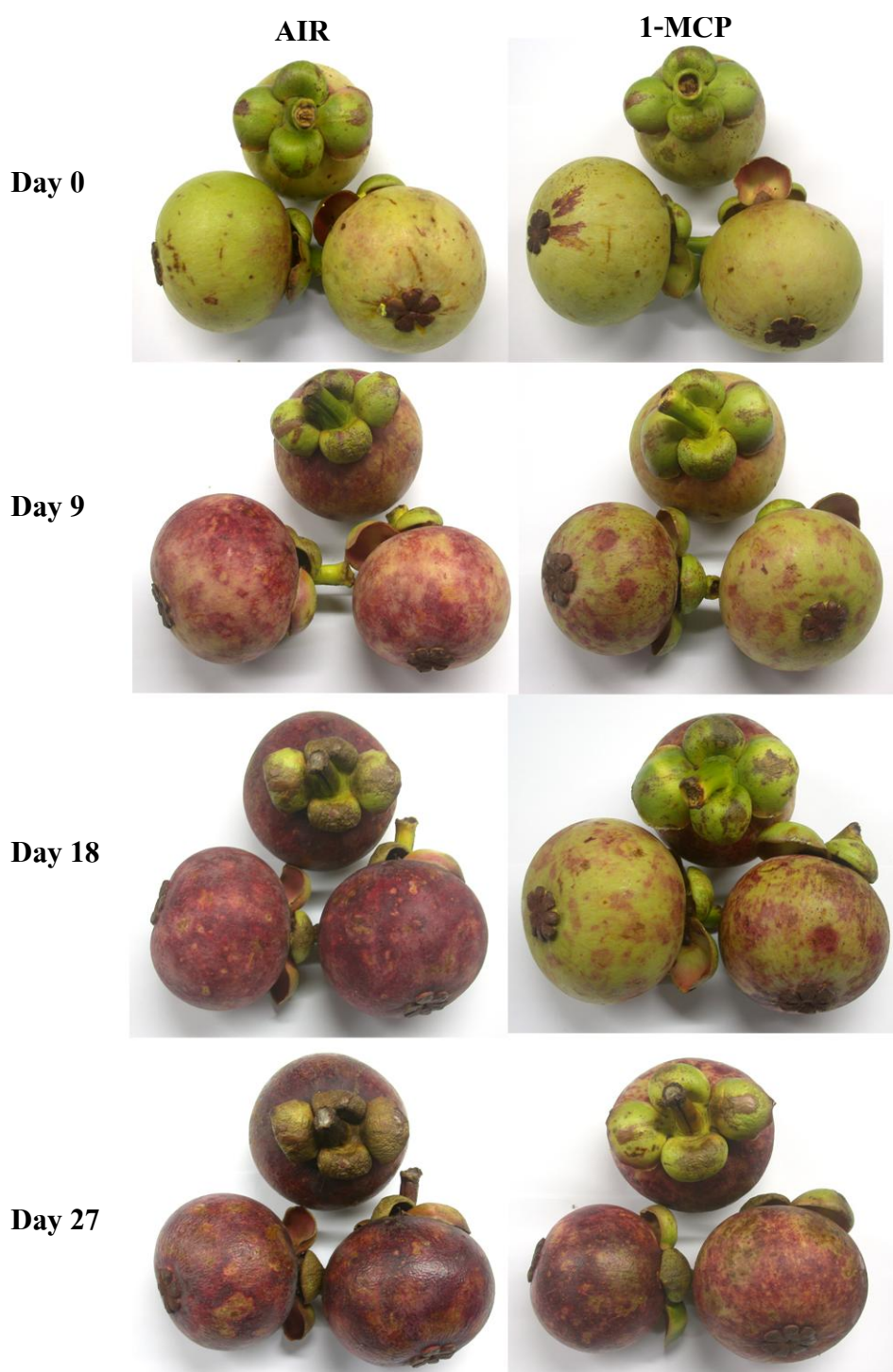
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณ SSC (A และ D) ปริมาณ TA (B และ E) และอัตราส่วนระหว่าง SSC:TA (C และ F) ของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) ร่มด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมงที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A B และ C) หรือ 25 องศาเซลเซียส (D E และ F) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



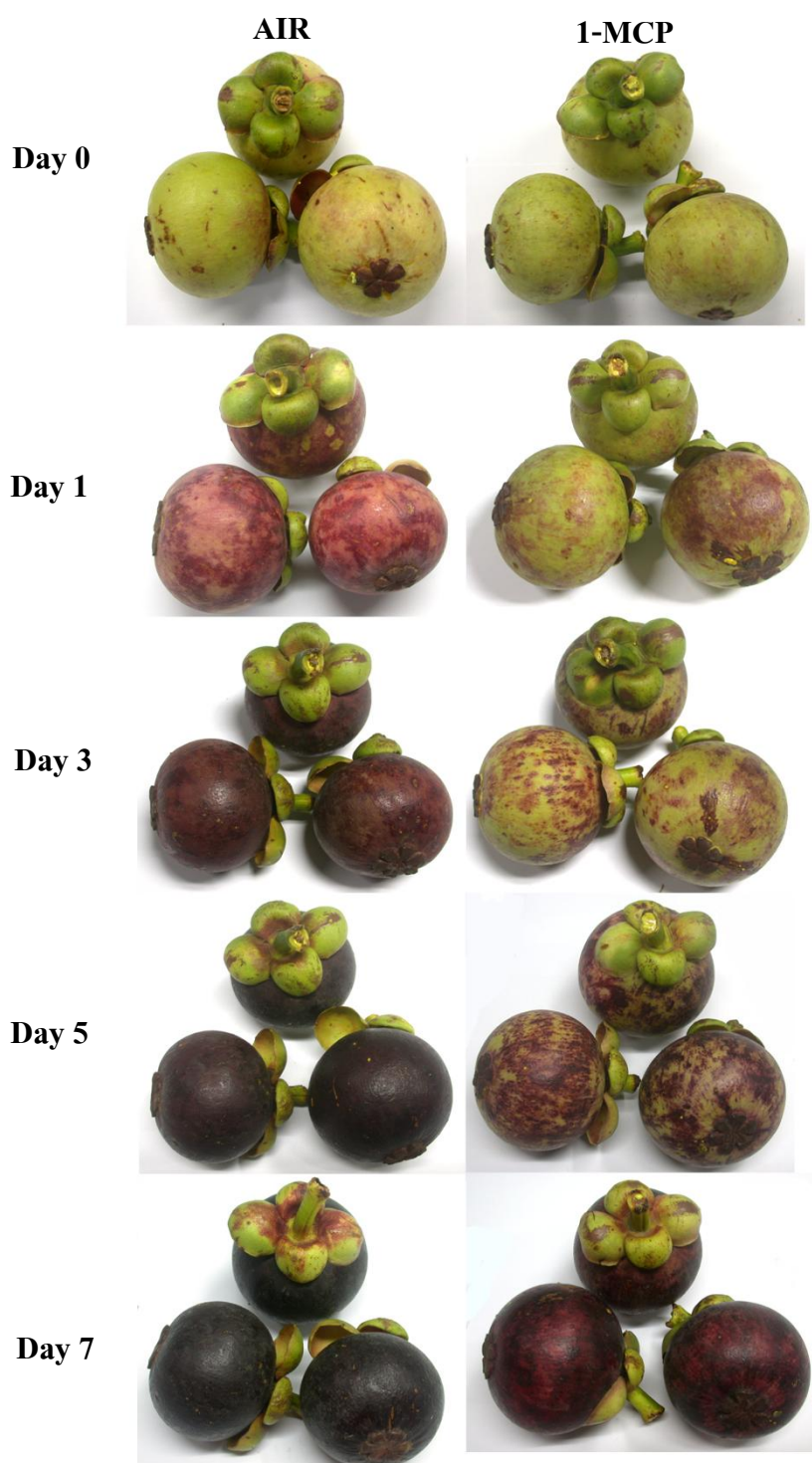
ภาพที่ 9 อัตราการหายใจของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพ เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 การสังเคราะห์เอทิลีนของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผล ลักษณะของกลีบเลี้ยงและขั้วผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส นาน 27 วัน โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 0 9 18 และ 27 เมื่อไม่ได้รมและรมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผล ลักษณะของกลีบเลี้ยงและขั้วผลมังคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 0 1 3 5 และ 7 เมื่อไม่ได้รม และรมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

AIR (A)**1-MCP (B)**

ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผล ลักษณะของกลีบเลี้ยงและขั้วผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส นาน 15 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาต่อที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน เมื่อไม่ได้รม (A) และรมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร (B) ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 สรุปอายุการเก็บรักษาเมื่อรวมผลมั่งคุดด้วย 1-MCP จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์		อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	
15	0	18
	1000	27
25	0	7
	1000	11

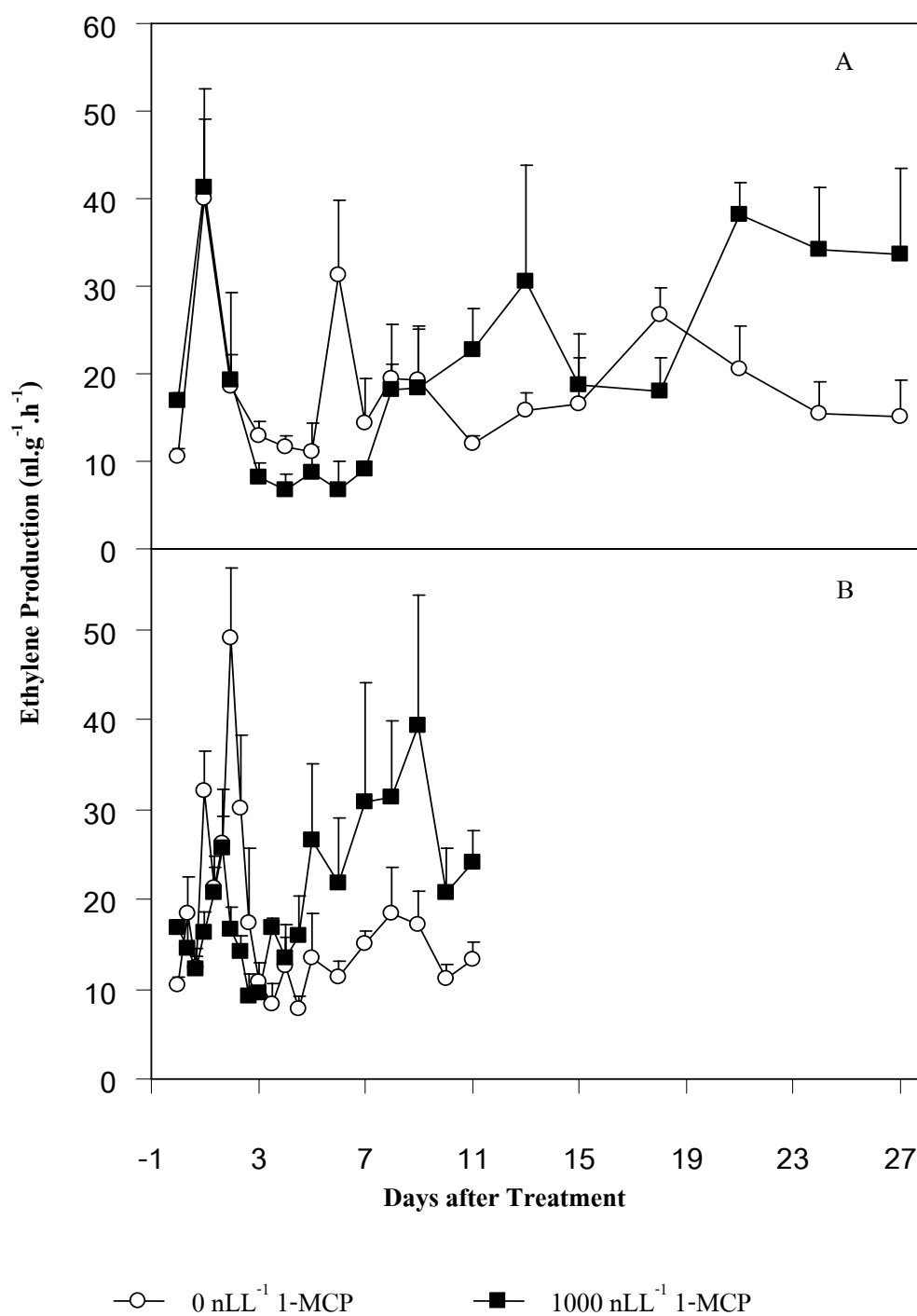
2.6 การเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์เอทิลีนของเนื้อและเปลือกมั่งคุดหลังการเก็บเกี่ยวที่รวมด้วย 1-MCP

การสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อของผลมั่งคุดเมื่อเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 หลังการเก็บรักษาทั้งที่ไม่ได้รวมและรวมด้วย 1-MCP โดยชุดควบคุมมีการเพิ่มอีกครั้งในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา มีค่าการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดประมาณ 31 nL.g⁻¹.h⁻¹ ส่วนเนื้อของผลมั่งคุดที่รวม 1-MCP มีการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์เอทิลีนอีกครั้ง ในวันที่ 13 และ 21 ของการเก็บรักษา มีค่าสูงสุดประมาณ 31 และ 38 nL.g⁻¹.h⁻¹ ตามลำดับ ส่วนผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส เนื้อผลในชุดควบคุมมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของสีและความแน่นเนื้อที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดประมาณ 32 nL.g⁻¹.h⁻¹ และการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงวันที่ 2 หลังจากการเก็บรักษา มีค่าสูงสุดประมาณ 49 nL.g⁻¹.h⁻¹ ส่วนผลมั่งคุดที่รวมด้วย 1-MCP เริ่มมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 แล้วเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งสูงสุดในวันที่ 9 ซึ่งมีค่าประมาณ 39 nL.g⁻¹.h⁻¹ (ภาพที่ 14)

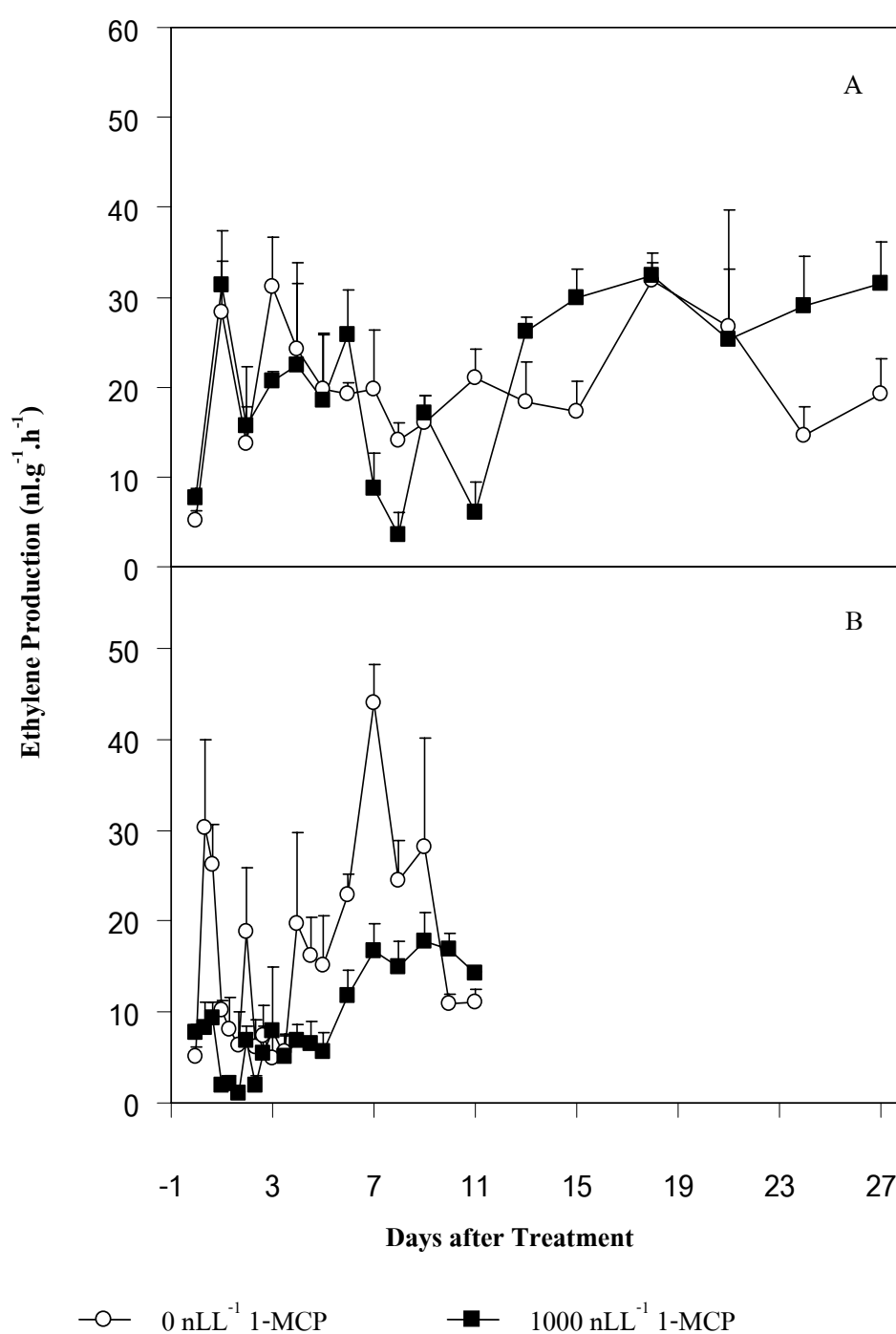
เปลือกของผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 หลังการเก็บรักษา จากนั้นมีค่าการสังเคราะห์เอทิลีนไม่คงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 15-30 nL.g⁻¹.h⁻¹ ตลอดการเก็บรักษาทั้งที่ไม่ได้รวมและรวมด้วย 1-MCP ส่วนเปลือกของผลมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 หลังการเก็บรักษาและมีค่าประมาณ 30 nL.g⁻¹.h⁻¹ จากนั้นการสังเคราะห์เอทิลีนลดลงจนคงที่และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จนกระทั่งเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 7 มีค่าประมาณ 44 nL.g⁻¹.h⁻¹ โดยผลมั่งคุดที่

รมด้วย 1-MCP มีการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกก่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับการเพิ่มขึ้นของจุดสีแดงเข้มบนผิวผล โดยมีค่าการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดประมาณ $18 \text{ nl.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (ภาพที่ 15)

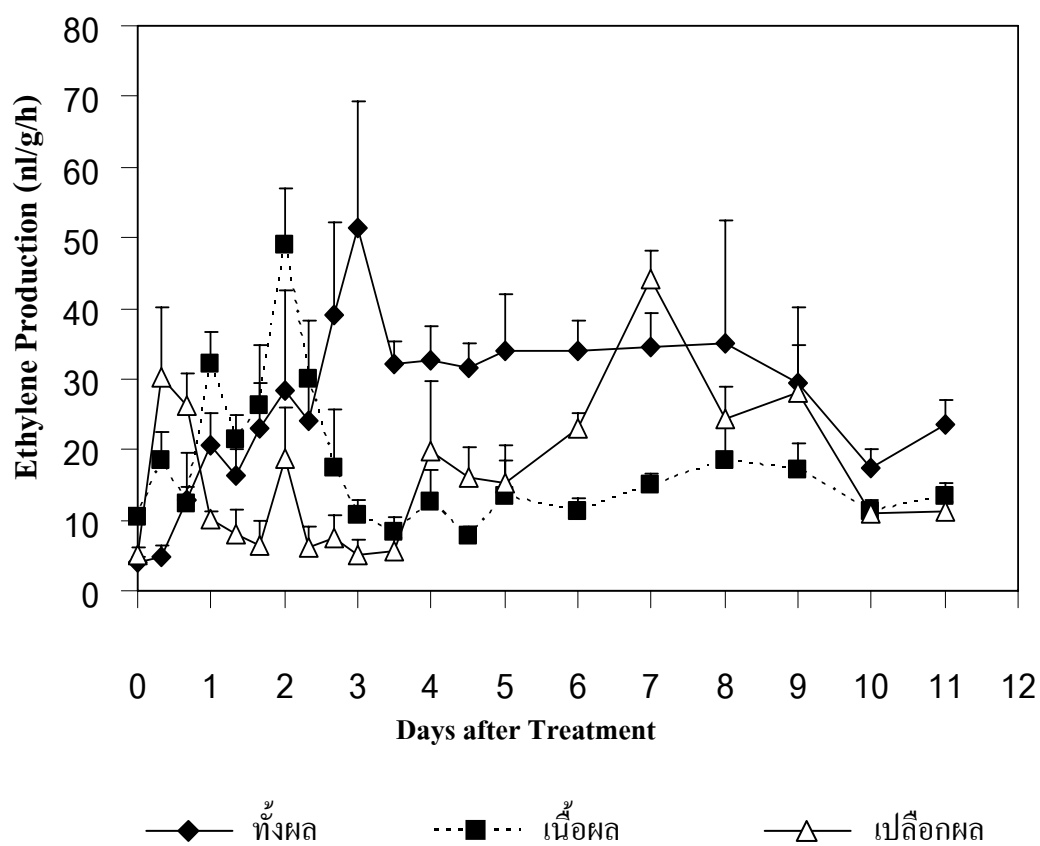
การเปรียบเทียบการสังเคราะห์เอทิลีนระหว่างทั้งผลกับเนื้อและเปลือกเมื่อเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ในชุดควบคุม (ภาพที่ 16) ซึ่งมีการพัฒนาสีเปลือกได้สมบูรณ์ พบว่าการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดในเปลือกเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 ช่วง คือช่วงก่อน 1-3 วันแรกของการเก็บรักษา เป็นช่วงที่สีผลเปลี่ยนจากสายเลือดเป็นสีชมพูแดงและเนื้อภายในยังติดกับเปลือกผล ในช่วงที่การสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกกลดลงนั้นเป็นช่วงที่สีผลเปลี่ยนเป็นสีชมพูแดงแล้ว พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อ ซึ่งเป็นช่วงที่เนื้อผลเริ่มแยกตัวออกจากเปลือก และทำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนทั้งผลเพิ่มสูงขึ้น ต่อจากนั้นมีการสังเคราะห์เอทิลีนจากเปลือกเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเป็นช่วงที่ 2 ในช่วงที่สีของเปลือกผลเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีม่วงดำในวันที่ 5-10 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 14 การสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตร ต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 15 การสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 การสังเคราะห์เอทิลีน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) ทั้งผลเปรียบเทียบกับ การสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อ และเปลือกของผลมังคุดในชุดควบคุมที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีผลมีสี ม่วงดำ

2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ACC กิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase (ACS) และ ACC oxidase (ACO) ในเนื้อและเปลือกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวที่รมด้วย 1-MCP

2.7.1 ปริมาณ ACC

ปริมาณ ACC ที่พบในเนื้อของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ $250 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ ในวันที่ 27 ของการเก็บรักษาโดยเมื่อรม 1-MCP เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ACC ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาและเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา ขณะที่เนื้อของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาและเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ $250 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าเมื่อรม 1-MCP สามารถชะลอการเพิ่มของปริมาณ ACC จากวันที่ 5 เป็นวันที่ 7 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 17 และตารางผนวกที่ 15)

ปริมาณ ACC ที่พบในเปลือกของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส ก่อนข้างคงที่ประมาณ $40 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ จนกระทั่งวันที่ 21 ของการเก็บรักษา โดยในชุดควบคุม (ไม่ได้รมด้วย 1-MCP) มีปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 27 ของการเก็บรักษา มีค่าประมาณ $275 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ ส่วนผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP มีปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งสูงสุดในวันที่ 27 ของการเก็บรักษา มีค่าประมาณ $80 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ ขณะที่เปลือกของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP ปริมาณ ACC มีค่าคงที่และมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม จนกระทั่งวันที่ 5 ปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งที่ไม่รมและรมด้วย 1-MCP โดยมีค่าประมาณ $238 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ และ $142 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาณ ACC ในเปลือกของผลมังคุดที่ไม่รมด้วย 1-MCP มีค่าลดลงขณะที่รมด้วย 1-MCP ปริมาณ ACC เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดประมาณ $225 \text{ nmol ACC.g}^{-1}$ (ภาพที่ 18 และตารางผนวกที่ 16)

2.7.2 กิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase (ACS)

เนื้อของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส พบว่ามีกิจกรรม ACS สูงในช่วงแรก จากนั้นลดลงแล้วเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงวันที่ 13 ของการเก็บรักษาโดยผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP มีกิจกรรม ACS ประมาณ $250 \text{ nmol ACC.h}^{-1}.\text{mg protein}^{-1}$ จากนั้นกิจกรรม ACS ลดลง ส่วนชุดควบคุมมีกิจกรรม ACS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ $100 \text{ nmol ACC.h}^{-1}.\text{mg protein}^{-1}$ ขณะที่เนื้อของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีกิจกรรม ACS สูงในช่วงแรกเช่นเดียวกับเนื้อมังคุดเก็บรักษาที่ 15

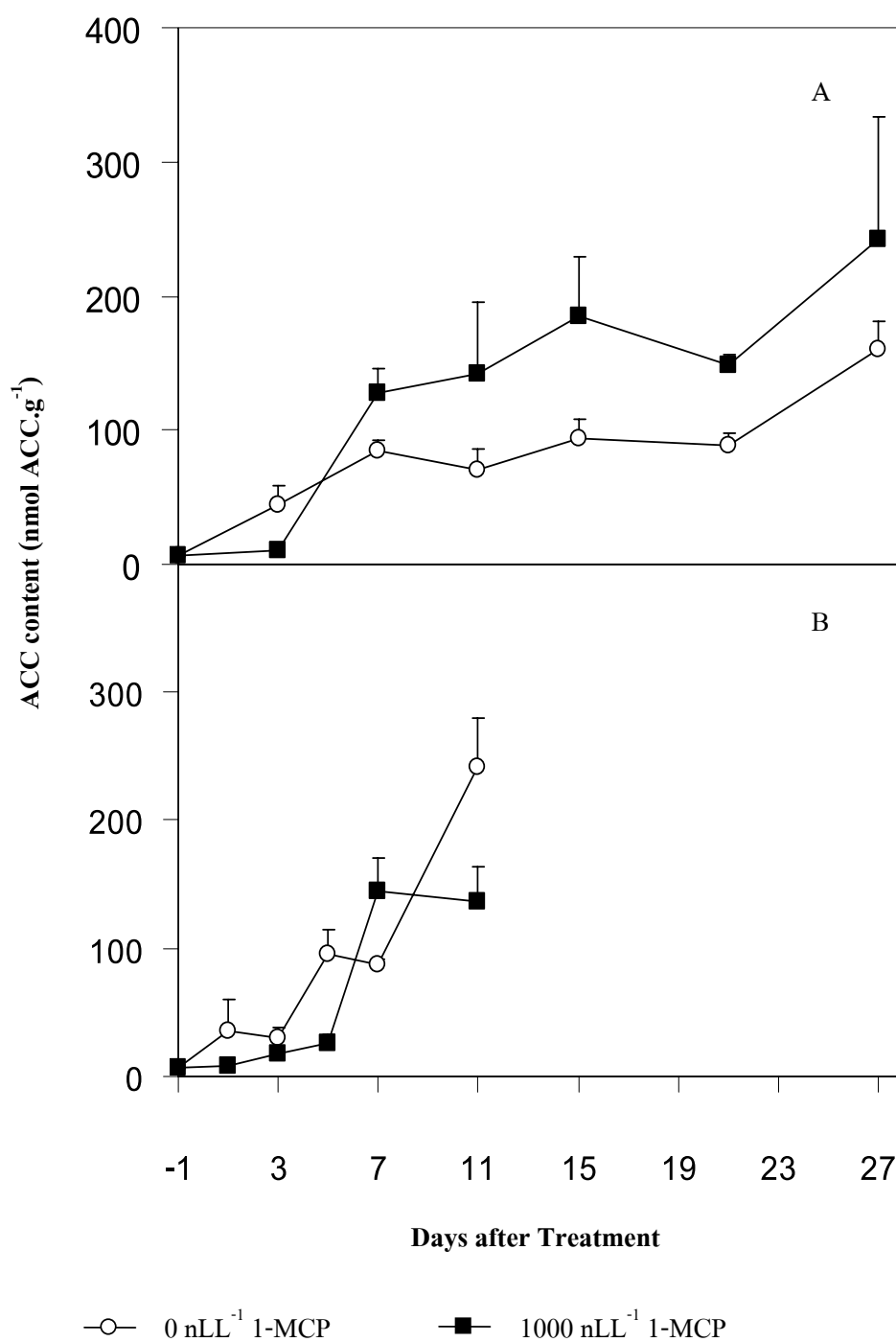
องศาเซลเซียส จากนั้นกิจกรรม ACS จะลดลงแล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งโดยมีค่าสูงสุดประมาณ 230 nmol ACC.h⁻¹.mg protein⁻¹ สำหรับผลมั่งคุดด้วย 1-MCP จะลดการเพิ่มขึ้นของกิจกรรม ACS จากวันที่ 5 เป็นวันที่ 7 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 19 และตารางผนวกที่ 17)

กิจกรรม ACS ในเปลือกของมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส กิจกรรม ACS มีค่าเพิ่มขึ้นและสูงสุดในวันที่ 13 ของการเก็บรักษา ผลมั่งคุดด้วย 1-MCP จะลดกิจกรรม ACS สูงสุดจาก 15 เป็น 10 nmol ACC.h⁻¹.mg protein⁻¹ ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเปลือกของมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มีค่าสูงสุดประมาณ 74 nmol ACC.h⁻¹.mg protein⁻¹ เมื่อรวมด้วย 1-MCP จะลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเปลือกของผลมั่งคุด จาก 74 เป็น 39 nmol ACC.h⁻¹.mg protein⁻¹ ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 18)

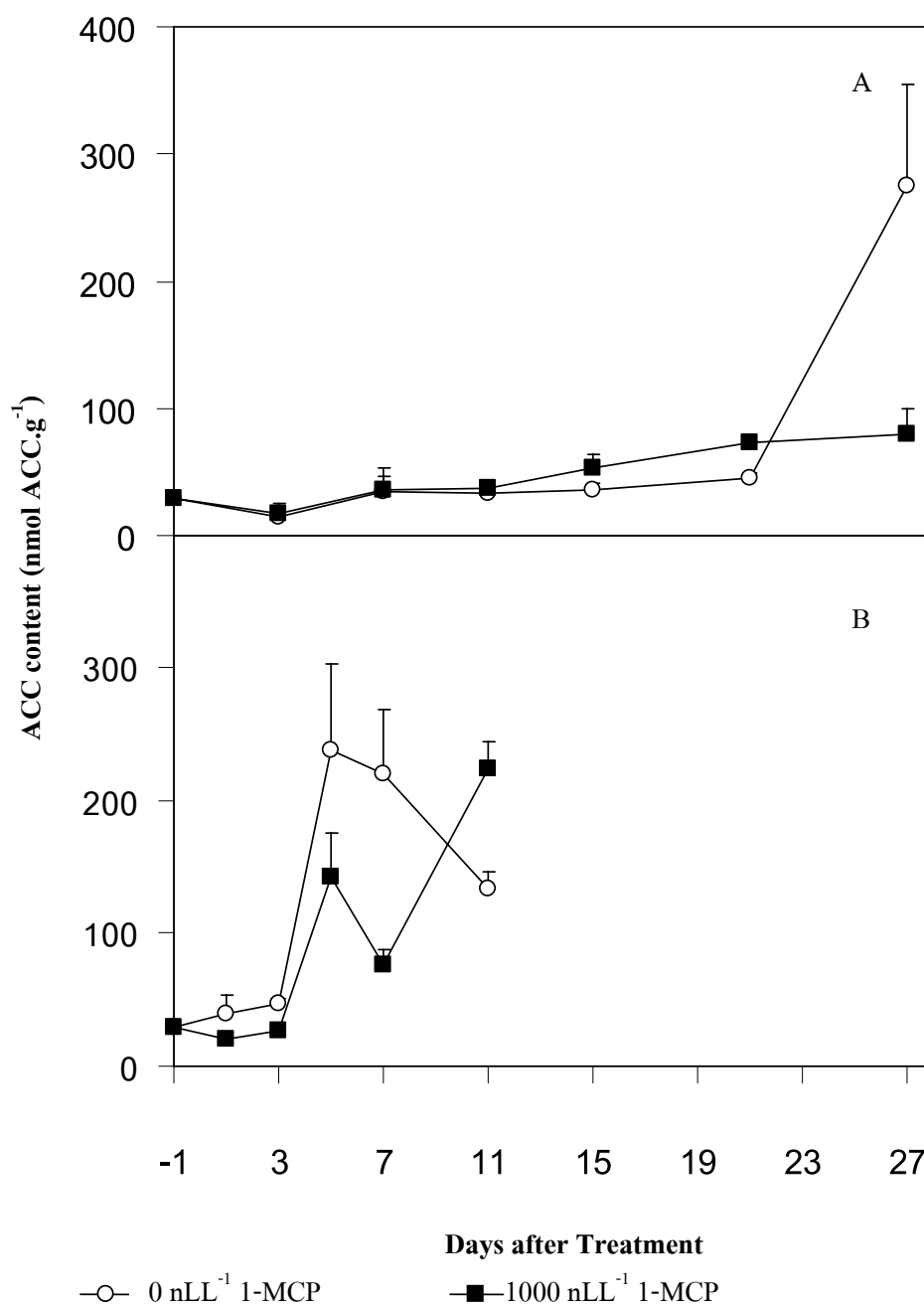
2.7.3 กิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase (ACO)

ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีกิจกรรม ACO ในเนื้อเพิ่มสูงสุดแล้วลดลงในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาโดยเมื่อรวมผลมั่งคุดด้วย 1-MCP สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์จากประมาณ 0.007 เป็น 0.003 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ ขณะที่เนื้อของผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นโดยผลมั่งคุดหุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วลดลงในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาโดยกิจกรรม ACO ประมาณ 0.004 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ ขณะที่ผลมั่งคุดด้วย 1-MCP จะลดการเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 7 แล้วเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งสูงสุดในวันที่ 11 โดยมีกิจกรรม ACO ประมาณ 0.007 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 19)

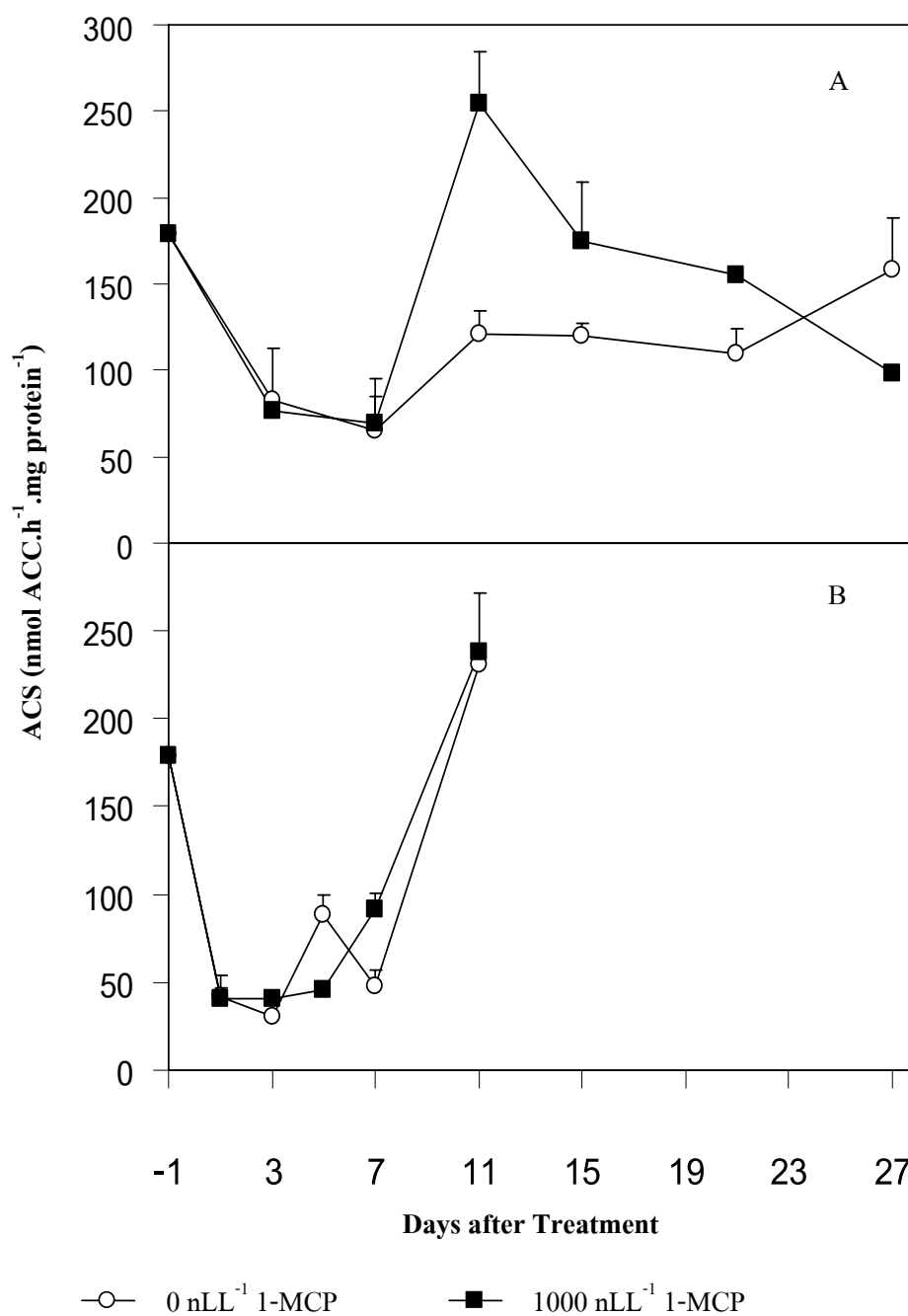
ผลมั่งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส เริ่มมีกิจกรรม ACO ในเปลือกเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 7 แล้วมีการเพิ่มขึ้นอีกจนกระทั่งสูงสุดประมาณ 0.0025 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ ในวันที่ 15 หลังจากนั้นกิจกรรม ACO ลดลง ผลมั่งคุดด้วย 1-MCP มีกิจกรรมสูงสุดประมาณ 0.00125 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ ในวันที่ 11 หลังจากนั้นกิจกรรม ACO ลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนเปลือกของผลมั่งคุดที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีกิจกรรม ACO สูงสุดในช่วงเริ่มการเก็บรักษาแล้วลดลงในวันที่ 1 ของการเก็บรักษามีค่าประมาณ 0.0015 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ โดยผลมั่งคุดด้วย 1-MCP มีกิจกรรม ACO คงที่ไม่เกิน 0.0005 nl C₂H₄.g⁻¹.h⁻¹.mg protein⁻¹ (ภาพที่ 22 และตารางผนวกที่ 20)



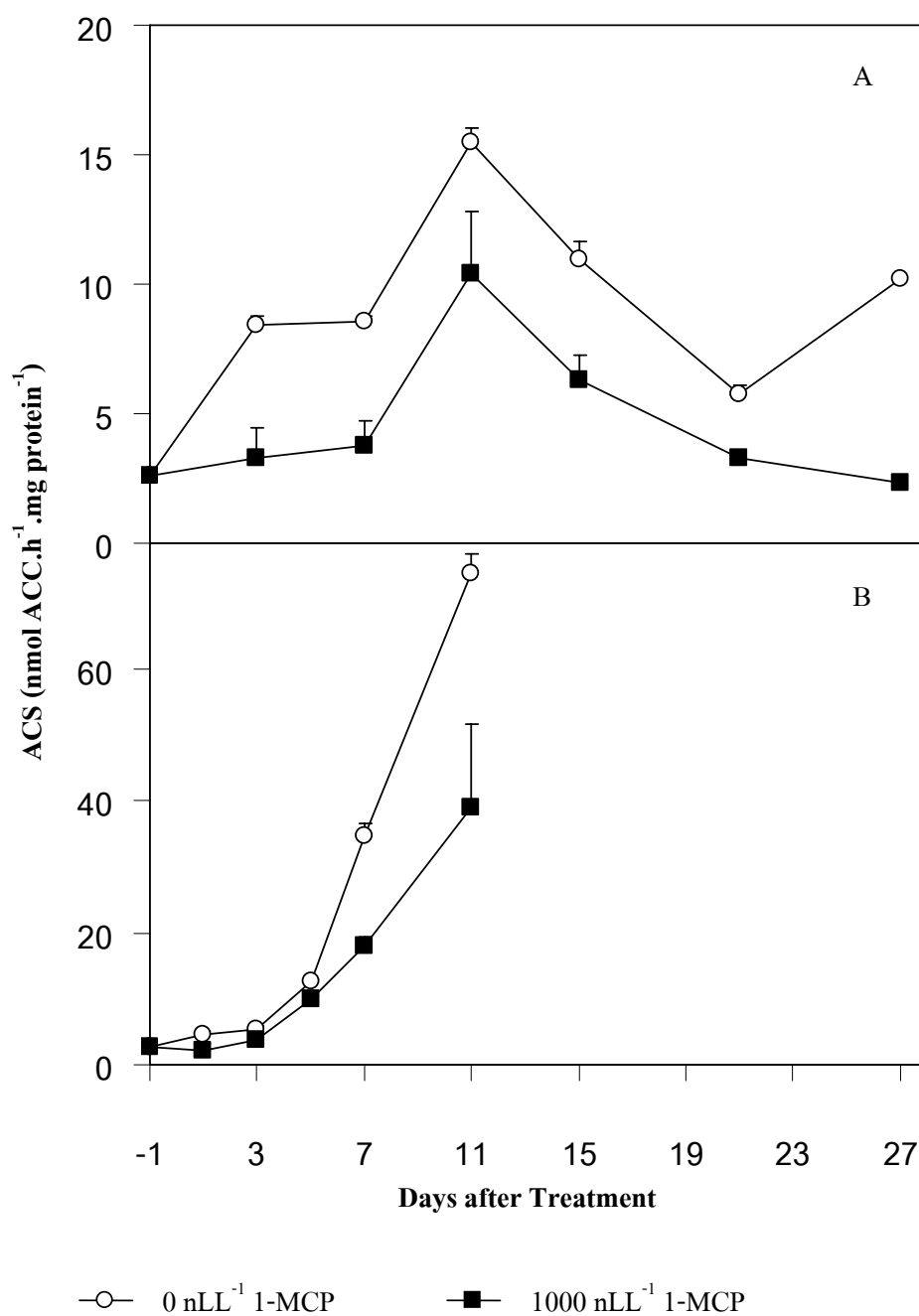
ภาพที่ 17 ปริมาณ ACC ในเนื้อของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



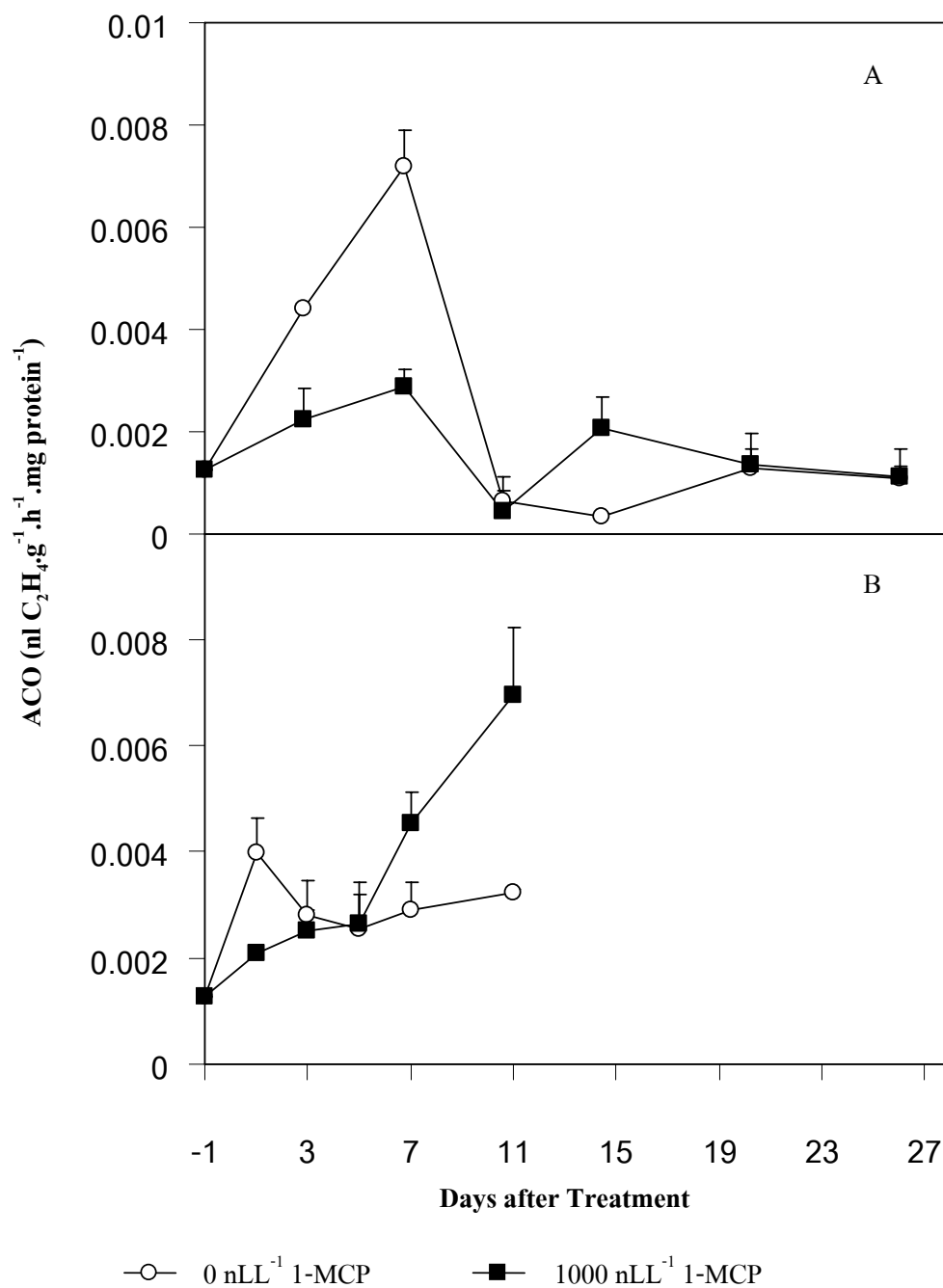
ภาพที่ 18 ปริมาณ ACC ในเปลือกของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



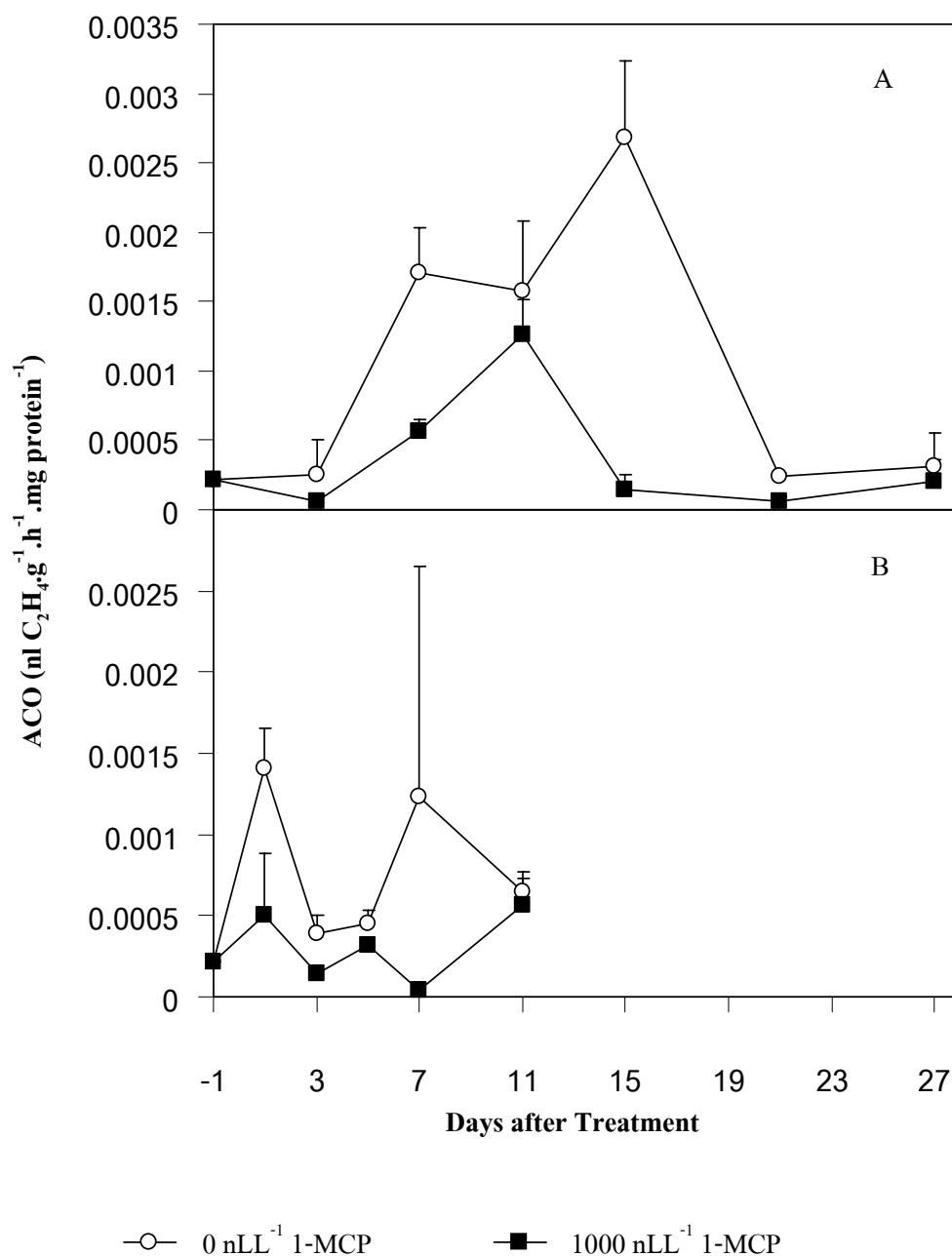
ภาพที่ 19 กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเนื้อของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



ภาพที่ 20 กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเปลือกของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รดด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



ภาพที่ 21 กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเนื้อของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)



ภาพที่ 22 กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเปลือกของผลมังคุด (ค่าเฉลี่ย±SD) รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (A) หรือ 25 องศาเซลเซียส (B) เปรียบเทียบกับผลมังคุดที่ไม่ได้รม จนกระทั่งผลมีสีม่วงดำหรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส (วันที่ -1 คือวันก่อนทำการทดลอง)

วิจารณ์

การศึกษาการตอบสนองในการกระตุ้นกระบวนการสุกของผลมังคุดจากสารปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนและอะเซทิลีน พบว่าผลมังคุดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (29 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 เปอร์เซ็นต์) มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผล (สีเขียวเป็นสีแดง) และความแข็งของเปลือกผลมังคุดลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของศิริวรรณ (2543) รายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมังคุดอย่างรวดเร็วพร้อมกับความแข็งของเปลือกผลมังคุดที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 14-15 สัปดาห์หลังจากดอกบาน ซึ่งเป็นสัปดาห์ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวผลมังคุดเพื่อรับประทาน โดยช่วงนี้เปลือกผลมีการอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเปลือกผลได้ง่ายเมื่อถูกกระทบกระเทือน (Ketsa and Atantee, 1998; Busiri *et al.*, 2003) ระยะของผลมังคุดที่ถูกกระทบกระเทือนส่งผลต่อการแข็งตัวของเปลือกผลที่แตกต่างกันโดยผลสีม่วงดำ (ระยะที่ 6) จะเกิดการแข็งเปลือกได้เร็วกว่าผลสีแดง (ระยะที่ 4) แสดงให้เห็นว่าการเก็บเกี่ยวผลมังคุดในระยะสายเลือดช่วยลดความเสียหายจากการถูกกระทบกระเทือนได้ การเปลี่ยนแปลงของสีและความแข็งของเปลือกจะเกิดขึ้นในช่วงเดียวกับการเพิ่มขึ้นสูงสุดของอัตราการหายใจ แม้ว่าอัตราการหายใจสูงสุดมีค่าไม่สูงอย่างเห็นได้ชัดเหมือนกับผลไม้ประเภท climacteric ทั่วไป แต่อัตราการหายใจของผลมังคุดในการทดลองนี้มีลักษณะคล้ายกับผลอะโวคาโด พันธุ์ 'Hass' (HersHKovitz *et al.*, 2005) ซึ่งมีรูปแบบการหายใจแบบ climacteric นอกจากนี้ยังพบอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนสูงสุดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2-3 วันแรก ทำให้ไม่พบช่วง pre-climacteric เพราะอัตราการหายใจสูงสุดของผลมังคุดในระยะสายเลือดนี้เกิดได้เร็ว (สมโภชน์, 2534) และพบลักษณะการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นสองครั้งหลังการเก็บเกี่ยว อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกผลมังคุดเกิดกระบวนการสุกและมีการเปลี่ยนแปลงสีขึ้น ส่วนเอทิลีนที่พบอีกครั้งอาจเกิดจากการหลุดร่วงของกลีบเลี้ยงหรือการเหี่ยวของกลีบเลี้ยงและข้าวผล คล้ายกับในผลกล้วย (Pathak *et al.*, 2003) ที่มีการสังเคราะห์เอทิลีนสูงในสองช่วงคือช่วงที่ผลมีการเปลี่ยนแปลงของสีและช่วงที่มีการหลุดร่วงของผลจากขั้ว (Paull, 1996)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (SSC) ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการบ่ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของกวิศร์ (2522) ที่รายงานว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงเมื่อผลมังคุดมีการสุกเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (SSC:TA) เพิ่มขึ้น ผลมังคุดหลังเก็บเกี่ยวปริมาณ SSC มีค่าคงที่ไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมังคุดมีการสะสมอาหาร

ในรูปของกรดและน้ำตาลแทนที่จะสะสมอาหารในรูปแป้งเหมือนผลไม้ climacteric ทั่วไป (สมโภชน์, 2534) ดังนั้นจึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของ TA ที่ลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นอาจเนื่องจากการถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจมากกว่าน้ำตาล (จริงแท้, 2546; Wills *et al.*, 1998) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงรสชาติของมังคุดเมื่อผลสุกเกิดจากการลดลงของ TA ดังนั้น SSC:TA จึงมีความสัมพันธ์กับวัยและคุณภาพการรับประทานของมังคุดมากกว่าการวัดเพียง SSC หรือ TA อย่างเดียว (จริงแท้, 2546)

ผลไม้ประเภท climacteric ที่ยังไม่มีควมบริบูรณ์หรืออ่อนเกินไปมีความไวต่อเอทิลีนต่ำหรือมีความต้านทานต่อเอทิลีน (จริงแท้, 2546) การเก็บเกี่ยวผลในระยะดังกล่าวทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกมังคุดจากสีเขียวเป็นสีแดงภายหลังการเก็บเกี่ยว เกษตรกรจึงสามารถคัดแยกผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวอ่อนเกินไปได้ สอดคล้องกับรายงานของสายชล (2549) ซึ่งกล่าวถึงปัจจัยในการบ่มผลไม้ว่าต้องเลือกผลไม้ที่มีความบริบูรณ์เต็มที่ก่อน แม้การเก็บเกี่ยวผลมังคุดที่บริบูรณ์ไม่เต็มที่ที่จะสามารถสุกได้แต่คุณภาพการรับประทานจะไม่ดี (สมโภชน์, 2535) แต่ถ้าผลมีความบริบูรณ์ ความต้านทานต่อเอทิลีนลดลงทำให้ไวต่อการตอบสนองต่อเอทิลีนเพิ่มขึ้น โดยเอทิลีนมีผลต่อกระบวนการสุกของผลมังคุด และเอทิลีนเพียงเล็กน้อยที่ผลมังคุดผลิตขึ้นเองก็เพียงพอสำหรับกระตุ้นกระบวนการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีของผลได้ดังเช่น Dominguez and Vendrell (1993) กล่าวว่า การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เป็นผลจากเอทิลีนที่พืชสังเคราะห์ โดยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเอนไซม์นี้ดังกล่าวมีบทบาทในการสลายคลอโรฟิลล์อย่างต่อเนื่อง (Trebitsh *et al.*, 1993) ดังนั้นเอทิลีนจากภายนอกจึงไม่จำเป็นต่อการเร่งกระบวนการสุกของผลมังคุดให้เร็วกว่านี้ แสดงให้เห็นว่าผลมังคุดเป็นผลไม้ประเภท climacteric ที่เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกแล้ว สามารถดำเนินกระบวนการดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่อง แม้เพิ่มเอทิลีนเข้าไปในช่วงนี้ก็ไม่มีผลเร่งการสุกให้เร็วขึ้นได้ (นพดล, 2537; Gazit and Blumenfeld, 1970)

การใช้เอทิลีนและแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวิธีการที่ช่วยกระตุ้นกระบวนการสุกของผลไม้หลายชนิดได้ เช่น แอปเปิ้ล (Jones, 1979; Larrigaudiere *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2002) ลองกอง (นพรัตน์, 2528) มะม่วง (เรณู, 2527; อัญชลี, 2531; กาญจนา, 2537; Singh and Janes, 2001; Shah *et al.*, 2002; Mahayothee *et al.*, 2004) ราสเบอร์รี่สีแดงพันธุ์ ‘Sceptar’ (Gerasopoulos and Stavroulakis, n.d.) และกล้วย (สุพจน์, 2538; สุภาพรณ, 2538; สุจริต, 2548) เอทิลีนช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงสีโดยอาจไปกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase (สุจริต, 2548) และเพิ่มปริมาณ anthocyanin (Gerasopoulos and Stavroulakis, n.d.; Larrigaudiere *et al.*, 1996) อีกทั้งเอทิลีนยังมี

ผลลดความแน่นเนื้อ ผลจึงสุกสม่ำเสมอ และมีคุณภาพดี สำหรับการเร่งการสุกของผลมังคุดด้วยเอทิลพอนนั้นได้มีการศึกษาโดยอัมพิกา และคณะ (2540) ใช้เอทิลพอนความเข้มข้น 200-400 ไมโครลิตรต่อลิตร ฉีดพ่นไปบนต้นมังคุดที่มีผลมังคุดอยู่ในระยะสายเลือดสามารถชักนำให้ผลมังคุดเปลี่ยนสีเร็วขึ้น แต่บ่มผลมังคุดด้วยเอทิลพอนภายหลังการเก็บเกี่ยว กลับไม่สามารถกระตุ้นการสุกของผลมังคุดได้ อาจเนื่องจากผลมังคุดที่ติดอยู่บนต้นเมื่อได้รับเอทิลินสามารถตอบสนองต่อการบ่มได้ดีกว่าผลมังคุดภายหลังการเก็บเกี่ยว ส่วนแคลเซียมคาร์ไบด์ สมนทรสน์ (2536) รายงานว่า การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์กับผลมังคุดที่ยังเขียวและผลที่เริ่มเป็นสายเลือดพบว่าผลมังคุดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงภายใน 1-2 วัน แต่คุณภาพผลไม่ดี ขณะที่การทดลองนี้พบว่าการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์กลับทำให้ผลมังคุดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงอย่างรวดเร็วเช่นกันแต่คุณภาพไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ซึ่งเป็นการยืนยันผลการบ่มว่าผลมังคุดเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกแล้วจะมีการผลิตเอทิลินเพียงพอต่อการกระตุ้นการสุกของผลต่อไปได้ ซึ่งการให้เอทิลินหรือสารทำหน้าที่คล้ายเอทิลินเช่น อะเซททิลินจากแคลเซียมคาร์ไบด์จึงไม่จำเป็นต่อการเร่งกระบวนการสุกของผลมังคุด

สาร 1-MCP ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับศึกษากระบวนการสุกที่เกี่ยวข้องกับเอทิลินได้เป็นอย่างดี เนื่องจาก 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลิน (Dong *et al.*, 2002; Pathak *et al.*, 2003) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่ทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์สารสีอื่น ๆ ในผลไม้ (Abeles, 1973; Koning, 1994) นอกจากนี้ 1-MCP ยังเข้าไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase และชะลอการสร้างแอนโทไซยานิน ทำให้ชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผล เช่นเดียวกับในสตรอเบอรี่ (Jiang *et al.*, 2001) รวมทั้งชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อได้และชะลอการสุกในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น กัลวีย (Jiang *et al.*, 2004; Inaba *et al.*, 2007) มะละกอ (Manenoi *et al.*, 2007) พลับ (Nakano *et al.*, 2003; Salvador *et al.*, 2004; Luo, 2007) มะเขือเทศ (Huber *et al.*, 2003) บล๊อคโคลี่ (Fan and Mattheis, 2000) และอะโวคาโด (Feng *et al.*, 2000; Huber *et al.*, 2003; Hershkovitz *et al.*, 2005) ส่วนการเปลี่ยนแปลงรสชาติของผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP พบว่าชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) โดยเมื่อผลมังคุดสุกให้ผลที่ไม่แตกต่างกับทางสถิติกับชุดควบคุม ขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (SSC:TA) ของผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับในผลส้ม (Porat *et al.*, 1999) มะเขือเทศ (Moretti *et al.*, 2002) และ แอฟริคอฟันธุ์ 'Canino' (Dong *et al.*, 2002) ที่มีค่า SSC และ TA ไม่แตกต่างระหว่างผลที่รมและไม่รมด้วย 1-MCP แต่ในผลไม้หลายชนิดเช่น กัลวีย (Jiang *et al.*, 2004) เนคทารีนพันธุ์ 'Stark Red Gold' (Bregoli *et al.*, 2005) และละมุด

(Qiuping *et al.*, 2006) พบว่าเมื่อรมด้วย 1-MCP ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของ SSC และการลดลงของ ปริมาณ TA แต่ในบางครั้งช่วยชะลอการลดลงของ TA แต่ไม่มีผลต่อ SSC เช่นในพลัมพันธุ์ ‘Royal Zee’ (Dong *et al.*, 2002) จะเห็นได้ว่าการตอบสนองของ SSC และ TA ต่อ 1-MCP ให้ผลที่แตกต่างไปตามชนิดและพันธุ์ของพืชนั้น อาจเนื่องจากความแตกต่างของเนื้อเยื่อและการเคลื่อนย้ายเอทิลินของพืชนั้น ๆ (Porat *et al.*, 1999) ผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างช้า ๆ แม้ว่าจะเก็บรักษาผลม้งคุดนานขึ้นเรื่อย ๆ สีเปลือกผลก็ยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าเปลือกของผลจะมีจุดสีน้ำตาลกระจายตัวบนพื้นสีแดง และจะเริ่มแข็งตัว กลีบเลี้ยงและขั้วผลเหี่ยว คล้ายกับอาการสะท้อนหนาวแต่เนื้อภายในรับประทานได้แล้ว และไม่มีสีและรสชาติผิดปกติ (รุจิรา, 2540; Salunkhe and Desai, 1984) แต่สามารถชะลอการลดลงของความแข็งเปลือกผลได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Noichinda *et al.* (2007) พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลม้งคุดที่ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการอ่อนนุ่มของเปลือกผล เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายผนังเซลล์

อัตราการหายใจสูงสุดของผลม้งคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส จะเกิดอย่างรวดเร็ว (สมโภชน์, 2534) และเมื่อรมด้วย 1-MCP ชะลออัตราการหายใจสูงสุดได้ เช่นเดียวกับในผลพลับ (Luo, 2007) กล้วย (Jiang *et al.*, 2004) พลัมพันธุ์ ‘Royal Zee’ (Dong *et al.*, 2002) และ อะโวคาโด (HersHKovitz *et al.*, 2005) แต่เมื่อเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส พบว่าผลม้งคุดในชุดควบคุมมีอัตราการหายใจสูงที่อาจเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะชะลอกระบวนการหายใจลง (จริงแท้, 2546; Wills *et al.*, 1989) และเมื่อรมด้วย 1-MCP ทำให้อัตราการหายใจลดลง ซึ่งสอดคล้องกับในบล๊อคโคลี่ (Fan and Mattheis, 2000) แอปริคอตพันธุ์ ‘Canino’ (Dong *et al.*, 2002) แอปเปิ้ล (Safitner *et al.*, 2003) และ กล้วย (Pelayo *et al.*, 2003) แสดงให้เห็นว่า 1-MCP มีผลทั้งการลด และ/หรือชะลออัตราการหายใจสูงสุด (Blankenship and Dole, 2003; Ergun *et al.*, 2005)

การสังเคราะห์เอทิลินของผลม้งคุดเมื่อเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากการย้ายผลม้งคุดขณะที่ยังรม 1-MCP จากที่ 25 องศาเซลเซียส มาเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส จึงเกิดการปรับตัวของผลม้งคุดส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลิน คล้ายกับในผลสับปะรด ซึ่งมีการสังเคราะห์เอทิลินสูงในช่วงแรกของการเก็บรักษา จากนั้นจึงลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงท้าย (Selvarajah *et al.*, 2001) รวมถึงในผลแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทำให้มีการกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลินเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำตลอดการสังเคราะห์เอทิลินจะต่ำ (LarriGaudiere *et al.*, 1997; Vilaplana *et*

al., 2007) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลมังคุดที่ 15 องศาเซลเซียส พบว่าสังเคราะห์เอทิลีนจะลดลง และอยู่ในระดับต่ำเมื่อเก็บรักษาต่อมา ซึ่งเมื่อรวมผลมังคุดด้วย 1-MCP สามารถชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนในผลมังคุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับในผลพลับ (Luo, 2007) อะโวคาโด (Feng *et al.*, 2000) และผลพลัมพันธุ์ 'Royal Zee' และ 'Tegan Blue' (Dong *et al.*, 2002; Khan and Singh, 2007) แต่ในบางครั้ง 1-MCP ลดการสังเคราะห์เอทิลีนในผลพลับ (Nakano *et al.*, 2003) ผลแอฟริคอตพันธุ์ 'Canino' (Dong *et al.*, 2002) และแอปเปิ้ล (Safner *et al.*, 2003; Vilaplana *et al.*, 2007) แสดงให้เห็นว่า 1-MCP มีผลทั้งช่วยในการลด และ/หรือชะลอการสังเคราะห์เอทิลีน (Ergun *et al.*, 2005) และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยลดและชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจสูงสุดได้ (Antunes *et al.*, 2000)

1-MCP สามารถชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนให้ช้าลง เนื่องจากการสังเคราะห์ตัวรับเอทิลีนขึ้นมาใหม่เรื่อย ๆ 1-MCP ที่เข้าไปจับกับตัวรับเอทิลีนนั้นไม่เพียงพอ ทำให้อเอทิลีนสามารถเข้ามาจับกับตัวรับเอทิลีนได้ในที่สุด เริ่มกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอีกจากการตอบสนองในระบบ autocatalysis ทำให้เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นการยับยั้งโดย 1-MCP จึงสิ้นสุดลง (Sisler *et al.*, 1996a) 1-MCP ไม่ได้มีผลเพียงชะลอและลดการสังเคราะห์เอทิลีนเท่านั้น แต่ในบางครั้งเมื่อรวมด้วย 1-MCP สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นเช่นในผลกล้วย (Pelayo *et al.*, 2003) และสับปะรดที่เก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำ (Selvarajah *et al.*, 2001) โดยผลมังคุดในชุดควบคุมเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อรวมด้วย 1-MCP สุดท้ายจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนสูงกว่าชุดควบคุม แม้จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ คล้ายกับในผลพลับ (Nakano *et al.*, 2003) ในการทดลองบ่มเอทิลีนและแคลเซียมคาร์ไบด์และการทดลองที่รวมด้วย 1-MCP ในผลมังคุดชุดควบคุมลักษณะของอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดขึ้นให้ผลที่แตกต่างกันไปอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาเมื่อบ่มจะอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ขณะที่เมื่อรวมด้วย 1-MCP จะอยู่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส และผลมังคุดที่ใช้จะอยู่ในปีที่ต่างกันทำให้อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนที่ได้แตกต่างกันไป (Koslanund *et al.*, 2005)

การสังเคราะห์เอทิลีนในระบบ autocatalysis ถูกชะลอและลดระหว่างการสุก จากความสามารถของ 1-MCP ที่เข้าไปจับกับตัวรับเอทิลีนอย่างถาวร (Sisler *et al.*, 1996a; 1996b; Lalel *et al.*, 2003) แต่ไม่มีผลต่อเอทิลีนที่พืชสร้างขึ้นเอง (Pathak *et al.*, 2003) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เปลือกผลไม้ที่พลจากจากการสังเคราะห์เอทิลีนภายในเนื้อของผล โดยการกระตุ้นให้เอนไซม์

chlorophyllase มีกิจกรรมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เปลือกผลเปลี่ยนสี (Dominguez and Vendrell, 1993) จากการทดลองเมื่อเก็บรักษาผลมังคุดที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าผลมังคุดเมื่อได้รับ 1-MCP สามารถชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อผล แต่ลดการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกของผลมังคุด แสดงให้เห็นว่า 1-MCP มีผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนแตกต่างกันไปตามส่วนต่าง ๆ ของผลไม้ (Blankenship and Dole, 2003) เช่นในผลกล้วย (Inaba *et al.*, 2007) และ พลับ (Nakano *et al.*, 2003) พบว่าเมื่อรมด้วย 1-MCP ลดการสังเคราะห์เอทิลีนที่เปลือกผล แต่ในเนื้อผลนั้นให้ผลที่แตกต่างกันโดยในพลับ 1-MCP ลดการสังเคราะห์เอทิลีน แต่ในกล้วย 1-MCP กระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนให้เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เห็นความแตกต่างของการสังเคราะห์เอทิลีนและการตอบสนองที่แตกต่างกันของเนื้อและเปลือก (McGlasson, 1985) การเก็บรักษาผลมังคุดที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อของผลมังคุดแต่การสังเคราะห์ยังเกิดได้ปกติ ส่วนในเปลือกผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส มีค่าไม่คงที่แน่นอน ทั้งที่รมและไม่รมด้วย 1-MCP อาจเป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกผลแต่มีผลน้อยต่อเนื้อมังคุด ซึ่งตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเปลือกผลมังคุดที่มีการพัฒนาสีไม่สมบูรณ์ แต่เนื้อภายในรับประทานได้ปกติเมื่อเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส (รุจิรา, 2540; Salunkhe and Desai, 1984) แสดงให้เห็นได้ชัดว่าเนื้อและเปลือกของผลมังคุดมีความแตกต่างกันในการตอบสนองและการสังเคราะห์เอทิลีน เมื่อมาเปรียบเทียบการสังเคราะห์เอทิลีนระหว่างทั้งผลกับเนื้อและเปลือกเพื่อศึกษาการสุกของผลมังคุดโดยปกติเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 16) พบว่าการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกิดในเปลือกเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 ช่วง อาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเนื้อผลที่มีสูงในช่วงแรกมีผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นในเนื้อและเปลือก ซึ่งไปกระตุ้นการสุกของเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีแดง ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเนื้อและเปลือกเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ไปมีผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกผลอีกครั้งหนึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงเป็นสีม่วงดำ ส่วนการสะสมของปริมาณ ACC ที่เพิ่มสูงขึ้น อาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ ACO ที่ลดลงหรือกิจกรรมของเอนไซม์ malonyl transferase ถูกยับยั้ง (Larrigaudiere *et al.*, 1997)

การเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ในเนื้อของผลมังคุด ซึ่งตรงกับการชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนที่พบในเนื้อ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลมังคุดที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอกระบวนการสุกของเนื้อผลโดยเนื้อยังสุกได้ปกติ (รุจิรา, 2540; Salunkhe and Desai, 1984) เช่นเดียวกับในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ ‘Granny Smith’ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACO และ

การสะสมของปริมาณ ACC ในเนื้อของผลแอปเปิ้ลรวมทั้งเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเปลือกของผล (Lara and Vendrell, 2003) และเมื่อได้รับ 1-MCP เนื้อของผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และปริมาณ ACC เพิ่มสูงกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับในกล้วย ซึ่ง 1-MCP อาจไปขัดขวางการควบคุมย้อนกลับของการสังเคราะห์เอทิลีน ในเนื้อผลมังคุดแบบยับยั้ง (negative feedback regulation) (Inaba *et al.*, 2007) ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ ACS เพิ่มขึ้นหรือการสังเคราะห์ MACC ถูกขัดขวาง (Golding *et al.*, 1998) นอกจากนี้ยังชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ACO ได้ เช่นเดียวกับใน เนคทารีนพันธุ์ ‘Flavortop’ ที่ 1-MCP ยับยั้งการถอดรหัสของยีน ACO ระหว่างการเก็บรักษา (Dong *et al.*, 2001)

การเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถลดการสะสมของ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS แต่ชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเปลือกของผลมังคุด ส่งผลต่อการสังเคราะห์เอทิลีนที่พบในเปลือกของผลมังคุดระหว่างการสุก ทำให้การพัฒนาสีเปลือกผลไม่สมบูรณ์ มีจุดสีน้ำตาลกระจายตัวบนเปลือกสีแดงและเริ่มแข็งตัว อาจเนื่องจากเปลือกผลสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำทำให้น้ำเชื้อและเซลล์บริเวณนั้นถูกทำลายได้รับความเสียหาย คล้ายกับผลมังคุดตกกระทบที่มีการแข็งตัวของเปลือกผลเกิดขึ้น ซึ่งทำให้การสังเคราะห์เอทิลีน ปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS ลดลง (อาภากรณ์, 2537) หรือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลดการสังเคราะห์เอทิลีนโดยจำกัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS มากกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ ACO (Stavroulakis and Sfakiotakis, 1995; Pathak *et al.*, 2003) เช่นเดียวกับในผลกีวี พันธุ์ ‘Hayward’ (Antunes *et al.*, 2000) เมื่อได้รับ 1-MCP พบว่าเปลือกของผลมีปริมาณ ACC และกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO ลดลง ตรงกับที่ 1-MCP ไปลดการสังเคราะห์เอทิลีนที่พบในเปลือกของผลมังคุด สอดคล้องกับในผลกล้วย (Inaba *et al.*, 2007) ซึ่งเป็นการควบคุมย้อนกลับของการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกผลมังคุดแบบกระตุ้น (positive feedback regulation)

สรุป

การศึกษาบทบาทของสารกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนและสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อกระบวนการสุก และกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีนในผลมังคุดเมื่อได้รับสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน สามารถสรุปผลดังต่อไปนี้

1. การให้เอทิลีนและอะเซทิลีนที่ได้จากเอทิลีนและแคลเซียมคาร์ไบด์ตามลำดับ ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่สามารถกระตุ้นกระบวนการสุกของผลมังคุดในระยะสายเลือดได้
2. ผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกเป็นสีม่วงดำได้นาน 4 วันเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รม และชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนและอัตราการหายใจได้
3. การเก็บรักษาผลมังคุดที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสุกของผลมังคุดระยะสายเลือดได้ โดยถ้าเก็บไว้นานเกิน 15 วัน สีของเปลือกผลมังคุดจะเกิดจุดสีน้ำตาลและเริ่มมีการแข็งตัว ส่วนกลีบและขั้วผลเหี่ยว การสังเคราะห์เอทิลีนลดลง โดยลดกิจกรรม ACS และปริมาณ ACC ในเปลือกมังคุด
4. ผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเหี่ยวของกลีบเลี้ยงและขั้วผลเมื่อย้ายมาเก็บรักษาต่อที่ 25 องศาเซลเซียส
5. ผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ชะลอการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อผลได้ โดยไปชะลอการเพิ่มขึ้นของกิจกรรม ACS และ ACO และปริมาณ ACC ในผลมังคุดเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส
6. ผลมังคุดที่รมด้วย 1-MCP 1000 นาโนลิตรต่อลิตร นาน 6 ชั่วโมง ลดการสังเคราะห์เอทิลีนในเปลือกผลได้ โดยลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACS และ ACO และปริมาณ ACC ในผลมังคุดเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

- กวิศร์ วานิชกุล. 2522. 1. การเจริญเติบโตของผลมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) 2. ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงหลังเก็บเกี่ยวของผลมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.). ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กวิศร์ วานิชกุล. 2536. 35 คำถามกับการปลูกมังคุด. เอกสารเผยแพร่ลำดับที่ 53 ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. แหล่งที่มา: <http://agritech.doae.go.th/agri-media/book-file/book-fruit/mangoste.pdf>, 6 มีนาคม 2551.
- กาญจนา เหลืองสุวาลัย. 2537. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ดัชนีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการบ่มผลมะม่วง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- แก้วกาญจน์ เชียรวิภาส. 2539. คุณภาพผลภายหลังการบ่มกล้วยหอมทองที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุต่าง ๆ กัน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสมสิต ปันเปี่ยมรัชฎ์. 2548. เกษตรก้าวหน้า: เคล็ดลับสู่ความมั่นคงของเกษตรกรไทย. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ครั้งที่พิมพ์ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- นพรัตน์ พันธุนิช. 2528. ผลของ ethephon ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของผลลองกอง. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอโมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพมหานคร.

- นฤมล ศรีศิริกุล. 2525. การสุกของผลมะม่วงที่ป้อนด้วย acetylene ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มณฑินี ชีวรักษ์. 2544. การโคลนยีน 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase และ ACC oxidase ที่กำหนดการสร้างเอทิลีนในกล้วยไม้ออนชิจิเดียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยศพล ผลาผล และ สายชล เกตุษา. 2548. ผลของวัย เอทิลีน และอุณหภูมิ ต่อคุณภาพและปริมาณแอนโทไซยานินของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว, น.49-50. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 2 (สาขาพืช). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- เรณู ขำเลิศ. 2527. การเร่งและชะลอการสุกของผลมะม่วงพันธุ์อกร่องทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุจิรา เชื้อหอม. 2540. ผลของการเคลือบผิวและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมทรรสน์ นันทะไชย. 2536. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวทุเรียนและมังคุด, น. 42-53. ใน สุรจิตติ ศรีกุลม, มนตรี อิศร ไกรศีล และ เทียง ตู้แก้ว, บรรณาธิการ. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคโนโลยีการผลิตและการเก็บเกี่ยว พืชสวนในภาคใต้ เพื่อการส่งออก. ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี.
- สมเกียรติ เสริมศักดิ์. 2543. การปลูกมังคุด. พิมพ์ครั้งที่ 1. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร. 71 น.
- สมโภชน์ น้อยจินดา. 2534. ผลของ GA₃ ต่อผลมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) วัยสายเลื้อย. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2535. ผลของสภาพบรรยากาศตัดแปลงที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมังคุด (*Garcinia mangostana* L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายชล เกตุษา. 2548. การแข็งของเปลือกผลมังคุดหลังการตกกระทบ. วารสารราชบัณฑิตยสถาน 30(3): 632-639.

สายชล เกตุษา. 2549. การบ่มผลไม้ให้สุก. วารสารราชบัณฑิตยสถาน 31(4): 1177-1186.

สุจิตต์ ส่วนไพโรจน์. 2548. บทบาทของอุณหภูมิและเอทิลฟอนต่อการสุกและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยหอมแกรนด์เนน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชัยญา จันทร์ทักษิณภาส. 2530. การบ่ม การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวได้อิทธิพลของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์กับการขจัดความฝาดของผลละมุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพจน์ ปิ่นพงษ์. 2538. การบ่มกล้วยไข่ด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์และเอทิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาพรรณ ธรรมสุวรรณ. 2538. ผลของแคลเซียมคาร์ไบด์และเอทิลีนในการบ่มผลกล้วยหอมพันธุ์แกรนด์เนน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมาลี บุญประสพ. 2533. ผลของอายุการเก็บเกี่ยว การเคลือบผิว และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมังคุด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2529. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มังคุด ทุเรียน เงาะ (ตอนที่1). เกษการเกษตร 10 (114):42-45.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. ม.ป.ป. การปฏิบัติการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวมังคุดเพื่อการส่งออก, น. 35-47. ใน กลุ่มกิจการสิ่งพิมพ์ AGRO COMMUIKA BUREAU, ผู้รวบรวม. **มังคุด TRENDS & POTENTIALS**. เปเปอร์ออฟเซ็ท, กรุงเทพมหานคร.

สุรพล มนัสเสรี. 2541. เอกสารคำสอนหลักการไม้ผล. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะเกษตรและ
อุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏสงขลา, สงขลา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **มังคุด**. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2549.
แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/pdf/commmodity_v1.pdf, 15 กุมภาพันธ์ 2551.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. **มังคุดสดแช่เย็นแช่แข็ง: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกราย
เดือน**. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/export/1301Mug.xls>, 15 กุมภาพันธ์
2551.

ศิริวรรณ แดงน้ำ. 2543. **กลไกการเกิดอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาภาภรณ์ มีนาพันธ์. 2537. **การสร้างเอทิลีนของเปลือกผลมังคุดที่แข็งตัวเนื่องจากการตกกระทบ**.
ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุวัตร แจ่มชัด และ จุติยา รัตนไทรภพ. 2546. **การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามังคุด**.
เครือข่ายข้อมูลวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว Postharvest Technology Information Network.
แหล่งที่มา: <http://www.phtnet.org/research/viewResearch.asp?id=14>, 27 ธันวาคม 2548.

อัญชลี เมืองเจริญ. 2531. **คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีและการบ่มผลมะม่วงพันธุ์แก้วลิ้มรั้ง**.
ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัมพิกา ปูนนจิต, เสริมสุข สลักเพ็ชร และ สุขวัฒน์ จันทรปรณิก. 2540. **การเพิ่มปริมาณผลผลิต
ที่มีคุณภาพ**, น. 13-26. ใน ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการ

เกษตร, ผู้รวบรวม. เอกสารวิชาการเรื่องเทคโนโลยีการผลิตมังคุดให้มีคุณภาพ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

อภิรดี อุทัยรัตนกิจ. 2538. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของเปลือกผลมังคุดที่แห้งตัวเนื่องจากได้รับอุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abeles, F.B. 1973. **Ethylene in Plant Biology**. Academic Press, New York.

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

Alexander, L. and D. Grierson. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **J. Exp. Bot.** 53(377): 2039-2055.

Antunes, M.D.C., I. Pateraki, A.K. Kanellis and E.M. Sfakiotakis. 2000. Differential effects of low-temperature inhibition on the propylene induced autocatalysis of ethylene production, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. **J. Hortic. Sci. Biotechnol.** 75(5): 575-580.

A.O.A.C. 1984a. Acidity (titratable) of fruit products, pp 420. In W. Sidney, ed. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington.

A.O.A.C. 1984b. Solids (soluble) in fruits and fruit products refractometer method, pp 417. In W. Sidney, ed. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington.

- Bates, B.R. and H. Warner. 2001. **1-MCP and fruit quality**. Perishables Handling Quarterly. Available Source: <http://postharvest.ucdavis.edu/datastorefiles/234-37.pdf>, March 6, 2008
- Blankenship, S.M. and J.M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biol. Technol.** 18: 1-25.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72 : 248-254.
- Bregoli, A.M., V. Ziosi, S. Biondi, A. Rasori, M. Ciccioni, G. Costa and P. Torrigiani. 2005. Postharvest 1-methylcyclopropene application in ripening control of 'Stark Red Gold' nectarines: Temperature-dependent effects on ethylene production and biosynthetic gene expression, fruit quality, and polyamine level. **Postharvest Biol. Technol.** 37: 111-121.
- Bunsiri, A., S. Ketsa and R.E. Paull. 2003. Phenolic metabolism and lignin synthesis in damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. **Postharvest Biol. Technol.** 29: 61-71.
- Candlish, J.K., L. Gourley and H.P. Lee. 1987. Dietary fiber and starch in some Southeast Asian fruits. **J. Food. Comp. Anal.** 1(1): 81-84.
- Chalmers, D.J. and J.D. Faragher. 1977. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. II. involvement of ethylene. **Aust. J. Plant Physiol.** 4: 111-121.
- Choehom, R., S. Ketsa and W.G. van Doorn. 2003. Chilling injury in mangosteen fruit. **J. Hort. Sci. Biotechnol.** 78(4): 559-562.
- Czarny, J.C., V.P. Grichko and B.R. Glick. 2006. Genetic modulation of ethylene biosynthesis and signaling in plant. **Biotechnol. Adv.** 24(4): 410-419.

- DeEll, J.R., D.P. Murr, M.D. Porteous and H.P.V. Rupasinghe. 2002. Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 349-353.
- Dominguez, M. and M. Vendrell. 1993. Ethylene biosynthesis in banana fruit: evolution of EFE activity and ACC level in peel and pulp during ripening. **J. Hortic. Sci.** 60: 63-70.
- Dong, L., H. Zhou, L. Sonego, A. Lers and S. Lurie. 2001. Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine. **Postharvest Biol. Technol.** 23: 105-115.
- Dong, L., S. Lurie and H.W. Zhou. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 135-145.
- Ergun, M., S.A. Sargent, A.J. Fox, J.H. Crane and D.J. Huber. 2005. Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. **Postharvest Biol. Technol.** 36: 127-134.
- Fan, X. and J.P. Mattheis. 2000. Yellowing of broccoli in storage is reduced by 1-methylcyclopropene. **HortScience** 35: 885-887.
- Fan, X., S.M. Blankenship and J.P. Mattheis. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **J. Amer. Soc Hort. Sci.** 124: 690-695.
- Feng, X., A. Apelbaum, E.C. Sisler and R. Goren. 2000. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biol. Technol.** 20: 143-150.
- Gazit, S. and A. Blumenfeld. 1970. Response of mature avocado fruits to ethylene treatment before and after harvest. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 95(2): 229-231.

- Gerasopoulos, D. and G. Stavroulakis. n.d. **Temperature and ethephon effect on storability of ‘Sceptar’ red raspberries**. CIHEAM-Options Mediteraneenes. Available Source: <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c42/CI020456.pdf>, February 19, 2008
- Golding, J.B., D. Shearer, S.G. Wyllie and W.B. McGlasson. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 14 (1): 87-98.
- Goldschmidt, E.E., Y. Aharoni, S.K. Eilati, J.W. Riov, and S.P. Monselise. 1977. Differential counteraction of ethylene effects by gibberellin A3 and N6-benzyladenine in senescing citrus peel. **Plant Physiol.** 59: 193-195.
- Harlan, J.R. 1995. **The Living Field: Our Agricultural Heritage**. 1st ed. Cambridge University Press, New York.
- Harris, D.R., J.A. Seberry, R.B.H. Wills and L.J. Spohr. 2000. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biol. Technol.** 20: 303-308.
- Hawley, G.G. 1987. **The Condensed Chemical Dictionary**. V.N.R. Company (London) Lit. Educ. Pub. Inc., London.
- Hershkovitz, V., S.I. Saguy and E. Pesis. 2005. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. **Postharvest Biol. Technol.** 37: 252-264.
- Hoerberichts, F.A., L.H.W. van der Plas and E.J. Woltering. 2002. Ethylene perception is required for the expression of tomato ripening-related genes and associated physiological changes even at advanced stages of ripening. **Postharvest Biol. Technol.** 26: 125-133.

- Hoffman, N.E. and S.F. Yang. 1982. Enhancement of wound induced ethylene synthesis by ethylene in preclimacteric cantaloupe. **Plant Physiol.** 69: 317-322.
- Houghton Mifflin Company. 2000. **Calcium carbide**. The American Heritage[®] Dictionary of the English Language. Available Source: <http://www.yourdictionary.com/ahd/c/c0028300.html>, August 5, 2006.
- Huber, D., J. Jeong and M. Ritenour. 2003. **Use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on tomato and avocado fruits: potential for enhanced shelf life and quality retention**. University of Florida IFAS Extension. Available Source: <http://edis.ifas.ufl.edu/HS151>, [October 18](#), 2006.
- Inaba, A., X. Liu, N. Yokotani, M. Yamane, W.J. Lu, R. Nakano and Y. Kubo. 2007. Differential feedback regulation of ethylene biosynthesis in pulp and peel tissues of banana fruit. **J. Exp. Bot.** 58(5): 1047-1057.
- Jiang, Y. and D.C. Joyce. 2002. 1-Methylcyclopropene treatment effects on intact and fresh-cut apple. **J. Hortic. Sci. Biotechnol.** 77: 19-21.
- Jiang, Y., D.C. Joyce, and A.J. Macnish. 1999. Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. **Plant Growth Reg.** 28: 77-82.
- Jiang, Y., D.C. Joyce, and L.A. Terry. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biol. Technol.** 23:227-232.
- Jiang, W., M. Zhang, J. He and L. Zhou. 2004. Regulation of 1-MCP-treated banana fruit quality by exogenous ethylene and temperature. **Food Sci. Tech. Int.** 10(1):15-20.
- Jones, K. M. 1979. The use of ethephon in advancing red colour in the apple cultivar Tydemann Early. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 19: 251-256.

- Kamo, T., N. Hirai, M. Tsuda, D. Fujioka and H. Ohigashi. 2000. Changes in the content and biosynthesis of phytoalexins in banana fruit. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 64: 2089-2098.
- Kato, M. and H. Hyodo. 1999. Purification and characterization of ACC oxidase and increase in its activity during ripening of pear fruit. **J. Japan. Soc. Hort. Sci.** 68(3): 551-557.
- Kende, H. 1993. Ethylene biosynthesis. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 44: 283-307.
- Ketsa, S. and S. Atantee. 1998. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. **Postharvest Biol. Technol.** 14: 117-124.
- Khan, A.S. and Z. Singh. 2007. 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. **Postharvest Biol. Technol.** 43: 298-306.
- Khanna, R. M. 2006. **Bitter truth about fruit.** Spectrum. Available Source: <http://www.tribuneindia.com/2006/20060528/spectrum/main1.htm>, August 5, 2006.
- Koning, R.E. 1994. **Fruit Ripening.** Plant Physiology Information Website. Available Source: http://plantphys. Info/plants_human/fruitgrowripe.html, February 28, 2008.
- Koslanund, R., D.D. Archbold and K.W. Pomper. 2005. Pawpaw (*Asimina trioba* (L.) Dunal) fruit ripening. I. Ethylene biosynthesis and production. **J. Amer. Soc Hort. Sci.** 130(4): 638-642.
- Lahav, E. and M. Gottreich. 1984. The effect of growth hormones on bananas: a review. **Plant Growth Reg.** 2:15-30.

- Lalel, H.J.D., Z. Singh and S.C. Tan. 2003. The role of ethylene in mango fruit aroma volatiles biosynthesis. **J. Hortic. Sci. Biotechnol.** 78: 485-496.
- Lara, I. and M. Vendrell. 2003. Cold-induced ethylene biosynthesis is differentially regulated in peel and pulp tissues of 'Granny Smith' apple fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 29: 109-119.
- Larrigaudiere, C., E. Pinto and M. Vendrell. 1996. Differential effect of ethephon and seniphos on color development of 'Starking Delicious' apple. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 121: 746-750.
- Larrigaudiere, C., J. Graell, J. Salas and M. Vendrell. 1997. Cultivar differences in the influence of a short period of cold storage on ethylene biosynthesis in apples. **Postharvest Biol. Technol.** 10(1): 21-27.
- Li, Z., H. Gemma and S. Iwahori. 2002. Stimulation of 'Fuji' apple skin color by ethephon and phosphorus-calcium mixed compounds in relation to flavonoid synthesis. **Scientia Hortic.** 94 : 193-199.
- Lieberman, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 30: 533-591.
- Liu, Y., N.E. Hoffman and S.F. Yang. 1985. Ethylene-promoted malonylation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid participates in autoinhibition of ethylene synthesis in grapefruit flavedo discs. **Planta** 164: 565-568.
- Liu, X.J., S. Shiomi, A. Nakatsuka, Y. Kubo, R. Nakamura and A. Inaba. 1999. Characterization of ethylene biosynthesis associated with ripening in banana fruit. **Plant Physiol.** 121: 1257-1265.

- Lurie, S. 2005. **Regulation of ethylene biosynthesis in fruits by aminoethoxyvinylglycine and 1-methylcyclopropene**. Stewart Postharvest Review. Available Source: http://www.stewartpostharvest.com/October_2005/Lurie.pdf, April 21, 2006.
- Luo, Z. 2007. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit. **LWT**. 40: 285-291.
- Mahayothee, B., W. Mühlbauer, S. Neidhart and R. Carle. 2004. Influence of postharvest ripening processes on appropriate maturity for drying mangoes 'Nam Dokmai' and 'Kaew'. **Acta Hort.** 645: 241-248.
- Manenoi, A., E.R.V. Bayogan, S.Thumdee and R.E. Paull. 2007. Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. **Postharvest Biol. Technol.** 44: 55-62.
- Manganaris, G.A., A.R. Vicente, C.H. Crisosto and J.M. Labavitch. 2007. Effect of dips in a 1-methylcyclopropene-generating solution of 'Harrow Sun' plums stored under different temperature regimes. **J. Agric. Food. Cham.** 55: 7015-7020.
- Mattheis, J., X. Fan and L. Argenta. 2002. **Factors influencing successful use of 1-MCP**. Washington Tree Fruit Postharvest Conference. Available Source: <http://postharvest.tfrec.wsu.edu/PC2002E.pdf>, May 19, 2006.
- McMurchie, E.J., W.B. McGlasson and I.L. Eaks. 1972. Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. **Nature** 237: 235-236.
- McGlasson, W.B. 1985. Ethylene and fruit ripening. **HortScience** 20(1): 51-54.
- Menniti, A. M., R. Gregori and I. Donati. 2005. Effect of 1-methylcyclopropene on kiwifruit softening. **Acta Hort.** 682(3): 2095-2099.

- Mir, N.A. and R.M. Beaudry. 2001. Use of 1-MCP to reduce the requirement for refrigeration in the storage of apple fruit. **Acta Hort.** 553(2): 577-579.
- Moretti, C.L., A.L. Araújo, W.A. Marouelli and W.L.C. Silva. 2002. 1-Methylcyclopropene delays tomato fruit ripening. **Hortic. Bras.** 20(4): 659-663.
- Morton, J. 1987. **Mangosteen**. Fruits of Warm Climates. Available Source: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mangosteen.html>. July 30, 2006.
- Nagaraj, P., K.V. R. Ramana, B.A. Mallikarjunaradhya, Y.M.V. Pat, S.M. Ananthakrishna, H.C. Rajpost and L. Subramanyan. 1984. Effect of calcium carbide on ripening and quality of Alphonso mangoes. **J. Food Sci. Technol.** 21: 278-281.
- Nakatsuka, N., S. Shiomi, Y. Kubo and A. Inaba. 1997. Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. **Plant Cell Physiol.** 38: 1103-1110.
- Nakano, R., E. Ogura, Y. Kubo and A. Inaba. 2003. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. **Plant Physiol.** 131: 276-286.
- Nanos, G.D., E. Agtsidou and E.M. Sfakiotakis. 2002. Temperature and propylene effects on ripening of green and black 'Conservolea' olives. **HortScience** 37(7): 1079-1081.
- Noichinda, S., K. Bodhipadma, S. Singkhornart and S. Ketsa. 2007. Change in pectic substances and cell wall hydrolase enzymes of mangosteen (*Garcinia mangostana*) fruit during storage. **NZ. J. Crop Hort. Sci.** 35: 229-233.

- Pathak, N., M.H. Asif, P. Dhawan, M.K. Srivastava and P. Nath. 2003. Expression and activities of ethylene biosynthesis enzyme during ripening of banana fruits and effect of 1-MCP treatment. **Plant Growth Reg.** 40: 11-19.
- Paull, R.E. 1996. Ethylene, storage and ripening temperatures affect Dwarf Brazilian banana finger drop. **Postharvest Biol. Technol.** 8: 65-74.
- Pelayo, V., E.V. de B. Vilas-Boas and M. Benichou. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biol. Technol.** 28: 75-85.
- PMEP staff. 2002. **1-Methylcyclopropene (1-MCP) tolerance requirement exemption.** Cornell University. Environmental Protection Agency. Available Source: http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/herb-growthreg/fatty-alcohol-monuron/methylcyclo/methylcyclo_tol_702.html, April 21, 2006.
- Porat, R., B. Weiss, L. Cohen, A. Daus, R. Goren and S. Droby. 1999. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biol. Technol.** 15: 155-163.
- Qiuping, Z., X. Wenshui and Y. Jiang. 2006. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on ripening and quality of harvested sapodilla fruit. **Food Technol. Biotechnol.** 44(4): 535-539.
- Rioy, J. and S.F. Yang. 1982. Effects of exogenous ethylene on ethylene production in citrus leaf tissue. **Plant Physiol.** 70: 136-141.
- Saftner, R.A., J.A. Abbott and W.S. Conway. 2003. Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatments on ripening and postharvest decay in 'Golden Delicious' apples. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 128(1): 120-127.

- Salunkhe, D.K. and B.B. Desai. 1984. **Postharvest Biotechnology of Fruits**. Volume 2. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Selvarajah, S., A.D. Bauchot and P. John. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biol. Technol.** 23: 167-170.
- Serek, M., E.C. Sisler and M.S. Reid. 1994. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 119(6): 1230-1233.
- Serek, M., E.J. Woltering, E.C. Sisler, S. Frello and S. Sriskandarajah. 2006. Controlling ethylene responses in flower at the receptor level. **Biotechnol. Adv.** 24(4): 368-381.
- Shah, H.R.A., G.A. Chatta, I.A. Hafiz, S. Ahmad and M. Khan. 2002. Nitrogen concentration at various growth stages of mango and effect of calcium carbide on fruit quality. **Asian J. Plant Sci.** 1(2): 164-166.
- Singh, Z. and J. Janes. 2001. Effect of postharvest application of ethephon on fruit ripening, quality and shelf life of mango under modified atmosphere packaging. **Acta Hort.** 553(2): 599-602.
- Sisler, E.C., E. Dupille and M. Serek. 1996a. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut carnation. **Plant Growth Reg.** 18: 79-86.
- Sisler, E.C., M. Serek and E. Dupille. 1996b. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3, 3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plant. **Plant Growth Reg.** 18: 169-174.

- Sisler, E.C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plant at the receptor level: recent developments. **Physiol. Plant.** 100: 577-582.
- Sisler, E.C. and M. Serek. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. **Bot. Bull. Acad. Sin.** 40 : 1-7.
- Stavroulakis, G. and E.M. Sfakiotakis. 1995. Time course study of thermoregulation in ethylene biosynthesis and ripening of 'Hayward' kiwifruit induced by propylene. **Acta Hort.** 379: 429-436.
- Trebitsh, T., E.E. Goldschmidt and J. Riov. 1993. Ethylene induces *de novo* synthesis of chlorophyllase, a chlorophyll degrading enzyme, in citrus fruit peel. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.** 90: 9441-9445.
- Tongdee, S.C. and A. Suwanagul. 1989. Postharvest mechanical damage in mangosteen. **ASEAN Food J.** 4(4):151-155.
- Ullrich, M.S., M. Schergaut, J. Boch and B. Ullrich. 2000. Temperature-responsive genetic loci in the plant pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *Glycinea*. **Microbiology** 146: 2457–2468.
- Vilaplana, R., Y. Soria, M.C. Valentines and C. Larrigaudière. 2007. Specific response of apple skin and pulp tissues to cold stress and 1-MCP treatment. **Postharvest Biol. Technol.** 43: 215-220.
- Watada, A.E., R.C. Hener, A.A. Kader, R.J. Romani and G.L. Staby. 1984. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. **HortScience** 19: 20-21.
- Watkins, C.B. and J.F. Nock. 2000. MCP: Facts, speculation, and how could it affect the New York apple industry. **NewYork Fruit Quarterly** 8(3): 3-9.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables.

Biotechnol. Adv. 24(4):389-409.

Wills, R.B.H., W.B. McGlasson, D. Graham, T.H. Lee and E.G. Hall. 1989. **Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables.** 3rd ed. South China Printing Company (1988) Limited, Hong Kong.

Wills, R.B.H., T.H. Lee, D. Graham, W.B. McGlasson and E.G. Hall. 1998. **Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals.** 4th ed. Hyde Park Press, Adelaide, South Australia.

Wills, R.B.H., and V.V.V. Ku, 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. **Postharvest Biol. Technol.** 26: 85-90.

Willson, N.C. 1896. **Discovery of the commercial processes for making calcium carbide and acetylene.** National Historic Chemical Landmarks. Available Source: <http://acswebcontent.acs.org/landmarks/landmarks/cal/index.html>, August 5, 2006.

Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. **HortScience** 20(1): 41-45.

Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plant. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 35: 155-189.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทธิพอน และแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พริทเมนต์		สีเปลือกผล (ค่า L*)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon (μL^{-1})	0	57.33	42.68	34.72	27.11	26.28	25.43	25.29	24.84	24.01
	250	57.33	44.10	32.24	27.89	26.79	25.37	24.08	25.50	24.03
	500	57.33	43.58	31.75	27.72	25.65	25.64	24.95	24.91	24.38
Calcium	0	57.33	41.59	35.31	28.29	25.84	24.94	24.83	24.67	25.71
carbide	5	57.33	38.45	30.64	27.26	26.75	26.12	25.26	24.50	25.95
(g/kg)	10	57.33	38.94	32.21	28.05	25.64	25.88	25.98	25.83	25.07
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)		8.69	9.22	7.83	3.07	2.75	3.82	3.70	4.69	4.65

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทธิฟอน และแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

ทรีทเมนต์		สีเปลือกผล (ค่า a^*)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon (μLL^{-1})	0	-1.38	18.67	24.66	17.59	11.84	8.88	7.37	5.26	4.27
	250	-1.38	20.29	21.15	16.49	12.74	8.36	7.01	5.60	4.93
	500	-1.38	18.19	20.88	17.42	13.31	10.94	6.20	5.54	4.67
Calcium	0	-1.38	18.79	21.96	16.43	13.75	10.04	7.50	6.32	4.17
carbide	5	-1.38	20.90	29.89	16.69	12.16	8.65	7.26	6.52	4.76
(g/kg)	10	-1.38	21.63	23.35	17.54	10.99	7.82	6.92	5.45	4.62
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		-309.04	11.20	9.24	18.43	24.14	12.74	13.00	19.04	13.15

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทธิฟอน และแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พรีทเมนต์		สีเปลือกผล (ค่า b*)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon (μL^{-1})	0	33.41	15.93	11.14	5.68	2.99	1.82	1.21	0.52	0.56
	250	33.41	17.07	9.54	5.30	3.19	1.88	1.11	0.59	0.57
	500	33.41	17.18	9.33	5.71	3.40	2.37	0.94	0.74	0.74
Calcium carbide (g/kg)	0	33.41	14.99	12.08	5.63	3.80	2.10	1.17	0.84	0.39
	5	33.41	13.14	8.01	5.28	3.40	1.72	1.26	0.83	0.37
	10	33.41	13.66	9.89	6.09	2.62	1.59	1.16	0.64	0.53
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		14.97	15.19	17.06	25.72	36.74	11.58	18.21	34.27	38.61

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทิลฟอน และแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พรีทเมนต์		ความแข็งของเปลือกผลมังคุด (นิวตัน)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon (μL ⁻¹)	0	582.96	141.10	76.22	55.01	52.16	50.60	42.53	37.19	34.98
	250	582.96	149.44	81.73	57.37	49.67	44.65	45.17	42.23	39.90
	500	582.96	145.10	76.56	57.04	51.45	47.87	41.86	38.15	35.83
Calcium	0	582.96	144.32	92.77	60.54	54.38	43.67	45.35	44.44	39.63
carbide	5	582.96	119.39	73.72	56.87	55.58	35.06	41.87	37.34	35.77
(g/kg)	10	582.96	116.58	76.56	58.81	48.87	37.91	40.93	40.66	32.09
F-test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2×10 ⁻⁶	14.10	15.15	8.59	13.48	13.05	12.09	12.90	12.70

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) ของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทธิphonและแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พรีทรีเมนต์		ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon (μL^{-1})	0	16.65	16.53	16.97	17.03	17.31	16.87	16.50	16.58	17.10
	250	16.65	16.72	16.47	16.97	16.57	16.15	17.23	16.63	16.70
	500	16.65	16.95	17.47	16.87	16.50	16.00	16.47	16.80	16.63
Calcium carbide (g/kg)	0	16.65	16.67	16.75	16.9	16.47	16.25	16.37	16.10	17.15
	5	16.65	17.05	17.03	17.13	17.70	16.43	16.08	16.08	16.65
	10	16.65	16.60	16.85	16.13	16.15	15.95	16.33	16.33	17.35
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2.60	10.08	3.86	3.51	6.23	5.45	3.01	3.95	3.17

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของผลมังคุดได้ที่ไม่ได้รับและได้รับเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พรีทรีเมนต์		ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon ($\mu\text{L L}^{-1}$)	0	0.95	0.66	0.72	0.78	0.76	0.69	0.70	0.69	0.69
	250	0.95	0.66	0.75	0.81	0.87	0.77	0.76	0.70	0.77
	500	0.95	0.68	0.77	0.77	0.76	0.69	0.72	0.70	0.68
Calcium carbide (g/kg)	0	0.95	0.67	0.71	0.77	0.81	0.73	0.72	0.66	0.70
	5	0.95	0.64	0.72	0.65	0.76	0.73	0.69	0.65	0.71
	10	0.95	0.63	0.70	0.72	0.65	0.69	0.66	0.65	0.67
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		16.70	10.49	8.39	14.63	11.10	8.57	8.05	8.24	8.24

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (SSC:TA) ของน้ำคั้นเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ

พรีทเมนต์		SSC:TA								
		วันที่ -1	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
Ethephon ($\mu\text{L L}^{-1}$)	0	17.92	24.95	23.62	22.12	23.41	24.37	23.53	24.09	24.71
	250	17.92	25.37	22.07	21.15	19.22	21.16	22.79	24.06	21.67
	500	17.92	25.21	22.83	21.99	21.77	23.08	22.99	24.33	24.55
Calcium	0	17.92	25.64	23.12	22.27	20.76	21.74	23.25	24.11	24.34
carbide	5	17.92	26.58	23.78	25.27	23.31	22.61	23.57	24.72	23.36
(g/kg)	10	17.92	26.51	24.36	23.24	24.68	23.01	25.28	25.42	26.23
<i>F</i> -test		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		21.29	5.70	10.47	15.17	13.61	8.54	6.25	7.55	9.59

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

		สีเปลือกผล (ค่า L*)															
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	56.64	52.83	50.70	48.93	46.76	41.87	40.26	39.89	35.06	33.99	29.72	30.16	27.37	25.51	26.60	24.61
	1000	61.04	57.07	56.26	58.40	57.73	58.09	57.80	55.40	57.83	57.59	53.08	58.40	56.74	37.77	32.37	31.79
25	0	59.00	34.46	30.07	26.57	27.08	26.15	25.61	25.20	25.85	26.19	-	-	-	-	-	-
	1000	59.82	54.61	49.41	56.76	49.49	50.35	31.84	27.18	26.83	25.66	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
1-MCP		*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
CV (%)		2.47	3.88	6.03	8.70	10.20	4.57	7.24	6.60	5.30	3.64	4.93	2.62	2.38	7.14	3.94	2.66

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 9 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

		สีเปลือกผล (ค่า a^*)															
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	2.09	11.20	16.08	15.95	16.16	21.21	23.08	20.33	23.95	21.83	21.70	22.10	18.23	16.60	15.88	14.88
	1000	1.78	6.53	6.80	3.08	4.39	4.11	6.33	2.85	8.36	4.66	7.30	3.98	11.14	19.21	18.68	21.37
25	0	5.69	19.36	18.82	13.82	13.66	7.79	5.54	5.30	5.12	3.01	-	-	-	-	-	-
	1000	2.48	6.99	7.70	7.36	10.33	10.41	18.37	11.32	8.72	4.80	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	**	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
1-MCP		ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
CV (%)		68.47	11.48	23.09	29.87	30.53	26.26	8.13	16.61	19.98	19.40	8.44	7.29	16.94	11.08	11.90	6.93

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 10 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

		สีเปลือกผล (ค่า b^*)															
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	31.30	26.59	25.00	24.40	23.04	18.82	18.38	17.61	13.40	10.79	8.88	9.23	5.55	5.75	4.47	3.82
	1000	33.52	30.33	30.57	35.16	33.34	33.45	33.38	33.14	32.02	31.64	28.85	33.33	27.14	10.92	9.36	10.84
25	0	31.44	11.30	7.28	3.92	3.72	1.30	0.61	0.83	0.58	0.26	-	-	-	-	-	-
	1000	31.36	27.30	27.92	27.92	22.53	24.07	7.97	2.63	1.57	0.45	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
1-MCP		ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
CV (%)		3.35	8.48	7.83	12.11	17.25	7.81	12.41	7.98	9.98	6.16	4.77	7.21	10.34	24.19	19.01	6.03

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 11 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	ความแข็งแรงของเปลือกผลมังคุด (นิวตัน)															
		วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	829.50	373.57	238.84	221.32	202.31	170.46	125.42	96.57	80.16	78.72	69.55	64.38	58.88	53.48	45.20	60.71
	1000	821.92	674.68	597.18	511.13	490.71	370.65	262.84	221.35	143.43	118.77	100.23	99.65	67.72	60.99	50.04	58.88
25	0	838.13	104.07	77.46	62.75	75.22	49.03	48.70	45.70	46.03	42.03	-	-	-	-	-	-
	1000	774.21	537.12	406.09	408.00	401.34	212.15	87.73	57.04	48.70	47.20	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	*	*	ns	ns	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
1-MCP		**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	ns	ns	ns	ns
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	*	**	-	-	-	-	-	-
CV (%)		3.11	26.59	32.21	38.82	50.28	32.00	13.88	22.98	22.04	11.07	3.54	4.64	7.02	14.08	13.11	8.19

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 12 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) ของน้ำคั้นเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

		ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (%)															
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	17.03	16.15	15.80	15.73	14.57	14.70	14.68	15.70	15.67	16.20	15.00	15.57	16.43	15.50	15.17	14.73
	1000	17.22	16.43	15.80	15.10	14.90	14.20	14.00	14.70	14.13	15.53	14.67	14.40	14.53	15.80	15.07	15.20
25	0	16.20	17.27	17.17	17.77	17.13	17.20	17.13	17.13	16.80	17.10	-	-	-	-	-	-
	1000	16.23	16.10	15.70	15.47	15.40	15.60	15.93	16.47	16.60	17.23	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-	-
1-MCP		ns	ns	ns	**	*	**	**	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	ns	ns	*	**	*	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-
CV (%)		5.23	4.55	5.11	2.98	3.28	2.61	2.37	5.02	3.94	3.35	4.22	3.93	3.12	3.86	4.45	11.51

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 13 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (TA) ของน้ำคั้นเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	ปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (%)															
		วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	0.75	0.68	0.65	0.61	0.65	0.61	0.54	0.62	0.72	0.61	0.55	0.60	0.76	0.58	0.56	0.42
	1000	0.67	0.69	0.67	0.61	0.67	0.59	0.61	0.60	0.62	0.52	0.51	0.57	0.72	0.55	0.56	0.44
25	0	0.67	0.70	0.66	0.66	0.67	0.68	0.64	0.68	0.67	0.63	-	-	-	-	-	-
	1000	0.69	0.68	0.67	0.62	0.63	0.66	0.68	0.70	0.67	0.58	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	-	-	-	-	-	-
1-MCP		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-
CV (%)		6.65	6.22	6.34	6.70	7.66	14.10	10.33	6.49	7.50	10.56	5.53	1.57	12.47	12.23	7.56	14.50

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 14 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (SSC:TA) ของน้ำคั้นเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (SSC:TA)																	
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่															
		0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	18	21	24	27
15	0	22.94	23.85	24.58	25.93	22.61	24.54	27.42	25.20	21.77	26.77	27.31	25.84	22.14	27.24	27.21	35.29
	1000	25.74	23.79	23.59	24.81	22.45	24.01	23.12	24.64	23.12	30.02	29.06	25.23	20.19	28.58	26.90	34.35
25	0	24.28	24.74	26.34	26.81	25.77	25.60	26.94	25.14	25.10	27.16	-	-	-	-	-	-
	1000	23.63	23.82	23.67	24.81	24.28	23.61	23.63	23.52	24.96	29.93	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-
1-MCP		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
อุณหภูมิ × 1-MCP		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-
CV (%)		11.04	5.83	8.15	7.58	6.29	12.62	12.26	3.88	9.86	8.38	6.96	4.17	13.13	9.71	5.94	6.46

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 15 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ACC ในเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	ปริมาณ ACC ในเนื้อของผลมังคุด (nmol ACC.g ⁻¹)							
		วันที่							
		1	3	5	7	11	15	21	27
15	0	-	44.23	-	84.85	70.03	93.39	88.10	160.34
	1000	-	10.02	-	127.80	141.51	185.47	149.09	24.84
25	0	3.94	29.35	95.63	87.32	241.26	-	-	-
	1000	7.69	17.10	25.83	145.10	136.71	-	-	-
อุณหภูมิ		-	ns	-	ns	**	-	-	-
1-MCP		ns	**	**	**	ns	*	**	ns
อุณหภูมิ × 1-MCP		-	ns	-	ns	**	-	-	-
CV (%)		80.51	34.87	23.46	14.54	25.05	23.66	7.23	32.74

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 16 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ACC ในเปลือกของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	ปริมาณ ACC ในเปลือกของผลมังคุด (nmol ACC.g ⁻¹)							
		วันที่							
		1	3	5	7	11	15	21	27
15	0	-	14.15	-	35.00	32.92	36.49	45.19	274.61
	1000	-	16.96	-	24.38	36.40	52.82	73.47	80.14
25	0	40.04	47.73	237.82	220.82	133.19	-	-	-
	1000	20.08	26.73	142.28	76.40	224.69	-	-	-
อุณหภูมิ		-	**	-	**	**	-	-	-
1-MCP		ns	*	ns	**	**	ns	**	*
อุณหภูมิ × 1-MCP		-	**	-	**	**	-	-	-
CV (%)		34.21	21.60	27.26	29.80	12.58	18.27	5.50	32.79

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 17 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมเอนไซม์ ACS ในเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเนื้อของผลมังคุด (nmol ACC.h ⁻¹ .mg protein ⁻¹)									
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่							
		1	3	5	7	11	15	21	27
15	0	-	83.08	-	65.15	120.73	120.20	109.34	158.75
	1000	-	76.17	-	69.52	253.99	174.95	154.66	98.18
25	0	41.34	30.77	88.62	48.12	234.33	-	-	-
	1000	40.71	40.48	45.72	91.58	238.06	-	-	-
อุณหภูมิ		-	**	-	ns	*	-	-	-
1-MCP		ns	ns	**	*	**	ns	*	*
อุณหภูมิ × 1-MCP		-	ns	-	ns	**	-	-	-
CV (%)		24.47	26.68	12.22	25.40	15.24	16.55	12.12	16.52

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 18 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมเอนไซม์ ACS ในเปลือกของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

กิจกรรมของเอนไซม์ ACS ในเปลือกของผลมังคุด (nmol ACC.h ⁻¹ .mg protein ⁻¹)									
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่							
		1	3	5	7	11	15	21	27
15	0	-	8.43	-	8.54	15.48	10.96	5.73	10.22
	1000	-	3.29	-	3.79	10.43	6.3	3.29	2.35
25	0	4.62	5.47	12.66	34.69	74.42	-	-	-
	1000	2.21	3.74	9.91	18.12	38.92	-	-	-
อุณหภูมิ		-	*	-	**	**	-	-	-
1-MCP		*	**	**	**	**	**	**	**
อุณหภูมิ × 1-MCP		-	**	-	**	**	-	-	-
CV (%)		23.84	13.25	3.99	7.35	18.87	9.90	6.60	26.80

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 19 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมเอนไซม์ ACO ในเนื้อของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเนื้อของผลมังคุด ($\text{nl C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg protein}^{-1}$) $\times 10^{-3}$									
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL^{-1})	วันที่							
		1	3	5	7	11	15	21	27
15	0	-	4.42	-	7.18	0.65	0.33	1.30	1.08
	1000	-	2.25	-	2.88	0.44	2.06	1.35	1.11
25	0	3.98	2.80	2.54	2.91	3.23	-	-	-
	1000	2.10	2.52	2.63	4.54	6.96	-	-	-
อุณหภูมิ		-	*	-	**	**	-	-	-
1-MCP		**	**	ns	**	**	**	ns	ns
อุณหภูมิ $\times$ 1-MCP		-	**	-	**	**	-	-	-
CV (%)		15.31	16.29	28.45	12.82	25.40	38.06	38.14	39.51

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 20 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมเอนไซม์ ACO ในเปลือกของผลมังคุดที่ไม่ได้รับและได้รับ 1-MCP ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 15 และ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำ หรือหมดสภาพเมื่อย้ายมาเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส

		กิจกรรมของเอนไซม์ ACO ในเปลือกของผลมังคุด ($\text{nl C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg protein}^{-1}$) $\times 10^{-3}$								
อุณหภูมิ (°C)	1-MCP (nLL ⁻¹)	วันที่								
		1	3	5	7	11	15	21	27	
15	0	-	0.26	-	1.71	1.58	2.68	0.24	0.32	
	1000	-	0.06	-	0.57	1.27	0.15	0.07	0.20	
25	0	1.41	0.39	0.45	1.23	0.65	-	-	-	
	1000	0.50	0.15	0.32	0.05	0.56	-	-	-	
อุณหภูมิ		-	ns	-	ns	**	-	-	-	
1-MCP		*	*	ns	*	ns	**	**	ns	
อุณหภูมิ $\times$ 1-MCP		-	ns	-	ns	ns	-	-	-	
CV (%)		33.38	62.38	16.75	82.06	29.25	28.15	18.09	77.88	

ns (non-significant different) = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($0.01 < P \leq 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$)