อภินันทนาการ

สัญญาเลขที่ R2560B021

สำนักงานกองทุน

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของการผสมผสาน 1-Methylcyclopropene ร่วมกับ Methyl Jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

Effects of 1-Methylcyclopropene Application Combined with Methyl Jasmonate on Internal Browning and Postharvest Quality of Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) Fruit cv. "Huaimun"

คณะผู้วิจัย	สังกัด
มยุรี กระจายกลาง	ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
ธวิช อินทรพันธุ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 05 ส.ค. 2564
เลขทะเบียน 10341782
เลขเรียกหนังสือ อ SB 375 ม18ผ 2561

สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 ในสาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา ผู้วิจัย ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนงบประมาณประกอบการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ นางสาวศลิษา พรหมเสน ผู้ช่วยนักวิจัย รวมทั้ง เจ้าหน้าที่ประจำคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่านที่มีส่วนอำนวยความสะดวก ให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการและสนับสนุนข้อมูลให้การทำงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มยุรี กระจายกลาง

กรกฎาคม 2561

บทคัดย่อ
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ผลของการผสมผสาน 1-Methylcyclopropene ร่วมกับ Methyl Jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

(ภาษาอังกฤษ) Effect of 1-Methylcyclopropene Application Combined with Methyl Jasmonate on Internal Browning and Postharvest Quality of Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) Fruit cv. "Huaimun"

ชื่อผู้วิจัย นางสาว มยุรี กระจายกลาง
หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
หมายเลขโทรศัพท์ (office) 055 - 962722
ผู้ร่วมวิจัย นาย ธวิช อินทรพันธุ์
หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560
จำนวนเงิน 307,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 12 เดือน
ตั้งแต่ วันที่ 1 เดือน ตุลาคม 2559 ถึง วันที่ 30 เดือน กันยายน 2560

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

สับปะรดถูกเก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว จากสวนสับปะรด ต.ห้วยมุ่น อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์ ก่อนการทดลอง 1 วัน ขนส่งอย่างระมัดระวังมาที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตรคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการคัดเลือกผลผลิต ที่มีตำหนิ สีไม่สม่ำเสมอ และเป็นโรคออก แล้วจึงทำการล้างน้ำให้สะอาด แล้วแช่ด้วย โซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 200 ppm นาน 2 นาที ผึ่งลมให้แห้งก่อนแยกทดสอบตามแผนการทดลอง ประกอบด้วย 4 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

แต่ละชุดการทดลอง เก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75-80% เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาผลสับปะรดถูกย้ายออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้สับปะรดพัฒนาการสุกตามธรรมชาติหลังจากนั้นบันทึกข้อมูลคุณภาพ 1) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การเกิดอาการฉ่ำน้ำ เปอร์เซ็นการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก คุณลักษณะสีเนื้อภายใน (L*) ความแน่นเนื้อ 2) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำคั้น ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี ค่าความเป็นกรดด่าง 3) การแปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการหายใจและผลิตเอทิลีน ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) การตรวจหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) รวมทั้ง 4) ประเมินอายุการเก็บรักษา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 4-10 ซ้ำ ๆ ละ 1 ผล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Independent – Sample T Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ในการทดลองที่ 1) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย F-Test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ในการทดลองที่ 2 ถึง 4) นอกจากนั้น ทดสอบความสัมพันธ์ในแต่ละองค์ประกอบของคุณภาพกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบ 2 อุณหภูมิการเก็บรักษา โดยใช้สับปะรดในระยะแก่เขียว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10 (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 8.19±0.44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 71.72±1.31%) และ 20-25 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 22.69±0.10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 84.20±1.30%) พบว่าการเก็บรักษาที่ 22 องศาเซลเซียส ผลสับปะรดแสดงอาการไส้สีน้ำตาลรุนแรงกว่าที่ 8 องศาเซลเซียส อาการที่พบคือจุดสีดำหรือน้ำตาล รอยช้ำที่บริเวณเนื้อใกล้แกนผลและที่แกนผล ทำให้ผลมีอายุการเก็บรักษาที่ 22 และ 8 องศาเซลเซียส เพียง 1.7 และ 2.9 สัปดาห์ตามลำดับ นอกจากนี้ที่ 22 องศาเซลเซียส การสุกของผลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เห็นได้จากการเปลี่ยนสี

เปลือกจากเขียวเป็นเหลืองเกิดขึ้นเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของความแน่นเนื้อการสูญเสียน้ำหนักของผลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ ค่าสีเนื้อ (L*) มีแนวโน้มลดลง (สีคล้ำมากขึ้น) ตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับ ปริมาณวิตามินซีในแกนผลมีค่าสูงกว่าในเนื้อและมีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) ในอัตราที่สูงกว่าโดยเฉพาะที่ 22 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ pH รวมทั้ง การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และอัตราการผลิตเอทิลีน อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่ 22 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของอัตราการหายใจ และค่ากิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 2 กรรมวิธี แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณภาพของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นซึ่งเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลเจริญเต็มวัย แต่เปลือกยังคงมีสีเขียว

การใช้ 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม ไม่ใช้ 1-MCP) 100 และ 250 ppb รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเฉลี่ย10.73±0.02 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75.82±0.19%) เวลา 4 สัปดาห์ในการทดลองที่ 2 พบว่า การรมผลสับปะรดด้วย 1-MCP ก่อนการเก็บรักษา ช่วยลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล อาการที่พบคือเกิดจุดดำหรือสีน้ำตาล ช้ำที่บริเวณเนื้อผลใกล้แกนและแกนผล ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง 2.00 สัปดาห์ ในชุดควบคุม เปรียบเทียบกับ 1-MCP มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นที่ 2.25 และ 2.75 สัปดาห์ ที่ความเข้มข้น 100 และ 250 ppb ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppb สามารถชะลอการสุก ซึ่งแสดงผล การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองช้ากว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะสัปดาห์ที่ 3 ผลสับปะรดมีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น คุณลักษณะของสีเนื้อผล (L*) มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 3 ความเข้มข้น ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ปริมาณวิตามินซีในแกนผลโดยรวมมีค่าสูงกว่าในเนื้อผล โดยปริมาณวิตามินซีส่วนเนื้อผลที่รม 1-MCP ความเข้มข้น 100 และ 250 ppb มีค่าสูงกว่า ชุดควบคุมอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยเฉพาะสัปดาห์ที่ 3 อย่างไรก็ตาม การรม 1-MCP ที่ความเข้มข้น 100 และ 250 ppb สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า กรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรดด่างได้ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในทุกพารามิเตอร์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากการทดลองนี้แสดงให้ว่า การรม 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb นาน 18 ชั่วโมง มีแนวโน้มชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และรักษาคุณภาพของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว และเก็บรักษาในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ได้ดีในช่วง 3 สัปดาห์แรก

การจุ่มผลด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม),10^{-2},10^{-3} และ 10^{-4}M (โมลาร์) เป็นเวลา 5 นาที และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเฉลี่ย 9.94±0.02 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 77.50±0.13%) เป็นเวลา 4 สัปดาห์จากการการทดลองที่ 3 พบว่า การใช้ MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-4}M ช่วยลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลสับปะรดได้ดีที่สุด สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 2.5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส รองลงมา 10^{-3}M และชุดควบคุม ให้อายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ขณะที่ MeJA 10^{-2}M สามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ($P>0.05$)นอกจากนี้ MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P<0.05$) คุณลักษณะของสีเนื้อผล (L^*) มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และปริมาณวิตามินซี ส่วนแกนและเนื้อผลลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ซึ่ง MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4}M มีประสิทธิภาพในการชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้ ในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) อย่างไรก็ตาม การจุ่มสับปะรดด้วย MeJA สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรดด่างได้เพียงเล็กน้อย จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การจุ่ม MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4}M มีแนวโน้มรักษาคุณภาพลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว และสามารถเก็บรักษาได้ถึง 2.5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 4 ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ชุดควบคุม ไม่ใช้ 1-MCP, 2) การใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb (ความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2) รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง, 3) การใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น10^{-4}M (โมลาร์) (ความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3) จุ่มนาน 5 นาที และ 4) การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA หลังจากนั้น เก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเฉลี่ย 9.77±0.02 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75.71±0.15%) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า การรม 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb (นาน 18 ชั่วโมง) ร่วมกับ การจุ่ม MeJA ความเข้มข้น 10^{-4}M (นาน 5 นาที) และเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล หรือรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรด ในการศึกษานี้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น

การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb เพียงอย่างเดียว ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งสามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และอาการฉ่ำน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อทดสอบซ้ำในการศึกษานี้ อีกทั้งยังช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในส่วนแกนของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ ปริมาณวิตามินซี ได้ดีกว่า แต่สามารถชะลอได้เพียงสัปดาห์แรกเท่านั้น และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา นั้น สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าการรั่วไหลของ

สารอิเล็กโทรไลต์ อัตราการหายใจ ปริมาณฟีนอลิก ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4}M เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการสุก ซึ่งแสดงผลจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้ 1-MCP 250 ppb รมนาน 18 ชั่วโมง สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสับปะรดได้ถึง 2.25 สัปดาห์ ที่ อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ให้อายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และ MeJA 10^{-4}M ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์ เท่านั้น

อย่างไรก็ตาม การใช้ 1-MCP, MeJA เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* ของเนื้อผล ซึ่งเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่า pH TA นอกจากนี้ อัตราการผลิตเอทิลีน กิจกรรมเอนไซม์ PPO และค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตลอดการเก็บรักษา

ดังนั้น การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb (นาน 18 ชั่วโมง) ร่วมกับ การจุ่ม MeJAความเข้มข้น 10^{-4}M (นาน 5 นาที) ไม่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรด การใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb รมนาน 18 ชั่วโมง เพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการรักษาคุณภาพ ลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและอาการฉ่ำน้ำและยืดอายุการเก็บรักษาผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

Pineapples of the 'Huai-mun' cultivar were harvested at green mature stage from Tambon Huaimun Amphoe Nampat in Uttaradit Province and transported to post-harvest laboratory at the Department of Agricultural Science in the Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment at Naresuan University on that day after picking. The fruits were selected on the basis of size and color uniformity and blemished and diseased fruit were discarded. In the laboratory, the fruit were washed and cleaned by dipping in 200 ppm sodium hypochloride solution for 2 minutes to suppress fruit rot disease, and then air-dried at room temperature. The research plan included 4 experiments.

Experiment 1: Study of the effects of storage temperature on internal browning incidence and post-harvest quality of the fruit.

Experiment 2 : Study of the effect of 1 -methylcyclopropene at various concentrations on internal browning incidence and post-harvest quality of the fruit.

Experiment 3: Study of the effects of methyl jasmonate at various concentrations on internal browning incidence and post-harvest quality of the fruit.

Experiment 4: Study of the effect of 1-methylcyclopropene combined with methyl jasmonate on the reduction of the incidence of internal browning and post-harvest quality of the fruit.

In each experiment the fruit were stored at8-10°C (%RH 75-80) for four weeks. At the end of each week fruit were randomly removed to room temperature for normal ripening. The physical changes, measured by scores for internal browning, flesh translucency, ripening stage, %weight loss, color value (L*) and firmness were recorded. Four chemical changesin the juice were measured, including the soluble solid content (SSC), titratable acidity (TA), vitamin C content and pH, and the physiological changes were also measured, including respiration rate and ethylene production rate, electrolyte leakage, assay of polyphenol oxidase (PPO) activity enzyme, total phenolic compound and 2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay. The storage life of the fruit was estimated by observing the level of internal browning. The completely randomized design (CRD) approach was used throughout the whole experiment with 4-10 replications of each test. In Experiment 1 the data were analyzed by the Analysis of Independent Simples T-Test and significant differences ($P \leq 0.05$).

In Experiments 2 to 4, statistical analysis with F-Tests, and significant differences ($P \leq 0.05$) among means were determined by Duncan's new multiple range test.

Experiment 1 compared two storage temperatures by using harvested pineapples at the green mature stage. The fruit were stored at 8-10°C (8.19±0.44°C %RH 71.72±1.31%) and 20-25°C (22.69±0.10°C %RH 84.20±1.30%) for 4 weeks, at which time it was found that the fruits stored at 20-25°C developed more severe IB than those at 8-10°C. The IB symptom was manifested as blackish or brownish spots and flesh translucency at or near the fruit core. This demonstrated a short storage life of only 1.7 weeks at 22°C compared with 2.9 weeks at 8°C, with the fruit ripening more rapidly at 22°C. Change in shell color from green to yellow at 22°C was significantly more rapid than that at 8°C ($P<0.01$). This was consistent with a decline in flesh firmness. There was a noticeable increase in fruit weight loss and a decrease in flesh L* (Lightness) value with prolonged storage time at both storage temperatures. The vitamin C content of the fruit core was higher than that of the flesh. The latter tended to change (increase or decrease over time) at a higher rate, especially at 22°C. However, storage at 8°C could significantly ($P<0.05$) delay the changes in SSC, TA, pH, electrolyte leakage and ethylene production rate as compared with storage at 22°C. However, no significant difference in respiration rate and PPO activity enzyme under both treatments was observed.

The results indicate that storage at 8°C maintains post-harvest quality of 'Huaimun' pineapple fruit harvested at the mature green stage.

For experiment 2, a sample of fruit were selected and treated with 1-MCP at a concentration of 0 (control), 100 and 250 ppb for 18 hours prior to storage at 8-10°C (10.73±0.02°C %RH 75.82±0.19%) for four weeks. Each week a selection of the fruit were removed to room temperature for normal ripening and determination of fruit quality. It was found that 1-MCP at 100 and 250 ppb slightly reduced IB development, but this was not significantly different to the control of untreated fruit ($P>0.05$). Flesh translucency at or near the core was observed, and the IB changed to brown and then black during the storage period. This symptom limited a storage life to only 2.00 weeks in a control fruit while postponed to 2.25 and 2.75 weeks in treated fruits with 100 and 250 ppb of 1-MCP, respectively. In addition, the 100 ppb 1-MCP significantly delayed fruit ripening ($p<0.05$) which was shown by a smaller change in shell color from green to yellow than occurred in the

fruit treated with 250 ppb of 1-MCP, with the difference showing most obviously at the third week of storage. There was a noticeable increase in weight loss and a slight decline in L* (Lightness) value of flesh with prolong storage period in all treatments. Overall vitamin C level of core was higher than in the flesh. The vitamin C level in the flesh of the fruits treated with 1-MCP at both concentrations remained significantly higher than in a control fruit ($P \leq 0.01$), especially at the third week of storage. Treatment with 1-MCP also appeared to delay changes in TA, SSC and pH in the pineapple juice, but this was not significantly different to the control ($P>0.05$). No significant statistical differences ($P>0.05$) in the physiological changes were observed in all parameters.

Therefore, it can be confidently assumed that the application of 1-MCP (250 ppb for 18 hours) maintains the quality of 'Huaimun' pineapple fruit harvested at a mature green stage, with lower IB development up to the third week of low temperature storage.

The pineapple were dipped in MeJA at concentrations of 0 (control), 10^{-2},10^{-3} and 10^{-4}M for five minutes prior to storage at 8-10°C (9.94±0.02°C %RH 77.50±0.13%) for four weeks. Each week fruit were randomly removed to room temperature for normal ripening to occur and fruit quality was determined. From experiment 3, It was found that MeJA slightly reduced IB development, but not significantly different compared to a control ($P>0.05$). This IB symptom limited storage life to only 1.25 weeks in MeJA 10^{-2}M while it was postponed to 1.5 weeks in control fruit and in 10^{-3}M MeJA. A concentration of MeJA 10^{-4}M efficiently stored fruit for 2.5 weeks, and significantly delayed fruit ripening ($P<0.05$) as shown by only a small change in shell color from green to yellow and also delayed weigh loss. This was consistent with a change in h° value, and was most obvious at a concentration of 10^{-4}M. L* (Lightness) value was decreased slightly but increased during storage. Vitamin C level in the core and flesh decreased throughout storage. MeJA (10^{-4}M) effectively delayed electrolyte leakage in the first week of storage. Furthermore, MeJA appeared to slightly delay changes in TA, SSC and pH in extracted pineapple juice. Therefore, the application of MeJA (10^{-4}M) maintains the quality of 'Huaimun' pineapple fruit harvested at a mature green for up to 2.5 weeks at low temperature with lower IB development, compared with the control.

For the final experiment, this was composed of four treatments. The fruit were treated with1-MCP alone at a concentration of 0 (control) or 250 ppb (as the best concentration from the Exp. 2) for 18 hours, or dipped in MeJA alone at a concentration of 10^{-4}M (as the best

concentration from the Exp.3) for five minutes, or with a combination of 1-MCP and MeJA together. Fruit were then stored at 8-10°C (9.77±0.02°C %RH 75.71±0.15%) for four weeks.

It was found that a combination of 1-MCP and MeJA together did not effectively reduce IB development or delay quality change in fruit compared to other treatments in this study. The effective shelf life was 1.5 weeks at 9°C.

A treatment of 1-MCP alone at a concentration of 250 ppb for 18 hours significantly reduced IB development and flesh translucency ($P<0.01$) occurred in pineapple fruit. In addition, 1-MCP also delayed weight loss, chemical changes in SSC and vitamin C level of core but only the first week of storage. Physiological changes in the electrolyte leakage, the respiration rate and total phenolic compound were also significantly ($P<0.05$) reduced by 1-MCP. The effective shelf life was 2.25 weeks at 9°C while the control group of untreated fruit had an effective shelf life of 1.5 weeks

The use of MeJA 10^{-4}M alone significantly delayed fruit ripening ($P<0.05$) as shown by a smaller change in shell color from green to yellow, but MeJA alone did not have any effect on other quality throughout the storage ($P>0.05$). The effective shelf life was 1.25 weeks at 9°C.

However, the treatment with 1-MCP alone, with MeJA alone or a combination of both did not have any effect on changes in L* (Lightness) value of flesh or chemical changes in pH TA of juice or physiological changes in ethylene production rate, assay of polyphenol oxidase (PPO) activity enzyme and 2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay. All parameters had small changes throughout storage without any significant difference ($P>0.05$).

Therefore, this experiment showed that the application of 1-MCP combined with MeJA did not effectively delay quality change in pineapple fruit. Overall, the use of 1-MCP at 250 ppb alone appeared to be the best condition to delay quality change in fruit, with lower internal browning development and lower flesh translucency, and to extend storage life effectively more than other treatments.

สารบัญเรื่อง

เนื้อหา	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญเรื่อง	ฎ
สารบัญตาราง	ฑ
สารบัญภาพ	น
1 บทนำ	1
ความเป็นมาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
สมมติฐานของการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
สับปะรด (Pineapple)	4
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	4
พันธุ์สับปะรด	7
ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสับปะรด	8
สับปะรดห้วยมุ่น	10
ลักษณะทางคุณภาพ องค์ประกอบเคมี การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาระหว่างขนส่ง	11
อาการสะท้านหนาว (Chilling injury)	11
ลักษณะของอาการสะท้านหนาว	12
สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว	13
ลักษณะการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	23
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	23
แนวทางการลดอาการไส้สีน้ำตาล	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	30
	วัสดุ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
	การเตรียมพืชทดสอบ	32
	แผนการทดลอง	33
	การบันทึกข้อมูล	36
	การวิเคราะห์ข้อมูล	46
	ระยะเวลาทำการวิจัย	46
	สถานที่ทดลองและเก็บข้อมูล	46
4	ผลการวิจัย	47
	การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น	47
	การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น	66
	การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น	84
	การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด	102
5	บทสรุป	123
	สรุปผลการวิจัย	123
	อภิปรายผลการวิจัย	125
	ข้อเสนอแนะ	143

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม	144
ภาคผนวก	161

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 แสดงลักษณะต่าง ๆของกลุ่มสับปะรด 5 กลุ่มที่จัดจำแนกและรายชื่อตัวอย่างพันธุ์ในแต่ละกลุ่ม..... 8

2 แสดงปริมาณผลผลิตสับปะรดในประเทศไทยปี พ.ศ.2554 - 2558..... 9

3 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรดภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 47

4 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 48

5 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 49

6 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 50

7 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 51

8 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 52

9 แสดงคะแนนการเกิดตำหนิภายในของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 53

10 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 55

11 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 56

12 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 58

13 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
14	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	60
15	แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	61
16	แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	62
17	แสดงกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	63
18	แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	64
19	แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	66
20	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	67
21	แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	68
22	แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	69
23	แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
24	แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	71
25	แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์...	73
26	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	74
27	แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	76
28	แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	77
29	แสดงค่าเปอร์เซ็นการรั่วไหลของอิเล็กโตรไลต์ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	78
30	แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	79
31	แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	80
32	แสดงกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
33	แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	82
34	แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	84
35	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	85
36	แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	86
37	แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	87
38	แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	88
39	แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	89
40	แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	91
41	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

42 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 94

43 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 95

44 แสดงค่าเปอร์เซ็นการรั่วไหลของอิเล็กโตรไลต์ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 96

45 แสดงค่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 97

46 แสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 98

47 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 99

48 แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 100

49 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา4 สัปดาห์..... 103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

50 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 104

51 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 105

52 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 106

53 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 107

54 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 108

55 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 110

56 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 111

57 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
58	แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	114
59	แสดงค่าเปอร์เซ็นการรั่วไหลของอิเล็กโตรไลต์ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	115
60	แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	116
61	แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	117
62	แสดงค่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	118
63	แสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	119
64	แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	120
65	แสดงอายุการเก็บรักษา ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

66 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 20-25 °C (การทดลองที่ 1)..... 162
67 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 8-10 °C (การทดลองที่ 1)..... 163
68 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง (การทดลองที่ 1)..... 164
69 แสดงอุณหภูมิ(°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง ระหว่างการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)..... 164
70 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)..... 165
71 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)..... 166
72 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการจุ่ม MeJA (การทดลองที่ 3)..... 167
73 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการจุ่ม MeJA (การทดลองที่ 3)..... 168
74 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง ระหว่างการรม 1-MCP (การทดลองที่ 4)..... 168
75 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA (การทดลองที่ 4)..... 169
76 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA (การทดลองที่ 4)..... 170

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว.....	14
2	แผนผังแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่เยื่อหุ้มเซลล์ จนกระทั่งทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว	15
3	ลำดับการเกิดอนุมูลอิสระ.....	17
4	แนวความคิดที่อธิบายบทบาทของ lipid peroxidation ในอาการสะท้านหนาว ทำให้เกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเซลล์.....	17
5	การควบคุมอนุมูลอิสระโดยเอนไซม์ SOD CAT และ POD	18
6	กลไกการเกิดสารสีน้ำตาล.....	21
7	แสดงการนำสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นรม 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25°C และเก็บรักษาในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 8-10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80%	34
8	แสดงการนำสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นจุ่ม MeJA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาผึ่งให้แห้ง และเก็บรักษาในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 8-10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80%.....	35
9	แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น.....	36
10	แสดงคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น.....	37
11	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Gallic acid กับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร.....	42
12	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน กับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร.....	44
13	แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา (Day0)(ก) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 20-25°C และ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยใน สัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บรักษา สับปะรดจะถูกย้ายมาวางไว้ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ.....	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
14	แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก) และภายหลังการรมด้วย 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ Control, 1-MCP 100 ppb และ 1-MCP 250 ppb ตามลำดับ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ.....	83
15	แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก) และภายหลังการจุ่มด้วย MeJA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ Control, MeJA 10^{-2}M, MeJA 10^{-3}M และ MeJA 10^{-4}M เป็นเวลา 5 นาทีและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ.....	101
16	แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก) และภายหลังจากการทดสอบด้วย Control, 1-MCP 250 ppb, MeJA 10^{-4}M และ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA และนำมาเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ....	122

อักษรย่อ

%	=	เปอร์เซ็นต์
µl/l	=	ไมโครลิตรต่อลิตร
µg/ml	=	ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
°Brix	=	องศาบริค
°C	=	องศาเซลเซียส
1-MCP	=	1-methylcyclopropene
a*	=	ค่าสีเขียว-แดง
b*	=	ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง
C*	=	ค่าความเข้มของสี
cm	=	เซนติเมตร
CI	=	อาการสะท้านหนาว
g	=	กรัม
h°	=	ค่าเฉดสี
kg	=	กิโลกรัม
kg.F.W.	=	กิโลกรัมน้ำหนักสด
IB	=	อาการไส้สีน้ำตาล
L*	=	ค่าความสว่าง
m^3	=	ตารางเมตร
MeJA	=	methyl jasmonate
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml l^{-1}	=	มิลลิลิตรต่อลิตร
nl l^{-1}	=	นาโนลิตรต่อลิตร
pH	=	power of hydrogen ion concentration
ppb	=	parts per billion (1 ส่วนในล้านส่วน)
ppm	=	parts per million (1 ส่วนในล้านส่วน)
PPO	=	polyphenol oxidase
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) แบ่งออกตามความนิยมปลูกเป็นการค้าทั่วโลก ได้ 5 กลุ่ม คือ Cayenne, Queen, Spanish, Abocaxis และ Maipure ซึ่งแต่ละกลุ่มมีรูปทรงผล และคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป Cayenne เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย สับปะรดในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้ทั้งรับประทานเป็นผลไม้สดหรือแปรรูป (สมโภชน์ น้อยจินดา, 2547) โดยสับปะรดจัดเป็นผลไม้ประเภท non– climacteric จึงควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลบริบูรณ์พร้อมที่จะบริโภค เพราะหลังการเก็บเกี่ยวจะไม่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น (จิราพรรณ คล้ายกิจจา, 2548) ในประเทศไทยมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี โดยผลผลิตส่วนใหญ่ (มากกว่า 70%) นำไปแปรรูปเพื่อส่งจำน่ายต่างประเทศ และอีกประมาณ 30% ใช้ในการบริโภคสดภายในประเทศ มีเพียงส่วนน้อยที่ส่งออกในรูปผลสดแช่เย็นและแช่แข็ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งนี้ เพราะปัญหาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผลสด ในทางตรงกันข้าม ส่วนแบ่งการตลาดของสับปะรดรับประทานสดในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (เปรม ณ สงขลา, 2553) เปิดโอกาสให้มีการพัฒนาสับปะรดผลสดสายพันธุ์ใหม่ภายในประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดโลก

การวิจัยครั้งนี้เลือกใช้สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น คือ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ถูกนำไปปลูกที่ตำบลห้วยมุ่น จนกลายเป็นพันธุ์ท้องถิ่น และมีคุณลักษณะแตกต่างไปจากพันธุ์ดั้งเดิมโดยเฉพาะรสชาติหวานอร่อย เนื้อหนานิ่ม ตาตื้น เนื้อมีสีเหลืองอมน้ำผึ้ง ตาไม่ลึกทำให้มีส่วนของเนื้อมาก ซึ่งสับปะรดพันธุ์นี้ มีการปลูกกันมากที่ตำบลห้วยมุ่น อำเภอน้ำปาด ฤดูเก็บเกี่ยว ให้ผลผลิตช่วงเดือนพฤศจิกายน - มกราคม และกลางเดือนเมษายน – กรกฎาคม (ชุมชนอุตรดิตถ์, 2555) ซึ่งปัจจัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้นานขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิต่ำนี้ช่วยลดกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆของผลผลิตลง ทำให้ยังคงคุณภาพ แต่การได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความเสียหายจากการที่ผลผลิตแสดงอาการผิดปกติ เรียกว่า อาการไส้สีน้ำตาล หรือ อาการสะท้านหนาว (Paull, 1990) ซึ่งลักษณะอาการไส้สีน้ำตาลนี้มีหลายลักษณะ เช่น ผิวหรือเนื้อของผลิตผลเกิดรอยแผลเป็นสีน้ำตาลหรือดำ อาจมีรอยบุ๋มเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตาย ในสับปะรดจะแสดงอาการให้เห็นเป็นจุดสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกน แล้วค่อยๆ ขยายรวมกันเป็นกลุ่มสีน้ำตาลขนาดใหญ่ขึ้น (Kader, 1996)

ผู้วิจัยได้เห็นว่าปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาสำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวสับปะรด มีรายงานการใช้ 1- methylcyclopropene (1-MCP) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวกับผลไม้หลายชนิดรวมทั้งสับปะรดสามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลได้ ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 4 สัปดาห์ (Selvarajah, et al., 2001) ซึ่งสาร 1- methylcyclopropene นี้เป็นสารที่ทำให้เอทิลีนในผักและผลไม้ลดลง จึงช่วยชะลอการสุกแก่ของผักและผลไม้ได้ เนื่องจากสารนี้สามารถจับกับตัวรับของเอทิลีน ทำให้การผลิตเอทิลีนลดลง (มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และ ชัยชาญยุทธ ภาแกดำ, 2550) และการใช้สาร 1- methylcyclopropene เพียงแค่อย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพร่วมกับ 1- methylcyclopropene จะสามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดได้ดีกว่าการใช้สาร 1- methylcyclopropene เพียงอย่างเดียว ซึ่งสารนั้นคือ methyl jasmonate (MeJA) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่พบในพืช เป็นสารที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเอนไซม์ lipoxygenase (González-Aguilar, et al., 2006) และกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่ควบคุม alternative oxidase ทำให้ลดปริมาณอนุมูลอิสระส่งผลให้อาการสะท้านหนาวลดลง (Meir, et al., 1995 ; Diang, et al., 2001;Fung, et al., 2004) ซึ่ง González-Aguilar, et.al (2004) มีการศึกษาบทบาทของ methyl jasmonate ต่อการลดอาการสะท้านหนาวในผักและผลไม้ได้ โดยเฉพาะในพืชที่ตอบสนองต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างรวดเร็ว เช่น มะม่วงพันธุ์ Kent ฝรั่ง พริกหวาน อะโวกาโด เกรพฟรุต และมะละกอ ดังนั้น จึงเป็นแนวทางสำคัญของการนำ 1-methylcyclopropene, methyl jasmonate รวมทั้ง 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate มาใช้ในการศึกษานี้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยา ของสับปะรดห้วยมุ่นภายหลังการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 8-10 และ 20-25 องศาเซลเซียส
2. เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ 1-methylcyclopropene ต่อการชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น
3. เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ methyl jasmonate ต่อการชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ 1-methylcyclopropene โดยการใช้ร่วมกับ methyl jasmonate ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ต่อการลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และควบคุมคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นโดยใช้ สาร 1-methylcyclopropene, methyl jasmonate และ 1- methylcyclopropene ร่วมกับ methyl jasmonate เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

2. งานวิจัยครั้งนี้ใช้สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นเก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว (ยังไม่ปรากฏสีเหลือง, mature green; MG) สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

3. งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในช่วงฤดูกาลผลิตสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ในปี 2557-2559 เท่านั้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถเลือกความเข้มข้นในการใช้ 1-methylcyclopropene หรือ methyl jasmonate ที่เหมาะสมต่อการชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุหลังการเก็บเก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

2. ทราบศักยภาพความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ 1-methylcyclopropene ร่วมกับ methyl jasmonate เพื่อเป็นแนวทางในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรด

3. สามารถพัฒนาแนวทางใหม่ๆ ในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ลดการเสื่อมสภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดได้ รวมทั้งสามารถนำความรู้ที่ได้ไปสู่การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในเชิงการค้าต่อไป

สมมติฐานของงานวิจัย

1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ได้แก่ ทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยา ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้

2. การใช้สาร 1-methylcyclopropene ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้

3. การใช้สาร methyl jasmonate ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้

4. การใช้สาร 1-methylcyclopropene ร่วมกับ methyl jasmonate ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สับปะรด (Pineapple)

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) จัดอยู่ในวงศ์ (family) Bromeliaceae หรือเรียกว่า bromeliad family โดยสับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อนอายุหลายปี (herbaceous) จัดเป็นไม้ที่เจริญเติบโตแบบมีรากบนดิน แต่มีลักษณะพิเศษพวกไม้อากาศอยู่บ้าง เช่น เก็บน้ำไว้ในซอกใบได้ เป็นต้น จากการศึกษาถึงประวัติ ถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจายของสับปะรดในโลก พบว่ามีการปลูกสับปะรดเพื่อใช้เป็นอาหารอยู่ในเขตพื้นที่ต่ำในเขตร้อนของอเมริกาใต้ ทำให้เชื่อว่าสับปะรดมีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา และเชื่อว่าแหล่งที่มาของสับปะรดในกลุ่ม Smooth cayenne ซึ่งเป็นสับปะรดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายนั้นคือบริเวณลุ่มแม่น้ำอเมซอน ต่อมาจึงได้มีการแพร่กระจายพันธุ์ไปยังที่ต่าง ๆ ทั่วโลก (Losison-Cabot, 1992) ซึ่งสับปะรดในวงศ์ Bromeliaceae นี้มีคุณค่าในทางเศรษฐกิจมากที่สุด โดยสามารถรับประทานสด และใช้ผลิตเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Heinicke and Gortner, 1957) รวมทั้งสับปะรดนี้ยังมีสรรพคุณทางยาโดยใช้เป็นขับปัสสาวะ ช่วยเกี่ยวกับระบบไหลเวียนโลหิต แก้โรคนิ่ว และช่วยย่อยอาหาร เป็นต้น (ปรียา ไตรรัตน์ณรงค์, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรดได้ถูกรายงานโดย จินดารัฐ วีระวุฒิ (2541) ดังนี้

ราก

สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีอายุหลายปี เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วพุ่มใบกว้างและสูงประมาณ100 เซนติเมตร รากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยราก adventitious root เป็นจำนวนมากเกิดจากจุดกำเนิดราก ซึ่งมีอยู่ทั่วไปตามมุมใบของลำต้นทั้งส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินและส่วนที่อยู่เหนือผิวดิน

รากดิน (soil root) คือรากที่อยู่ใต้ผิวดิน รากเหล่านี้กระจายอยู่ในผิวดินตื้นๆ ถ้าดินมีสภาพร่วนซุยดีรากอาจหยั่งลึกลงในดินได้มากกว่า 50 เซนติเมตร

รากมุมใบ (axillary root) คือ รากที่เกิดตามมุมใบบนส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือผิวดิน มักเกิดเวียนอยู่รอบลำต้นตามมุมใบและอาจช่วยดูดน้ำและธาตุอาหารให้ต้นสับปะรดได้ในบางโอกาส

ที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมแต่ในสภาพปกติรากเหล่านี้จะมีสารซูเบอริน (suberin) สะสมอยู่และอยู่ในสภาพพักตัว

ลำต้น

ลำต้นของสับปะรดมีลักษณะสั้นและหนาคล้ายกระบองมีความยาว 20-30 เซนติเมตร ส่วนที่กว้างที่สุดจะกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ลำต้นส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมักจะตั้งตรง ส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินจะโค้งเล็กน้อยโดยเฉพาะถ้าต้นสับปะรดนั้นขยายพันธุ์มาจากส่วนของหน่อหรือตะเกียง เนื่องจากหน่อและตะเกียงเจริญออกมาจากตาทางด้านข้างของต้นแม่ จึงมีส่วนโค้งเล็กน้อยที่บริเวณโคนต้นที่ติดอยู่กับต้นแม่ ต้นที่ขยายพันธุ์มาจากจุกส่วนใหญ่จะมีลำต้นตั้งตรง ตามลำต้นมีลักษณะเป็นข้อและปล้องสั้นตามรอยต่อของใบที่หลุดออกไปจากลำต้น (leaf scar) ช่วงของปล้องยาว 2-5 มิลลิเมตร ปล้องที่ยาวที่สุดอยู่บริเวณส่วนกลางค่อนไปทางส่วนบนของลำต้นซึ่งเป็นส่วนที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าส่วนอื่น ตามมุมใบมีตาซึ่งเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นหน่อได้

หน่อข้างหรือหน่ออากาศ (shoot หรือ air sucker) คือหน่อที่เจริญมาจากตาบนลำต้นที่อยู่เหนือพื้นดินหน่อดิน (ground sucker) คือ หน่อที่เจริญมาจากตาบนลำต้นที่ระดับผิวดินหรือใต้ดิน

ใบ

ใบสับปะรดมีลักษณะเรียวยาวและเป็นร่องโค้ง ช่วยให้ใบมีความแข็งแรงและทนทานต่อการหักได้ดีเป็นพิเศษ การเรียงตัวของใบเป็นแบบเวียนรอบลำต้น มีรอบการเรียงตัว (phyllotaxy) เท่ากับ 5 /13 หรือจำนวนใบที่เกิดเวียนรอบลำต้นไปได้ 5 รอบจะมีจำนวนใบเท่ากับ 13 ใบ และใบที่ 14 จะเกิดตรงกับตำแหน่งของใบที่ 1 ลักษณะของใบเรียวยาวเป็นร่องโค้งและเรียงตัวเวียนรอบลำต้นสับปะรดแบบนี้มีความสำคัญในการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำน้อย ละอองฝนและน้ำค้างที่ตกลงมาสัมผัสกับพุ่มใบ จะถูกรวบรวมมาไว้ที่ส่วนโคนต้นให้รากในดินหรือรากตามมุมใบใช้ประโยชน์ได้ ใบของต้นสับปะรดที่เจริญเติบโตใกล้ระยะออกดอกแล้วอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามรูปร่าง ตำแหน่งของใบบนลำต้น และอายุของใบ ได้ดังนี้คือ

A-leaves เป็นกลุ่มของใบซึ่งอยู่ล่างสุดของลำต้น มีอายุมากที่สุด ส่วนของปลายใบเริ่มแห้งและไม่มีความสำคัญในด้านการสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้ว

B-leaves เป็นกลุ่มใบที่อยู่ถัดขึ้นมา แก่เต็มที่แล้วมีส่วนในการสร้างอาหารให้ต้นสับปะรดได้บ้างเล็กน้อย

C- leaves เป็นกลุ่มใบที่เจริญเต็มที่แล้ว สามารถสร้างอาหารให้ต้นสับปะรดได้ดีกว่าในกลุ่ม B

D- leaves เป็นกลุ่มใบที่อยู่ระหว่างการเจริญเติบโตทางสรีระเต็มที่ คือมีกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตสูงสุด มักเป็นกลุ่มของใบที่มีความยาวมากที่สุด และเป็นกลุ่มใบที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สถานะทางสรีระที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้น

สับปะรด เช่น ระดับธาตุอาหาร ปริมาณกรดและแป้งที่สร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสง และปริมาณคลอโรฟิลล์

E- leaves เป็นกลุ่มใบที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ใบมีสีอ่อนกว่าใบกลุ่ม D

F- leaves เป็นกลุ่มใบที่อ่อนที่สุด อยู่บริเวณปลายยอดของลำต้น มีขนาดเล็กที่สุด และมีสีเขียวจาง

ช่อดอกและดอก

ลักษณะช่อดอกของสับปะรดในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่มีช่อดอกแบบ raceme มีดอกย่อยและ bract เชื่อมติดกันจนเกือบสมบูรณ์และอยู่รวมกันบนแกนกลางของช่อดอก ช่อดอกของสับปะรดแต่ละช่อดอกมีดอกย่อย 100-200 ดอก และแกนกลางของช่อดอกเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากก้านช่อดอกซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญที่เป็นการต่อเนื่องรูปแบบการเกิดใบ อย่างไรก็ตามจะมองเห็นการเรียงตัวของดอกย่อยจากโคนผลไปสู่ปลายผลได้เป็น 2 แถว แนวหนึ่งเรียงไปทางขวาอีกแนวหนึ่งเรียงไปทางซ้าย การเรียงตัวของดอกย่อยทั้งสองแนวนี้มีความเอียงไม่เท่ากัน โดยแนวหนึ่งจะมีความเอียงมากกว่าอีกแนวหนึ่ง ในช่อดอกปกติจำนวนแถวของดอกย่อยในแต่ละแนวจะมีจำนวนคงที่ แนวนอนมีจำนวน 8 แถวและแนวตั้งมีจำนวน 13 แถว ลักษณะเช่นนี้ทำให้ประเมินจำนวนดอกย่อยหรือตาของผลสับปะรดได้โดยนับจำนวนดอกย่อยในแนวนอนและคูณด้วย 8 แต่จำนวนของดอกย่อยอาจจะมากหรือน้อยกว่านี้ได้เล็กน้อย เนื่องจากบางแถวอาจมีจำนวนดอกย่อยมากกว่าแถวอื่นอยู่ 1-2 ดอก ดอกย่อยแต่ละดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีส่วนประกอบต่างๆ คือ bract 1 อัน กลีบเลี้ยง 3 กลีบ กลีบดอก 3 กลีบ เกสรตัวผู้ 6 อันเรียงเป็นสองวงๆ ละ 3 แฉก เกสรตัวเมียมีความยาวมากกว่าเกสรตัวผู้เล็กน้อยและมีขนาดสั้นกว่ากลีบดอกเล็กน้อย กลีบดอกมีสีขาวที่โคนและสีม่วงอมฟ้าที่ส่วนปลาย รูปร่างของกลีบดอกเป็นแบบยาวรี ยาวประมาณ 16 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 5 มิลลิเมตร กลีบดอกเจริญอยู่ชิดกันมากตั้งแต่โคนถึงปลายทำให้มีช่องเปิดเพียงเล็กน้อย

ผล

การพัฒนาของผลสับปะรดเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องมีการผสมเกสร (parthenocarpy) การผสมตัวเองเกิดขึ้นไม่ได้เนื่องจากหลอดเกสรตัวผู้ (pollen tube)ในดอกของสับปะรดพันธุ์เดียวกันไม่สามารถเจริญผ่านก้านเกสรตัวเมียไปจนถึงรังไข่ได้ (Bartholomew, et al., 2003)

ผลสับปะรดเป็นผลรวม (multiple fruit) เกิดจากการเชื่อมติดกันของผนังรังไข่และส่วนประกอบของดอกย่อยที่เรียงตัวอยู่ติดกันบนแกนกลางของช่อดอก ที่ส่วนบนสุดของผลจะเป็นกลุ่มของใบซึ่งจะเจริญไปพร้อม ๆ กับผลและพัฒนาเป็นจุกต่อไป แกนกลางของจุกและผลสับปะรดเป็นส่วนที่เจริญต่อเนื่องมาจากเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดของต้นสับปะรด ผลสับปะรดถ้ามีขนาด

ใหญ่จะมีรูปร่างเป็นแบบกรวย (conical) คือส่วนโคนผลมีความกว้างมากกว่าส่วนปลายผล ถ้าผลมีขนาดปานกลางมักจะมีรูปร่างแบบทรงกระบอก (cylindrical) คือส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายผลมีความกว้างใกล้เคียงกัน และถ้าผลมีขนาดเล็กมักจะมีรูปร่างเป็นแบบทรงกลม (spherical) คือส่วนกลางของผลมีความกว้างมากกว่าส่วนโคนและส่วนปลายและความยาวของผลใกล้เคียงกับความกว้าง

บนก้านช่อดอกหรือก้านผลจะมีใบสั้น ๆ เกิดเวียนรอบก้านผล ใบเหล่านี้จะเรียงกันอยู่ห่าง ๆ ที่บริเวณส่วนโคนของก้านผล และจะอยู่ติดกันมากขึ้นที่ส่วนบนของก้านผลโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ติดกับโคนผลตามมุมใบจะมีตาซึ่งถ้าเจริญเติบโตขึ้นมาจะกลายเป็นส่วนที่เรียกว่าตะเกียง ซึ่งมีลักษณะเป็นต้นสับปะรดเล็ก ๆ คล้ายหน่อ Collins (1960) ได้อธิบายถึงลักษณะของตะเกียงว่าเป็นส่วนของผลที่ไม่เจริญเติบโตขึ้นมาตามปกติแต่มีส่วนของจุกที่มีขนาดใหญ่ ต้นสับปะรดแต่ละต้นอาจสร้างตะเกียงได้หนึ่งหรือหลายตะเกียง หรืออาจไม่สร้างเลยก็ได้ แต่ในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมักจะไม่สร้างตะเกียง ในกรณีที่มีการสร้าง ตะเกียง และเจริญเติบโตจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผล และอาจเจริญเติบโตต่อไปบนก้านผลได้อีกระยะหนึ่งหลังจากเก็บเกี่ยวผลสับปะรดไปแล้ว

ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียปกติจะไม่มีเมล็ดเนื่องจากไม่สามารถผสมตัวเองในพันธุ์เดียวกันได้ (self-incompatibility) แต่ผลอาจมีเมล็ดเกิดขึ้นได้ถ้ามีการช่วยผสมข้ามพันธุ์ เมล็ดจะมีขนาดยาวประมาณ 3-5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เปลือกเมล็ดแข็งหนามีสีน้ำตาล ภายในมีเอนโดสเปิร์ม และเอมบริโอ

ส่วนของจุกซึ่งอยู่ที่ส่วนบนของผลจะเจริญเติบโตไปพร้อมๆ กับผลจนถึงระยะที่ผลสับปรดแก่เต็มที่จุกก็จะหยุดการเจริญเติบโตและเข้าสู่ระยะพักตัว ส่วนของจุกจะมีแกนกลางเป็นลำต้น เล็ก ๆ มีสารอาหารจำพวกแป้งสะสมอยู่และมีเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอด ซึ่งเป็นส่วนต่อเนื่องมาจากแกนของผลและเป็นเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดของต้นสับปะรดต้นเดิมนั่นเอง เมื่อแยกจุกออกจากผลและนำไปปลูกจะสามารถเจริญเติบโตเป็นสับปะรดใหม่ต่อไป

พันธุ์สับปะรด

สับปะรดที่ปลูกเพื่อใช้ทางการค้าสามารถจำแนกพันธุ์ได้เป็น 5 กลุ่ม ตามรูปร่างลักษณะความยาวของใบ น้ำหนักของผล และลักษณะของผล รวมถึงการใช้ประโยชน์ ซึ่งแต่ละกลุ่มพอจะสรุปไว้ในตาราง 1 ได้ดังนี้

ตาราง 1 ลักษณะต่าง ๆของกลุ่มสับปะรด 5 กลุ่มที่จัดจำแนกและรายชื่อตัวอย่างพันธุ์ในแต่ละกลุ่ม (ประยุกต์จาก จารุพันธ์ ทองแถม, 2526)

กลุ่ม	รูปร่าง	น้ำหนัก (กก.)	สีเปลือก	รสชาติ	แกน	กระป๋อง	พันธุ์ตัวอย่าง
Abacaxi	ทรงกลม	1.4	เหลือง	หวานใยมาก ฉ่ำน้ำ	เล็กมาก	เลว	Sugar Loaf, Abakka Abacasi, Pepelon
Cayenne	กระบอก ตาตื้น	2.3-3.6	ส้มเข้ม	หวานอม เปรี้ยว	ปานกลาง	ดีมาก	ปัตตาเวีย, น้ำผึ้ง, Smooth Cayenne, Typhone
Maipure	กระบอก	0.8-2.5	เหลือง แดง	หวาน ใยมาก ฉ่ำน้ำ	เล็ก ปานกลาง	พอใช้	Maipure, Perolera
Queen	กระบอก ตาลึก	0.5-1.1	เหลือง	หวาน ฉ่ำน้ำ ใยน้อย	เล็ก	พอใช้	ภูเก็ต, สวี , ตราดสีทอง
Spanish	กลมตาลึก	0.9-1.8	แดงส้ม	เปรี้ยว ใยมาก	ใหญ่	พอใช้	อินทรชิต, ขาว, Red Spanish, Salangor

จากการจำแนกสับปะรดข้างต้น กลุ่มที่นิยมปลูกพบกันอยู่ 3 กลุ่มใหญ่คือ กลุ่ม Spanish, Queen และ Cayenne ซึ่งกลุ่มของ Spanish มักจะเป็นสับปะรดพันธุ์พื้นเมือง ใบมีหนาม แต่ทนต่อโรคและแมลงได้ดี เช่น พันธุ์อินทรชิต และพันธุ์ขาว ส่วนกลุ่ม Queen ที่นิยมปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย คือ พันธุ์ภูเก็ต สวี ตราดสีทองและภูแล พันธุ์เหล่านี้นิยมปลูกเพื่อขายรับประทานสดเท่านั้น ส่วนในกลุ่มสุดท้ายที่พบในบ้านเราคือกลุ่ม Cayenne ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์นางแล และพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยเฉพาะพันธุ์ปัตตาเวียเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมาก เพราะเป็นสับปะรดพันธุ์เดียวที่นิยมส่งเข้าโรงงานแปรรูป แม้ว่าบางส่วนจะมีการปลูกเพื่อใช้รับประทานสดได้ด้วยเช่นกัน ส่วนพันธุ์นางแล และสายน้ำผึ้งมักนิยมปลูกเพื่อรับประทานสดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากรูปทรงไม่เหมาะกับที่จะส่งโรงงานแปรรูป (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541)

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจ สร้างรายได้ให้ประเทศไทยประมาณปีละ 23,000 – 25,000 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรด คิดเป็นร้อยละ 45 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูป โดยไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องเป็นอันดับ

1 ของโลก มีส่วนแบ่งทางการตลาดร้อยละ 50 ซึ่งตลาดส่งออกสำคัญได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง โดยอุตสาหกรรมสับปะรดมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างรายได้ให้ภาคเกษตรกร ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงภาคการผลิตด้านการเกษตร กับภาคอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม เป็นแหล่งรองรับผลผลิตของเกษตรกรปีละ 1.8 -2.0 ล้านตัน ของผลผลิตทั้งหมด โดยผลผลิตที่เหลือประมาณร้อยละ 20 ใช้ในรูปสับปะรดบริโภคสดภายในประเทศ และส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) โดยประเทศไทยนั้นสามารถผลิตสับปะรดได้ตลอดทั้งปี โดยในหนึ่งปีจะมีผลผลิตออกมาก 2 ช่วง ได้แก่ เดือนมีนาคม-มิถุนายน และพฤศจิกายน-มกราคม ซึ่งปริมาณของสับปะรดที่ส่งออกสู่ท้องตลาดนั้นจะเป็นตัวกำหนดราคาของสับปะรด (สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป, 2554) โดยพบว่าปริมาณผลผลิตสับปะรดของไทยตั้งแต่ พ.ศ.2554 - 2558 ดังตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณผลผลิตสับปะรดในประเทศไทยปี พ.ศ.2554 - 2558

ปี พ.ศ.	ปริมาณผลผลิต (ล้านตัน)
2554	2.59
2555	2.40
2556	2.07
2557	1.92
2558	1.78
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	-9.27

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558)

จากปริมาณผลผลิตสับปะรดของไทยที่มีแนวโน้มลดลง เป็นเพราะว่าสภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ และผู้ผลิตสับปะรดที่สำคัญได้แก่ ไทย ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย มีผลกระทบจากภัยธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตาม ที่ประเทศฟิลิปปินส์มีการปรับเปลี่ยนการปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งเป็นสับปะรดโรงงาน (ผลิตผลนำไปแปรรูป) มาเป็นสับปะรดพันธุ์ MD2 เป็นสับปะรดเพื่อบริโภคสด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) จะเห็นได้ว่ามีการผลิตสับปะรดเพื่อบริโภคสดเพิ่มมากขึ้น และพบว่า ส่วนแบ่งการตลาดของสับปะรดรับประทานสดในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (เปรมณ สงขลา, 2553)

สับปะรดห้วยมุ่น

งานวิจัยเล่มนี้ เลือกใช้นี้เลือกใช้สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Smooth cayenne จัดเป็นพันธุ์ท้องถิ่น และนิยมปลูกในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากสับปะรดรับประทานสดในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงเปิดโอกาสให้พัฒนาสับปะรดผลสดสายพันธุ์ใหม่ภายในประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดโลก และเป็นโอกาสสำคัญในการส่งเสริมยกระดับผลิตผลท้องถิ่นและพัฒนาให้เป็นพันธุ์ส่งออกรับประทานสดในอนาคต

สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น เป็นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งได้ถูกนำมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์ นำมาปลูกในตำบลห้วยมุ่น จนกลายเป็นพันธุ์ท้องถิ่น เนื่องจากสภาพดินและสภาพภูมิอากาศ ของพื้นที่ทำให้สับปะรดห้วยมุ่นมีลักษณะแตกต่างไปจากพันธุ์ดั้งเดิม คือ มีรสชาติหวาน มีน้ำมาก เป็นสับปะรดฉ่ำ ไม่ระคายลิ้น โดยพื้นที่ปลูกสับปะรดได้มีการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์แล้ว ว่าสับปะรดห้วยมุ่นได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นพันธุ์ท้องถิ่น ซึ่งมีขอบเขตในการผลิตครอบคลุมพื้นที่ในเขตตำบลห้วยมุ่น อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2556)

ซึ่งกระบวนการผลิตสับปะรดห้วยมุ่น สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ควรปลูกในช่วงฤดูแล้ง ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน โดยการเตรียมพันธุ์ ต้องมีการคัดขนาดแบ่งกลุ่มอย่างชัดเจน และมีขนาดเท่าๆ กัน ทางด้านการเก็บเกี่ยวสับปะรดห้วยมุ่นนั้น สับปะรดจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่อต้นปีอายุ 1 ปีขึ้นไป และจะให้ผลผลิตไปเรื่อยๆ ต้นสับปะรดจะมีอายุประมาณ 5-6 ปี เก็บเกี่ยวตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม และกลางเดือนเมษายน-กรกฎาคม

พื้นที่ในการเพาะปลูกสับปะรดห้วยมุ่นมีประมาณ 13,000 ไร่ โดยผลผลิตเฉลี่ย 8,000 กิโลกรัมต่อไร่ ในด้านการตลาดนั้น ได้มีโรงงานสับปะรดกระป๋องเข้ามาทำการรับซื้อ และผลผลิตส่วนหนึ่งมีพ่อค้ามารับซื้อภายในท้องถิ่น ซึ่งมีการส่งออกผลผลิตสู่ท้องตลาด วันละประมาณ 100 ตัน (จักราวุธ สุขวัฒน์, 2552)

ปัจจุบันสับปะรดห้วยมุ่นเป็นที่นิยมและมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นโอกาสสำคัญในการส่งเสริมยกระดับผลิตผลท้องถิ่นและพัฒนาให้เป็นพันธุ์ส่งออกรับประทานสดในอนาคต เนื่องจากสับปะรดส่งออกจำเป็นต้องขนส่งทางเรือและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแต่การเก็บรักษาสับปะรดในที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลเป็นข้อจำกัดอายุการเก็บรักษาและพบว่าเป็นปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

ลักษณะทางคุณภาพ องค์ประกอบเคมี การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาระหว่างขนส่ง

สับปะรดจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric การเก็บเกี่ยวผลิตผลควรจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลบริบูรณ์พร้อมที่จะบริโภค เพราะการเก็บเกี่ยวสับปะรดจะไม่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วระยะบริบูรณ์เต็มของสับปะรดที่เก็บเกี่ยวควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้อย่างน้อย 12 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณวิตามินซี 20 – 65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามปริมาณต่างๆ จะแตกต่างไปตามสายพันธุ์และระดับความบริบูรณ์ (Kader, 1996)

การเก็บเกี่ยวเพื่อส่งให้โรงงานนิยมใช้วิธีหักผลออกจากต้น ซึ่งจะหักตรงรอยต่อระหว่างผลและก้านผล ไม่มีส่วนของก้านติดมากับผล ส่วนจุกจะหักหรือใช้มีดตัดออก ไม่ควรบิดจุกออกจากผล เพราะจะทำให้มีรอยแผลเป็นช่องทางให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งการส่งออกทางเรือห้องเย็นนั้นจะต้องเก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว (mature green) ถึงเนื้อสุกไม่เกิน 20% ทั้งนี้ถ้าเก็บเกี่ยวสับปะรดที่สุกเกินไปจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่ได้นาน เนื่องจากเกิดการผิดปกติทางสรีรวิทยา เช่น การเกิดอาการไส้ดำ (internal brown spot) และความเสียหายเนื่องมาจากความเย็น (chilling injury) ได้ง่าย ซึ่งหากมีอาการผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นมากเกินไป จะทำให้เนื้อสับปะรดรับประทานไม่ได้ โดยขนาดของผลที่ส่งออกในปัจจุบันมีน้ำหนักระหว่าง 1.5-2.5 กิโลกรัม เป็นส่วนใหญ่

การขนส่งสับปะรดนั้นเนื่องจากต้นทุนในการขนส่งทางอากาศนั้นสูง จึงต้องจำเป็นต้องมีการขนส่งทางเรือซึ่งมีระยะเวลานาน การเก็บรักษาในห้องเย็นระหว่างการขนส่งจึงจำเป็นมาก โดยสับปะรดที่ขนส่งทางเรือห้องเย็นจะผ่านการลดความร้อน (precooling) เมื่อเก็บเกี่ยวจากไร่แล้ว หลังจากนั้นจึงขนส่งผลิตผลจากไร่โดยรถห้องเย็นไปยังเรือห้องเย็นอุณหภูมิในการขนส่ง 8-10 องศาเซลเซียส (°C) (จำลองอุณหภูมิเพื่อใช้งานวิจัย) (เบญจมาศ รัตนชินกร และ สนทรรศน์ นันทะไชย, 2554) การเก็บรักษาสับปะรดเป็นเวลานานในห้องเย็นเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยว และส่งผลให้เกิดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก และเป็นสาเหตุสำคัญที่นำมาศึกษาในครั้งนี้

อาการสะท้านหนาว (Chilling injury)

การสะท้านหนาว (chilling injury) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเมื่อพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งโดยทั่วไปมักเกิดขึ้นกับพืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อน อาการสะท้านหนาวสามารถเกิดได้ตั้งแต่ในแปลงปลูก ระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา ร้านขาย หรือแม้แต่เก็บในตู้เย็นที่บ้าน (Morris, 1982)

ความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำ ซึ่งผักและผลไม้หลายชนิดมีอาการผิดปกติขึ้นได้ โดยเฉพาะพืชเมืองร้อนจะเกิดอาการผิดปกติขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15°C ส่วนพืชเขตหนาวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0-2°C (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544)

อุณหภูมิวิกฤต (threshold temperature) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เมื่อเก็บรักษาพืชนั้นแล้วจะไม่เกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งอุณหภูมิวิกฤตนี้จะมาใช้เป็นพื้นฐานเพื่อบอกถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมหรืออุณหภูมิที่แนะนำในการเก็บรักษาพืชที่ไว (sensitive) ต่ออุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาพืชในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตเป็นระยะเวลานาน ทำให้อาการสะท้านหนาวปรากฏขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิวิกฤตของพืชแต่ละชนิดยังแตกต่างไปขึ้นอยู่กับพันธุ์และวัย โดยทั่วไปแล้วผลิตผลที่อายุน้อยจะไวต่ออุณหภูมิต่ำ มากกว่าผลผลิตอายุมาก (Paull, 1990)

ลักษณะของอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาการทั้งหลายมีผลมาจากอุณหภูมิต่ำ อาการมักจะเกิดรุนแรงเมื่อนำผลิตผลออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2556)

1. เกิดการยุบตัวของผิวหรือการเกิดรอยบุ๋ม (surface pitting)

เป็นอาการที่ผิวของผลยุบตัวลงเป็นแห่งๆ บริเวณที่ยุบจะมีสีผิดปกติไปจากเดิม เกิดเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งสูญเสียน้ำมาก พบได้ในมะเขือเทศ

ดนัย บุณยเกียรติ (2556) กล่าวว่า มะเขือเทศดิบจะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมากกว่าผลสุก อาการที่ปรากฏ คือผิวมีสีไม่สด ผิวสากไม่มัน เกิดการยุบตัวของผิว

2. อาการฉ่ำน้ำ (water soak)

มีการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์ ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกสารจากเซลล์เกิดความผิดปกติ ผิวผลเกิดการสูญเสียน้ำ และเกิดอาการฉ่ำน้ำขึ้น พบได้ใน สับปะรด

3. สีเนื้อและเปลือกที่เปลี่ยนไป (discoloration)

เนื้อผลไม้บางชนิดที่ได้รับอุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนจากสีปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ ท่อน้ำและท่ออาหาร สีเปลือกมักจะเปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม พบได้ในกล้วย

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ

มีสารเมแทบอไลต์ต่าง ๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่าง ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ มีการเพิ่มอัตราการรั่วไหลของเซลล์ทำให้จุลินทรีย์ทำลายได้ง่าย

ธเนศวร์ สรีระแก้ว (2541) ได้มีการศึกษาการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 30 วัน มีค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ในเนื้อเพิ่มขึ้น

5. มีการสุกที่ผิดปกติ

ผลไม้ดิบที่แก่จัดหลายชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานจะเสียคุณสมบัติในการสุกเมื่อนำไปบ่ม หรือผลสุกผิดปกติ เช่น กล้วย มะละกอ

สุทธิวัลย์ สีทา (2538) จากการศึกษาการเก็บรักษาผลมะละกอพันธุ์แขกดำ พบว่าผลมะละกอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เกิดอาการสะท้านหนาว และไม่สามารถสุกได้อย่างปกติ

6. เร่งอัตราการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น

เกิดการเน่าเสียและเสื่อมสภาพ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากเซลล์ได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อนิ่มลงจากการเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Wang, 1990)

7. ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป

มักมีรสชาติ และกลิ่นผิดปกติไปจากเดิม

8. ขาดสมบัติในการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง

ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งจะส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ของพืชต่างๆ ที่เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำเกินไป

9. อายุการเก็บรักษาสั้นลง

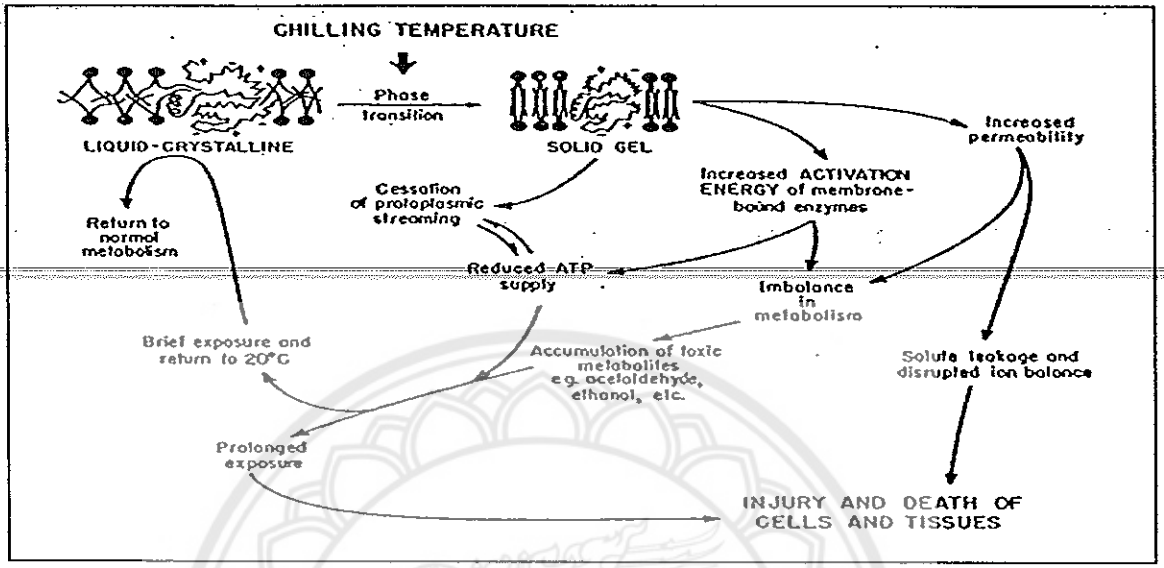
อาการที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นอาจเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตผล ระดับอุณหภูมิ และความรุนแรงของอาการ

สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว

1. การเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์

เมื่อได้สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ ทฤษฎีนี้มีแนวคิดมาจากโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ที่เสนอโดย Singer and Nicolson (1972) ที่เรียกว่า Fluid Mosaic Model โดยเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยโมเลกุลของไขมัน หรือ ลิพิดเรียงตัวเป็น 2 ชั้น หันด้านปลายที่ไม่ดูดน้ำเข้าด้านใน และปลายด้านที่ชอบน้ำออกด้านนอก โมเลกุลของโปรตีนจะฝังแทรกอยู่ในชั้นของไขมัน กรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลสั้นและเป็นกรดชนิดไม่อิ่มตัวเป็นปัจจัยที่ช่วยให้เยื่อหุ้มมีสมบัติของการเป็นของเหลวดีขึ้น และทำให้เซลล์ไม่แข็งตัวในอุณหภูมิต่ำ (Alberts, et al., 1994) แนวคิดนี้เสนอโดย Lyons (1973) ว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้ไขมันที่เยื่อหุ้มเปลี่ยนสถานะจากผลึกของเหลวที่ยืดหยุ่นได้ (liquid crystalline) เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายเจลที่แข็งตัว การเป็นของแข็งของไขมันที่เยื่อหุ้มทำให้เกิดการแตกแยก หรือช่องผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ที่เยื่อหุ้ม (cracks or channels) ส่งผลให้

ความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง เกิดความไม่สมดุลของอิออนในเซลล์ หรือมีการรั่วออกของอิออน ดังภาพ 1

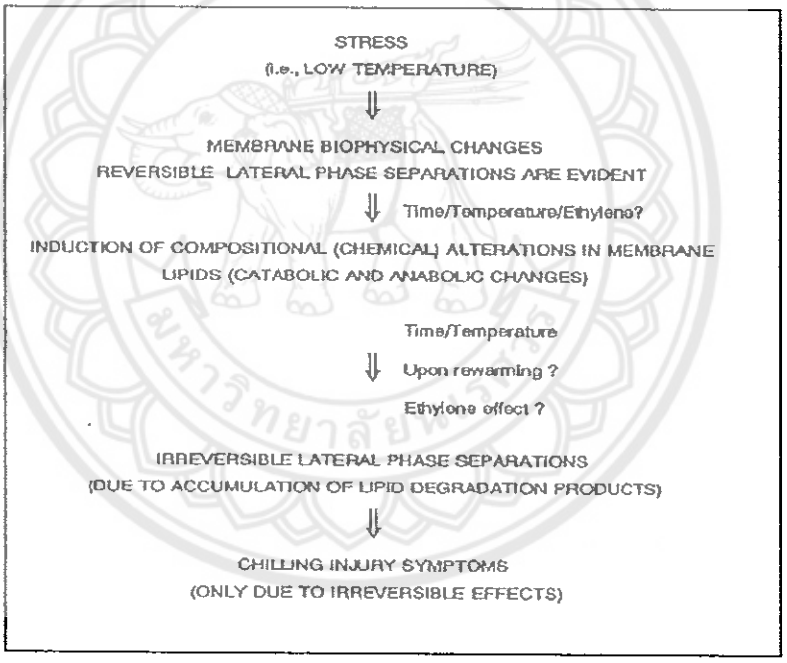


ภาพ 1 สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว

ที่มา: Lyons (1973)

การเปลี่ยนแปลงสถานะของไขมันเนื่องจากอุณหภูมิต่ำนี้สามารถเปลี่ยนกลับคืน ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้น ๆ แล้วนำกลับมาสู่อุณหภูมิปกติ และอัตราการหายใจที่สูงก็ลดลงเป็นปกติ แต่ถ้ายังคงได้รับอุณหภูมิต่ำระยะเวลานาน เยื่อหุ้มไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ อัตราการหายใจก็คงอยู่ในระดับที่สูง แสดงว่าขบวนการเมทาบอลิซึมถูกรบกวน Lyons (1973) เสนอว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเยื่อหุ้มของเนื้อเยื่อที่ต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำนั้นจะสูงกว่าในเนื้อเยื่อที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ แต่มีหลายรายงานที่พบว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่สัมพันธ์การเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มและความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มไม่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันเพียงอย่างเดียวแต่ยังอาจขึ้นอยู่กับ สเตรอยด์ คลอเรสเตอรอล และ lipid-protein complex (Wang, 1982) Nishida and Murata (1996) รายงานว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีความสัมพันธ์กับความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืช แต่ไขมันที่เยื่อหุ้มไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่ควบคุมความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืช สถานะในการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลกรดไขมัน จุดหลอมเหลวของกรดไขมันแปรผันตรงกับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนและความไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่มีขนาดใหญ่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีขนาดเล็ก และในกรดไขมันที่มีขนาดเท่ากันกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่ากรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมัน

อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพวกที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ ในพวกกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ การมีพันธะแบบ cis จะให้ความสามารถในการเป็นของไหลมีมากขึ้น (ธีรวรรธน์ ขันทอง, 2543) การเปรียบเทียบระหว่างพืชที่ไวกับพืชที่ไม่ไวต่ออาการสะท้านหนาว พบว่าพืชที่ไม่ไวต่ออาการสะท้านหนาวมีไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่มากกว่าพืชที่ไวต่อการสะท้านหนาว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) นอกจากนั้นสภาพอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิ่มตัว (gene for fatty acid desaturases) ทำให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้สถานะการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มคงเดิม เยื่อหุ้มสามารถควบคุมการเคลื่อนย้ายอิออนเข้าออกเซลล์ และควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ที่เยื่อหุ้มได้ (Murata and Los, 1997) Marangoni, et al. (1996) ได้เสนอแผนผังแสดงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวดังภาพ 2



ภาพ 2 แผนผังแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่เยื่อหุ้มเซลล์ จนกระทั่งทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว

ที่มา: Marangoni, et al. (1996)

โดยสรุปการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้ม สัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว และ การเกิด lipid peroxidation ซึ่งมีผลต่อการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มเซลล์

2. การผลิตอนุมูลอิสระมากเกินไป

อนุมูลอิสระ (free radical) คือโมเลกุล หรืออิออนที่มีอิเลคตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จึงเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากต้องการจับคู่กับอิเลคตรอนอื่น เพื่อเข้าสู่สถานะเสถียร อิเลคตรอนที่อยู่นอกสุดนี้มีพลังงานสูงที่จะทำลายโมเลกุล หรือเคลื่อนที่ไปยังโมเลกุลเสถียรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้โมเลกุลเสถียรนั้นเกิดอนุมูลอิสระได้ และโมเลกุลที่ให้อิเลคตรอนเกิดความเสถียรได้ ในกรณีที่เกิด lipid peroxidation เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดทั้งการทำลายและการส่งผ่านอนุมูลอิสระ สารโมเลกุลใหญ่ในเซลล์ที่อ่อนแอและเกิดอนุมูลอิสระได้ง่าย ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และ กรดนิวคลีอิค อนุมูลอิสระที่มีความสามารถสูงในการทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มได้มักมาจากอะตอมของออกซิเจนหรือที่เรียกว่า active oxygen species (AOS) หรือ reactive oxygen species (ROS) ซึ่งอนุมูลอิสระที่สำคัญได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์($O_2^{\bullet}$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และอนุมูลไฮดรอกซิล (HO•) (Hodges, 2003)

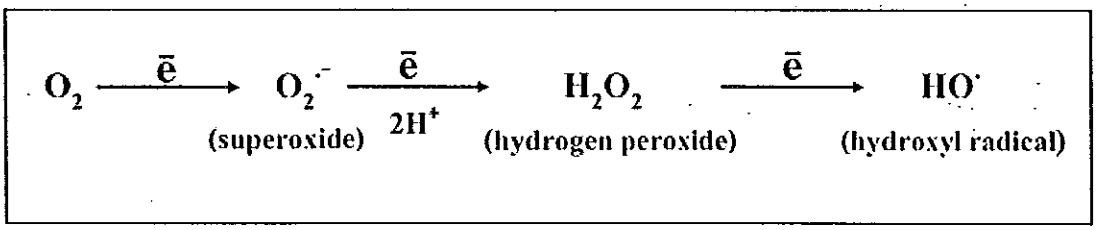
2.1. แหล่งสร้างอนุมูลอิสระในเซลล์ เนื้อเยื่อพืชสามารถสร้างอนุมูลอิสระ ได้จาก 3 แหล่ง (Tivonen, 2004) ดังนี้

2.2.1. apoplastic region เป็นบริเวณช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มและผนังเซลล์ ส่วนประกอบของบริเวณนี้ได้แก่ ผนังเซลล์ apoplastic space และ บริเวณด้านนอกของเยื่อหุ้ม อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ NADPH oxidase และ wall bound peroxidase (Vreeburg and Fry, 2005)

2.2.2 ไซโตพลาสซึม

2.2.3. ออร์แกเนลล์ในเซลล์ ในสภาวะปกติอนุมูลอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ดังนั้นออร์แกเนลล์ซึ่งมีกิจกรรมของเมตาบอลิสซึมที่เกี่ยวกับการถ่ายเทอิเลคตรอนมาก เช่น คลอโรพลาสต์ ไมโตคอนเดรีย และไมโครบอดีออร์แกเนลล์ เหล่านี้เป็นแหล่งผลิตอนุมูลอิสระในเซลล์ (Mittler, et al., 2004) นอกจากนั้นอนุมูลอิสระยังเกิดขึ้นในเพอร์ออกซิโซมในกระบวนการ photorespiration (Mittler, 2002)

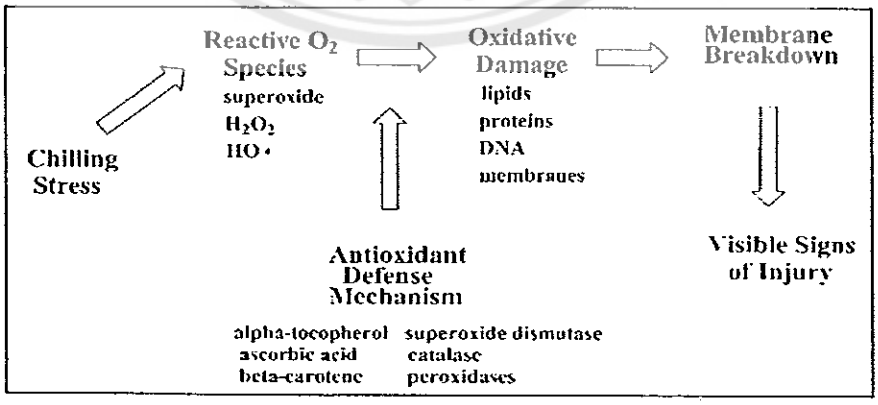
2.2 ลำดับการเกิดอนุมูลอิสระ ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็คตรอน ถ้ามีการรับอิเล็คตรอนในปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนไปเป็นน้ำ จะเกิดอนุมูล superoxide radical หรือ superoxide anion ($O_2^{\bullet-}$) เมื่อ $O_2^{\bullet-}$ รับ H^+ จะได้อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล (hydroperoxyl radical,$HO_2^{\bullet}$) ซึ่งทำปฏิกิริยากับ $HO_2^{\bullet}$ อีกหนึ่งอนุมูลเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งสามารถเกิด dismutation โดยมี Fe^{3+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็น hydroxyl radical ($HO^{\bullet}$) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีปฏิกิริยาที่ว่องไวสูงมาก (Desikan, et al., 2005) ดังภาพ 3



ภาพ 3 ลำดับการเกิดอนุมูลอิสระ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Desikan, et al. (2005)

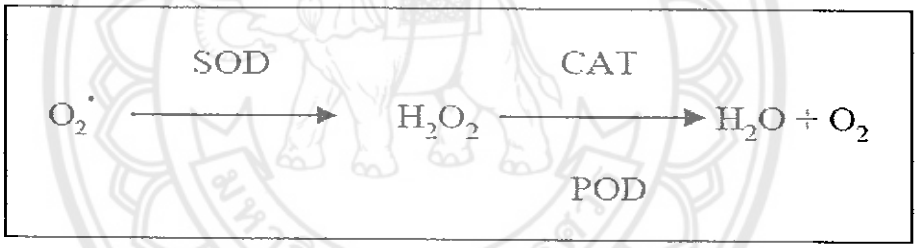
ในสภาพปกติการผลิตอนุมูลอิสระภายในเซลล์เกิดขึ้นในระดับต่ำ แต่สภาวะเครียดจากภายนอกจะรบกวนสมดุลภายในเซลล์ พร้อมทั้งกระตุ้นให้สร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Mittler, 2002) สภาพที่มีความเครียดเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น การขาดน้ำ การลดลงของอุณหภูมิ หรือเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ plasma-membrane-bound NADPH oxidases, amine oxidases และ cell-wall bound peroxidases (Feierabend, 2005) ทำให้สร้างอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นภายในเซลล์พืชไปออกซิไดซ์โมเลกุลต่างๆภายในเซลล์ รวมทั้งไขมันบนเยื่อหุ้มต่าง ๆ จนส่งผลให้กระบวนการทางสรีรวิทยาผิดปกติไป (Shewfelt and Del Rosario, 2000) ดังภาพ 4 มีการทดลองที่พิสูจน์ถึงการสร้างอนุมูลอิสระจาก oxidative stress ใน cell culture ของ Arabidopsis ทำให้เกิด oxidative stress โดยได้รับ H_2O_2 เป็นระยะเวลาสั้น ๆ หรือได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานาน พบว่าทำให้การขนถ่ายอิเล็คตรอนผิดปกติ มีการสร้าง ATP ลดลง แต่สร้าง H_2O_2 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์ตาย (Tiwari, et al., 2002)



ภาพ 4 แนวความคิดที่อธิบายบทบาทของ lipid peroxidationในอาการสะท้านหนาวทำให้เกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเซลล์

ที่มา: Shewfelt and Del Rosario (2000)

2.3 การกำจัดอนุมูลอิสระ ในธรรมชาติเซลล์พืชจะมีระบบควบคุมไม่ให้อนุมูลอิสระมีมากจนทำให้เกิดความเสียหาย กลไกการควบคุมโดยเอนไซม์ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (superoxide dismutase: SOD) , เพอร์ออกซิเดส (peroxidase: POD) ,คะตะเลส (catalase: CAT) (Toivonen, 2004) โดยเอนไซม์ SOD เปลี่ยนซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide anions) ไปเป็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สามารถพบเอนไซม์นี้ในไซโตซอล (cytosol) คลอโรพลาสต์ ไมโตคอนเดรีย และ apoplast (Mittler, 2002) ส่วนเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่กำจัด H_2O_2 คือ CAT และ POD โดยเปลี่ยน 2 H_2O_2 ให้เป็น 2 H_2O และ O_2 ดังภาพ 5 เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ทำหน้าที่กำจัด H_2O_2 เหมือนกัน แต่ปฏิกิริยาเกิดแตกต่างกัน และตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในเซลล์แตกต่างกัน โดยเอนไซม์ CAT จะพบใน เพอร์ออกซิโซม (peroxisome) ส่วน POD จะพบใน คลอโรพลาสต์ และไซโตซอล (Mach and Greenberg, 2004) นอกจาก CAT จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระแล้วยังคาดว่า CAT ยังทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณของการป้องกันตัวในพืชด้วย (Breusegem, et al., 2001)



ภาพ 5 การควบคุมอนุมูลอิสระโดยเอนไซม์ SOD CAT และ POD

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mach and Greenberg (2004)

นอกจากนั้นยังมีสารที่ไม่ใช่เอนไซม์แล้วทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระด้วยเช่น กลูตาไธโอน (glutathione) แล้วยังพบสารที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระ (antioxidant) ได้แก่ อัลฟาโทโคฟีรอล (α-tocopherol) หรือวิตามินอี , เบต้าแคโรทีน (β-carotene) (Shewfelt and Del Rosario, 2000) ดังภาพ 4 ปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzymes) มักเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพ abiotic stress ดังนั้นจึงคาดว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ในส้มแมนดารินพบว่าเอนไซม์ที่ต้านอนุมูลอิสระในพันธุ์ที่ต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าพันธุ์อ่อนแอ (Sala, 1998) งานทดลองดัดแปลงพืชให้มี กิจกรรมของ SOD เพิ่มขึ้นในเซลล์ พบว่าสามารถป้องกันเซลล์จาก oxidative stress ได้ (Allen, et al., 1997) ต้นยาสูบที่ดัดแปลงให้มีการแสดงออกของ Cu/Zn SOD มากใน คลอโรพลาสต์ จะสามารถทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ แต่ต้นที่ได้มีลักษณะใบด่าง (chimera) (Gupta, et al.,

1993) Zambounis, et al. (2002) ได้ดัดแปลงให้ต้นพริกมีการแสดงออกของยีน Cu/Zn SOD เพิ่มขึ้น พบว่าสามารถทนต่อ oxidative damage ได้ ต้นมะเขือเทศดัดแปลงพันธุ์ที่มี antisense catalase gene ทำให้มีกิจกรรมของ CAT ลดลง 2- 8 เท่า พบว่ามีปริมาณ H_2O_2 ในต้นเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับต้นปกติ ขณะที่ต้นมะเขือเทศที่ได้รับการถ่าย ยีน *katE* ทำให้มีกิจกรรมของ CAT เพิ่มขึ้น 3 เท่า พบว่าต้นมีความทนต่อสภาพแห้งแล้งและอุณหภูมิต่ำ (Mohamed, et al., 2003) แต่ อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต (2547) พบว่าเอนไซม์ SOD และ CAT ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด และ สุทิน กันยะมี (2548) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และตัวต้านออกซิเดชัน ในผลมะม่วงที่เกิดอาการสะท้านหนาว

ทั้งสองทฤษฎีของอาการสะท้านหนาวเป็นเหตุการณ์ที่คาดว่าเป็นเหตุการณ์แรก (primary injury) ซึ่งเป็นการตอบสนองของพืชที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ที่สอง (secondary injury) แต่ถ้าพืชได้รับอุณหภูมิไม่ต่ำมากหรือระยะเวลาที่ได้รับไม่นานเกินไป แล้วกลับมาอยู่ที่อุณหภูมิปกติ (non-chilling conditions) พืชสามารถกลับสู่สภาพปกติได้ (Shewfelt, 1992)

เหตุการณ์ที่สอง เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากเหตุการณ์แรก และอาจไม่สามารถกลับสู่สภาพปกติได้ ซึ่งได้แก่ การผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง มีการรบกวนการผลิตพลังงาน สะสมสารพิษ เช่น เอทานอล อะเซทัลดีไฮล์ และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ ในพืชที่อ่อนแอ ทำให้เกิดความเสียหายและความสามารถที่ซ่อมแซมเนื้อเยื่อ (Raison and Orr, 1990) ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับ ระดับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ถ้าพืชได้รับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตเป็นระยะเวลาสั้น ๆ พืชสามารถซ่อมแซมและกลับสู่สภาพเดิมได้ แต่ถ้ายังคงเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อไป เซลล์ไม่สามารถซ่อมแซม จากความเสียหายได้ ทำให้อาการสะท้านหนาวปรากฏขึ้น โดยทั่วไปการตรวจและวินิจฉัยอาการสะท้านหนาวทำได้ยาก เนื่องจากผลิตผลมักมีสภาพภายนอกที่ดีเมื่อนำออกมาจากอุณหภูมิต่ำ แต่อาการผิดปกติจะปรากฏให้เห็นเมื่อย้ายผลิตผลมาไว้ในที่อุณหภูมิสูง อาการที่ปรากฏอาจเกิดขึ้นทันทีหรือต้องการระยะเวลาเพื่อพัฒนาอาการ (Saltveit and Morris, 1990)

3. **การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาว**

3.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อและองค์ประกอบของเซลล์

เนื่องจากอาการสะท้านหนาวทำให้เกิดความผิดปกติของเนื้อเยื่อ ดังนั้นจึงมี

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและองค์ประกอบของเซลล์เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ ในผิวผลที่เกิดอาการบุ๋ม พบว่าการบุ๋มของเนื้อเยื่อไม่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำ เนื้อเยื่อบริเวณที่บุ๋มในมะเขือยาวและแตงกวา พบว่ามีการยุบตัวของเซลล์พาเรนไคมาภายใต้ผิว (Abe, 1990) เมื่อศึกษาองค์ประกอบภายในเซลล์พบว่า ไซโตพลาสซึมมีขนาดเล็กลง สารประกอบฟีนอลรวมตัวเป็นก้อนอยู่ภายในแวคิวโอล บางครั้งพบมีการแตกของเยื่อหุ้มแวคิวโอล แสดงว่ามีการรวมของแวคิวโอลกับไซโตพลาสซึม (Burzo, et al., 2001)

ในเซลล์ของ *Cornus stolonifera* ที่เลี้ยงในอาหารเหลว เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ 48 ชั่วโมง พบว่ามีการเสื่อมสภาพของโปรพลาสติด (proplastids) ร่างแหเอนโดพลาซึม และเยื่อหุ้มแวคิวโอล (Niki, et al., 1978) ส่วนเซลล์ของถั่วเขียวในอาหารเหลว เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำพบว่าเซลล์โป่งออก เยื่อหุ้มแวคิวโอลฉีกขาด โครงสร้างของเซลล์เสียสภาพโดยเยื่อหุ้มย่น ในระยะแรกของการสะท้านหนาวพบการขยายตัวและพองของเซลล์ (Ishikawa, 1996)

3.2 การเกิดสีน้ำตาล

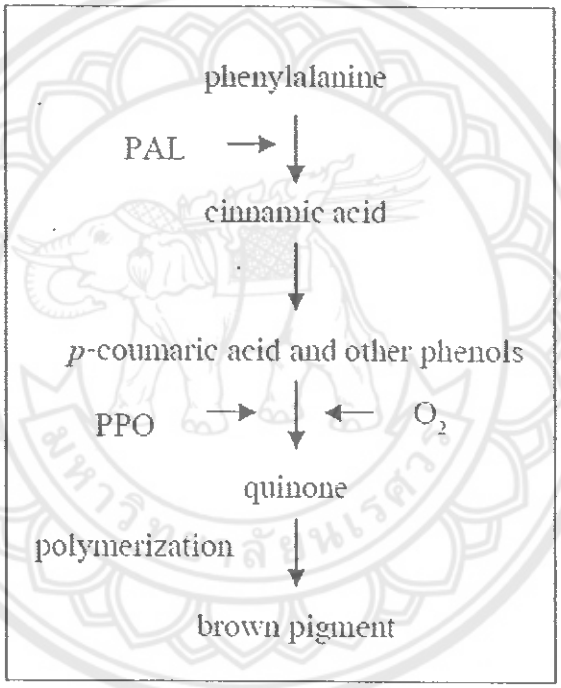
อาการสีน้ำตาลเป็นอาการหนึ่งที่มักพบในเนื้อเยื่อที่เกิดการสะท้านหนาว โดยทั่วไปการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้อาจเกิดได้ 2 แบบ ได้แก่ การไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์ (Maillard reaction) และการมีกิจกรรมของเอนไซม์ การไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เป็นการรวมตัวของน้ำตาลกับ amines ของกรดอะมิโนหรือโปรตีน ส่วนการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ เป็นการ ออกซิเดชัน ของสารประกอบฟีนอลิกโดยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO ; 1,2 benzenediol : oxygen oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ และมีชื่อหลาย ชื่อตามสารตั้งต้น เช่น catechol oxidase, catecholase, diphenol oxidase, *o*-diphenolase, phenolase และ tyrosinase (Martinez and Whitaker, 1995 ; Walker, 1995)

PPO สามารถพบได้ทั้งในรูป soluble และ membrane bound ในคลอโรพลาสต์ โดย PPO ยีนสร้างขึ้นในนิวเคลียสและแปลรหัสในไซโตพลาสซึม หลังจากนั้นจะสร้าง pro PPO และเคลื่อนย้ายไปในคลอโรพลาสต์ ซึ่งถูกย่อยโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีนเพื่อให้อยู่ในรูปที่ active (Sommer, et al., 1994) สารฟีนอลิกที่เป็นสับสเตรทของ PPO อยู่ในแวคิวโอล ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาล จะเกิดเมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายและเซลล์สูญเสียสภาพ (Vamos-Vigyazo and Haard, 1981)

ในกลไกการเกิดสารสีน้ำตาล เอนไซม์ PPO คะตะไลซ์ monophenols เป็น *o*-diphenols และ ออกซิไดซ์สารประกอบ *o*-diphenols ได้เป็น *o*-quinone ทั้งสองปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนเป็น co-substrate ส่วน *o*-quinone เป็นสารที่ไม่เสถียรและทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนอย่างรวดเร็วทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ (melanin) โดยการ polymerization (Whitaker, 1994) ดังภาพ 6 PPO ในแต่ละพืชมีสับสเตรทที่จำเพาะแตกต่างกัน สับสเตรท

ธรรมชาติที่พบง่ายในพืชหลายชนิด คือ chlorogenic acid ที่พบรองลงมาได้แก่ catechin และ dihydroxyphenylalanine (Walker, 1995)

การศึกษาการแสดงออกของยีน PPO ในพืชหลายชนิด (Cary, et al., 1992; Chevalier, et al., 1999; Gooding, et al., 2001) พบว่ายีน PPO มีการแสดงออกในเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนาและบริเวณเมอริสเต็ม (meristem) แล้วลดลงระหว่างเนื้อเยื่อแก่ ส่วนผลที่กำลังพัฒนาก็มีกิจกรรมของ PPO สูงและลดลงเมื่อผลแก่ (Vamos-Vigyazo and Haard, 1981) แต่ในกล้วยที่เปลือกมีสีคล้ำเมื่อผลงอม เกิดจากเมื่อผลสุกมีการเสื่อมสภาพของเซลล์ทำให้เอนไซม์ PPO รั่วออกจากเซลล์ (Gooding, et al., 2001)



ภาพ 6 กลไกการเกิดสารสีน้ำตาล

ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช (2542)

การเกิดสีน้ำตาลเป็นอาการหนึ่งของอาการสะท้านหนาวที่เห็นได้ชัดเจนและคาดว่าเป็นเหตุการณ์ที่สอง (secondary event) ของอาการสะท้านหนาว สับปะรดที่รักษาในอุณหภูมิต่ำพบว่ามีการสังเคราะห์เอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (Stewart, et al., 2001; Zhou, et al., 2003) ในมะม่วงที่มีแสดงอาการสะท้านหนาวอย่างรุนแรงโดยเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงด้วย (Vela, et al., 2003) ผลกล้วยที่เกิดอาการสะท้านหนาว สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล ก็มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้นด้วย (Nguyen, et al., 2003)

เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) เป็นเอนไซม์อีกชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลและอาการสะท้านหนาวด้วย โดยเอนไซม์นี้เป็นเอนไซม์เริ่มต้นการสังเคราะห์สารฟีนอล (phenylpropanoid pathway) และเป็นเอนไซม์สำคัญใน phenolic metabolism ซึ่งเป็นการช่วยป้องกันอันตรายของพืชจากสภาวะเครียด (Hahlbrock and Scheel,1989) เอนไซม์ PAL มีบทบาทสำคัญในการป้องกันอาการสะท้านหนาวในผลส้ม (Lafuente et al., 2001; 2003) ในผลกล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูงขึ้น พบว่าสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ (Wang, et al., 2007) นอกจากนั้นยังเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอม iceberg lettuce ที่ตัดเป็นชิ้นเล็กจะสร้างเอนไซม์ PAL เพิ่มมากขึ้นและมีกิจกรรมสูงขึ้น 6-12 เท่า ใน 24 ชั่วโมง และมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Ke and Saltveit, 1989) และมีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา (Kazuhiro, et al., 1999) การใช้สารยับยั้งการทำงานของ PAL สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมได้ (Peiser, et al., 1998)

วิธีควบคุมการเกิดสีน้ำตาล ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ กรดเบน - โซอิค กรดโคจิค tropolone และ 4-hexylresorcinol การปรับ pH ให้ต่ำกว่า 4 ด้วยกรดซิตริก กรดมาลิค กรดแอสคอบิค และการลดปริมาณออกซิเจนก็สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ (Martinez and Whitaker, 1995; Vamos-Vigyazo and Haard, 1995) นอกจากนั้นยังสามารถใช้วิธีทางพันธุวิศวกรรมมาควบคุมการแสดงออกของยีน โดยการถ่าย antisense ของเอนไซม์ PPO ทำให้กิจกรรมของ PPO ในหัวมันฝรั่งและแอปเปิ้ลลดลง ส่งผลให้การเกิดสีน้ำตาลน้อยลง (Murata, et al., 2000; Coetzer, et al., 2001)

3.3 การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์

อาการสะท้านหนาวที่แสดงออกหลายๆ อาการมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น การบุ๋ม การเปลี่ยนแปลงสี การเกิดสีน้ำตาล และการฉ่ำน้ำ ดังนั้นการคงสภาพที่ดีของเยื่อหุ้มเซลล์ มักนำมาใช้อธิบายถึงการทนต่อสภาวะเครียดของพืช และการต้านทานของเยื่อหุ้มจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถทนต่อความเครียดของพืชได้ (Premachandra, et al., 1992)

การประเมินความผิดปกติที่สัมพันธ์กับการสูญเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และการสะท้านหนาวสามารถบอกได้จากค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte leakage) (Tatsumi, et al.,1981; King and Lundford, 1983; Marangoni, et al., 1996) โดยอุณหภูมิต่ำ ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของไขมันที่ผนังเซลล์ และเมื่อเซลล์ไม่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ เนื่องจากการสะสมของผลผลิตที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของไขมัน อาการสะท้านหนาวก็จะปรากฏให้เห็น การประเมินความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยค่าการรั่วไหลของ

สารอิเล็กโทรไลต์ เป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้ ถึงแม้บ้างครั้งมีรายงานว่า มะเขือเทศที่เกิดอาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิ 5°C ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อวัดทันที แต่จะเพิ่มขึ้นหลังจากวางไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 4 และ 10 วัน (Sharom, et al., 1994) นอกจากนั้นวิธี chlorophyll fluorescence (DeEll, et al., 1999) ก็เป็นอีกวิธีที่นำมาใช้ประเมินความเสียหายของเยื่อหุ้ม

ลักษณะการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

อาการไส้สีน้ำตาล เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่สำคัญของสับปะรด ซึ่งเป็นความเสียหายลักษณะหนึ่งของผลผลิตที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเรียกว่า อาการสะท้านหนาว (Paull and Rohrbach, 1985) ส่วนใหญ่จะพบในพืชเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 – 15°C และเกิดในพืชเขตหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0-2°C (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) ซึ่งในสับปะรดจะแสดงอาการให้เห็นเป็นจุดสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกน แล้วค่อย ๆ ขยายรวมกันเป็นกลุ่มสีน้ำตาลขนาดใหญ่ขึ้น (Kader, 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ลักษณะทางพันธุกรรม ผลิตผลที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกันมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้แตกต่างกัน Weerahewa and Adikaram (2005) ได้พบว่า สับปะรดในกลุ่ม Queen แสดงอ่อนแอต่ออาการไส้สีน้ำตาลสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม Smooth cayenne ในเชิงการค้าพันธุ์สับปะรดในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย (กลุ่ม Smooth cayenne) ทนต่ออาการไส้สีน้ำตาล และพันธุ์ตราดสีทอง (กลุ่ม Queen) อ่อนแอต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (Pusittigul, et al., 2012)

อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลโดยอุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยา อยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13°C (Selvarajah, et al., 2001) ซึ่ง Lu, et al. (2011) สับปะรดที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งก่อนเก็บเกี่ยวหรือหลังเก็บเกี่ยว จะชักนำการพัฒนาการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วัน เมื่อผลไม้ย้ายออกมายังอุณหภูมิปกติ ที่ 15- 30°C

อายุ ระยะความบริบูรณ์ และความสุกแก่ของเนื้อเยื่อในส่วนต่าง ๆ ของพืช มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และกายวิภาคที่แตกต่างกัน และมีผลต่อการพัฒนาอาการสะท้านหนาวที่แตกต่างกัน (Bramlage and Meir, 1990) ซึ่งระยะความบริบูรณ์ของสับปะรดนั้นมีผลต่อความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ โดยมีรายงานวิจัยของ มัณฑนา บัวหนอง และเฉลิมชัย วงศ์อารี (2555) พบว่า สับปะรดในระยะ แก่เขียว สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

ได้ดีกว่าในระยะ สุก ¼ ผล โดยมีผิวขึ้นสีเหลืองประมาณ 2 แถว และ สุก ½ ผล หรือสุกครึ่งผลโดยมีผิวขึ้น สีเหลืองประมาณ ½

สภาพแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว สับปะรดที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจะเกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากน้อยแตกต่างกันออกไป อาจเกิดขึ้นได้ไม่แน่นอน มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับ การนำสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียแหล่งปลูกจากจังหวัดสุพรรณบุรี สภาพแวดล้อมการเจริญเติบในช่วงปลูกที่มีแสงน้อยและมีฝนมาก ทำให้มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่า สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งปลูกจังหวัดระยอง และประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งสภาพแวดล้อมการเจริญเติบโตในช่วงปลูกมีแสงมากและฝนน้อย (จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช, 2536) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Smith (1983) รายงานว่าสับปะรดที่ขึ้นในที่ร่มหรือแสงน้อยมีโอกาสการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่า นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมระหว่างการเจริญเติบโตด้วยเช่นกัน โดย Akamine, et al. (1975) มีรายงานว่า มีอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นเมื่อสับปะรดในแปลงปลูกผ่านช่วงที่มีอากาศเย็น

การให้ปุ๋ย ธาตุอาหารพืชที่เพียงพอเป็นสิ่งสำคัญสำหรับคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีในการผลิตสับปะรด โดยมีรายงานว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ในดินเกี่ยวข้องกับการคุณภาพการผลิตสับปะรด ถ้าปริมาณโพแทสเซียมในดินเหมาะสม จะช่วยเพิ่มของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น แต่ถ้าปริมาณโพแทสเซียมสูงเกินไป จะทำให้ปริมาณกรดมากเกิน ทำให้ผลอ่อนแอ สีซีด และเนื้อแข็ง (Soares, et al., 2005)

แนวทางการลดอาการไส้สีน้ำตาล

การลดอาการมีหลายวิธีมีดังนี้

การใช้อุณหภูมิต่ำ การลดอุณหภูมิของการเก็บรักษาลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้พืชมีเวลาปรับตัวโดยสันนิษฐานว่าในระหว่างการลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ นั้นภายในเซลล์ของผลิตผลอาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่าง ๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) โดย Wang (2004) ได้มีรายงานเกี่ยวกับการเก็บรักษาสับปะรดที่เหมาะสมภายใต้อุณหภูมิต่ำ เพื่อปลอดภัยต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวหรืออาการไส้สีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 7- 10°C เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลโดยอุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยา อยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13°C

การใช้สารเคลือบ สามารถป้องกันไม่ให้ผลิตผลเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ เนื่องมาจากองค์ประกอบของสารเคลือบผิวซึ่งเป็นไขมันสามารถแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ทำให้โครงสร้างในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปทำให้การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลลดลง ซึ่งสารเคลือบจะช่วยในด้าน

05 ส.ค. 2564
ว SB
935
ม.1 ร.5
2561

สำนักวิทยบริการฯ

1034769

(ดนัย บุณยเกียรติ, 2540) ลดการสูญเสียน้ำ ลดการเคลื่อนย้ายก๊าซ ควบคุมความเหี่ยว คงรูปร่าง จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช (2536) ได้รายงานการใช้สารเคลือบผิว Sta-fresh 7055 สามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ คือ ปัตตาเวีย และพันธุ์ภูเก็ตได้ร้อยละประมาณ 70-80 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Paull and Rohrbach (1982) และปณิธาน สองประทีป (2533) เนื่องจากสารเคลือบไปจำกัดอากาศถ่ายเทภายในผลทำให้ปริมาณ O_2 ในผลสับปะรดต่ำ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ที่เปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารฟีนอลเป็นโมเลกุลของ quinine และมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น โดยจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้น้อยลง เพราะ การทำงานของเอนไซม์ PPO ต้องการ O_2 ในการทำงาน (Paull and Rohrbach,1982)

การใช้ความร้อน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำร้อน ไอร้อน และลมร้อน อุณหภูมิที่นิยมใช้มี 2 ระดับ คือ การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน และการใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น การแช่ผลสับปะรดพันธุ์ Mauritius และพันธุ์ Smooth Cayenne ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 38°C เป็นเวลาต่างๆ กัน ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลได้ (Weerahera and Adikaram, 2005)

การควบคุมบรรยากาศ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (Controlled atmosphere; CA) โดยการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 21 และคงสภาพความเข้มข้นของก๊าซไปตลอดอายุการเก็บรักษา การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศทำให้ผลิตผลมีเมตาบอลิซึมลดลง จึงลดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) โดยมีงานวิจัย การเก็บรักษาผลสับปะรดในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนร้อยละ 10 ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ เก็บรักษาได้ 20 วัน และการใช้ก๊าซออกซิเจนร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถคงคุณภาพและลักษณะปรากฏภายนอกได้ดีกว่าการใช้ก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว และมีรายงานการควบคุมปริมาณ O_2 และ CO_2 ในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ที่บรรจุสับปะรดอยู่ภายในถุง พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ PPO มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เมื่อกิจกรรมเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย กิจกรรมเอนไซม์ PPO ของสับปะรดที่เก็บในสภาพบรรยากาศควบคุมมีค่าต่ำกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติ เนื่องจากการเก็บในสภาพควบคุมเป็นลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ O_2 ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวต้องมี O_2 เอนไซม์ PPO จึงจะสามารถออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลไปเป็นควิโนนได้ และ ควิโนนจะเกิดการรวมตัวทำให้มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาในสภาพควบคุม

บรรยากาศปริมาณ O_2 ต่ำสามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดีกว่าสภาพบรรยากาศปกติ (Jimenez, et.al., 1997)

การใช้สารเคมี

สาร 1-Methylcyclopropene (1-MCP)

สาร 1-MCP เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการช่วยลดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลต่างๆ หรืออาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดได้ โดยสาร 1-MCP เป็นสารที่มี 4 คาร์บอน ในกลุ่ม cyclopropene มีองค์ประกอบเป็นสามเหลี่ยม 3 คาร์บอนที่มีหมู่เมทิลเกาะอยู่และเกิดจากกระบวนการสลายของ diazocyclopropene ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเอทิลีนและขัดขวางการจับกันของตัวรับเอทิลีน (Sisler and Serek, 1997) ทำให้ตัวรับเอทิลีนไม่ทำงานส่งผลต่อยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก จึงทำให้การสุกของผลไม้ถูกยับยั้ง (Watkins and Nock, 2000) จากคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน รวมทั้งไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น จึงได้มีการผลิต 1-MCP เพื่อใช้ในเชิงการค้าภายใต้ชื่อ SmartFresh สำหรับใช้ในผักและผลไม้ ส่วน EthylBloc ใช้สำหรับไม้ดอกไม้ประดับ โดย 1-MCP จะอยู่ในรูปแบบผงของ cyclodextrin เมื่อสารละลายในน้ำจะปลดปล่อย 1-MCP ออกมา (Manganaris, et al., 2007) ทำให้สารที่ปลดปล่อยออกมาสามารถยับยั้งการทำงานของ เอทิลีนได้ โดยเข้าจับกับตัวรับเอทิลีนอย่างถาวร ทำให้เอทิลีนไม่สามารถส่งสัญญาณในการทำงานต่อไปได้ (Jiang, et al., 1999; Sisler and Serek, 1997) แต่การรมด้วย 1-MCP อาจให้ผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผัก ผลไม้และระยะการพัฒนาของผลไม้ เช่น

ในช่วงแรกได้มีการทดลองใช้ 1-MCP กับไม้ตัดดอก และไม้กระถางหลายชนิด เช่น คาร์เนชั่น (Serek, et al., 1995) ลิ้นมังกร (Hill and Murr, 1999) และกุหลาบ (Muller, et al., 2000) เป็นต้น ซึ่งต่อมาได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายกับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวชนิดต่าง ๆ ที่มีการตอบสนองตอบสนองต่อเอทิลีน พบว่า 1-MCP สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผัก และชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้

Porat, et al. (1999) ได้ศึกษา ส้มพันธุ์ shamouti โดยรม 1-MCP ที่ความเข้มข้น 100 ppb (nl l^{-1}) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C สามารถลดการ degreening ในส้มได้ รวมทั้งลดการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเสื่อมสภาพได้

Selvarajah, et al. (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวผลสับปะรด โดยทำการรมผลสับปะรดที่ความเข้มข้น 0.1 ppm (µl l^{-1}) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20°C พบว่า 1-MCP สามารถยับยั้งการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ โดย 1-MCP เกาะจับกับตัวรับเอทิลีน ทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ (Sisler and Serek, 1997)

Jiang, et al. (2001) ได้ศึกษา การใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 ppb (nl l^{-1}) สามารถลดการเกิดโรคได้ในสตอเบอรี่ และได้มีการศึกษาระยะพัฒนาของกล้วย โดยกล้วยระยะ mature green (แก่เขียว) ซึ่งเป็นช่วง pre-climacteric stage ซึ่งจะตอบสนองต่อการใช้ 1-MCP ได้ดี (Jiang, et al., 2004)

Amornputti, et al. (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb (nl l^{-1}) รมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C สามาชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองภายนอก และสามารถชะลอการเก็บรักษาได้ประมาณ 18-30 วัน

Han, et al. (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับมะระ โดยใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 5.0 ppm (µl l^{-1}) รมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C มีประสิทธิภาพในการรักษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะระได้

วัลลภา วอทอง (2553) พบว่าการใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้น 500 ppb (nl l^{-1}) นาน 12 ชั่วโมง ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของหน่อไม้ฝรั่งได้ดีที่สุด มีแนวโน้มการชะละการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงของสีผิว ความแน่นเนื้อ ค่าแรงเฉือน ปริมาณเส้นใย สภาพภายนอก ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีอายุเพียง 10 ที่อุณหภูมิ 3°C

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และคณะ (2554) ได้ศึกษาการรม 1-MCP ในกระเจี๊ยบเขียวที่ความเข้มข้น 5 ppm (µl l^{-1}) เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าชุดควบคุม

ปิระมิด จิตรมาตร และคณะ (2554) ศึกษาผลของสาร 1-MCP ต่อคุณภาพของมะระจีนหั่นชิ้นพันธุ์เขียวหยกเบอร์ 16 โดยรม 1-MCP ความเข้มข้น 0, 250, 500 และ 750 ppb (nl l^{-1}) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C พบว่า ที่ความเข้มข้น 250 และ 500 ppb (nl l^{-1}) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ และการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองได้ดี และสามารถเก็บรักษาได้ 12 วัน

ปริศนา จันทร์วงศ์ และคณะ (2558) ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของเห็ดหอมสายพันธุ์ทนร้อน โดยทำการรม 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 250 ppb (nl l^{-1}) เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า 1-MCP สามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อ และโดยเฉพาะอาการเหี่ยวของหมวกเห็ด และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 22 วัน

สาร Methyl jasmonate (MeJA)

Methyl jasmonate เป็นสารสำคัญที่อยู่ในกลุ่มของ jasmonate สังเคราะห์มาจากกรดลิโนเลนิก จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และนอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานให้กับพืชเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก เช่น บาดแผล การเข้าทำลายของโรคและแมลง ตลอดจนความเครียดต่างๆ (Cheong and Choi, 2003) และ MeJA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่พบในพืช ควบคุมพัฒนาการในพืชและตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเป็นโมเลกุลส่งสัญญาณภายในพืชที่เกี่ยวกับการตอบสนองต่อสภาวะเครียด (Wasternack, 2004) MeJA เป็นสารที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเอนไซม์ lipoxygenase (Gonzalez-Aguilar, et al., 2000) และกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่ควบคุม alternative oxidase ทำให้ลดปริมาณอนุมูลอิสระส่งผลให้อาการสะท้านหนาวลดลง (Meir, et al., 1995; Diang, et al., 2001; Fung, et al., 2004)

Gonzalez-Aguilar, et al. (2000) ได้ศึกษาการใช้ MeJA ในการลดการเกิดอาการสะท้านหนาว ในผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins พบว่า MeJA ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ (M) สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และได้ศึกษาการรมฝรั่งพันธุ์สีขาวและสีแดงด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4} และ 10^{-5} โมลาร์ (M) ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 15 วันแล้วนำออกมาเก็บรักษาที่ 20°C เป็นเวลา 2 วัน พบว่าฝรั่งที่รมด้วย MeJA มีอาการสะท้านหนาวลดลง และลดการรั่วไหลของประจุ (Gonzalez-Aguilar, et al., 2004)

Nilprapruck and Yodmingkhwan (2009) ได้ศึกษาการใช้ MeJA ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 มิลลิโมลาร์ (mM) จุ่มสารละลายเป็นเวลา 5 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C พบว่า MeJA สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณเนื้อสับปะรด และลดความเสียหายได้

พฤฒิยา นิลประพฤกษ์ (2551) ได้รายงานการวิจัยเกี่ยวกับผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยทำการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลที่ไม่ได้จุ่ม เมื่อวิเคราะห์การเกิดสีน้ำตาลพบว่าการใช้ MeJA ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ (M) สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลบริเวณใกล้กับแกนของสับปะรดได้

ฤทัยรัตน์ ทันตวิวัฒนา (2555) ได้ศึกษาการใช้สาร MeJA ต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง โดยการจุ่มที่ความเข้มข้น 10^{-2} และ 10^{-3} โมลาร์ เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์ PPO (Polyphenol oxidase) และช่วยชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอีกด้วย

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และศิริชัย กัลยาณรัตน์ (2555) ได้ศึกษาการใช้สาร MeJA ในกระเจี๊ยบเขียว โดยการรมที่ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3} โมลาร์ (M) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และลดอาการสะท้านหนาวได้

จะเห็นได้ว่ามีหลายแนวทางในการลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล แต่ในละวิธีการไม่สามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ จึงสนใจนำ 1-MCP ซึ่งมีประสิทธิภาพในการชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิด มาใช้ร่วมกับ MeJA ซึ่งยังไม่มีรายงานการใช้สารร่วมดังกล่าว มาเสริมประสิทธิภาพต่อการชะลอการเสื่อมสภาพในผลสับปะรด จึงเป็นแนวทางสำคัญในการศึกษาในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

วัสดุ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. **วัสดุพันธุ์พืช**

สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ของเกษตรกรในพื้นที่ปลูก ต.ห้วยมุ่น อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์ (17° 43'42" N, 100° 41'4" E)

2. **เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง**

เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ ADAM รุ่น PGW 3502C, USA)

เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS 224S, Germany)

เครื่องวัดสี (Colorimeter ยี่ห้อ MiniScan XE PLUS Hunter Associates Laboratory, USA)

เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Texture Analysis ยี่ห้อ Brookfield รุ่น QTS25, USA)

เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH ยี่ห้อ Thermo, USA)

เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Digital Refractometer ยี่ห้อ ATAGO, Tokyo, Japan)

เครื่องปั่นน้ำผลไม้แบบมือถือ (Hand Blender ยี่ห้อ Philips รุ่น HR1607, Netherlands)

เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer ยี่ห้อ Scientific Industries รุ่น G560E, USA)

เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Magnetic stirrer with heating and ceramic heating plate ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS 7, Geramany)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer Optizen รุ่น 3220 UV บริษัท Mecasay Co.,Ltd., Korea)

เครื่องวิเคราะห์แก๊สด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟ (Gas Chromatography ยี่ห้อ SHIMADZU GC-14B ชนิด TCD และ FID (Detector), Japan)

เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อความดันไอ (Autoclave oven ยี่ห้อ TOMY รุ่น ES-215.315 บริษัท TOMY SEIKO Co.,Ltd., Japan)

เครื่องปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump ยี่ห้อ Rocker รุ่น Rocker 300, Taiwan จัดจำหน่ายโดย GIBTHAI CO., LTD., Thailand)

ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven ยี่ห้อ Binder รุ่น ED/FD, Germany)

เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge ยี่ห้อ Dynamica รุ่น Velocity 149 บริษัท Dynamica Scientific Ltd., UK)

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger ยี่ห้อ HOBO รุ่น 8 Family RH/Temp, USA)

เครื่องวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrical Conductivity meter; EC ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น S47-K, Switzerland)

3. สารที่ใช้ในการทดลอง

0.14%1-MCP (1-Methylcyclopropene) (ชื่อการค้า Ethylblock™, Biotechnologies for Horticulture, Inc., USA)

Methyl jasmonate (MeJA) ($C_{13}H_{20}O_3$; MW=224.30) (Sigma-Aldrich, USA)

สารเคมีวิเคราะห์วิตามินซี

Metaphosphoric acid (HPO_3) (Merck, Germany)

Acetic acid (CH_3COOH) (Merck, Germany)

Ascorbic acid ($C_6H_8O_6$) (Fisher, Germany)

2,6-Dichloroindophenol ($C_{12}H_6Cl_2NNaO_2\ xH_2O$) (Fluka, Austria)

Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) (Fisher, UK)

สารเคมีวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

Sodium hydroxide 0.1N (NaOH) (Merck, Germany)

Phenolpthalein 1% ($C_{20}H_{14}O_4$) (Labchem, Australia)

สารเคมีวิเคราะห์โปรตีน

Bradford Reagent (Sigma-Aldrich , USA)

Protein standard 200mg/ml (Sigma-Aldrich , USA)

สารเคมีวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ Polyphenol oxidase

Sodium phosphate monobasic (H_2NaO_4P) (Fisher, Germany)

di-Sodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) (Merck, Germany)

Pyrocatechol ($C_6H_6O_2$) (Sigma-Aldrich, USA)

Polyvinylpyrrolidone (PVP) (Fluka, Austria)

สารเคมีวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

99.9% Ethanol (RCI Labscan, Australia)

Folin ciocalteu's phenol reagent (Merck, Germany)

Sodium carbonate (Na_2CO_3) (Merck, Germany)

Gallic acid monohydrate ($C_7H_6O_5$ H_2O) (Sigma-Aldrich, USA)

สารเคมีวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

99.9% Ethanol (RCI Labscan, Australia)

2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, USA)

สารเคมีวัดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

Ethylene gas 100 ppm (C_2H_4) (Restek (Air Liquide), USA)

Carbon dioxide gas 1000 ppm (CO_2) (Restek (Air Liquide), USA)

สารเคมีวัดการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลท์

Deionized water (น้ำกลั่นไม่มีประจุ) (RCI labscan, Australia)

Mannitol 0.4 M ($CH_2OH(CHOH)_4CH_2OH$) (Fisher, Germany)

การเตรียมพืชทดสอบ

1. สำรวจพื้นที่

ออกสำรวจพื้นที่ และสภาพแวดล้อมในแปลงผลิตสับปะรด แหล่งพันธุ์ แหล่งจำหน่าย และแหล่งขนส่ง ประกอบเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดพันธุ์ทดสอบ

2. เตรียมพืชทดสอบ

สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นเก็บเกี่ยวในระยะแก่เขียว (ซึ่งเป็นระยะแนะนำสำหรับการส่งออก) จากสวนสับปะรด ต.ห้วยมุ่น อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์ ล่วงหน้า 1 วัน ก่อนขนส่งอย่างระมัดระวังมาที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยวคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก โดยทำการคัดเลือกผลิตผล ที่มีตำหนิ สีไม่สม่ำเสมอ และเป็นโรคออก แล้วจึงทำการล้างน้ำให้สะอาดแล้วแช่ด้วย sodium hypochloride ความเข้มข้น 200 ppm นาน 2 นาที ผึ่งลมให้แห้ง ก่อนนำไปทดสอบตามแผนการทดลอง

แผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

นำสับปะรดที่ได้จากการเตรียมในขั้นแรกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 8.19±0.44°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 71.72±1.31% ดังตาราง 83 ภาคผนวก) ซึ่งเป็นอุณหภูมิแนะนำสำหรับขนส่งทางเรือ (เบญจมาศ รัตนชินกร และ สนทรรศน์ นันทะไชย, 2554) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 22.69±0.10°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 84.20±1.30% ดังตาราง 82 ภาคผนวกซึ่งเป็นการจำลองอุณหภูมิห้อง) เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในแต่ละสัปดาห์ผลสับปะรดจะถูกย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน (เพื่อปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ) บันทึกการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพ ทางเคมี และทางสรีรวิทยา (ดูรายละเอียดในการบันทึกข้อมูล)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งออกเป็น 2 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) โดยมีชุดการทดลองทั้งหมดดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่อุณหภูมิ 8 °C

กรรมวิธีที่ 2 เก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่อุณหภูมิ 22 °C

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

นำสับปะรดที่ได้จากการเตรียมในขั้นแรกมาจัดเรียงในภาชนะบรรจุขนาดปริมาตร 1 m^3 และรมด้วย 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 0 100 และ 250 ppb โดย 1-MCP มีลักษณะเป็นผงแป้งซึ่งปลดปล่อยแก๊สในอัตรา 500 ppb/m^3 (นันทิพา แก้วเพชร, 2545; วัลลภา วอทอง, 2553) เมื่อมีน้ำหนัก 1-MCP เท่ากับ 0.8 กรัม ทำการชั่งสารตามสัดส่วนของความเข้มข้นที่กำหนด และนำสารที่ชั่งได้มาใส่ใน บีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำมาวางในตู้รมที่มีสับปะรดบรรจุอยู่แล้วปิดฝา รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 28.29.55±0.02°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 98.16±0.13% ดังตาราง 85 ภาคผนวก) จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 10.72±0.02°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 75.82±0.20% ดังตาราง 86 ภาคผนวก) (ดังภาพ 7) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์ผลสับปะรดถูกย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพ ทางเคมี และทางสรีรวิทยา (ดูรายละเอียดในการบันทึกข้อมูล)

ภาพ 7 แสดงการนำสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น รม 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C (อุณหภูมิ 28.29.55±0.02°C ความชื้นสัมพัทธ์ 98.16±0.13%) และเก็บรักษาในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 8-10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80% (อุณหภูมิ 10.72±0.02°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75.82±0.20%)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งออกเป็น 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) โดยมีชุดการทดลองทั้งหมดดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สับปะรดรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 0 ppb (ชุดควบคุม)

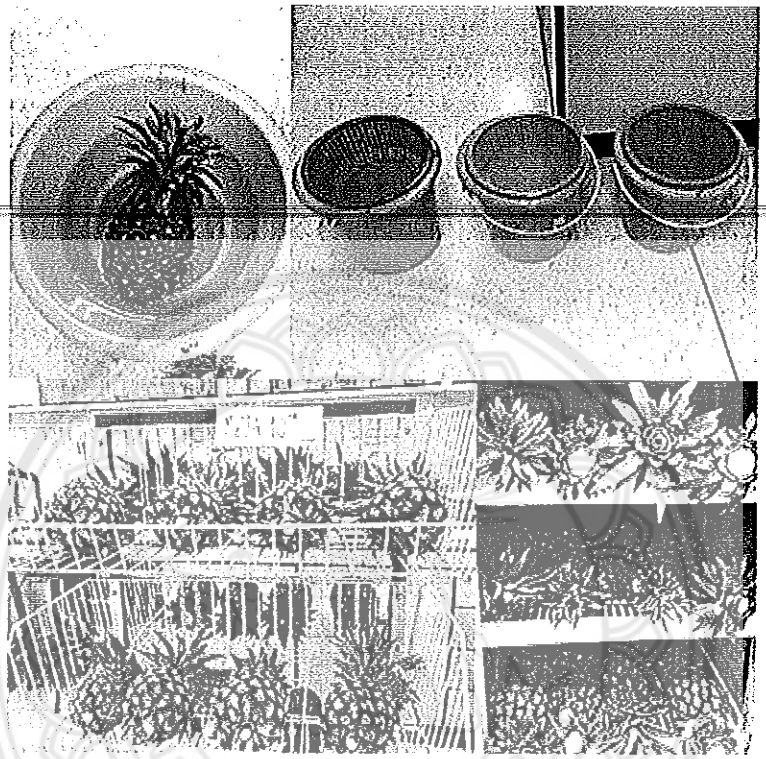
กรรมวิธีที่ 2 สับปะรดรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 100 ppb

กรรมวิธีที่ 3 สับปะรดรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

นำสับปะรดที่ได้จากการเตรียมในขั้นแรกมาจุ่มด้วย MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} M (โมลาร์) โดย MeJA มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทำการตวงสารตามสัดส่วนตามความเข้มข้นที่กำหนด หลังจากนั้นปรับปริมาตร เป็น 6 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน แล้วทำการจุ่มสับปะรดเป็นเวลา 5 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 9.94±0.02 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 77.50±0.13% ดังตาราง 88 ภาคผนวก) (ดังภาพ 8)

เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์ผลสับปะรดถูกย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพ ทางเคมี และทางสรีรวิทยา (ดูรายละเอียดในการบันทึกข้อมูล)



ภาพ 8 แสดงการนำสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น จุ่ม MeJA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาผึ่งให้แห้ง และเก็บรักษาในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 8-10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80% (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 9.94±0.02°C ความชื้นสัมพัทธ์ 77.50±0.13%)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) โดยมีชุดการทดลองทั้งหมดดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สับปะรดจุ่มด้วย MeJA ความเข้มข้น 0 M (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 สับปะรดจุ่มด้วย MeJA ความเข้มข้น 10^{-2} M

กรรมวิธีที่ 3 สับปะรดจุ่มด้วย MeJA ความเข้มข้น 10^{-3} M

กรรมวิธีที่ 4 สับปะรดจุ่มด้วย MeJA ความเข้มข้น 10^{-4} M

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

เลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของ 1-MCP ที่ดีสุดจากการทดลองที่ 2 โดยรม 1-MCP เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 25.96±0.03°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 89.59±0.13% ดังตาราง 90 ภาคผนวก) หลังจากนั้นนำสับปะรดไปจุ่ม MeJA ที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 เป็นเวลา 5 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 9.71±0.01°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 77.83±0.1% ดังตาราง 91 ภาคผนวก) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์ผลสับปะรดถูกย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพ ทางเคมี และทางสรีรวิทยา (ดูรายละเอียดในการบันทึกข้อมูล)

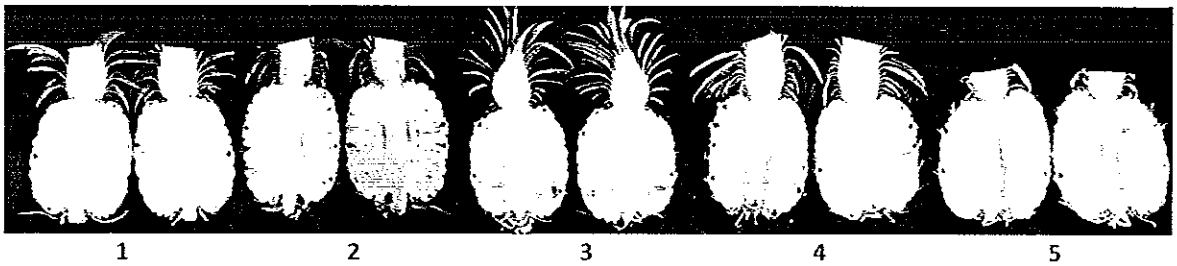
การบันทึกข้อมูล

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1 การสูญเสียน้ำหนัก โดยทำการชั่งน้ำสับปะรดก่อนและหลังการเก็บรักษา เพื่อใช้ในการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักสดคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเสียน้ำหนักสดในแต่ละช่วงเวลา

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

1.2 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (Internal Browning, IB) ผ่าครึ่งผลสับปะรดเพื่อตรวจสอบอัตราการเกิด ตามระดับความรุนแรงจากคะแนน 1-5 (ประยุกต์จาก Weerahewa and Adiharam, 2005) ดังภาพ 9



ภาพ 9 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

โดยที่

1 = ไม่ปรากฏอาการ

2 = ปรากฏอาการที่แกนและขยายกว้าง1-25% ของพื้นที่ผิว

3 = ปรากฏอาการที่แกนและขยายกว้าง 26-50% ของพื้นที่ผิว

4 = ปรากฏอาการที่แกนและขยายกว้าง51-75% ของพื้นที่ผิว

5 = ปรากฏอาการที่แกนและขยายกว้าง76-100% ของพื้นที่ผิว

1.3 คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ ตามระดับความรุนแรงจาก 1 ถึง 5 (UC DAVIS, USA) ดังนี้

1 = ไม่ปรากฏอาการ

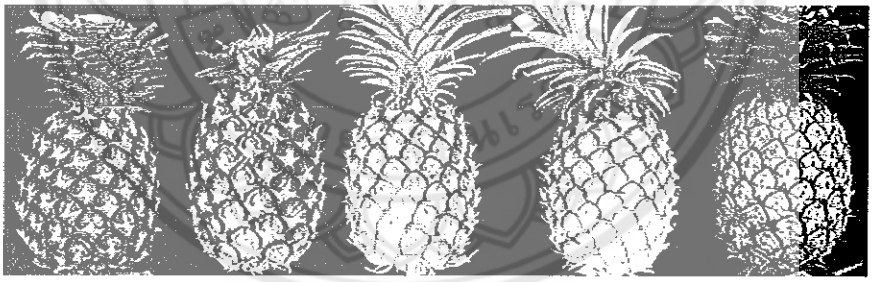
2 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

3 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

4 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

5 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

1.4 คะแนนสีเปลือก โดยให้คะแนนจาก 1 ถึง 5 (ประยุกต์จาก UC DAVIS, USA) ดังภาพ 10



ภาพ 10 แสดงคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

โดยที่

1 = สีเขียวทั้งผล

2 = สีเหลือง 20-40% ของเปลือกผล

3 = สีเหลือง 41-65% ของเปลือกผล

4= สีเหลือง > 65-90% ของเปลือกผล

5 = สีเหลือง > 90% ของเปลือกผล

1.5 คะแนนการเกิดตำหนิภายในผล โดยให้คะแนน 1 ถึง 5 ดังนี้ (ใช้ในการทดลองที่ 1 เท่านั้น)

1 = ไม่ปรากฏขั้วดำและไม่มีตำหนิ

2 = ไม่ปรากฏขั้วดำแต่มีตำหนิ

3 = ปรากฏขั้วดำแต่ไม่มีตำหนิ

4 = มีขั้วดำและเริ่มมีการเน่าเสีย

5 = ปรากฏขั้วดำและเน่าเสียอย่างรุนแรง

1.6 คุณลักษณะของสีเนื้อผลภายในโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Associates Laboratory Inc., USA) ลักษณะสีเนื้อตัดแบ่งชิ้นสับปะรดให้มีขนาด 1/3 วัดค่าสีโดยใช้เครื่อง colorimeter ให้ค่า L* ดังนี้ (AOAC, 1990)

ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่างมีค่า 0 - 100

0 = สีมืดที่สุด

100 = สีสว่างที่สุด

1.7 ค่าความแน่นเนื้อ วัดโดยใช้เครื่อง Texture analysis โดยวัดระยะของเนื้อห่างจากแกนประมาณ 1 เซนติเมตร (cm) ขนาดหัวเข็ม 2 มิลลิเมตร ความเร็ว 60 นาโนเมตร ความลึก 4 มิลลิเมตร ใน1ชิ้น ค่าที่ได้จะแสดงหน่วยเป็นกรัม (g)

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

นำสับปะรดมาปอกเปลือกหั่นแยกส่วนแกนและเนื้ออย่างละ 50 กรัม นำมาปั่น หลังจากนั้น กรองด้วยผ้าขาวบาง คั้นน้ำแยกส่วนกากออก แล้วจึงนำคั้นทั้งส่วนแกนและเนื้อที่ได้มาวัดค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนี้

2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Soluble Solid Content, SSC) โดยหยดน้ำคั้นส่วนแกนและเนื้อของสับปะรดบนเครื่องวัดการหักเหของแสงแบบดิจิตอล (Digital refractometer; Atago รุ่น PAL06S, Japan)

2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity, TA) ใช้วิธีการทดสอบโดยประยุกต์จาก Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) โดยแสดงผลการคำนวณเป็น เปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริค วัดโดยใช้น้ำคั้นสับประรด ทั้งแกนและส่วนเนื้อประมาณ 5 ml ไทเทรตกับ 0.1N sodium hydroxide ซึ่งหยด phenolphthalein ประมาณ 2-3 หยด หยดลงในน้ำคั้นและไทเทรตจนถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเป็นสีชมพูอย่างน้อย 15 วินาที แล้วจึงเข้าสูตรหา %TA

จากสูตร %Titratable acidity = $\frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaOH})(\text{meq. Wt.acid})}{\text{ml of sample}} \times 100$

ml NaOH = ปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

ml of sample = ปริมาณน้ำคั้นของผลไม้ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

meq. Wt. acid = 0.064

N NaOH = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

2.3 ปริมาณวิตามินซี ใช้วิธีการทดสอบโดยประยุกต์จาก Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) โดยแสดงผลเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร วัดโดยนำน้ำคั้นส่วนแกนและส่วนเนื้อประมาณ 2 ml ผสมกับสาร metaphosphoric acid ปริมาตร 5 ml แล้วนำมาไทเทรตกับ 2,6 dichloroindophenol (dye solution) จนถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเป็นสีชมพู

จากสูตร การหาปริมาณวิตามินซี = (X-B)(F/E)(V/Y) x 100

X = ปริมาณเฉลี่ยที่ใช้กับ 2,6-dichloroindophenol (dye solution) ที่ใช้ไตเตรทกับน้ำคั้น (ml)

B = ปริมาณเฉลี่ยที่ใช้กับ 2,6-dichloroindophenol (dye solution) ที่ใช้ไตเตรทกับ blank

F = mg equivalent ascorbic acid (anhydrous) ml: standard – blank

E = ปริมาณน้ำคั้นก่อนการวิเคราะห์ (2 ml)

V = ปริมาณของสารละลายตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ (7 ml)

Y = ปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่นำมาไทเตรท (7 ml)

2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัด pH meter วัดค่าทั้งส่วนเนื้อและแกน โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH เท่ากับ 4.00 7.00 และ 10.00 ตามลำดับ

3. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

3.1 อัตราการหายใจ (ประยุกต์จากวิธีของ Gemma, et al., 1994) นำสับปะรดบรรจุในกล่องพลาสติกปริมาตร 12,000 มิลลิลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เวลา 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างก๊าซภายในกล่องด้วยกระบอกฉีดยาปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu, Model GC-14B, Japan) ซึ่งติดตั้งด้วย Thermal conductivity detector (TCD) อุณหภูมิคอลัมน์ 50°C อุณหภูมิ injector 80°C และ detector

เท่ากับ 100°C คอลัมน์เป็นท่อ stainless steel โดยมีความยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร และภายนอก 4 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วย unibeads C ขนาด 80/100 mesh โดยมีก๊าซไนโตรเจนเป็น carrier gas ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นร้อยละ แล้วนำมาคำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหายใจของสับปะรด มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ($mgCO_2/kg/hr$) จากสูตรคำนวณอัตราการหายใจดังนี้

$$\text{Respiration rate (mg/kg/h)} = \frac{\text{Difference in } CO_2(\%) \times \text{Free volume (ml)} \times 321.75}{\text{Sealed time (min)} \times \text{Sample wt(kg)} \times (273+\text{storage temperature°C})}$$

โดยที่

Difference in CO_2(%) = CO_2ชุดทดลอง – ความเข้มข้นของ CO_2ในบรรยากาศ

Free volume (ml) = ปริมาณกล่องเก็บก๊าซ – ปริมาณผลไม้

Sealed time (min) = ระยะเวลาเก็บผลไม้

Sample wt (kg) = น้ำหนักผลไม้

3.2 อัตราการผลิตเอทิลีน (ประยุกต์จากวิธีของ Gemma, et al., 1994) นำสับปะรดบรรจุในกล่องพลาสติกปริมาตร 12,000 มิลลิลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เวลา 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างก๊าซภายในกล่องด้วยกระบอกฉีดยาที่มีสุญญากาศปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu, Model GC-14B, Japan) ซึ่งติดตั้งด้วย Flame ionization detector (FID) อุณหภูมิคอลัมน์ 200°C อุณหภูมิ injector 120°C และ detector เท่ากับ 200°C คอลัมน์เป็นท่อ stainless steel โดยมีความยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร และภายนอก 4 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วย unibeads C ขนาด 80/100 mesh โดยมีก๊าซไนโตรเจนเป็น carrier gas ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนในล้านส่วน (ppm) แล้วนำมาวัดอัตราการผลิตเอทิลีนที่เกิดขึ้น เมื่อนำมาคำนวณจะได้ค่าเป็น ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (µl/kg/hr) สูตรคำนวณอัตราการผลิตเอทิลีน ดังนี้

$$\text{Ethylene production rate (µl/kg/h)} = \frac{\text{Free volume (l)} \times \text{ppm ethylene measured}}{\text{sample wt (kg)} \times \text{seal time (hr)}}$$

โดยที่

Free volume (l) = ปริมาณกล่องเก็บก๊าซปริมาณผลไม้

ppm ethylene measured = ปริมาณเอทิลีนที่วัดได้

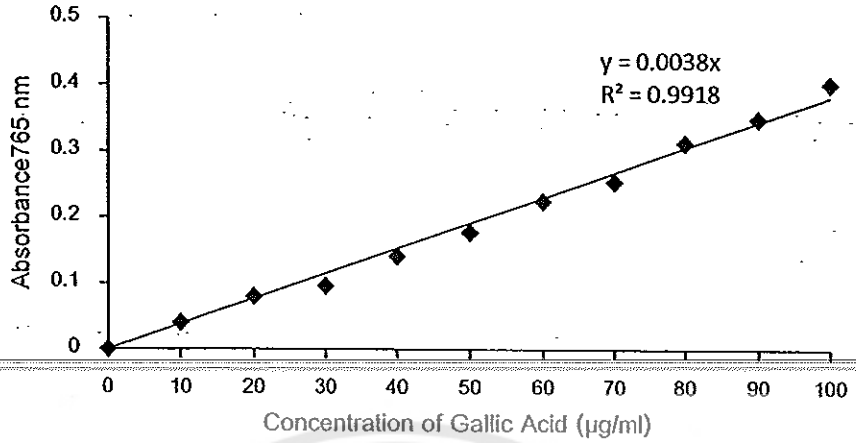
sample wt (kg) = น้ำหนักตัวอย่าง

seal time (hr) = ระยะเวลาเก็บผลไม้

3.3 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage) เตรียมตัวอย่างชิ้นเนื้อของสับปะรดบริเวณเนื้อใกล้กับแกน โดยเจาะด้วย cork borer เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำกลั่นไม่มีประจุ (deionized water) 3 ครั้ง แล้วใส่ชิ้นเนื้อสับปะรดลงในขวดชมพู่ (flask) ที่บรรจุสารละลาย mannitol ความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปวางที่เครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างสับปะรดไปต้มจนเดือด เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เนื้อเยื่อสับปะรดเสื่อมสภาพ ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 15-20 นาที แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้สูตรดังนี้ ซึ่งทำการวัดโดยใช้เครื่อง Electrolyte conductivity meter เพื่อวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยดัดแปลงจากวิธีการของ กรกช ชั้นจิรกุล (2553) มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (\%)} = \frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าก่อนต้ม}}{\text{ค่าการนำไฟฟ้าหลังต้ม}} \times 100$$

3.4 การตรวจหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) (โดยประยุกต์วิธีการของ Hyodo, et al. (1978) และ Ketsa and Atantee (1998)) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม เติมเอทานอล 80% ลงไป 10 มิลลิลิตร นำไปบดให้ละเอียดแล้วนำไปปั่นเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C นำส่วนใส 200 ไมโครลิตรมาวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิก โดยใส่ลงในหลอดทดลอง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 3.16 มิลลิลิตร และ 10% Folin reagent 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 8 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นเติมสารละลาย 7.5% Sodium carbonate 600 ไมโครลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเกิดปฏิกิริยาสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาคำนวณกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (µg/ml) (ดังภาพ 11) และแสดงผลเป็นหน่วย มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (mg/100g FW)



ภาพ 11 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Gallic acid กับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

3.5 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay) (ประยุกต์ตามวิธีการของ Bua-in and Paisooksantivatana (2009)) เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร โดยการชั่ง DPPH 0.0197 กรัม ละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95% ในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับด้วย 95% เอทานอล และนำสารที่เตรียมได้ มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 นำสารละลายที่กรองได้มาทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารสกัดทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างในการตรวจหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับสารสกัดจากสับปะรด โดยนำส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที สีจะอ่อนลงเกิดจากการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ส่วนหลอดควบคุมใช้เอทานอลแทนสารละลายตัวอย่าง เปรียบเทียบนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การขจัดอนุมูลอิสระ DPPH ดังสมการ

$$\%\text{DPPH radical scavenging} = [(A517\ \text{control} - A517\ \text{sample}) / A517\ \text{control}] \times 100$$

หมายเหตุ

A517 control = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH + เอทานอล

A517 sample = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH + สารมาตรฐานหรือสารตัวอย่างที่วัดได้

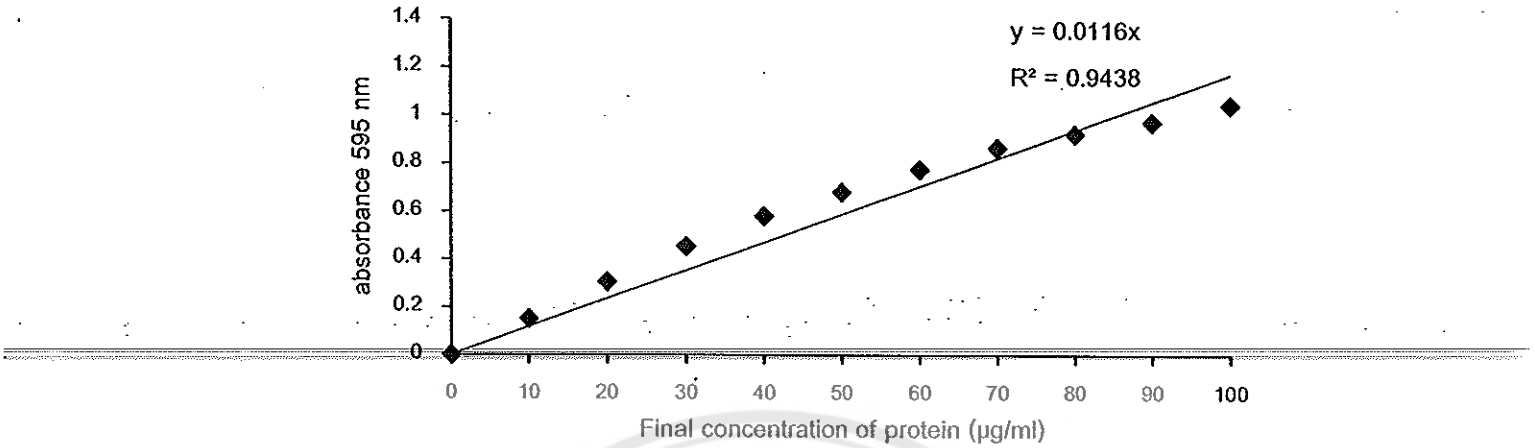
3.6 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ประยุกต์จากวิธีการ Jiang, et al. (1999) เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เอนไซม์ PPO โดยใช้เนื้อสับประรด 2.5 g ตวง 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.4) ที่มี 1% polyvinyl pyrolidone ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในเนื้อสับปะรดส่วนเนื้อใกล้แกนผลหนัก 2.5 กรัม นำไปบดโดยใช้โกร่งที่แช่ในตู้แช่แข็งให้ละเอียด แล้ววางพักไว้บนน้ำแข็ง จนกระทั่งละลาย นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 นาที แยกเอาส่วนใสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) โดยปิเปตสาร catechol 0.1 M (ที่ละลายใน phosphate buffer pH 6.4) ปริมาณ 700 ไมโครลิตร ปิเปตสาร 0.1 M phosphate buffer pH 6.4 ที่ไม่มี 1% polyvinyl pyrolidone ปริมาณ 1.2 มิลลิลิตร และเอนไซม์ PPO ที่สกัดจากสับปะรดปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงใน cuvette tube ผสมให้เข้ากัน

เริ่มวัดค่าการดูดกลืนแสงทันที 400 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที นำค่าที่วัดได้ เขียนกราฟระหว่างระยะเวลากับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ วิเคราะห์กิจกรรมเอมไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่มีในตัวอย่างในช่วงกราฟที่มีความชันเป็นเส้นตรง กำหนดให้กิจกรรมเอมไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส 1 หน่วย เท่ากับปริมาณเอมไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย ในเวลา 1 นาที ที่ pH 6.4 และอุณหภูมิ 25°C แล้วคำนวณหากิจกรรมเอมไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นจำนวนหน่วยต่อนาทีต่อมิลลิกรัมของโปรตีน

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ใช้สาร Bradford reagent ปริมาตร 800 ไมโครลิตร ร่วมกับส่วนใสที่สกัดได้ 200 ไมโครลิตร บ่มไว้ประมาณ 5 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบหาระดับความเข้มข้นของโปรตีนจากกราฟมาตรฐาน

การสร้างกราฟมาตรฐานโปรตีน (Bradford, 1976) ปิเปตสารละลายโปรตีนมาตรฐานความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มาอย่างละ 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองความเข้มข้นละ 2 หลอด ส่วนหลอดที่ความเข้นข้น 0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็น Blank ทำเพียงหลอดเดียว จากนั้นเติมสารละลายสีย้อมปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนกับค่าการดูดกลืน มีสมการจากกราฟมาตรฐานคือ y=ax+b (ดังภาพ 12)



ภาพ 12 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน กับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

การคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์

โดยวิธีคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กำหนดกิจกรรมเอนไซม์ของโพลีฟีนอลออกซิเดส 1 หน่วย เท่ากับ ปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย ในเวลา 1 นาที ที่ค่า pH 6.4 จะได้กิจกรรมของเอมไซม์เท่ากับ A หน่วย

สารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ 0.1 มิลลิลิตร มีกิจกรรม เท่ากับ A หน่วย

สารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ 1 มิลลิลิตร มีกิจกรรม เท่ากับ A/0.1 หน่วย = B หน่วย

แสดงว่าสารละลายเอนไซม์มีกิจกรรม เท่ากับ B หน่วย

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ไปเปรียบเทียบหาปริมาตรโปรตีนจากกราฟโปรตีนมาตรฐาน

สารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ 1000 ไมโครลิตร มีโปรตีนที่ละลายได้ C ไมโครกรัม

สารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ 1 ไมโครลิตร มีโปรตีนที่ละลายได้ C / 1000 ไมโครกรัม = D

แสดงว่าการละลายเอนไซม์ทีโปรตีน เท่ากับ D ไมโครกรัม / ไมโครลิตร หรือ เท่ากับ D มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

วิธีคำนวณหา specific activity ของเอนไซม์ มีหน่วยเป็น หน่วย / นาที / มิลลิกรัมของโปรตีน (unit/min/mg of protein)

4. อายุการเก็บรักษา

โดยประเมินอายุการเก็บรักษาจากการใช้เกณฑ์คะแนนการเกิดตำหนิภายใน โดยคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพ (ใช้ในการทดลองที่ 1 เท่านั้น)

โดยประเมินอายุการเก็บรักษาจากการใช้เกณฑ์คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล โดยคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพ (ใช้ในการทดลองที่ 2 ถึง 4)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4-10 ซ้ำ ๆ ละ 1 ผล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Independent – Sample T Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ในการทดลองที่ 1)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย F-Test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนั้นทดสอบความสัมพันธ์ในแต่ละองค์ประกอบของคุณภาพกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์สถิติ (ในการทดลองที่ 2 ถึง 4)

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทดลองการวิจัยทั้งสิ้น 22 เดือน (เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2557 – มีนาคม พ.ศ.2559 ดังภาคผนวก)

การทดลองที่ 1 ตั้งแต่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2557 สิ้นสุดวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2557

การทดลองที่ 2 ตั้งแต่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 สิ้นสุดวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2558

การทดลองที่ 3 ตั้งแต่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 สิ้นสุดวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2558

การทดลองที่ 4 ตั้งแต่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2559 สิ้นสุดวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2559

สถานที่ทดลอง และเก็บข้อมูล

แหล่งผลิตที่สำคัญในเขตพื้นที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ได้แก่ จังหวัดอุตรดิตถ์ และสถานที่ทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักเริ่มต้นของสับปะรดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,132.67 กรัม จากผลการทดลอง พบว่า สับปะรดสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่าสูงสุดไม่เกิน 17% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาทั้ง 2 ระดับ (ตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	0.00a[1/]	6.97a	10.55a	13.46a	17.15a
อุณหภูมิ 8-10 °C	0.00a	6.95a	10.72a	14.16a	17.31a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	14.85	16.92	16.40	10.68	11.84

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

ก่อนการเก็บรักษาสับปะรดมีคะแนนสีเปลือกเท่ากับ 1 (เขียว) และพบว่าในทุกอุณหภูมิของการเก็บรักษาสีเปลือกสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลือง สอดคล้องกับการสุกของผลเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25°C กระตุ้นการสุกของสับปะรด โดยคะแนนสีเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการเก็บรักษา และมีค่าเท่ากับ 5 (เหลือง>90%) ในสัปดาห์ที่ 3 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) (ตาราง 4) เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่ 8°C (ภาพ 13)

ตาราง 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	1.00[1/]	4.00b	5.00b	5.00b	5.00b
อุณหภูมิ 8-10 °C	1.00	1.00a	1.00a	1.50a	1.00a
ค่าสถิติ[2/]	ns	***	***	***	***
C.V. (%)	-	61.56	68.40	56.36	68.40

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]คะแนนสีเปลือก (1-5): 1=เป็นสีเขียวทั้งผล, 2 = เป็นสีเหลือง 20% ของผล, 3 = เป็นสีเหลือง 20-40% ของผล, 4 = เป็นสีเหลือง 40-60% ของผล, 5 = เป็นสีเหลืองไม่เกิน 90% ของผล

3. คุณลักษณะของสีเนื้อผลภายใน L* (ค่าความสว่าง)

จากการทดลองพบว่าค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 เซนติเมตร (cm) เมื่อเริ่มทำการทดลอง มีค่า L* เท่ากับ 55.91(สีค่อนไปทางสว่าง) โดยทั้งสองอุณหภูมิที่เก็บรักษา ค่า L* มีแนวโน้มลดลง (มีสีคล้ำมากขึ้น) ตลอดการเก็บรักษา ซึ่งในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิ 20-25°C ให้ค่า L* สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C หลังจากนั้นไม่พบความแตกต่าง (ตาราง 5)

ตาราง 5 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า L* [3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	55.91a[1/]	53.25a	53.48a	57.65a	49.72a
อุณหภูมิ 8-10 °C	55.91a	60.06a	47.14a	49.99b	51.73a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (%)	8.04	16.47	17.29	16.14	30.20

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างมีค่า 0-100: 0 = สีมืดที่สุด, 100 = สว่างที่สุด

4. คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

อาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น จากการศึกษา มีลักษณะ จุดสีดำหรือสีน้ำตาล ช้ำที่บริเวณเนื้อผลใกล้แกนและแกนผลเมื่อรุนแรงมากขึ้น เริ่มปรากฏอาการในสัปดาห์ที่ 1 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ และมีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การเก็บรักษาในอุณหภูมิ 20-25°C พบการเกิดอาการรุนแรงและสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตาราง 6) และ (ภาพ 13)

ตาราง 6 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	1.00a[1/]	1.10a	1.60a	2.20a	2.90a
อุณหภูมิ 8-10 °C	1.00a	1.50a	2.10a	1.90a	2.00b
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	-	36.20	40.28	33.48	33.33

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]คะแนนระดับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5): 1 = ไม่ปรากฏสีน้ำตาล, 2 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

5. **คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ**

อาการฉ่ำน้ำที่ปรากฏในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น มีลักษณะ ช้ำและฉ่ำน้ำบริเวณเนื้อผล และเนื้อใกล้แกน เริ่มปรากฏตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 1 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการเก็บรักษาของทั้งสองอุณหภูมิ และรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 8-10°C พบลักษณะการฉ่ำน้ำ ค่อนข้างรุนแรงและสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา (ตาราง 7)

ตาราง 7 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	1.00a[1/]	2.30a	2.30a	1.30a	1.40a
อุณหภูมิ 8-10 °C	1.00a	2.30a	3.70b	2.90b	2.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (%)	-	64.80	56.20	67.17	82.31

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]คะแนนระดับการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5): 1=ไม่ปรากฏอาการฉ่ำ, 2=ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3=ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4=ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5=ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

6. **ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า ค่าความแน่นเนื้อตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm เมื่อเริ่มทำการทดลอง ค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 215.60 กรัม โดยค่าความแน่นเนื้อนั้นมีแนวโน้มลดลง (เนื้อผลนุ่มขึ้น) ตลอดการเก็บรักษาของทั้งสองอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C สามารถรักษาความแน่นเนื้อของเนื้อผลสับปะรดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่หลังจากนี้ไม่พบความแตกต่าง (ตาราง 8)

ตาราง 8 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (กรัม ความลึก 4 mm)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา(สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	215.60a[1/]	214.10a	166.10a	213.60a	156.90a
อุณหภูมิ 8-10 °C	215.60a	203.80a	201.10b	191.60a	212.20a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	34.12	24.55	21.80	23.42	48.82

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

7. คะแนนการเกิดตำหนิภายในผล

เริ่มปรากฏจุดดำในเนื้อหรือขั้วผลมีสีคล้ำ ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับความรุนแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 20-25°C คะแนนตำหนิในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 2.8 ในขณะที่อุณหภูมิ 8-10°C คะแนนตำหนิมีค่าเท่ากับ 1.6 ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.001$) จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ภาพ 13) นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์การเกิดตำหนิ (จำนวนผลที่เกิดตำหนิ) สูงกว่าในชุดซึ่งเก็บรักษาที่ 20-25°C โดยพบมากกว่า 50% ของจำนวนผลทั้งหมด ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา การเกิดตำหนิโดยรวมมีลักษณะคล้ายการเกิดโรคที่ติดมาจากแปลงปลูก แต่ไม่ได้วินิจฉัยเชื้อสาเหตุการเกิดโรค (ตาราง 9)

ตาราง 9 แสดงคะแนนการเกิดตำหนิภายในผลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดตำหนิภายในผล (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	1.00a[1/]	1.07a	2.80b	3.53b	4.0b
อุณหภูมิ 8-10 °C	1.00a	1.20b	1.60a	1.20a	1.27a
ค่าสถิติ[2/]	ns	***	***	***	***
C.V. (%)	-	37.26	50.09	55.7	63.42

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]คะแนนระดับการเกิดตำหนิภายในผล (1-5): 1 = ไม่ปรากฏขั้วดำและไม่มีตำหนิ, 2 = ไม่ปรากฏขั้วดำแต่มีตำหนิ, 3 = ปรากฏขั้วดำแต่ไม่มีตำหนิ, 4 = มีขั้วดำและเริ่มมีการเน่าเสีย, 5 = ปรากฏขั้วดำและเน่าเสียอย่างรุนแรง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยนำสับปะรดมาทำการคั้นน้ำส่วนแกนและเนื้อ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) เท่ากับ 4.078 และส่วนเนื้อผล มีค่าเท่ากับ 3.90 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มลดลงในอุณหภูมิ 20-25°C โดยในส่วนแกน ลดลงจาก 4.08-3.34 ในกรณีเดียวกันในส่วนเนื้อลดลงจาก 3.9-3.33 แต่ในทางตรงกันข้าม ค่า pH ในน้ำคั้นสับปะรดที่อุณหภูมิ 8-10°C ในแกนผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงโดยเปลี่ยนแปลงจาก 4.07-4.41 ในสัปดาห์ที่ 2 หลังจากนั้นลดลงเท่ากับ 3.95 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และในส่วนเนื้อผล เปลี่ยนแปลงจาก 3.9 เพิ่มขึ้นมาเป็น 3.99 และ 4.3 ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับหลังจากนั้นลดลงเป็น 4.04 (ตาราง 10)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (Soluble solid content, SSC)

น้ำคั้นในส่วนแกนผลและส่วนเนื้อผล มีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 12.71°Brix และ 14.85 °Brix ตามลำดับ ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงทั้งสองอุณหภูมิที่เก็บรักษา ซึ่งพบว่าในอุณหภูมิ 20-25°C ในส่วนแกนมีค่าลดลงจาก 12.71-10.06 °Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในกรณีเดียวกันในส่วนเนื้อผลมีค่าลดลงจาก 14.85-11.45 °Brix แต่ในทางตรงกันข้าม สับปะรดที่อุณหภูมิ 8-10°C ปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดในแกนผลมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปลี่ยนแปลงจาก 12.71-13.42 °Brix เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และในส่วนเนื้อผลเปลี่ยนแปลงจาก 14.85 °Brix เพิ่มขึ้นมาเป็น 15.93 °Brix และ 16.10°Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (ตาราง 11)

ตาราง 10 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	4.08a[1/]	3.99a	3.87b	4.01b	3.34a
อุณหภูมิ 8-10 °C	4.08a	3.66a	4.41a	4.43a	3.95a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	***	***	ns
C.V. (%)	2.78	23.68	5.07	5.53	24.25
			ส่วนเนื้อ		
อุณหภูมิ 20-25 °C	3.90a[1/]	4.02a	3.69b	3.98b	3.33a
อุณหภูมิ 8-10 °C	3.90a	3.92b	3.99a	4.30a	4.04a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	***	***	ns
C.V. (%)	3.36	3.55	4.89	4.87	24.69

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 11 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC) (°Brix) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	12.71a[1/]	11.79a	11.72a	10.63b	10.06b
อุณหภูมิ 8-10 °C	12.71a	11.80a	12.40a	12.62a	13.42a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	*
C.V. (%)	21.11	31.22	18.17	18.25	31.95
			ส่วนเนื้อ		
อุณหภูมิ 20-25 °C	14.85a[1/]	15.09a	13.93a	13.10b	11.45b
อุณหภูมิ 8-10 °C	14.85a	14.43a	14.68a	15.93a	16.10a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	*
C.V. (%)	15.19	13.12	12.22	16.73	30.06

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. **ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้** (Titratable Acidity, TA)

น้ำคั้นในส่วนแกนผลและเนื้อผลมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดเท่ากับ 0.34% และ 0.65% ตามลำดับ ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอุณหภูมิ 20-25°C โดยในส่วนแกน เพิ่มขึ้นจาก 0.34-0.41% ในส่วนเนื้อเพิ่มขึ้นจาก 0.34-0.50% ในน้ำคั้นสับปะรดที่อุณหภูมิ 8-10°C ในแกนผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.65-0.85% และในส่วนเนื้อผลเพิ่มขึ้นจาก 0.65-0.75% ตามลำดับ (ตาราง 12)

4. ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล มีค่าเท่ากับ 30.48mg/100ml และส่วนเนื้อผล มีค่าเท่ากับ 38.41 mg/100ml ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในอุณหภูมิ 20-25°C โดยในส่วนแกน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 38.48-58.25-64.33 mg/100ml ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่หลังจากนี้ลดลงเป็น 17.28 mg/100ml ในกรณีเดียวกันในส่วนเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 38.41-40.36-65.59 mg/100ml ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นลดลงเป็น 29.27mg/100ml

ที่อุณหภูมิ 8-10°C ในแกนผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงโดยเปลี่ยนแปลงจาก 38.41-29.27 mg/100ml และในส่วนเนื้อผล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 38.48-76.43 mg/100 ml ในสัปดาห์ที่ 2 หลังจากนั้นค่อยๆลดลงเป็น 52.78 mg/100ml เช่นเดียวกันในส่วนเนื้อผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 38.41-40.43 mg/100ml ในสัปดาห์ที่ 1 และหลังจากนั้นลดลงเป็น 26.89 mg/100ml ในสัปดาห์ที่ 3 (ตาราง 13)

ตาราง 12 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%TA) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	0.34a[1/]	0.47a	0.57a	0.59a	0.41b
อุณหภูมิ 8-10 °C	0.34a	0.40a	0.52a	0.41b	0.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	***	*
C.V. (%)	20.64	31.89	31.48	29.69	30.14
	ส่วนเนื้อ				
อุณหภูมิ 20-25 °C	0.65a[1/]	0.88a	1.15a	1.08a	0.85a
อุณหภูมิ 8-10 °C	0.65a	0.79a	0.79b	0.69b	0.75a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	***	***	ns
C.V. (%)	19.58	22.55	25.59	26.65	32.33

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 13 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	38.48a[1/]	58.25a	64.33b	46.69a	17.28b
อุณหภูมิ 8-10 °C	38.48a	59.47a	76.43a	50.67a	52.78a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	*	ns	***
C.V. (%)	16.83	30.57	26.30	31.68	73.06
			ส่วนเนื้อ		
อุณหภูมิ 20-25 °C	38.41a[1/]	40.36a	65.59a	65.27a	29.27a
อุณหภูมิ 8-10 °C	38.41a	40.43a	36.11b	26.89b	33.01a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	***	***	ns
C.V. (%)	27.27	26.28	38.85	52.02	49.33

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

1. เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

ในเนื้อผลสับปะรดก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 85.45% จากผลการทดลอง พบว่า การเก็บรักษาในอุณหภูมิ 20-25°C การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในส่วนเนื้อผลมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา แต่เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ถัดไป และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในกรณีเดียวกันกับการเก็บรักษาที่ 8-10°C การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ มีแนวโน้มลดลงต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในสัปดาห์ที่ 1 หลังจากนั้นเพิ่มขึ้น และลดลง เท่ากับ 66.21% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตาราง 14)

ตาราง 14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของสับปะรด**พันธุ์ห้วยมุ่น** ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	85.45a[1/]	69.98b	88.08a	86.81a	81.80b
อุณหภูมิ 8-10 °C	85.45a	59.66a	88.31a	85.49a	66.21a
ค่าสถิติ[2/]	ns	**	ns	ns	***
C.V. (%)	3.035	20.566	3.104	3.175	22.802

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า อัตราการหายใจของผลสับปะรด มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4.75 $mgCO_2/kg/hr$ โดยทั้งสองอุณหภูมิมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก และหลังจากนั้นลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้งสองอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตาราง 15)

ตาราง 15 แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการหายใจ ($mgCO_2/kg/hr$)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	4.75a[1/]	4.82a	5.32a	4.62a	4.54a
อุณหภูมิ 8-10 °C	4.75a	5.23a	5.54a	4.65a	4.47a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	25.63	12.27	11.79	20.25	16.66

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. **อัตราการผลิตเอทิลีน**

ก่อนการเก็บรักษา อัตราการผลิตเอทิลีนเท่ากับ 0.08 µl/kg/hr ในการทดลองนี้ค่าอัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในสัดส่วนที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิการเก็บรักษาทั้ง 2 ระดับ โดยที่อุณหภูมิ 20-25°C การผลิตเพิ่มขึ้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสัปดาห์แรก และสองสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 8-10°C (ตาราง 16)

ตาราง 16 แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีน (µl/kg/hr)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	0.08a[1/]	0.09a	0.12a	0.25a	0.22a
อุณหภูมิ 8-10 °C	0.08a	0.05b	0.14a	0.10b	0.07b
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	**	***
C.V. (%)	48.93	44.43	34.14	54.51	58.07

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

4. กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

ก่อนการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ PPO มีค่าเท่ากับ 0.009 unit/min/mg of protein โดยกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 2 อุณหภูมิ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งที่อุณหภูมิ 20-25°C มีแนวโน้มสูงกว่า อุณหภูมิ 8-10°C เพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของทั้ง 2 อุณหภูมิ (ตาราง 17)

ตาราง 17 แสดงกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	กิจกรรมเอนไซม์ PPO (unit/min/mg of protein)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
อุณหภูมิ 20-25 °C	0.009a[1/]	0.012a	0.014a	0.020a	0.021a
อุณหภูมิ 8-10 °C	0.009a	0.010a	0.015a	0.017a	0.019a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	24.04	45.23	26.25	28.16	57.70

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ซึ่งประเมินจากคะแนนการเกิดตำหนิภายใน โดยคะแนนเท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพตลอดการเก็บรักษา พบว่า ที่อุณหภูมิ 8-10°C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 2.9 สัปดาห์ ในขณะที่อุณหภูมิ 20-25°C มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1.7 สัปดาห์ (ตาราง 18)

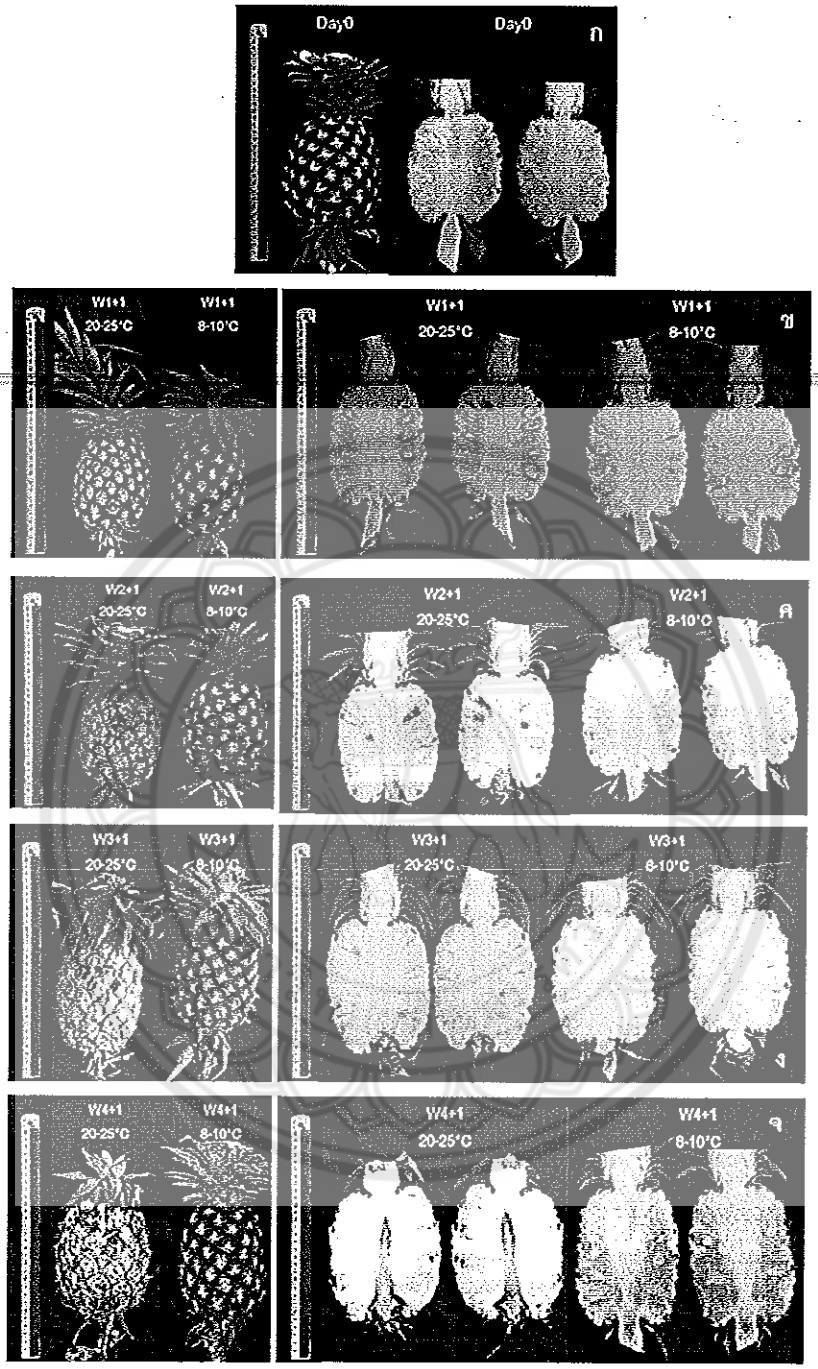
ตาราง 18 แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)[3/]
อุณหภูมิ 20-25 °C	1.70a[1/]
อุณหภูมิ 8-10 °C	2.90b
ค่าสถิติ[2/]	*
C.V. (%)	54.81

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]อายุการเก็บรักษาประเมิน ณ วันที่มีคะแนนตำหนิภายใน เท่ากับหรือไม่ต่ำกว่า 2 ซึ่งถือว่าหมดสภาพเป็นเกณฑ์



ภาพ 13 แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา (Day0)(ก) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 20-25°C และ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยใน สัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บรักษา สับปะรดจะถูกย้ายมาวางไว้ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักเริ่มต้นของสับปะรดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1164.69 กรัม จากผลการทดลอง พบว่า สับปะรดสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่าสูงสุดไม่เกิน 11% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับตลอดการเก็บรักษา (ตาราง 19)

ตาราง 19 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.00a[1/]	4.99a	6.27a	7.851a	10.06a
1-MCP 100 ppb	0.00a	4.94a	7.52a	9.32a	9.41a
1-MCP 250 ppb	0.00a	4.91a	6.19a	9.27a	10.05a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.00	14.65	18.07	21.92	10.11

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

ก่อนการเก็บรักษาสับปะรดมีคะแนนสีเปลือกเท่ากับ 1 (เขียว) จากการทดลองพบว่า 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppb สามารถชะลอการสุก ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองช้ากว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 3 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) นอกจากนั้นในสัปดาห์อื่น 1-MCP มีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้เล็กน้อย แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 20) และ (ภาพ 14)

ตาราง 20 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.25a[1/]	1.75a	2.25a	2.75b	2.50a
1-MCP 100 ppb	1.25a	1.25a	1.00a	1.25a	2.25a
1-MCP 250 ppb	1.25a	1.25a	1.50a	2.00ab	2.00a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	36.18	47.19	50.08	42.64	27.63

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3] คะแนนสีเปลือก (1-5): 1= เป็นสีเขียวทั้งผล, 2 = เป็นสีเหลือง 20% ของผล, 3 = เป็นสีเหลือง 20-40% ของผล, 4 = เป็นสีเหลือง 40-60% ของผล, 5 = เป็นสีเหลืองไม่เกิน 90% ของผล

3. **คุณลักษณะของสีเนื้อผลภายใน L* (ค่าความสว่าง)**

จากการทดลองพบว่า ค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm เมื่อเริ่มทำการทดลอง มีค่า L* เท่ากับ 53.55 (สีค่อนไปทางสว่าง) โดยทั้ง 3 ความเข้มข้น ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นลดลง (มีสีคล้ำมากขึ้น) จนสิ้นสุดการทดลอง โดยสัปดาห์แรก พบว่าการใช้ 1-MCP 100 ppb มีค่า L* มากกว่าความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) หลังจากนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตาราง 21)

ตาราง 21 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า L* [3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	53.55a[1/]	58.32ab	55.75a	45.14a	59.89a
1-MCP 100 ppb	53.55a	60.49b	58.26a	53.00a	51.44a
1-MCP 250 ppb	53.55a	54.92a	55.40a	61.04a	51.98a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	2.13	6.01	15.20	19.90	16.06

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างมีค่า 0-100: 0 = สีมืดที่สุด, 100 = สว่างที่สุด

4. **คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล**

อาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น จากการศึกษา มีลักษณะ จุดสีดำหรือสีน้ำตาล ช้ำที่บริเวณเนื้อผลใกล้แกนและแกนผลเมื่อรุนแรงมากขึ้น เริ่มปรากฏอาการในสัปดาห์ที่ 1(+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการเก็บรักษาที่ชุดควบคุมและ 1-MCP ความเข้มข้น 100 ppb และมีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การใช้ 1-MCP มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดีกว่าชุดควบคุม จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตาม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 22) และ (ภาพ 14)

ตาราง 22 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น **ภายหลังการ**รม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) **เป็น**เวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	1.25a	1.75a	2.75a	1.25a
1-MCP 100 ppb	1.00a	1.25a	1.50a	2.00a	2.00a
1-MCP 250 ppb	1.00a	1.00a	1.75a	1.25a	1.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.00	33.36	46.70	47.67	50.08

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3] คะแนนระดับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5): 1 = ไม่ปรากฏสีน้ำตาล, 2 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

5. คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ

อาการฉ่ำน้ำที่ปรากฏในผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น มีลักษณะเป็นรอยช้ำและฉ่ำน้ำในบริเวณเนื้อและเนื้อใกล้แกนผล เริ่มปรากฏอาการตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของความเข้มข้น 3 ระดับ ความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่ง 1- MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb สามารถชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำได้ดีเล็กน้อย เฉพาะในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่ตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 23)

ตาราง 23 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	1.50a	1.75a	2.50a	2.00a
1-MCP 100 ppb	1.00a	1.25a	2.00a	3.25a	2.25a
1-MCP 250 ppb	1.00a	1.50a	2.00a	2.25a	3.00a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.00	36.35	56.54	40.24	44.84

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]คะแนนระดับการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5): 1 = ไม่ปรากฏอาการฉ่ำ, 2 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

6. **ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า ค่าความแน่นเนื้อตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm เมื่อเริ่มทำการทดลอง ค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 268.50 กรัม โดยค่าความแน่นเนื้อนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลง (เนื้อผลนุ่มขึ้น) ตลอดการเก็บรักษาของทั้ง 3 กรรมวิธี ซึ่งการใช้ 1-MCP มีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อได้ดีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 24)

ตาราง 24 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (กรัม ความลึก 4 mm)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา(สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	268.50a[1/]	296.75a	210.00a	166.00a	231.75a
1-MCP 100 ppb	268.50a	235.75a	265.00a	169.50a	233.75a
1-MCP 250 ppb	268.50a	326.75a	169.25a	204.50a	227.75a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	37.05	34.48	37.36	27.21	47.54

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยนำสับปะรดมาทำการคั้นน้ำส่วนแกนและเนื้อ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) เท่ากับ 4.35 โดยในทุกความเข้มข้น ค่า pH มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่า การใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb ค่า pH น้อยกว่ากรรมวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

และในส่วนของเนื้อ เริ่มต้นมีค่า pH เท่ากับ 4.56 ตลอดการเก็บรักษา ค่า pH ในส่วนของเนื้อมีแนวโน้มลดลง ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา พบว่า การใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 100 ppb ค่า pH น้อยกว่ากรรมวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) หลังจากนั้นจนสิ้นสุดการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 25)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (Soluble solid content, SSC)

น้ำคั้นในส่วนแกนผลและส่วนเนื้อผล มีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 14.28 °Brix และ 16.63 °Brix ตามลำดับ ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดทั้งในส่วนแกนและเนื้อมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง โดยรวมแล้วปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในส่วนแกนจะน้อยกว่าในส่วนของเนื้อ แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้น 1-MCP ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (ตาราง 26)

ตาราง 25 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	4.35a[1/]	3.86a	3.79a	3.87b	3.67a
1-MCP 100 ppb	4.35a	3.74a	3.97a	3.86b	3.77a
1-MCP 250 ppb	4.35a	4.08a	3.75a	3.70a	3.64a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	1.83	5.89	4.62	2.80	2.95
	ส่วนเนื้อ				
Control	4.56a[1/]	4.05b	3.91a	3.98a	3.73a
1-MCP 100 ppb	4.56a	3.79a	3.99a	3.75a	3.84a
1-MCP 250 ppb	4.56a	4.02b	3.90a	3.82a	3.63a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	2.56	3.94	4.00	4.26	3.91

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 26 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC) (°Brix) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	14.28a[1/]	13.93a	14.60a	13.98a	14.85a
1-MCP 100 ppb	14.28a	15.20a	12.13a	14.78a	15.78a
1-MCP 250 ppb	14.28a	15.20a	13.95a	15.43a	14.30a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	6.47	15.22	13.79	10.34	11.05
			ส่วนเนื้อ		
Control	16.63a[1/]	15.38a	16.90a	16.78a	18.53a
1-MCP 100 ppb	16.63a	15.85a	16.08a	13.85a	19.40a
1-MCP 250 ppb	16.63a	16.73a	16.08a	16.68a	15.63a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	5.83	11.15	12.16	14.37	14.96

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. **ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้** (Titratable Acidity, TA)

น้ำคั้นในส่วนแกนผลและเนื้อผลมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดเท่ากับ 0.32% และ 0.31% ตามลำดับ ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งส่วนแกนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งในทุกกรรมวิธีไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น 1-MCP ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ตาราง 27)

4. ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล มีค่าเท่ากับ 8.76 mg/100ml โดยรวมทั้ง 3 ความเข้มข้นในส่วนแกนปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง โดยจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการใช้สาร 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีได้ดีกว่าชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

และก่อนการเก็บรักษา ส่วนเนื้อผล มีค่าเท่ากับ 8.76 mg/100ml โดยรวมปริมาณวิตามินซี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในสัปดาห์ที่ 3(+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการทดลอง การใช้สาร 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีได้ดีกว่าชุดควบคุม (ตาราง 28)

ตาราง 27 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%TA) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.32a[1/]	0.58a	0.76a	0.61a	0.77a
1-MCP 100 ppb	0.32a	0.59a	0.52a	0.57a	0.69a
1-MCP 250 ppb	0.32a	0.42a	0.65a	0.76a	0.74a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	15.77	33.16	32.81	19.84	14.25
			ส่วนเนื้อ		
Control	0.31a[1/]	0.60a	0.74a	0.64a	0.78a
1-MCP 100 ppb	0.31a	0.73a	0.60a	0.76a	0.84a
1-MCP 250 ppb	0.31a	0.51a	0.72a	0.88a	0.91a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.03	22.53	25.78	20.13	13.00

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 28 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	8.76a[1/]	13.51a	10.59a	5.20a	6.39a
1-MCP 100 ppb	8.76a	10.13a	11.22a	7.21a	7.03a
1-MCP 250 ppb	8.76a	10.31a	10.04a	8.58a	7.03a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.00	27.54	27.72	30.73	36.64
	ส่วนเนื้อ				
Control	5.11a[1/]	4.93a	5.66a	3.29a	5.29a
1-MCP 100 ppb	5.11a	5.11a	5.29a	6.11b	3.74a
1-MCP 250 ppb	5.11a	4.29a	5.38a	6.66b	4.65a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (%)	26.37	31.00	27.49	34.69	30.42

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

1. **เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์**

ในเนื้อผลสับปะรดก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 49.23 % จากผลการทดลอง พบว่าการใช้ 1-MCP เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนชุดควบคุม เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรก และหลังจากนั้นลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการทดลองพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และหลังจากนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 29)

ตาราง 29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของสับปะรด**พันธุ์ห้วยมุ่น** ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณ**หภูมิตู้แช่** (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	49.23a[1/]	53.80a	45.25a	40.40a	40.31a
1-MCP 100 ppb	49.23a	59.44a	54.50ab	40.80a	46.31a
1-MCP 250 ppb	49.23a	58.27a	59.21b	36.22a	49.12a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	6.97	15.09	24.12	16.71	35.10

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า อัตราการหายใจของผลสับปะรด มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.30 $mgCO_2/kg/hr$ โดยการใช้สาร 1-MCP ในสัปดาห์แรกอัตราการหายใจมีแนวโน้มลดลง และหลังจากการนั้นเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนชุดควบคุมมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและลดลงเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ของทั้ง 3 ความเข้มข้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 30)

ตาราง 30 แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการหายใจ ($mgCO_2/kg/hr$)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.30a[1/]	1.43a	1.37a	1.13a	1.21a
1-MCP 100 ppb	1.30a	1.16a	1.36a	1.23a	1.32a
1-MCP 250 ppb	1.30a	1.25a	1.41a	1.16a	1.27a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	15.00	19.01	14.44	15.10	15.48

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. อัตราการผลิตเอทิลีน

ก่อนการเก็บรักษา อัตราการผลิตเอทิลีนเท่ากับ 1.23 µl/kg/hr ในการทดลองนี้ค่าอัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในสัดส่วนที่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ความเข้มข้น 250 ppb มีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.80 µl/kg/hr ส่วน 1-MCP 100 ppb และชุดควบคุมมีอัตราการผลิตเอทิลีนเท่ากับ 0.95 และ 1.06 µl/kg/hr ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 31)

ตาราง 31 แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีน (µl/kg/hr)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.23a[1/]	1.19a	1.29a	1.11a	1.06a
1-MCP 100 ppb	1.23a	1.03a	1.93a	1.34a	0.95a
1-MCP 250 ppb	1.23a	1.46a	1.54a	1.53a	0.80a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.83	27.41	47.86	26.89	32.82

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

4. กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

ก่อนการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ PPO มีค่าเท่ากับ 0.01 unit/min/mg of protein โดยกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 3 ความเข้มข้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 32)

ตาราง 32 แสดงกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	กิจกรรมเอนไซม์ PPO (unit/min/mg of protein)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.01a[1/]	0.05a	0.04a	0.05a	0.04a
1-MCP 100 ppb	0.01a	0.04a	0.03a	0.04a	0.05a
1-MCP 250 ppb	0.01a	0.04a	0.05a	0.02a	0.07a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	75.02	68.79	58.75	59.08	48.02

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ซึ่งประเมิน ณ สัปดาห์ที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพ จากการทดลอง พบว่า การใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 2.75 สัปดาห์ และที่ความเข้มข้น 100 ppb มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 2.25 สัปดาห์ ส่วนชุดควบคุมสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เพียง 2.00 สัปดาห์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ 1-MCP ที่ 250 ppb สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 33)

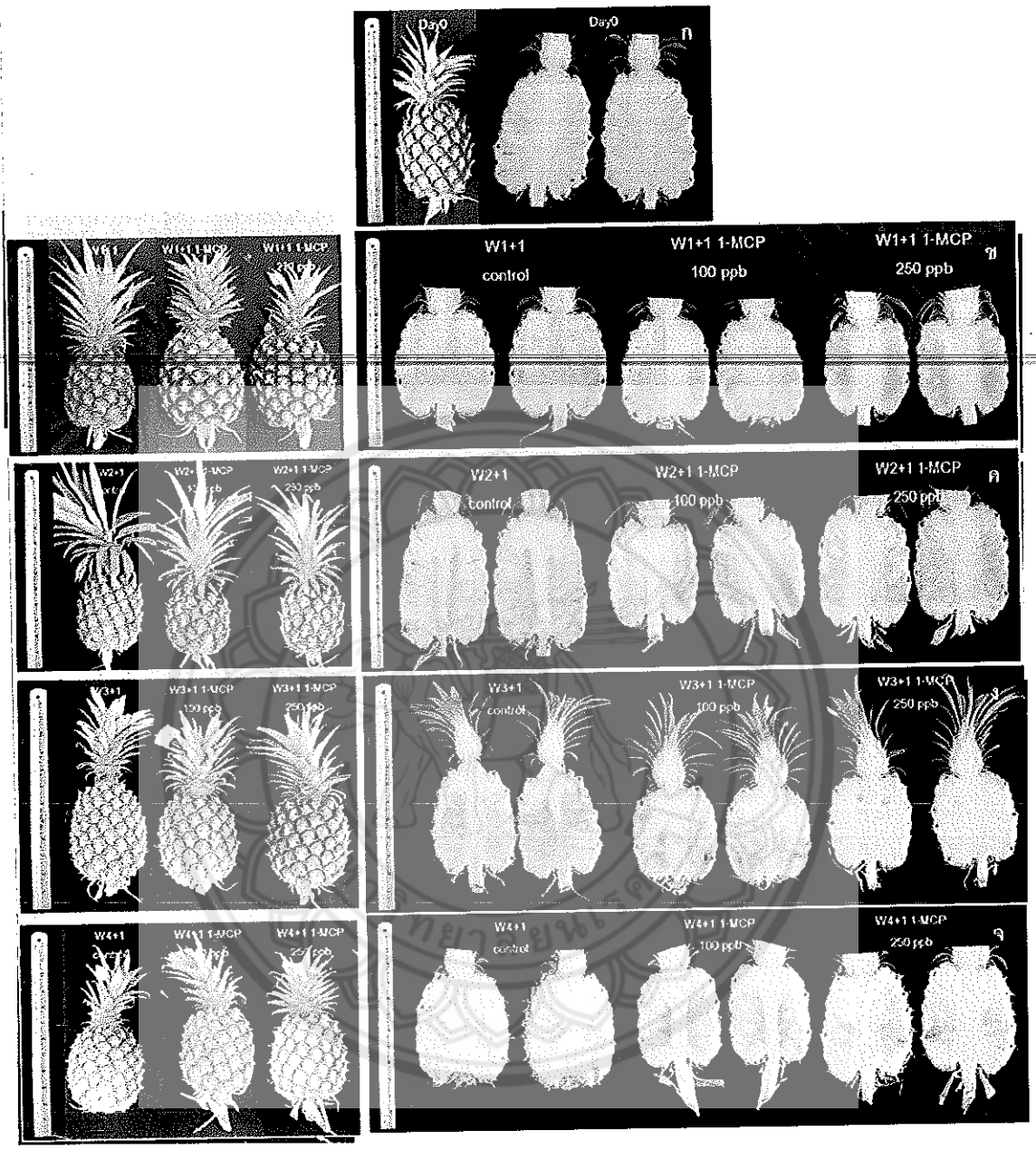
ตาราง 33 แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการรม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)[3/]
Control	2.00a[1/]
1-MCP 100 ppb	2.25a
1-MCP 250 ppb	2.75a
ค่าสถิติ[2/]	ns
C.V. (%)	38.04

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]อายุการเก็บรักษาประเมิน ณ วันที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับหรือไม่ต่ำกว่า 2 ซึ่งถือว่าหมดสภาพเป็นเกณฑ์



ภาพ 14 แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก) และภายหลังการรมด้วย 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ Control, 1-MCP 100 ppb และ 1-MCP 250 ppb ตามลำดับ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการทดลองพบว่า สับปะรดสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การใช้ MeJA มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักตลอดการเก็บรักษา ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 2 และ 4 (1 วันที่อุณหภูมิห้อง) โดยการใช้ MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ (ตาราง 34)

ตาราง 34 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.00a[1/]	5.63ab	9.26b	10.95a	15.75b
MeJA 10^{-2} M	0.00a	6.69b	9.05b	12.59a	16.29b
MeJA 10^{-3} M	0.00a	4.94a	7.82b	9.96a	16.41b
MeJA 10^{-4} M	0.00a	4.64a	5.79a	10.72a	12.93a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	**	ns	*
C.V. (%)	0.00	20.34	21.65	16.76	13.74

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

เมื่อเริ่มการทดลอง มีคะแนนเท่ากับ 1 (มีสีเขียวทั้งผล) และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเพิ่มขึ้น โดยพบว่า MeJA สามารถชะลอการสุก ซึ่งแสดงผล การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองช้ากว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ตาราง 35) และ (ภาพ 15)

ตาราง 35 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลสับปะรด ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก(1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	2.00b	3.00b	2.00a	3.25b
MeJA 10^{-2} M	1.00a	1.00a	2.00ab	2.00a	3.75b
MeJA 10^{-3} M	1.00a	1.00a	1.00a	1.25a	1.50a
MeJA 10^{-4} M	1.00a	1.00a	1.00a	2.00a	1.25a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	*	ns	**
C.V. (%)	0.00	46.19	64.32	41.38	55.99

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]คะแนนสีเปลือก (1-5): 1= เป็นสีเขียวทั้งผล, 2 = เป็นสีเหลือง 20% ของผล, 3 = เป็นสีเหลือง 20-40% ของผล, 4 = เป็นสีเหลือง 40-60% ของผล, 5 = เป็นสีเหลืองไม่เกิน 90% ของผล

3. **คุณลักษณะของสีเนื้อผลภายใน L* (ค่าความสว่าง)**

จากการทดลองพบว่า ค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกน 1 cm เมื่อเริ่มทำการทดลองมีค่า L* เท่ากับ 48.90 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่า L* ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ค่า L* ทุกความเข้มข้นมีค่าลดลง แต่ MeJA 10^{-4}M มีค่า L* มากที่สุดเท่ากับ 43.95 รองลงมาคือ MeJA 10^{-3}M ค่า L* เท่ากับ 36.60 ส่วนชุดควบคุม และ MeJA 10^{-2}M มีค่า L* เท่ากับ 36.32 และ 34.54 ตามลำดับ (ตาราง 36)

ตาราง 36 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า L* [3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	48.90a[1/]	54.81a	40.95a	42.34a	36.32a
MeJA 10^{-2} M	48.90a	51.84a	47.25a	40.16a	34.54a
MeJA 10^{-3} M	48.90a	50.30a	42.84a	42.11a	36.60a
MeJA 10^{-4} M	48.90a	54.43a	52.99a	46.33a	43.95a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	7.58	8.49	16.55	22.09	23.26

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3] ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างมีค่า 0-100: 0 = สีมืดที่สุด, 100 = สว่างที่สุด

4. คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

เมื่อเริ่มการทดลอง มีคะแนนเท่ากับ 1 (ไม่ปรากฏอาการ) อาการไส้สีน้ำตาลเริ่มพบอาการตั้งแต่สัปดาห์แรก ของการเก็บรักษาทุกความเข้มข้น ซึ่งอาการที่พบคือเกิดจุดดำหรือสีน้ำตาล ช้ำที่บริเวณเนื้อผลใกล้แกนและที่แกนผลเมื่ออาการมีความรุนแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม MeJA มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ ประมาณ 2 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่ตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 37) และ (ภาพ 15)

ตาราง 37 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	1.50a	2.50a	2.75a	3.25a
MeJA 10^{-2}M	1.00a	2.25a	1.50a	2.75a	3.75a
MeJA 10^{-3}M	1.00a	1.75a	2.25a	2.25a	3.75a
MeJA 10^{-4}M	1.00a	1.25a	1.75a	3.00a	3.00a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.00	51.75	36.52	52.13	33.54

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3] คะแนนระดับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5): 1 = ไม่ปรากฏสีน้ำตาล, 2 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

5. คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ

อาการฉ่ำน้ำที่ปรากฏในผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น มีลักษณะเป็นรอยช้ำและฉ่ำน้ำในบริเวณเนื้อและเนื้อใกล้แกนผล เริ่มปรากฏอาการตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1(+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของชุดควบคุม และ MeJA 10^{-2} และ 10^{-3} M ความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่ง MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 38)

ตาราง 38 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	1.50a	2.50a	2.25a	3.50a
MeJA 10^{-2}M	1.00a	1.75a	1.50a	2.50a	3.75a
MeJA 10^{-3}M	1.00a	1.25a	2.25a	2.25a	2.75a
MeJA 10^{-4}M	1.00a	1.00a	1.75a	2.25a	2.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.00	58.64	36.52	40.93	36.72

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3] คะแนนระดับการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5): 1 = ไม่ปรากฏอาการฉ่ำ, 2 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

6. ความแน่นเนื้อ

จากการทดลองพบว่า ค่าความแน่นเนื้อตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm โดยเริ่มการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 254.5 g โดยตลอดการเก็บรักษาพบว่า ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และการใช้ MeJA สามารถชะลอค่าความแน่นเนื้อได้ค่อนข้างดีใน 2 สัปดาห์แรก แต่อย่างไรก็ตามตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 39)

ตาราง 39 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (กรัม ความลึก 4 mm)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	254.50a[1/]	188.25a	160.00a	207.75a	167.50a
MeJA 10^{-2}M	254.50a	276.25a	193.50a	194.75a	242.75a
MeJA 10^{-3}M	254.50a	158.25a	206.50a	189.75a	191.50a
MeJA 10^{-4}M	254.50a	283.25a	200.00a	151.00a	171.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	28.24	38.70	37.06	31.32	28.43

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยนำสับปะรดมาทำการคั้นน้ำส่วนแกนและเนื้อ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) เท่ากับ 4.20 และในส่วนของเนื้อ เริ่มต้นมีค่า pH เท่ากับ 4.56 โดยค่า pH ทั้งส่วนแกน และเนื้อ ของทุกความเข้มข้น ค่า pH มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยส่วนแกนสัปดาห์ที่ 3 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ที่ส่วนเนื้อตลอดการเก็บรักษาไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตาราง 40)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (Soluble solid content, SSC)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล ก่อนการเก็บรักษา มีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 9.38 °Brix ค่าในส่วนแกนโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P<0.05$) โดยการใช้ MeJA 10^{-2}M มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น และในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าการใช้ MeJA 10^{-4}M มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$)

และ น้ำคั้นในส่วนเนื้อผล ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณมีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 12.20 °Brix ค่าในส่วนเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลงลงตลอดระยะการเก็บรักษา แต่โดยรวมปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดในส่วนของเนื้อจะสูงกว่าส่วนแกนผล โดยในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา การใช้ MeJA 10^{-2}M มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยตลอดการเก็บรักษา การใช้ MeJA 10^{-4}M มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งได้ดี แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 41)

ตาราง 40 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	4.20a[1/]	3.91	3.94a	3.79a	3.73a
MeJA 10^{-2}M	4.20a	4.11a	4.01a	3.78a	3.68a
MeJA 10^{-3}M	4.20a	4.09a	3.78b	3.87a	3.45a
MeJA 10^{-4}M	4.20a	4.08a	3.69b	3.66a	3.45a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	4.861	4.414	4.995	4.679	5.830
	ส่วนเนื้อ				
Control	4.02a[1/]	3.66a	3.74a	3.64a	3.65a
MeJA 10^{-2}M	4.02a	3.84a	3.74a	3.71a	3.70a
MeJA 10^{-3}M	4.02a	3.74a	3.63a	3.61a	3.85a
MeJA 10^{-4}M	4.02a	3.75a	3.63a	3.67a	3.61a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	5.66	5.10	3.66	4.14	5.47

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 41 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC) (°Brix) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	9.38a[1/]	10.18b	8.25a	8.08a	7.33a
MeJA 10^{-2}M	9.38a	7.43a	7.02a	7.08a	7.55a
MeJA 10^{-3}M	9.38a	10.00b	8.18a	8.20a	7.78a
MeJA 10^{-4}M	9.38a	8.45ab	8.70a	9.60a	10.73b
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	***
C.V. (%)	36.12	18.62	13.47	23.13	18.46
	ส่วนเนื้อ				
Control	12.20a[1/]	12.20ab	14.25a	11.48a	10.50a
MeJA 10^{-2}M	12.20a	9.63a	14.18a	10.45a	10.28a
MeJA 10^{-3}M	12.20a	12.88b	13.15a	12.00a	11.68a
MeJA 10^{-4}M	12.20a	14.43b	12.50a	14.03a	14.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	22.29	20.21	14.94	20.64	25.82

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity, TA)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ส่วนของแกนผล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การจุ่ม MeJA 10^{-2} M มีแนวโน้มโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ และ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ส่วนของเนื้อผล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนสัปดาห์ที่ 2 และลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตาราง 42)

4. ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล มีค่าเท่ากับ 8.88 mg/100ml โดยรวมทั้ง 4 ความเข้มข้นในส่วนแกนปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา โดยจากการทดลองพบว่าการใช้สาร MeJA 10^{-4} M ค่อนข้างชะลอการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีได้ดีกว่าความเข้มข้นอื่น แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

และก่อนการเก็บรักษา ส่วนเนื้อผล มีค่าเท่ากับ 7.15 mg/100ml โดยรวมปริมาณวิตามินซี มีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยจากการทดลองพบว่าการใช้สาร MeJA ค่อนข้างชะลอการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีได้ดีกว่าชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 43)

ตาราง 42 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%TA) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.20a[1/]	0.28a	0.28a	0.26a	0.25a
MeJA 10^{-2}M	0.20a	0.16a	0.22a	0.21a	0.22a
MeJA 10^{-3}M	0.20a	0.19a	0.19a	0.21a	0.39b
MeJA 10^{-4}M	0.20a	0.20a	0.27a	0.32a	0.32ab
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	22.95	42.07	32.64	30.59	30.66
			ส่วนเนื้อ		
Control	0.42a[1/]	0.58a	0.77a	0.67a	0.65a
MeJA 10^{-2}M	0.42a	0.47a	0.72a	0.57a	0.47a
MeJA 10^{-3}M	0.42a	0.52a	0.65a	0.60a	0.52a
MeJA 10^{-4}M	0.42a	0.45a	0.65a	0.65a	0.57a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.33	23.20	20.82	23.19	24.67

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 43 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	8.88a[1/]	3.48a	2.47a	2.15a	0.91a
MeJA 10^{-2}M	8.88a	3.67a	0.59a	1.50a	0.98a
MeJA 10^{-3}M	8.88a	3.28a	2.15a	4.23a	0.59a
MeJA 10^{-4}M	8.88a	4.31a	4.42a	3.45a	1.43a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	40.30	54.88	148.91	92.25	81.18
			ส่วนเนื้อ		
Control	7.15a[1/]	3.73a	2.00a	3.90a	3.77a
MeJA 10^{-2}M	7.15a	4.18a	4.83a	4.10a	2.41a
MeJA 10^{-3}M	7.15a	3.28a	4.38a	4.10a	1.63a
MeJA 10^{-4}M	7.15a	3.73a	3.28a	3.97a	3.90a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	24.32	43.91	80.05	44.50	56.08

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

1. **เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์**

จากการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของชิ้นเนื้อสับปะรด เริ่มการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 44.81% โดยค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ซึ่ง MeJA มีประสิทธิภาพในการชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้เพียง 2 สัปดาห์แรกเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สัปดาห์ที่หนึ่งของการทดลอง MeJA 10^{-4} M สามารถชะลอการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ (ตาราง 44)

ตาราง 44 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของสับปะรด**พันธุ์ห้วยมุ่น** ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ**ตู้แช่** (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	44.81a[1/]	54.51b	60.30a	48.55a	63.88a
MeJA 10^{-2}M	44.81a	49.15b	58.69a	75.18b	65.19a
MeJA 10^{-3}M	44.81a	67.02c	62.21a	56.13a	69.16a
MeJA 10^{-4}M	44.81a	34.16a	52.46a	61.60a	74.22a
ค่าสถิติ[2/]	ns	***	ns	**	ns
C.V. (%)	21.95	28.46	28.08	29.26	18.99

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

ก่อนการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ PPO มีค่าเท่ากับ 0.02 unit/min/mg of protein โดยกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 4 กรรมวิธี มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 45)

ตาราง 45 แสดงค่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	กิจกรรมเอนไซม์ PPO (unit/min/mg of protein)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.02a[1/]	0.02a	0.03a	0.03a	0.03a
MeJA 10^{-2}M	0.02a	0.03a	0.03a	0.03a	0.02a
MeJA 10^{-3}M	0.02a	0.02a	0.02a	0.03a	0.03a
MeJA 10^{-4}M	0.02a	0.02a	0.02a	0.03a	0.02a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.62	26.95	19.54	31.78	26.19

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด(Total phenolic compound)

ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณฟีนอลิกมีค่าเท่ากับ 12.39 mg/100gFW ซึ่งในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาพบว่า ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้ง 4 กรรมวิธี มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และหลังจากนั้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 46)

ตาราง 46 แสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100gFW)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	12.39a[1/]	14.43a	13.88a	13.05a	13.89a
MeJA 10^{-2}M	12.39a	14.22a	13.75a	13.05a	14.07a
MeJA 10^{-3}M	12.39a	15.04a	14.23a	13.27a	12.50a
MeJA 10^{-4}M	12.39a	15.13a	14.87a	13.89a	14.48a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.721	8.422	8.538	8.333	8.972

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

4. **การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี** DPPH (2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay)

ก่อนการเก็บรักษา ค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับ 83.55 % โดยรวมค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ซึ่งการจุ่ม MeJA 10^{-3}M มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) หลังจากนั้นพบว่า ค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 47)

ตาราง 47 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสับปะรดพันธุ์**ห้วยมุ่น ภายหลัง**การจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	DPPH (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	83.55a[1/]	89.56b	88.99a	89.28a	87.95a
MeJA 10^{-2}M	83.55a	91.95b	89.83a	91.20a	87.54a
MeJA 10^{-3}M	83.55a	84.56a	85.61a	87.56a	88.29a
MeJA 10^{-4}M	83.55a	89.96b	89.65a	87.97a	89.02a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	8.52	4.29	5.19	3.18	2.77

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ซึ่งประเมิน ณ สัปดาห์ที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพ จากการทดลอง พบว่า การจุ่ม MeJA มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลสับปะรด โดยเฉพาะการใช้ MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-4} M สามารถยืดอายุได้ถึง 2.5 สัปดาห์ รองลงมา 10^{-3} M และชุดควบคุม มีแนวโน้มยืดอายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ขณะที่ MeJA 10^{-2}M สามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์เท่านั้น อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 48)

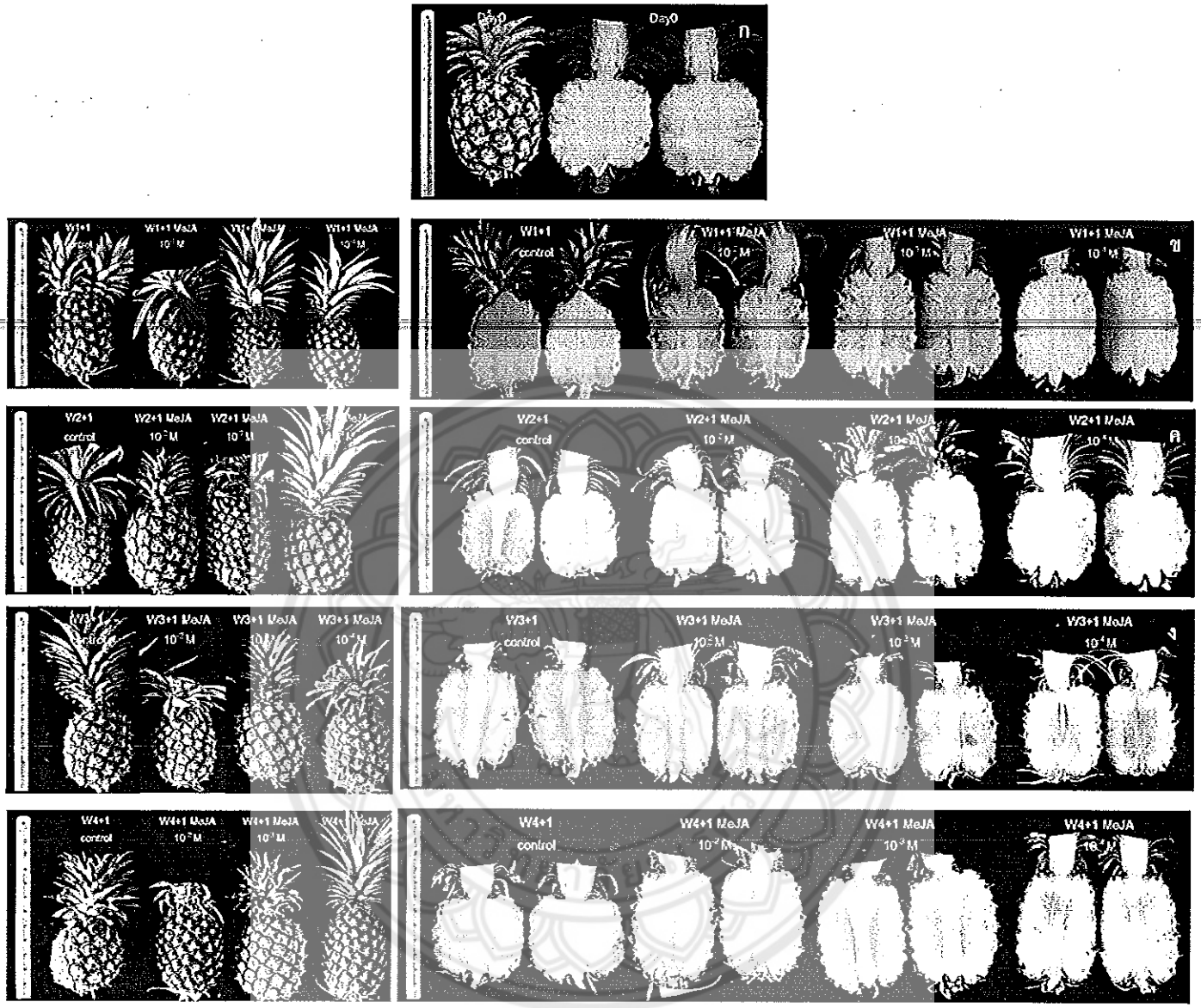
ตาราง 48 แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการจุ่ม MeJA เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)[3/]
Control	1.50a[1/]
MeJA 10^{-2}M	1.25a
MeJA 10^{-3}M	1.50a
MeJA 10^{-4}M	2.50a
ค่าสถิติ[2/]	ns
C.V. (%)	51.746

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]อายุการเก็บรักษาประเมิน ณ วันที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับหรือไม่ต่ำกว่า 2 ซึ่งถือว่าหมดสภาพเป็นเกณฑ์



ภาพ 15 แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก) และภายหลังการจุ่มด้วย MeJA ที่ระดับความเข้มข้น ต่าง ๆ ดังนี้ Control, MeJA 10^{-2}M, MeJA 10^{-3}M และ MeJA 10^{-4}M เป็นเวลา 5 นาทีและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

การทดลองที่ 4 ศึกษาการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA โดยขั้นแรกศึกษาการใช้ 1-MCP ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสับปะรดจากการทดลองที่ 2 โดยพบว่า สับปะรดที่รมด้วย 1-MCP 250 ppb สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลสับปะรด โดยมีแนวโน้มชะลอ การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล อาการฉ่ำน้ำ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ค่าการรั่วไหลของประจุ และอายุการเก็บรักษา ซึ่ง 1-MCP 250 ppb มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ และศึกษาการใช้ MeJA ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสับปะรดจากการทดลองที่ 3 โดยพบว่า สับปะรดที่รมด้วย MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลสับปะรด โดยมีแนวโน้มชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และเปลี่ยนแปลงทางเคมี และอายุการเก็บรักษาซึ่ง MeJA 10^{-4}M มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้น การทดลองที่ 4 นี้จึงเป็นการทดลองที่นำ 1- MCP 250 ppb และ MeJA 10^{-4}M ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ดีที่สุดของทั้ง 2 การทดลองก่อนหน้า จึงนำมาใช้ในการทดลองนี้

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการทดลองพบว่า สับปะรดสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา พบว่าการใช้ 1-MCP และการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในสัปดาห์ที่ 2 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ยังพบว่า การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.001$) อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นจนสิ้นสุดไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 49)

ตาราง 49 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรด ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4}M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.00a[1/]	5.71b	8.51c	10.20a	11.38a
1-MCP 250 ppb	0.00a	4.91a	7.60b	10.31a	12.24a
MeJA 10^{-4} M	0.00a	5.17ab	7.47b	10.47a	10.59a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	0.00a	4.64a	6.61a	9.85a	11.72a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	***	ns	ns
C.V. (%)	0.00	10.95	10.68	7.84	9.45

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. **คุณลักษณะของสีเนื้อผลภายใน L* (ค่าความสว่าง)**

จากการทดลองพบว่า ค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกน 1 cm เมื่อเริ่มทำการทดลอง มีค่า L* เท่ากับ 54.94 โดยค่า L* มีทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง ซึ่งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การใช้ 1-MCP และ MeJA เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า L* ได้ค่อนข้างดีกว่าการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 51)

ตาราง 51 แสดงค่า L* ตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่า L* [3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	54.94a[1/]	50.22a	45.46a	45.40a	33.53a
1-MCP 250 ppb	54.94a	56.10a	44.96a	36.29a	32.62a
MeJA 10^{-4} M	54.94a	49.86a	45.41a	38.47a	32.85a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	54.94a	49.77a	41.51a	32.77a	31.79a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	3.13	10.35	15.10	21.20	17.05

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างมีค่า 0-100: 0 = สีมืดที่สุด, 100 = สว่างที่สุด

4. **คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล**

เมื่อเริ่มการทดลอง มีคะแนนเท่ากับ 1 (ไม่ปรากฏอาการ) อาการไส้สีน้ำตาลเริ่มพบอาการตั้งแต่สัปดาห์แรก ของการเก็บรักษาทุกความเข้มข้น และพบว่าใน 2 สัปดาห์แรก การใช้ 1-MCP มีแนวโน้มชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนสัปดาห์ที่ 3 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) พบว่า การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีแนวโน้มการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลสูงกว่า กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งโดยรวมแล้วตลอดการเก็บรักษา การใช้ 1-MCP มีประสิทธิภาพต่อการชะลอการเกิดไส้สีน้ำตาลได้ค่อนข้างดี แต่การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดไส้สีน้ำตาล แต่กลับส่งเสริมให้เกิดอาการรุนแรงมากขึ้นในการศึกษานี้ (ตาราง 52) และ (ภาพ 16)

ตาราง 52 แสดงคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	1.75a	2.50a	2.50a	3.75a
1-MCP 250 ppb	1.00a	1.00a	2.25a	2.50a	3.25a
MeJA 10^{-4} M	1.00a	2.00a	2.75a	2.25a	4.25a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4}M	1.00a	2.00a	4.00a	4.75b	4.75a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (%)	0.00	47.00	45.57	43.89	22.36

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3/]คะแนนระดับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (1-5): 1 = ไม่ปรากฏสีน้ำตาล, 2 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏสีน้ำตาลที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

5. คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ

อาการฉ่ำน้ำที่ปรากฏในผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น มีลักษณะเป็นรอยช้ำและฉ่ำน้ำในบริเวณเนื้อและเนื้อใกล้แกนผล เริ่มปรากฏอาการตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของชุดควบคุม และ MeJA และการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ และพบว่าในสัปดาห์แรก การใช้ 1-MCP สามารถชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำได้ดีกว่า กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนสัปดาห์ที่ 3 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) พบว่า การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีแนวโน้มการเกิดอาการฉ่ำน้ำสูงกว่า กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งโดยรวมแล้วตลอดการเก็บรักษา การใช้ 1-MCP มีประสิทธิภาพต่อการชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำได้ค่อนข้างดี แต่การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (ตาราง 53)

ตาราง 53 แสดงคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	คะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5)[3/]				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	1.00a[1/]	2.50b	2.50a	2.50a	3.75a
1-MCP 250 ppb	1.00a	1.00a	2.25a	2.50a	3.25a
MeJA 10^{-4} M	1.00a	2.25b	2.75a	3.00a	4.25a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	1.00a	2.25b	4.00a	4.75b	4.75a
ค่าสถิติ[2]	ns	*	ns	**	ns
C.V. (%)	0.00	44.72	43.77	38.37	22.36

[1]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]คะแนนระดับการเกิดอาการฉ่ำน้ำ (1-5): 1 = ไม่ปรากฏอาการฉ่ำ, 2 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 1-25% ของพื้นที่ทั้งหมด, 3 = ปรากฏอาการฉ่ำที่เนื้อ 26-50% ของพื้นที่ทั้งหมด, 4 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 51-75% ของพื้นที่ทั้งหมด, 5 = ปรากฏอาการฉ่ำน้ำที่เนื้อ 76-100% ของพื้นที่ทั้งหมด

6. **ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า ค่าความแน่นเนื้อตำแหน่งห่างจากแกนของสับปะรด 1 cm โดยเริ่มการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 238.5 g โดยตลอดการเก็บรักษาพบว่า ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง และการใช้ 1-MCP และ MeJA อย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อได้ค่อนข้างดีกว่า กรรมวิธีอื่น ส่วนการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อได้ดีใน 2 สัปดาห์แรกเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ตลอดการเก็บรักษาของทุกๆ กรรมวิธี ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 54)

ตาราง 54 แสดงความแน่นเนื้อของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (กรัม ความลึก 4 mm)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	238.50a[1/]	244.50a	141.75a	149.50a	197.00a
1-MCP 250 ppb	238.50a	227.25a	172.75a	190.50a	211.25a
MeJA 10^{-4} M	238.50a	199.50a	191.00a	185.00a	187.25a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	238.50a	197.00a	206.25a	160.25a	137.75a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	36.76	20.81	24.52	25.19	42.63

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โดยนำสับปะรดมาทำการคั้นน้ำส่วนแกนและเนื้อ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) เท่ากับ 3.89 และในส่วนของเนื้อ เริ่มต้นมีค่า pH เท่ากับ 3.63 โดยค่า pH ทั้งส่วนแกน และเนื้อ ของทุกความเข้มข้น ค่า pH มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตลอดการเก็บรักษาทั้งส่วนแกนและเนื้อ พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) เฉพาะในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (ตาราง 55)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (Soluble solid content, SSC)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล ก่อนการเก็บรักษา มีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 9.85 °Brix ค่าในส่วนแกนโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ ลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดน้อยกว่า กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

และ น้ำคั้นในส่วนเนื้อผล ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณมีปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 13.28 °Brix ค่าในส่วนเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลงลงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา แต่โดยรวมปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดในส่วนของเนื้อจะสูงกว่าส่วนแกนผล แต่อย่างไรก็ตาม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 56)

ตาราง 55 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	3.89a[1/]	4.00a	4.17a	4.14a	4.13c
1-MCP 250 ppb	3.89a	3.68a	4.03a	4.16a	3.94b
MeJA 10^{-4} M	3.89a	3.80a	3.93a	4.10a	4.09c
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	3.89a	3.69a	3.83a	3.94a	3.56a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	***
C.V. (%)	4.34	5.63	6.94	3.75	6.37
	ส่วนเนื้อ				
Control	3.63a[1/]	3.75a	3.84a	3.95a	3.78b
1-MCP 250 ppb	3.63a	3.58a	3.77a	3.68a	3.48a
MeJA 10^{-4} M	3.63a	3.63a	3.58a	3.64a	3.82b
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	3.63a	3.43a	3.61a	3.71a	3.49a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	**
C.V. (%)	5.06	5.70	7.15	5.30	5.33

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 56 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด(SSC) (°Brix) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	9.85a[1/]	8.95a	10.18a	11.98a	12.53a
1-MCP 250 ppb	9.85a	11.53a	10.78a	9.03a	10.98a
MeJA 10^{-4} M	9.85a	11.13a	10.38a	9.58a	11.73a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	9.85a	11.38a	9.98a	9.38a	8.83b
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	17.01	20.14	21.55	22.19	18.51
			ส่วนเนื้อ		
Control	13.28a[1/]	14.05a	14.93a	15.03a	14.35a
1-MCP 250 ppb	13.28a	13.43a	13.35a	12.90a	13.03a
MeJA 10^{-4} M	13.28a	15.08a	13.05a	11.85a	15.05a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	13.28a	13.28a	12.45a	13.60a	12.10a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16.76	15.81	16.78	18.24	13.69

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. **ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้** (Titratable Acidity, TA)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ส่วนของแกนผล ก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 0.22% ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดการทดลอง โดยรวมพบว่า การใช้ MeJA อย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ได้ดีภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น แต่อย่างไรก็ตามตลอดการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในส่วนของเนื้อ ก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 0.52% ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่โดยรวมปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในส่วนของเนื้อจะสูงกว่าส่วนแกนผล ซึ่งพบว่าในสัปดาห์ที่ 3(+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) ของการเก็บรักษาการใช้ MeJA อย่างเดียว มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 57)

4. ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C content)

น้ำคั้นในส่วนแกนผล มีค่าเท่ากับ 18.56 mg/100ml โดยปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่สัปดาห์แรก และลงจนสิ้นสุดการทดลอง โดยรวมการใช้ 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ในสัปดาห์แรกเท่านั้น และการใช่ MeJA อย่างเดียว ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนสิ้นสุดการทดลอง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีได้ค่อนข้างดีกว่าความเข้มข้นอื่น แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

และก่อนการเก็บรักษา ส่วนเนื้อผล มีค่าเท่ากับ 11.12 mg/100ml โดยรวมปริมาณวิตามินซี มีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยจากการทดลองพบว่าการใช้สาร 1-MCP ร่วมกับ MeJA ค่อนข้างชะลอการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การใช้ 1-MCP ให้ปริมาณวิตามินซีสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น (ตาราง 58)

ตาราง 57 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%TA) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.22a[1/]	0.17a	0.28a	0.27a	0.28a
1-MCP 250 ppb	0.22a	0.31a	0.24a	0.19a	0.34a
MeJA 10^{-4} M	0.22a	0.27a	0.28a	0.28a	0.31a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	0.22a	0.35a	0.37a	0.28a	0.36a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	40.02	39.35	36.71	28.31	26.04
			ส่วนเนื้อ		
Control	0.52a[1/]	0.52a	0.66a	0.52a	0.58a
1-MCP 250 ppb	0.52a	0.56a	0.52a	0.60a	0.85a
MeJA 10^{-4} M	0.52a	0.58a	0.67a	0.82b	0.63a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	0.52a	0.71a	0.77a	0.66ab	0.60a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	24.31	22.11	27.61	25.62	25.75

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

ตาราง 58 แสดงปริมาณวิตามินซีของสับปะรดส่วนแกนและเนื้อ ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml) (ส่วนแกน)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	18.56a[1/]	10.66a	3.55a	2.82a	0.67a
1-MCP 250 ppb	18.56a	15.25a	2.76a	1.72a	0.67a
MeJA 10^{-4} M	18.56a	13.05a	5.08a	1.84a	1.35a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	18.56a	10.57a	1.10a	0.74a	0.55a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	12.48	39.81	110.38	84.65	88.67
	ส่วนเนื้อ				
Control	11.12a[1/]	4.59a	3.68a	3.31a	1.35a
1-MCP 250 ppb	11.12a	5.51a	3.61a	2.27a	3.37b
MeJA 10^{-4} M	11.12a	5.33a	4.59a	2.70a	3.00b
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	11.12a	10.29a	3.98a	1.78a	2.27ab
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	26.71	77.57	46.08	48.26	47.04

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

1. เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

จากการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของชิ้นเนื้อสับปะรดเริ่มการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 45.44% โดยค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรกของเก็บรักษา หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง โดยในสัปดาห์แรกการใช้ 1-MCP มีแนวโน้มช่วยชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) และ สัปดาห์ที่ 4 (+1 วันที่อุณหภูมิห้อง) พบว่า การใช้ 1-MCP นั้นสามารถชะลอ ชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น (ตาราง 59)

ตาราง 59 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของสับปะรด**พันธุ์ห้วยมุ่น** ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บ**รักษาที่อุณหภูมิ**ตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	45.44a[1/]	42.22a	46.20a	53.19a	56.48ab
1-MCP 250 ppb	45.44a	36.25a	51.36ab	57.95a	52.71a
MeJA 10^{-4} M	45.44a	47.58a	57.37b	54.77a	65.61b
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	45.44a	40.57a	54.77ab	55.57a	85.88c
ค่าสถิติ[2]	ns	ns	*	ns	***
C.V. (%)	14.48	27.00	20.13	18.08	29.28

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

2. อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า อัตราการหายใจของผลสับปะรด มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 3.43 $mgCO_2/kg/hr$ ในสัปดาห์แรกอัตราการหายใจมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ 1-MCP มีอัตราการหายใจต่ำสุด กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และหลังจากนั้นพบว่าอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 60)

ตาราง 60 แสดงอัตราการหายใจของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการหายใจ ($mgCO_2/kg/hr$)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	3.43a[1/]	3.22a	3.32a	3.97a	3.46a
1-MCP 250 ppb	3.43a	3.19a	3.36a	4.16a	4.56a
MeJA 10^{-4} M	3.43a	3.96b	4.26a	4.38a	3.84a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	3.43a	3.42ab	3.50a	3.82a	4.35a
ค่าสถิติ[2/]	ns	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	11.45	12.07	14.38	13.92	20.19

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

3. อัตราการผลิตเอทิลีน

ก่อนการเก็บรักษา อัตราการผลิตเอทิลีนเท่ากับ 0.58 µl/kg/hr ในการทดลองนี้ค่าอัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นเพิ่มและลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งในสองสัปดาห์แรกพบว่า การใช้ 1-MCP มีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 61)

ตาราง 61 แสดงอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีน (µl/kg/hr)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.58a[1/]	0.46a	0.62a	0.13a	0.25a
1-MCP 250 ppb	0.58a	0.10a	0.24a	0.25a	0.20a
MeJA 10^{-4} M	0.58a	0.21a	0.53a	0.30a	0.18a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	0.58a	0.15a	0.38a	0.27a	0.18a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	31.25	102.43	59.88	58.54	52.58

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

4. กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

ก่อนการเก็บรักษา กิจกรรมเอนไซม์ PPO มีค่าเท่ากับ 0.03 unit/min/mg of protein โดยกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 4 กรรมวิธี มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีการทดลอง (P>0.05) (ตาราง 62)

ตาราง 62 แสดงค่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	กิจกรรมเอนไซม์ PPO (unit/min/mg of protein)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	0.03a[1/]	0.03a	0.03a	0.03a	0.03a
1-MCP 250 ppb	0.03a	0.03a	0.03a	0.02a	0.02a
MeJA 10^{-4} M	0.03a	0.03a	0.02a	0.03a	0.03a
1-MCP 250 ppb + MeJA 10^{-4} M	0.03a	0.03a	0.03a	0.03a	0.03a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	30.36	20.25	27.34	15.65	23.01

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

5. **ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด** (Total phenolic compound)

ก่อนการเก็บรักษา ปริมาณฟีนอลิกมีค่าเท่ากับ 12.00 mg/100gFW ซึ่งในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาพบว่า ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้ง 4 กรรมวิธี มีแนวโน้มลดลง หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง และพบว่าในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง ปริมาณฟีนอลิกของการใช้ 1-MCP หรือ MeJA เพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ($P>0.05$) (ตาราง 63)

ตาราง 63 แสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100gFW)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	12.00a[1/]	10.77a	12.27a	14.40b	13.63a
1-MCP 250 ppb	12.00a	11.28a	12.57a	12.32a	13.77a
MeJA 10^{-4} M	12.00a	12.12a	12.65a	12.57a	14.03a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	12.00a	10.93a	11.22a	13.52ab	13.43a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	8.87	10.49	11.93	8.92	7.30

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

6. **การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี** DPPH (2,2-Dipenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay)

ก่อนการเก็บรักษา ค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับ 91.16% โดยรวมค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มลดลงใน 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 64)

ตาราง 64 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	DPPH (%)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
Control	91.16a[1/]	84.25a	77.08a	89.47a	82.15a
1-MCP 250 ppb	91.16a	83.25a	87.39a	87.50a	90.53a
MeJA 10^{-4} M	91.16a	89.54a	88.55a	85.33a	86.16a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	91.16a	88.88a	80.57a	90.81a	86.43a
ค่าสถิติ[2/]	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.19	4.99	10.15	5.23	10.26

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2] ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ซึ่งประเมิน ณ สัปดาห์ที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับ 2 เป็นเกณฑ์ ถ้าคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 หมายถึงการหมดสภาพ จากการทดลอง พบว่า การรม 1-MCP มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลสับปะรด สามารถยืดอายุได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น โดย 1-MCP สามารถยืดอายุได้ถึง 2.25 สัปดาห์ รองลงมาคือ 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีแนวโน้มยืดอายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ขณะที่ ชุดควบคุม และ MeJA 10^{-4} M สามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์เท่านั้น (ตาราง 65)

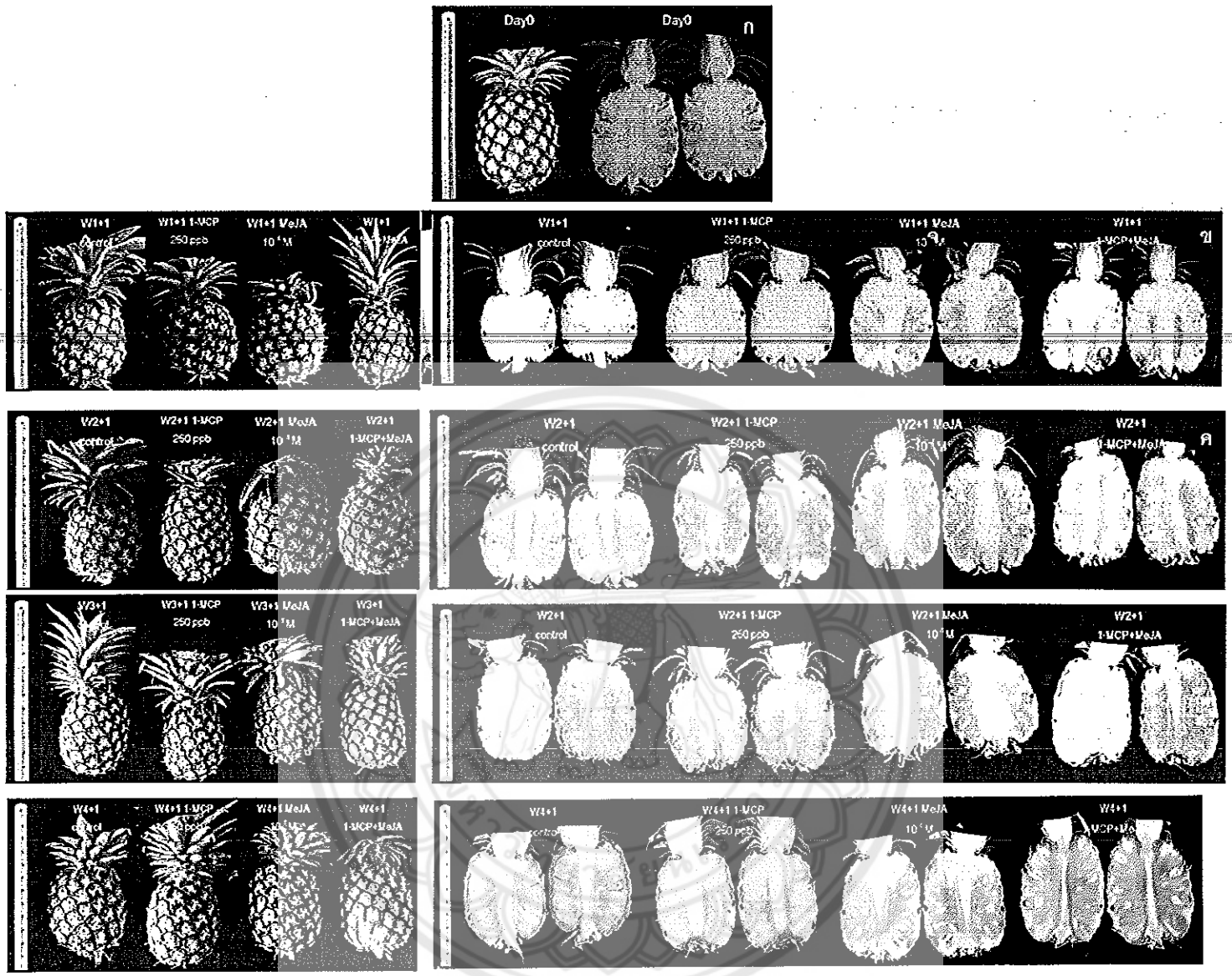
ตาราง 65 แสดงอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ภายหลังการใช้ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA 10^{-4} M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้แช่ (8-10°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

กรรมวิธีการทดลอง	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)[3/]
Control	1.25a[1/]
1-MCP 250 ppb	2.25b
MeJA 10^{-4} M	1.25a
1-MCP 250 ppb + MeJA10^{-4}M	1.50ab
ค่าสถิติ[2/]	*
C.V. (%)	40.27

[1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[2/]ns, *, **, *** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, 99 และ 99.9% ตามลำดับ

[3]อายุการเก็บรักษาประเมิน ณ วันที่มีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เท่ากับหรือไม่ต่ำกว่า 2 ซึ่งถือว่าหมดสภาพเป็นเกณฑ์



ภาพ 16 แสดงลักษณะภายนอกของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ภาพซ้ายมือ) และลักษณะภายใน (ภาพขวามือ) ของสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ก่อนการเก็บรักษา ณ วันที่ 0 (Day0)(ก)และภายหลังจากการทดสอบด้วย Control, 1-MCP 250 ppb, MeJA 10^{-4}M และ 1-MCP 250 ppb ร่วมกับ MeJA และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 สับปะรดถูกย้ายมาเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา1 วัน (W1+1)(ข), (W2+1)(ค), (W3+1)(ง) และ (W4+1)(จ) ตามลำดับ

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

อุณหภูมิการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C (ค่าเฉลี่ย 8.19±0.44 °C) สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และ สามารถรักษาคุณภาพของผล ซึ่งเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลเจริญเต็มวัยแต่เปลือกยังมีสีเขียวได้ดีกว่า สามารถชะลอการสุกของผล โดยแสดงผลจากการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ทั้งค่า L* ของเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ ยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีส่วนเนื้อผลของค่า SSC, TA , pH และ ปริมาณวิตามินซี รวมทั้ง ยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และอัตราการผลิตเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 20 - 25°C (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 22.69±0.10°C) จึงส่งผลให้ที่อุณหภูมิ 8°C มีอายุการเก็บรักษาถึง 2.9 สัปดาห์ ส่วนที่อุณหภูมิ 22°C มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1.7 สัปดาห์

อุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง น้ำหนักที่สูญเสีย อัตราการหายใจ และกิจกรรมเอนไซม์ PPO ในการศึกษานี้ แต่เมื่อสับปะรดสุกมากขึ้นกลับพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°C ปรากฏอาการฉ่ำน้ำมากขึ้น และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22°C มีแนวโน้มกระตุ้นการเกิดตำหนิภายในผล

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การใช้ 1-MCP ที่ระดับ 250 ppb เป็นเวลานาน 18 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในการชะลอการเสื่อมสภาพของผลสับปะรด ซึ่งแสดงผลจากการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก จากเขียวเป็นเหลือง และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเนื้อผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb มีแนวโน้มชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ชะลอการเกิดอาการฉ่ำน้ำ ความแน่นเนื้อ ปริมาณวิตามินซี ค่า pH SSC TA และค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ได้ดีกว่าชุดควบคุม ในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา โดยรวมส่งผลให้ สามารถยืดอายุการ

เก็บรักษาสับปะรดได้นาน 2.75 สัปดาห์ ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 10°C เปรียบเทียบกับ 1-MCP ความเข้มข้น 100 ppb และชุดควบคุม ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2.25 และ 2.00 สัปดาห์ ตามลำดับ ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การใช้ 1-MCP ในการศึกษานี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง การสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน และกิจกรรมเอนไซม์ PPO

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การใช้ methyl jasmonate (MeJA) โดยทำการจุ่ม ที่เวลา 5 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10°C ความเข้มข้น 10^{-4}M ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสับปะรด โดยช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีแนวโน้มชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล อาการฉ่ำน้ำ ค่าความแน่นเนื้อ รวมถึง ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี ค่า pH SSC TA และค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น จึงส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 2.5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 9°C รองลงมา MeJA 10^{-3}M และชุดควบคุม มีแนวโน้มยืดอายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ขณะที่ MeJA 10^{-2}M สามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์ เท่านั้น

การใช้ MeJA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง กิจกรรมเอนไซม์ PPO ปริมาณฟีนอลิก และค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากการศึกษานี้

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

การรม 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb ร่วมกับ การจุ่ม MeJA ความเข้มข้น 10^{-4}M และเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 9°C ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ในการศึกษานี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น

การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb เพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และอาการฉ่ำน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) อีกทั้งยังชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในส่วนแกนของค่า SSC และ ปริมาณวิตามินซี ได้ดีกว่า แต่สามารถชะลอได้เพียงสัปดาห์แรกเท่านั้น และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยานั้น สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ อัตราการหายใจ ปริมาณฟีนอลิก ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการใช้ MeJA 10^{-4}M เพียงอย่างเดียวนั้น สามารถชะลอการสุกโดยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ดีอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การใช้ 1-MCP 250 ppb สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 9°C ได้ถึง 2.25 สัปดาห์ รองลงมา คือ 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีอายุการเก็บรักษานาน 1.5 สัปดาห์ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และ MeJA 10^{-4}M ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้เพียง 1.25 สัปดาห์ เท่านั้น

การใช้ 1-MCP, MeJA เพียงอย่างเดียว หรือใช่ร่วมกัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L* ของเนื้อผล ซึ่งเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา รวมทั้ง องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ pH TA นอกจากนี้ อัตราการผลิตเอทิลีน กิจกรรมเอนไซม์ PPO และ และค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (Fuchs, et al.,1995) จากการศึกษาในครั้งนี้ การเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นซึ่งเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลเจริญเต็มวัยแต่เปลือกยังคงมีสีเขียว ที่อุณหภูมิ 8-10 และ 20-25°C พบว่า ผลสับปะรดแสดงอาการไส้สีน้ำตาลตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับ แต่อาการมีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ 20-25°C เป็นเวลานานขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Hong, et al. (2013) ซึ่งพบว่าอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงในผลสับปะรดพันธุ์ 'Comte de Paris' ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 25°C เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 10 หรือ 6°C

ลักษณะอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dull (1971) ที่พบว่า เนื้อผลภายในบริเวณใกล้แกนผลจะเกิดจุดหรือบริเวณฉ่ำน้ำก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในเวลาต่อมา หลังจากนั้นจะค่อยๆ ขยายออกรวมกันเป็นบริเวณสีน้ำตาลคล้ำใกล้แกนผล ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่มีแนวโน้มลดลง (มีสีคล้ำมากขึ้น) และการเปลี่ยนแปลงของการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ในเนื้อเยื่อของผลสับปะรด เป็นเหตุให้สารต่างๆ สามารถผ่านเข้า-ออกจากเซลล์ได้ง่าย (Murata, 1990)

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลแปรผันค่อนข้างมาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาการ เก็บรักษา โดยทั่วไปอาการไส้สีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของอาการสะท้านหนาว จะปรากฏเมื่อเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15°C เป็นระยะเวลานาน และอาการจะพัฒนาอย่างรวดเร็วเมื่อย้ายผลิตผลมาวางไว้ที่อุณหภูมิสูง (20-25°C) (Teisson, et al., 1979) พันธุ์และวัยของผลขณะเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลจากการศึกษานี้ พบอาการไส้สีน้ำตาลเล็กน้อยและไม่รุนแรงที่อุณหภูมิ 8-10°C เนื่องจากสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นมีแนวโน้มทนทานต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (มยุรี กระจายกลาง และคณะ, 2557) สับปะรดพันธุ์นี้จัดอยู่ในกลุ่ม Smooth Cayenne คล้ายกับพันธุ์ปัตตาเวียแต่ตรงกันข้ามกับสับปะรดในกลุ่ม Queen ได้แก่พันธุ์ภูเก็ต (จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2536) และตราดสีทอง (มัณฑนา บัวหนอง และ เฉลิมชัย วงศ์อารี, 2555) ที่อ่อนแอต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (8-13°C) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ผลที่เจริญเต็มวัยแต่เปลือกยังคงมีสีเขียวทนทานต่อการเกิดอาการผิดปกติมากกว่าผลสุก (มัณฑนา บัวหนอง และ เฉลิมชัย วงศ์อารี, 2555; มยุรี กระจายกลาง และคณะ, 2557) แต่ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง 20-25°C กลับพบลักษณะอาการไส้สีน้ำตาลที่รุนแรงกว่า อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงกระตุ้นการสุกของผลสับปะรด ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพ ง่ายต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล จากการศึกษาของกรกช ชั้นจิรกุล (2553) พบว่า การเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และตราดสีทองที่อุณหภูมิ 25°C พบอาการเนื้อผลเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในช่วงท้ายของการเก็บรักษา แต่อาการที่พบน่าจะเกิดจากการเสื่อมสภาพของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน มากกว่าการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอันเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมิ 20-25°C การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่พบ อาจเกิดจากอิทธิพลของเอทิลีนในผลที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลสับปะรดอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัยของผลขณะเก็บเกี่ยว Kader (1996) ระบุว่า ผลสับปะรดในกลุ่ม Smooth Cayenne ที่มีเปลือก สีเขียว สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% เป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ แต่หากผลสับปะรดมีความแก่มากขึ้น (ผลมีสีเหลืองประมาณ 25% ของพื้นที่ผิว) ควรเก็บรักษาที่ 5-7°C โดยมีอายุการเก็บรักษา 1-2 สัปดาห์ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่สามารถได้รับการพัฒนาให้เป็นพันธุ์เพื่อการส่งออกได้ แนะนำให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 8-10°C (ไม่ควรต่ำกว่า 8°C) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล อุณหภูมิการเก็บรักษาดังกล่าวเหมาะสมในการรักษาคุณภาพของผลสับปะรดสดเพื่อการส่งออก ซึ่งเก็บเกี่ยวในระยะที่เจริญเต็มวัยแต่เปลือกยังคงมีสีเขียว

การเกิดอาการฉ่ำน้ำ

นอกจากนี้ ยังพบอาการฉ่ำน้ำในบริเวณเนื้อผลโดยเฉพาะในผลสับปะรดซึ่งเก็บรักษาที่ 8-10°C ซึ่งเป็นลักษณะของอาการสะท้านหนาวร่วมกับสภาพฉ่ำน้ำตามปกติของผลสับปะรดสุก (ในการศึกษานี้ใช้คำว่า flesh translucency คือ อาการฉ่ำน้ำ) สาเหตุหนึ่งอาจมาจากการที่อุณหภูมิการเก็บรักษาในบางช่วงต่ำกว่า 8-10 °C โดยอาการสะท้านหนาว (chilling injury, CI) ในผลสับปะรดมักปรากฏเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 °C ลักษณะอาการคล้ายเกิดอาการฉ่ำน้ำบริเวณเนื้อผล (water-soaked flesh) และคล้ำใกล้แกนผล (darkening of the core tissue) ส่งผลกระตุ้นการเสื่อมสภาพในที่สุดเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Kader, 1996) ซึ่งจากรายงานของ Chen and Paull (2000) พบว่า สับปะรดที่มีปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเกิด translucency และทำให้ผลสับปะรดหวานขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพ (USDA quality) อาการฉ่ำน้ำที่พบในผลสับปะรดเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดอาการไส้ดำ (internal breakdown) หรืออาการไส้สีน้ำตาล ซึ่งจัดเป็น physiological disorder และเป็นที่ยอมรับและรู้จักกัน ด้วยคำว่า translucency

ปริมาณวิตามินซี

ที่อุณหภูมิ 20-25 °C ปริมาณวิตามินซีในแกนผลมีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำกว่าที่ 8-10°C อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอาการไส้สีน้ำตาล อย่างไรก็ตามที่ 20-25°C การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีในเนื้อในสัปดาห์ที่ 2-3 ของการเก็บรักษากลับสูงกว่าที่ 8-10°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) พบความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อย ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล($P\leq0.05$, $r=0.197$, $r^2=0.039$, $Y=-0.007x+2.101$) หรือปริมาณวิตามินซีกับอาการฉ่ำน้ำ ($P<0.44$, $r=0.202$, $r^2=0.041$, $Y=-0.014x+1.388$) ซึ่งสอดคล้องกับ จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช, 2536 พบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างปริมาณวิตามินซีกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตค่อนข้างชัดเจน ซึ่งถ้าผลสับปะรดมีปริมาณวิตามินซี สูง (มากกว่า 8 mg/100 ml น้ำคั้น) มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณวิตามินซี ต่ำ (4-6 mg/100 ml น้ำคั้น) มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก และพบความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันระหว่างวิตามินซีกับการเกิดอาการฉ่ำน้ำในผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น (มยุรี กระจายกลาง และคณะ, 2557) โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว อาจเปลี่ยนแปลงไปตามพันธุ์ แหล่งปลูก รวมทั้งฤดูกาลผลิต ที่อาจมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในเซลล์พืชนอกเหนือจากปริมาณวิตามินซี (จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2536)

การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และความแน่นเนื้อ

ถึงแม้ในการศึกษานี้ การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นที่อุณหภูมิการเก็บรักษาทั้ง 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการหายใจมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ที่ 20-25°C กระบวนการสุกของผลสับปะรดเกิดขึ้นเร็วกว่าที่ 8-10°C สีเปลือกเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองอย่างรวดเร็ว ภายใน 1 สัปดาห์ เนื่องจากเกิดการสลายของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการสุกได้ในผลิตผลหลากหลายชนิด (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) ซึ่งจะเห็นได้จากส่งผลกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และความแน่นเนื้อดังปรากฏในการทดลองนี้ ซึ่งความแน่นเนื้อที่ลดลง เมื่อเก็บรักษานานขึ้น เกิดจากการเสื่อมสภาพของสับปะรด ระหว่างที่ผลไม้สุกนั่นเอง โดยที่อุณหภูมิ 8-10°C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อได้ดีกว่า ที่อุณหภูมิ 20-25°C

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC)

ในขณะที่ ปริมาณ SSC ที่ 20-25°C ในส่วนแกนผลมีการลดลงตลอดการเก็บรักษา ในส่วนเนื้อผลมีการเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นลดลงตลอดการเก็บรักษา และที่ 8-10°C ทั้งแกนผลและเนื้อผล มีการเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยรวมสอดคล้องกับการสุกของผลสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษา

จากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SSC พบความสัมพันธ์ผกผันเล็กน้อยระหว่างปริมาณ SSC กับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ($r = 0.201$, $P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hong, et al. (2013) ทำการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิ 6 10 และ 25°C พบว่า ที่อุณหภูมิ 6 และ 10°C แสดงปริมาณ SSC เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นลดลงอย่างช้าๆ จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนที่ 25°C เพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 6 และ 10°C และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SSC สอดคล้องกับ ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดภายหลังจากการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25°C นาน 24 วัน สาเหตุที่ทำให้ SSC มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากน้ำตาลถูกใช้ไปในการหายใจ และกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ขณะทำการเก็บรักษา (กนกมณฑล ศรศรีวิชัย, 2526)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TA พบความสัมพันธ์ผกผันเล็กน้อยระหว่างปริมาณ TA กับการเกิดอาการฉ่ำน้ำ ($r = 0.263$, $P<0.01$) โดยปริมาณ TA ในแกนผลและเนื้อผล ที่ 20-25°C มีค่าสูงกว่า ที่ 8-10°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และสอดคล้องกับความรุนแรงของการเกิด

อาการฉ่ำน้ำ แต่ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TA กับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลใน การศึกษานี้ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Teisson, et al. (1979) พบว่าการเพิ่มของปริมาณกรด ภายในผลสับปะรดทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลน้อยลง อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ การประเมิน อาการไส้สีน้ำตาล ถูกแยกออกจากการประเมินการเกิดอาการฉ่ำน้ำแต่โดยรวมลักษณะอาการทั้ง สองจัดรวมเป็นอาการสะท้านหนาว ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TA ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง แสดงความสัมพันธ์กับความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นนี้ได้

อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

ในการทดลองนี้ เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ในกลุ่มนอนไคลแมกเทอริก (non-climacteric) ดังนั้น หลังการเก็บเกี่ยว จึงมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพียงเล็กน้อย (ต่ำกว่าผลประเภทไคลแมกเทอริก เช่น มะม่วง หรือ ทุเรียน) ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยปกติผลสับปะรดมีอัตราการหายใจอยู่ระหว่าง 15-20 $mlCO_2/kg/h$ (ที่อุณหภูมิ 20°C) และมีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยกว่า 0.2 µl/kg/h (ที่อุณหภูมิ 20°C) (Kader, 1996) แต่จากการศึกษานี้พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25°C กระตุ้นอัตราการผลิตเอทิลีนจาก 0.08 เพิ่มเป็น 0.22 µl/kg/h ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลโดยรวมต่อการเสื่อมสภาพของผลสับปะรด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฐิติรัตน์ กฤตยาภิรมย์ (2547) เก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่อุณหภูมิ 10, 13 และ 20°C พบว่า ที่อุณหภูมิ 20°C มีการผลิตเอทิลีนมากกว่าผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 10 และ 13°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีอัตราการผลิตลดลงในวันสุดท้ายของการทดลอง ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการผลิตเอทิลีนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะส่งเสริมการหายใจ และการสุกของผลไม้ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

กิจกรรมเอนไซม์ PPO

กิจกรรมเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยที่อุณหภูมิ 20-25°C สูงกว่าที่อุณหภูมิ 8-10°C ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืช หรือ อาการ browning เป็นผลมาจากการออกซิไดส์สารประกอบฟีนอล ortho-dihydroxy ไปเป็น ortho-quinines โดยมีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (McEvily, et al., 1992) โดยถ้ากิจกรรมเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์ทำให้อาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage)

ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ค่อนข้างสูง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25°C โดยเฉพาะสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ทั้งนี้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ออกจากเซลล์เป็นสิ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และมักใช้เป็นตัวชี้วัดถึงการเกิด

อาการสะท้านหนาวในพืช (Woolf, 1997) สอดคล้องกับรายงานของ กรกช ชั้นจิรกุล(2553) ได้ทำการทดลองเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่อุณหภูมิ 10 และ 25°C พบว่า ค่าการรั่วไหลสารอิเล็กโทรไลต์ ที่อุณหภูมิ 10°C ต่ำกว่า 25°C แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตามสมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาวแล้ว ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนสถานะไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ทำให้เอนไซม์ PPO เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เนื้อเยื่อ ยิ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานขึ้น ความเสียหายของเยื่อหุ้มก็เกิดมากขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Lyons, 1973) แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ที่อุณหภูมิ 20-25°C ซึ่งไม่ได้เป็นอุณหภูมิต่ำที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวได้พบการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 8-10°C ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน ดังนั้น การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่พบในสับปะรดที่เก็บรักษาที่ 20-25°C นั้นอาจเกิดจากการการเสื่อมสภาพของผลสับปะรดที่มีอิทธิพลมาจากพารามิเตอร์อื่น มากกว่าอิทธิพลจากอุณหภูมิต่ำจึงทำให้การรั่วไหลของของอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าในการศึกษานี้

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

ปัจจัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้นานขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งปัญหาที่สำคัญในการเก็บรักษาสับปะรดเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน จึงอ่อนแอต่อการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ อาการสะท้านหนาวในผลสับปะรดเป็นการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่า อาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) (Akamine, et at., 1975) ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเก็บรักษาผลสับปะรดระหว่างขนส่งในห้องเย็นเพื่อการส่งออก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นหาสารเพื่อมาช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยมีผลในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและรักษาคุณภาพของของสับปะรด

จากการศึกษานี้พบว่า การใช้ 1-MCP สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดี ที่ระดับความเข้มข้น 250 ppb ส่งผลให้เก็บรักษาได้สูงสุดถึง 2.75 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 8-10°C ในขณะที่ 1-MCP 100 ppb และ ชุดควบคุม มีอายุการเก็บรักษาเพียง 2.25 และ 2.00 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิเดียวกัน ตามลำดับ และผลจากการทดลอง สอดคล้องกับรายงานของ Selvarajah, et.al. (2001) พบว่า การใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้น 0.1 ppm รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C กับสับประรดในกลุ่ม Queen สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ถึง 80% และยืดอายุได้นาน 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของพันธุ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง อาจมีผลต่อการตอบสนองต่อ 1-MCP ที่แตกต่างกัน

การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรดบ่งบอกถึงความสด ซึ่งสับปะรดทั้ง 3 ความเข้มข้น มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากพืชและผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตามมา ทำให้สูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) โดยมีงานวิจัยของปริศนา จันทร์วงศ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษา เกี่ยวกับเห็ดหอมสายพันธุ์ทนร้อน โดยรมด้วย 1-MCP ระดับความเข้มข้น 250 ppb พบว่า 1-MCP มีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ แต่ในผลสับปะรด การใช้ 1-MCP ไม่ได้ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักมากนัก อาจเป็นผลมาจากการย้ายผลสับปะรดออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง (เฉลี่ย 31°C, 78%RH) อีก 1 วัน เพื่อให้สุกตามธรรมชาติ ก่อนเก็บข้อมูลน้ำหนักผลสด จึงทำให้ไม่พบความแตกต่าง

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

จากการทดลองพบว่า 1-MCP ช่วยชะลอการสุกของผลสับปะรด ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองช้ากว่าชุดที่ไม่ใช้ 1-MCP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Selvarajah, et.al. (2001) พบว่าใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้น 0.1 ppm รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง กับสับปะรดในกลุ่ม Queen สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์เนื่องจาก 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยการแย่งพื้นที่ในการจับกับตัวรับของเอทิลีน (ethylene receptor) ภายในเนื้อเยื่อพืช เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้จึงทำให้พืชตอบสนองต่อเอทิลีนลดลง (Sisler and Serek, 1997) จึงส่งผลโดยรวมให้ผลไม้สุกช้าลง นั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ และค่าความแน่นเนื้อ

ซึ่งพิจารณาจากค่า L* (ค่าความสว่าง) การใช้ 1-MCP ไม่ได้ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ หรือการนิ่มของผล อาจเนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ในกลุ่ม non-climacteric หลังเก็บเกี่ยว สีเนื้อผลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และสีเนื้อผลตามธรรมชาติเป็นสีเหลือง ดังนั้น เมื่อสุก ความแตกต่างของสีเนื้อ จึงไม่ชัดเจนและไม่ได้มีการเปลี่ยนมากนัก แต่ในทางตรงกันข้าม Jiang, et.al. (2001) ซึ่งพบว่าการรม 1-MCP ความเข้มข้น 0.01–0.1 µl/l ช่วยชะลอการนิ่มและการเปลี่ยนแปลงสีของสตรอเบอรีได้ดี (ซึ่งเห็นชัดเจนได้จากการเปลี่ยนสีผิวผลของความแตกต่างของสีแดง เป็นต้น)

ปริมาณวิตามินซี

ในส่วนแกนและเนื้อ มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา ซึ่ง การใช้ 1-MCP ความระดับเข้มข้น 250 ppb รักษาปริมาณวิตามินซีในส่วนเนื้อผลสูงกว่าชุดที่ใช้1-MCP 100 ppb และชุดความคุม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) สอดคล้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่กล่าวว่า ปริมาณวิตามินซีสูงจะมีโอกาสเกิด

อาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณวิตามินซีต่ำจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก (จักรพงศ์ พิมพิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2536) ดัง ปรากฏในการศึกษานี้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด บ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตผล ซึ่งจากการทดลองพบว่า SSC ในส่วนแกนและเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดการเก็บรักษา เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่ไม่มีการสะสมแป้งในระหว่างการสุก แต่จะมีการสะสมน้ำตาลในช่วงการพัฒนาของผล (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในส่วนแกนและเนื้อ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเข้มข้น 250 ppb มีปริมาณกรดสูงกว่า 100 ppb และชุดควบคุม ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายของ Teisson, et al. (1979) ที่ว่าการเพิ่มของปริมาณกรดภายในผลสับปะรดทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลน้อยลง และยังบอกได้ว่าสับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้นี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage)

การเปลี่ยนแปลงของสารอิเล็กโทรไลต์ที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ในเนื้อเยื่อของผลสับปะรด เป็นเหตุให้สารต่าง ๆ สามารถผ่านเข้า-ออกจากเซลล์ได้ง่าย (Murata, 1990) จากการทดลองพบว่า การใช้ 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้เพียงเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของผลสับปะรดที่มีอิทธิพลมาจากพารามิเตอร์อื่นมากกว่าอิทธิพลของ 1-MCP จึงทำให้การรั่วไหลของของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้นในการศึกษานี้

อัตราการหายใจ และอัตราการผลิตเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา ในผลสับปะรดทั้งที่ใช้และไม่ใช้ 1-MCP โดยทั่วไปแล้วสับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งมีอัตราการหายใจและผลิตเอทิลีนต่ำหลังการเก็บเกี่ยว แต่อย่างไรก็ตามมีการรายงานของ Sisler and Serek (1997) ได้ยืนยันว่า 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ จึงมีผลต่อการควบคุมการเสื่อมสภาพของสับปะรดได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการใช้ 1-MCP จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่จะทำให้การใช้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่นความบริบูรณ์ของผลและพันธุ์ (Blankenship and Dole, 2003) จึงส่งผลให้เกิดการตอบสนองที่แตกต่างได้

กิจกรรมเอนไซม์ PPO

ส่วนกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทั้ง 3 ความเข้มข้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งกิจกรรมเอนไซม์ PPO นี้เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลผลมาจากการออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอล ortho-dihydroxy ไปเป็น ortho-quinines โดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) เป็นตัวกลาง (McEvily, et al., 1992) และอาการสีน้ำตาลที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzymetic browning) สามารถชักนำให้เกิดการพัฒนาของสีผิดปกติรสชาติผิดปกติและมีการสูญเสียสารอาหารสำคัญในผลิตผลอีกด้วย (Martinez and Whitaker, 1995) อย่างไรก็ตามสับประรดบางสายพันธุ์ก็พบอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นมากน้อยแตกต่างกันไป (Teisson, et al., 1978) อาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างของอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดระหว่างสายพันธุ์แหล่งปลูกและฤดูกาลปลูกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลภายในเซลล์พืชเอนไซม์ PPO สัมพันธ์กับการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในเนื้อผล (Martinez and Whitaker, 1995) ซึ่งการทดลองนี้พบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ PPO และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ($P<0.001$, $r = 0.453$, $r^2 = 0.205$, $Y = 12.633x+1.007$) อาจจะกล่าวได้ว่ากิจกรรมเอนไซม์ PPO สูง จะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก แต่ถ้ามีกิจกรรมเอนไซม์ PPO ต่ำจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย

ดังนั้นจากการทดลองนี้ การใช้ 1-MCP มีแนวโน้มช่วยชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้ และสามารถนำสาร 1-MCP ไปปรับใช้กับผลิตผลสดทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวได้ แต่จำเป็นต้องคำนึงถึง ชนิด สายพันธุ์ และความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อผลิตผลนั้น ๆ ด้วย รวมทั้ง ต้นทุนและการจัดการที่เพิ่มขึ้นด้วย

การทดลองที่ 3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของ methyl jasmonate ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น

จากผลการศึกษา methyl jasmonate (MeJA) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น โดยจุ่มผลสับปะรดด้วย MeJA ที่ 4 ระดับความเข้มข้น คือ 0 10^{-2} 10^{-3} และ 10^{-4} M เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 8-10°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

พบว่า การใช้สาร MeJA สามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดี โดยเฉพาะ MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-4}M ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาผลสับปะรด ได้นานถึง 2.5สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และ MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-3} M มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 1.5 สัปดาห์ ส่วน MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} M มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1.25 สัปดาห์เท่านั้น

สอดคล้องกับรายงานของ ฤทัยรัตน์ ทันตวิวัฒนา (2555) ซึ่งใช้สับปะรดพันธ์ตราดสีทองจุ่มสาร MeJA ที่ความเข้มข้น10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3} M เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°C พบว่า MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-2} M สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ พฤฒิยา นิลประพฤกษ์ (2551) ได้มีรายงานการวิจัย โดยใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจุ่มสาร MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4} M เป็นเวลา 5 นาที พบว่า สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้เช่นกัน Ding, et al. (2001) รายงานว่า การใช้ MeJA ที่ความเข้มข้นต่ำ สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการป้องกันต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว และทนต่อเชื้อโรคได้ในผลมะเขือเทศ โดย MeJA มีบทบาทกระตุ้นกลไกต่อต้านทางธรรมชาติของพืช (plant defense mechanism) ในการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำหรือความเครียดจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่ป้องกัน (defense protein) เพื่อส่งสัญญาณให้พืชทนทานต่อความเครียดต่างๆ ซึ่งในที่นี้คืออุณหภูมิต่ำ (Mekwatanakarn, 2004)

การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลสับปะรดบ่งบอกถึงความสด ซึ่งสับปะรดทั้ง 4 ความเข้มข้น มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากพืชและผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตามมา ทำให้สูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) และตลอดการเก็บรักษาพบว่า การใช้ MeJA มีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang (1998) โดยใช้MeJA ในหัวผักกาด พบว่าหัวผักกาดที่ได้รับMeJA มีการสูญเสียน้ำหนักสดลดลงซึ่งเป็นผลจากการที่ MeJA ยับยั้งการงอกของใบและลดการคายน้ำ นอกจากนี้การใช้ MeJA ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดในมะม่วงพันธุ์ Kent (Gonzalez-Aguilar, et al., 2001) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมินั้นเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของ MeJAโดยทั่วไปการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้การคายน้ำของพืชลดลงซึ่งส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักสดลดลงด้วย (Ueda, et al., 1991) ดังนั้น การใช้MeJA จำเป็นต้องคำนึงถึง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาร่วมด้วยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

พบว่าการสูญเสียน้ำหนักสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก เมื่อเก็บรักษานานขึ้นคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเพิ่มขึ้นเรื่อย และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เนื่องจากปริมาณ chlorophyll ลดลงอาจเนื่องมาจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ต่างๆ เพื่อทำการปรับสภาพของผลิตผลเอง ซึ่งโดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) จากการ

ทดลองนี้พบว่า MeJA สามารถชะลอการสุก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 10^{-3} และ 10^{-4}M ซึ่งเห็นได้ชัดจาก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองช้ากว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ฤทัยรัตน์ (2555) ใช้สับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง โดยใช้สาร MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3}M เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ประมาณ 3 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ และค่าความแน่นเนื้อ

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ซึ่งพิจารณาจากค่า L* (ค่าความสว่าง) จากการทดลอง การใช้ MeJA ในความเข้มข้น 10^{-3} และ 10^{-4}M มีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์ (2555) ซึ่งพบว่าการรมกระเจี๊ยบเขียวด้วย MeJA เข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3}M ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 วัน สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีโดยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* ได้

ในส่วนของความแน่นเนื้อ ได้มีการศึกษาในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองซึ่งพบว่าการจุ่มใน MeJA สามารถช่วยชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้ (ฤทัยรัตน์ ทันตวิวัฒนา, 2555) แต่จากการทดลอง การใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-3} และ 10^{-4}M (ด้วยการแช่) กับสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นกลับไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้ออาจเนื่องจากระดับความเข้มข้นที่ใช้วิธีการที่ใช้ และความเหมาะสมในการคงคุณภาพของเซลล์ ที่แตกต่าง ส่งผล MeJA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ มีความแตกต่างตามชนิดของผลิตผล (ฤทัยรัตน์ ทันตวิวัฒนา, 2555)

ปริมาณวิตามินซี

ส่วนแกนและเนื้อผลลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งการจุ่ม MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-4}M มีปริมาณวิตามินมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ จากการเปลี่ยนแปลงนี้ พบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างวิตามินซีในแกนผลกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.593$, $r^2 = 0.351$, $Y = -0.197x+2.902$) และความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างวิตามินซีในเนื้อผลกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.519$, $r^2=0.269$, $Y = -0.267x+3.306$) สอดคล้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่กล่าวว่า ปริมาณวิตามินซีสูงจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณวิตามินซีต่ำจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก (จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช, 2536) ซึ่งยืนยันผลการค้นพบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้ 1-MCP ในการทดลองก่อนหน้านี้ของการทดลอง ที่ 2

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC) และ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

ปริมาณ SSC บ่งบอกถึง ปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด โดย กว่า 80% คือ ปริมาณน้ำตาลในผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) ซึ่งจากการทดลองพบว่า SSC ในส่วนแกนและเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา และการใช้ MeJA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SSC ในน้ำคั้นมากนักในการศึกษานี้ อาจเนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่ไม่มีการสะสมแป้งในระหว่างการสุก แต่จะมีการสะสมน้ำตาลในช่วงการพัฒนาของผล (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงไม่เด่นชัดเหมือนผลไม้ที่สะสมอาหารในรูปของแป้ง ดังเช่น มะม่วง หรือ แอปเปิ้ล ก็เป็นได้ อย่างไรก็ตาม ได้มีรายงานการใช้ MeJA พบว่า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณSSC TA และค่า pH (Gonzalez-Aguilar, et al., 2001; Fan, et al., 1998) ซึ่งพบว่า การรม MeJA ที่ความเข้มข้น 10^{-5}M สามารถช่วยเพิ่มปริมาณ SSC ในน้ำคั้น ของผลมะม่วงพันธุ์ Kent (Gonzalez-Aguilar, et al., 2001) และผลแอปเปิ้ล (Fan, et al., 1998)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณTA ในส่วนของแกนผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)โดยเฉพาะในชุดที่มีการจุ่ม MeJA10^{-3} และ 10^{-4}M เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ใช้ MeJA สอดคล้องกับGonzalez-Aguilar, et al. (2001) พบว่าการใช้ MeJA มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ SSC TA และค่า pH ในน้ำคั้นของผลมะม่วงพันธุ์ พันธุ์ Kent นอกจากนี้ การเพิ่มของปริมาณ TA ภายในผลสับปะรดกลุ่ม smooth cayenne ส่งผลทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลน้อยลง (Teisson, et al., 1979) ดังปรากฏในการศึกษานี้

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage)

ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ สามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของเซลล์เมมเบรน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ซึ่ง MeJA มีประสิทธิภาพในการชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้เพียง 2 สัปดาห์แรกเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สัปดาห์ที่หนึ่งของการทดลอง MeJA 10^{-4}M สามารถชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.001$) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า MeJA สามารถลดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้ในระดับหนึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gonzale-Aguilar (2000) ที่ได้ศึกษาการใช้ MeJA ความเข้มข้น 10^{-4}M สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Astkin ได้ดี จากทดลองนี้พบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์กับการเกิดไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดห้วยมุ่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.435$,$r^2 = 0.190$, $Y = 0.033x + 0.290$) การค้นพบนี้ แสดงให้ว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มีความสัมพันธ์กับอาการไส้สี

น้ำตาลหรืออาการสะท้านหนาวอย่างใดอย่างหนึ่ง จากการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลหรืออาการสะท้านหนาวนี้ มีผลมาจากโครงสร้างเซลล์เมมเบรนได้รับความเสียหายและสูญเสียคุณสมบัติในการเลือกผ่าน (permeability) (Lyons,1973) ซึ่ง อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของผลสับปะรดที่มีอิทธิพลมาจาก ปัจจัย ต่าง ๆ นั่นเอง เมื่อ MeJA สามารถชะลอหรือลดการรั่วไหลของของอิเล็กโทรไลต์ดังนั้น โดยรวมยังสามารถรักษาสภาพโครงสร้างเซลล์เมมเบรนไว้ได้ นั่นเอง

กิจกรรมเอนไซม์ PPO

เอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์หลักใน enzymatic ในผลไม้หลายชนิด (Mayer, 1987) ซึ่งเอนไซม์ PPO เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด เป็นเอนไซม์ที่ไปออกซิไดซ์ phenol ให้เป็น quinine ก่อนที่จะเกิดสีน้ำตาล (Graham, et al., 2000) จากการทดลองพบว่า การใช้MeJAไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์ PPO โดยพบค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่า MeJA จะช่วยชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดห้วยมุ่น ก็ตาม

ปริมาณฟีนอลิก และค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การใช้ MeJA ในทุกความเข้มข้น ไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิก โดยรวมปริมาณฟีนอลิก แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และหลังจากนั้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง โดยค่า ฟีนอลิก อยู่ระหว่าง 12.39-15.13 mg/100gFW อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ พฤฒิยา นิลประพฤกษ์ (2551) พบว่า ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่มีการจุ่มสารละลาย MeJA มีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าสับปะรดที่จุ่มสารละลาย MeJA (10^{-4}M) ถึงแม้สับปะรดห้วยมุ่นจัดเป็นสับปะรดในกลุ่ม smooth cayenne ซึ่งใกล้เคียงมากกับสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย แต่การตอบสนองต่อ MeJA อาจจะแตกต่าง ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของการปลูกในแต่ละพื้นที่

ปริมาณฟีนอลิกที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดห้วยมุ่น สอดคล้องกับ Sveine, et al. (1967) รายงานว่า ปริมาณสารฟีนอลิกนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงกระบวนการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ ซึ่งมีเซลล์ของผลิตผลถูกทำลาย สารต่างๆ ในผลิตผลรั่วไหลออกมาจึงทำให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศโดยมีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดกระบวนการ polymerization ของสารประกอบฟีนอล แต่จากการทดลองนี้ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ถึงแม้จะพบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย ในชุดที่มีการใช้สาร MeJA

ค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ซึ่งการจุ่ม MeJA10^{-3} M มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) หลังจากนั้นพบว่า

ค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ระหว่าง 83.55-91.95% ซึ่งในการทดลองนี้ พบความสัมพันธ์แบบแปรผันตามระหว่างปริมาณฟีนอลิกและค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.64$, $r^2 = 0.412$, $Y = 0.215x + (-5.126)$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ เนตรนภา เมยกลาง และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย (2557) โดยศึกษาการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้จากเครื่องดื่ม ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยตรง พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จะสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดังนั้นเมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมาก แสดงว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระก็ควรจะมากตามไปด้วย

แสดงให้เห็นว่า ถ้าค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นกับปริมาณฟีนอลิก โดยรวมอาจใช้เป็นแนวทางในการคาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดห้วยมุ่นได้

ดังนั้น การใช้ MeJA มีแนวโน้มสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยาบางประการของผลสับปะรดห้วยมุ่นได้ดี โดยเฉพาะ MeJA ที่ ความเข้มข้น 10^{-4}M จึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งของการนำMeJAมาใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำในระดับที่เหมาะสม เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและส่งผลยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (ในความเข้มข้นที่ดีที่สุด ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2 และ 3) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และอาการฉ่ำน้ำ

จากผลการศึกษาการใช้1-MCP ร่วมกับ methyl jasmonate (MeJA) ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรด พบว่า 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และ อาการฉ่ำน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งอาการเหล่านี้เป็นผลทำให้คุณภาพของผลิตผลลดลง แต่งานวิจัยของ Ku, et al. (2013) กลับพบว่า การใช้สาร MeJA ร่วมกับ 1-MCP ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวบร็อคโคลี่ สามารถชะลอการสูญเสียทางคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งผลของข้างต้นที่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้อาจเนื่องมาจาก ชนิด พันธุ์ และลักษณะของพืช หรืออุณหภูมิและพื้นที่ปลูกที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองของการใช้ 1- MCP ร่วมกับ MeJA ส่งผลให้สับปะรดมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1.5 สัปดาห์

การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของสับปะรด เพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา พบว่าการใช้ 1-MCP เพียงอย่างเดียว หรือ การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA

สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในสัปดาห์ที่ 2 ยังพบว่า การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) อีกด้วย ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักที่มากขึ้นนี้มีผลมาจากพืชและผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำออกจาผลิตผลตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตามมา (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) และส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) อย่างไรก็ตามการใช้ MeJA เพียงอย่างเดียว ไม่ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่ได้ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

เมื่อเก็บรักษานานขึ้น คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเพิ่มขึ้น โดยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง จากการทดลองนี้พบว่าการใช้ 1-MCP เพียงอย่างเดียว, 1-MCP ร่วมกับ MeJA และชุดควบคุม ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อันเนื่องมาจากปริมาณ chlorophyll ลดลงอาจเนื่องมาจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ต่างๆ เพื่อทำการปรับสภาพของผลิตผลเอง ซึ่งโดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) อย่างไรก็ตาม กลับพบว่าการใช้ MeJA เพียงอย่างเดียว ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อ บ่งบอกถึงเนื้อสัมผัสที่มีความแน่น ซึ่งความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลง หมายถึง ผลิตผลนั้นๆ มีความอ่อนนิ่มมากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ความแน่นเนื้อลดลงจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ (senescence) เป็นช่วงที่เซลล์ของผลิตผลเกิดการตาย เนื้อเยื่อเหล่านี้จะนิ่ม และหรืองอมตามธรรมชาติ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ซึ่งจากการทดลองนี้ในทุกกรรมวิธี ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อ

ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซี ส่วนแกนและเนื้อผลลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การใช้ 1-MCP เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และในงานวิจัยนี้การใช้ MeJA และ การใช้สารร่วมกัน ไม่มีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียวิตามินซีทั้งส่วนแกนและเนื้อได้ และพบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างวิตามินซีในแกนผลกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.751$, $r^2 = 0.564$, $Y = -0.142x+3.552$) และ พบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างวิตามินซีในเนื้อ

ผลกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$, $r = 0.592$, $r^2=0.351$, $Y = -0.199x+3.567$) สอดคล้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่กล่าวว่า ปริมาณวิตามินซีสูงจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณวิตามินซีต่ำจะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก (จักรพงศ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2536)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (SSC)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด บ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตผล เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่ไม่มีการสะสมแป้งในระหว่างการสุก แต่จะมีการสะสมน้ำตาลในช่วงการพัฒนาของผล (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526) การทดลองนี้ ตลอดการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด ทั้งส่วนแกนและเนื้อ แต่ในส่วนแกนพบว่าการใช้สาร 1-MCP ร่วมกับ MeJA มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่า กรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามในทุกกรรมวิธีไม่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

จากการทดลองพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เนื่องจากสับปะรดเป็นไม้ประเภท non-climacteric ดังนั้นสับปะรดที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่จะมีการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) อย่างไรก็ตามในทุกกรรมวิธีไม่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage)

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ เป็นดัชนีในการวัดการเสียสภาพของเมมเบรน เป็นผลมาจากการที่เมมเบรนถูกทำลาย (Borsos-Matovina and Blake, 2001) แล้วทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและ membrane-bound solute ซึ่งการทดลองนี้พบว่า ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ มีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรกของเก็บรักษา หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการการทดลอง โดยการเพิ่มขึ้นนี้ สอดคล้องกับความสัมพันธ์แบบแปรผันตามระหว่างการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่สูงขึ้นกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ($P<0.001$, $r = 0.556$ $r^2 = 0.310$, $Y = 0.054x +(- 0.314)$) โดยอธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์นั้น จะทำให้การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หรือการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลนี้ นำมาสู่การเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จึงเพิ่มมากขึ้น

ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยการใช้ 1-MCP, MeJA เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สาร 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่สามารถชะลอการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้

อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

อัตราการหายใจ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์แรก และเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากสับปะรดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานเกินไปสามารถชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ทำให้ผลิตผลเกิดความเครียดส่งผลให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจสูงขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) และอัตราการผลิตเอทิลีน พบว่า อัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นเพิ่มและลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งการใช้ 1-MCP เพียงอย่างเดียว และการใช้สารร่วมกัน สามารถชะลออัตราการผลิตเอทิลีนได้ค่อนข้างดี เนื่องจาก 1-MCP ไปขัดขวางการจับกันของตัวรับเอทิลีน (Sisler and Serek, 1997) ทำให้ตัวรับเอทิลีนไม่ทำงานส่งผลต่อยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก จึงทำให้การสุกของผลไม้ถูกยับยั้ง (Watkins and Nock, 2000) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ MeJA ไม่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน และการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่ได้ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการชะลออัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเช่นกัน

กิจกรรมเอนไซม์ PPO

เอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์หลักใน enzymatic ในผลไม้หลายชนิด (Mayer, 1987) ซึ่งเอนไซม์ PPO เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด เป็นเอนไซม์ที่ไปออกซิไดซ์ phenol ให้เป็น quinine ก่อนที่จะเกิดสีน้ำตาล (Graham, et al., 2000) จากการทดลองพบว่า กิจกรรมเอนไซม์ PPO ของทุกความเข้มข้น มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ และทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อการชะลอกิจกรรมเอนไซม์ PPO

ปริมาณฟีนอลิก และค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ปริมาณฟีนอลิก มีแนวโน้มลดลง หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 12.00 - 14.40 mg/100gFW โดยค่าปริมาณฟีนอลทั้งหมด เป็นไปในแนวเดียวกับงานวิจัยของ อำภา คงสุวรรณ และคณะ (2553) ซึ่งศึกษาความแปรปรวนของปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในประเทศไทย พบว่าปริมาณฟีนอลทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 8.20 – 34.11 mgGAE/100gFW และจากการทดลองนี้ ยังพบความสัมพันธ์แบบแปรผันตามระหว่างปริมาณฟีนอลิกกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ($P<0.001$, $r = 0.437$, $r^2=0.191$, $Y = 0.443x+11.359$) ดังนั้น ถ้ามีปริมาณฟีนอลิกมาก จะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากตามไปด้วย ส่วนค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มลดลงใน 2

สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง โดยพบความสัมพันธ์แบบแปรผันตามระหว่างปริมาณฟีนอลิกกับค่าต้านอนุมูลอิสระ DPPH แต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาดา กันทยศ (2554) โดยรายงานว่า ปริมาณฟีนอลิก มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวมสามารถบ่งชี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการทดลองนี้ พบว่า การใช้สาร 1-MCP ร่วมกับ MeJA ไม่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล จะพบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยา แต่ไม่แตกต่างกัน การใช้ 1-MCP เพียงอย่างเดียวสามารถชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล อาการฉ่ำน้ำ และอายุการเก็บรักษา ซึ่งสามารถยืดอายุได้ถึง 2.25 - 2.75 สัปดาห์ ดังนั้น จากการศึกษานี้ การใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ยืดอายุสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นหลังการเก็บเกี่ยว

ดังนั้น การนำ 1-MCP ไปใช้ในเชิงการค้า สำหรับอัตราความเข้มข้น 250 ppb โดยรมนาน 18 ชั่วโมง สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้ดี (ประมาณ 68.75%) และสามารถชะลอการสุก ให้อายุการเก็บรักษาโดยรวมสูงสุดถึง 2.75 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 8-10°C นี้ สามารถนำมาใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาส่งเสริมเพื่อการส่งออก ดังมีรายงานก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการส่งออกผลมังคุด แนะนำการใช้ 1-MCP ในระดับเกษตรกรและผู้ส่งออก โดยการใช้ 1-MCP รมก่อนการเก็บรักษา หรือก่อนส่งออก สามารถทำให้มีปริมาณผลผลิตส่งออกเพิ่มขึ้น 14.67% ถึงแม้จะมีต้นทุนสาร 1-MCP จะเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะการส่งออกนี้สามารถขยายตลาดการส่งออกมังคุดได้ทั้ง สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น จากงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและสามารถแนะนำเพื่อการส่งออกได้ (ยศพล ผลาผล และอภิรดี กอร์ปไพบูลย์, 2554) นอกจากนี้ในทางการเกษตร นำ 1-MCP มาใช้ประโยชน์ในการลดการสร้างเอทิลีนในพืชเศรษฐกิจหลังการเก็บเกี่ยว เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ทุเรียน ลดการหลุดร่วง และการเกิดโรคในลองกอง ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีมะเขือเทศ บร็อคโคลี่ และลองกอง (มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และอุษณา ไตรนอก, 2550) การรมหน่อไม้ฝรั่งด้วย 1-MCP จะช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของหน่อไม้ฝรั่ง ทั้งในด้านการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนสี ความแน่นเนื้อ และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ (วัลลภา วอทอง และมยุรี กระจายกลาง, 2553) จากคำแนะนำการใช้ของ บริษัท ลัดดา จำกัด (2559) แนะนำการใช้ 1-MCP ในรูปแบบเม็ด ในผลสับปะรด โดยแนะนำให้ใช้ในปริมาณ 1:1 เม็ด/m^3 ที่อุณหภูมิ 14-18°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีผลให้สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (รายงานสรุปจากบริษัท ไอเอเซฟเฟอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ) รวมทั้งยังมีรายงานของ Kruger and Lemmer, 2011 แนะนำการใช้ 1-MCP ไปใช้เชิงการค้าในผลอะโวคาโด เพื่อการค้าในประเทศแอฟริกาใต้ ซึ่งในปัจจุบันนี้ 1-MCP

ได้รับการรับรองโดย หน่วยงานเกี่ยวกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) และหน่วยงานอื่น ๆ สำหรับการใช้งานก่อนการเก็บเกี่ยวและมีการวางตลาด เพื่อทดลองกึ่งเชิงพาณิชย์ โดยดำเนินการในหลายพื้นที่ของสหรัฐอเมริกา อาร์เจนตินา บราซิล แคนาดา ชิลี นิวซีแลนด์ และแอฟริกาใต้ โดย 1-MCP มีประโยชน์ในการชะลอการเกิดผลไม้ชะลอการสุกแก่ของผลไม้และการสุกแก่และการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว (Mahajan, et al., 2014) โดยผลการศึกษานี้ชี้วัดให้เห็นว่า การใช้ 1-MCP 250 ppb เพียงอย่างเดียว สามารถลดความสูญเสียจากการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดได้ประมาณ 31.25% โดยสามารถเพิ่มมูลค่าจากสับปะรดที่เสียหายไปจากเดิมได้ประมาณ 70% (แต่ต้องคำนึงถึงต้นทุนของสาร 1-MCP ที่เพิ่มขึ้น) ซึ่งเกษตรกร หรือ ผู้ส่งออก สามารถนำกรรมวิธีดังกล่าว ไปปรับใช้ตามความเหมาะสมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สาร 1-MCP ในรูปสารประกอบเชิงเดี่ยว ความเข้มข้น 250 ppb โดยรมนาน 18 ชั่วโมง สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้ดี (ประมาณ 68.75%) และสามารถชะลอการสุก ให้อายุการเก็บรักษาโดยรวม 2.25-2.75 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 8-10°C ซึ่งสามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับการศึกษานี้

2. การใช้ MeJA ในรูปสารประกอบเชิงเดี่ยวความเข้มข้น 10^{-4}M โดยการแช่ นาน 5 นาทีสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นได้ดีและมีแนวโน้มในการชะลอการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ (ประมาณ 37.5%) ให้อายุการเก็บรักษาโดยรวม 1.25-2.50 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 9°C แต่ การนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจริง

3. การใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 250 ppb รมนาน 18 ชั่วโมง ร่วมกับ MeJA ความเข้มข้น 10^{-4}M ด้วยการแช่นาน 5 นาที ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ต่อ การควบคุมการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดห้วยมุ่น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 9°C และไม่ช่วยรักษาคุณภาพด้านอื่น ๆ ของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ในการศึกษานี้ จึงไม่ขอแนะนำให้ใช้ร่วมกัน

4. การประยุกต์ใช้สาร 1-MCP ร่วมกับ การดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่เหมาะสม กับการเก็บรักษาผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น ที่อุณหภูมิห้องเย็น อาจเป็นแนวทางสำคัญเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสภาพผลสับปะรดห้วยมุ่น ซึ่งยังไม่มีการศึกษามากนัก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพสูงสุดของการนำไปใช้ในอนาคต

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรกช ชั้นจิรกุล. (2553). *ปริมาณกรดไขมัน แอนตี้ออกซิแดนท์ และเอมไซม์ที่เกี่ยวข้องการเกิดอาการไส้น้ำตาลในสับปะรด (Ananas comosus (L) Merr.)*. วิทยานิพนธ์ วท.ด. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. 2556. *ประกาศโฆษณาการรับขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์*. กระทรวงพาณิชย์.

กนกมณฑล ศรศรีวิชัย. (2526). *การเก็บรักษาผลผลิตการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยว: เทคโนโลยีและสรีรวิทยา*. ภาควิชา ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จารุพันธ์ ทองแถม. (2526). *สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช. (2536). ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดและวิธีการป้องกัน. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์*, 27, 421-430.

จินดารัฐ วีระวุฒิ. (2541). *สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย*. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 158 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2542). *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2544). *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช*. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 453 หน้า.

จักราวุธ สุขวัฒน์. 2552. สับปะรดห้วยมุ่น. ศูนย์บริการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรประจำตำบลห้วยมุ่น, อุตรดิตถ์.

จิราพรรณ คล้ายกิจจา. (2548). *สับปะรด*. เกษตรสยามบุ๊คส์. กรุงเทพ ฯ,96 หน้า.

ฐิติรัตน์ กฤตยาภิรมย์. (2547). *ผลของสารเคลือบผิว Stafresh 7055 ต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง*. วิทยานิพนธ์ วท.ม., สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บ

เกี่ยว, คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 137 หน้า

ชุมชนอุตรดิตถ์. 2555. *ประวัติสับปะรดห้วยมุ่น*. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 พฤศิกายน 2557 จาก http://www.utdclub.com

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน*. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่, 351 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. (2556). *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน*. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 351 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). *การปฏิบัติ ภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ธเนศวร์ สรีระแก้ว. (2541). *ผลของความร้อนและแคลเซียมคลอไรด์ต่ออาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธีรวรรธน์ ขันทอง. (2543). *ตำราชีวเคมี*. คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 79-97.

นันทิพา แก้วเพชร. (2545). *ผลของ 1-Methylcyclopropene และเอทิลีนต่อปริมาณเส้นใยและการสร้างลิกนินของหน่อยไม้ฝรั่งพันธุ์บร็อคอิมพรูฟ*. วิทยานินธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เนตรนภา เมยกลาง และ เฉลิมเรืองวิริยะชัย. (2557). การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. *วารสารวิจัย มข.*, 14(4), 69-79.

เบญจมาศ รัตนชินกร และ สนทรรศน์ นันทะไชย. 2554. *การปฏิบัติเพื่อการส่งออกสับปะรดสด*. สถาบันวิจัยพืชสวน เกษตรกลางบางเขน กรุงเทพฯ สืบค้นข้อมูลวันที่ 13 พฤษภาคม 2557 จาก http:www.thaikasetsart.com

บริษัท ลัดดา จำกัด. (2559). ผลิตภัณฑ์ 1-MCP: อัตราการใช้ 1-MCP ในผักและผลไม้ส่งออก สืบค้นข้อมูลวันที่ 1 เมษายน 2560 จาก http://www.biosafer.com/detail_product_MCP1.php

ปณิธาน ส่องประทีป. (2553). *ความสัมพันธ์ของลักษณะการลอยน้ำกับวัย และการเกิด chilling injury ของผลสับปะรดปัตตาเวีย*. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 26 หน้า

ปริศนา จันทร์วงศ์, มัณฑนา บัวหนอง, อภิรดี อุทัยรัตนกิจ, วาริช ศรีละออง, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย, สรวิศ แจ่มจำรูญ และ เฉลิมชัย วงษ์อารี. (2558). ผลของ 1-Methylcyclopropene ต่อการยืดอายุ การเก็บรักษาของเห็ดหอมสายพันธุ์ทนร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(3/1)(พิเศษ), 256-259.

ปรียา ไตรรัตน์ณรงค์. (2547) *คัมภีร์แพทย์สมุนไพร*: ผลไม้ สมุนไพรและพืชผักสวนครัว. One World, กรุงเทพฯ. 256 หน้า.

ปิระมิด จิตรมาตร, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์, อภิรดี อุทัยรัตนกิจ, วาริช ศรีละออง และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. (2554). ผลของสาร 1-MCP ต่อคุณภาพของมะระจีนหั่นชิ้นพันธุ์เขียวหยกเบอร์ 16. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(3)(พิเศษ), 689-692.

เปรม ณ สงขลา. (2553). สับปะรด พืชทองของโลก สาระจากการประชุมสับปะรดนานาชาติครั้งที่ 7 มาเลเซีย. *วารสารเคหะการเกษตร*, 34(10), 71-90.

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย, เบญจมาพร มธุลาภรังสรรค์ และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. (2554). ผลของ 1-MCP ต่อการลดอาการสะท้านหนาวของฝักกระเจี๊ยบเขียว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(3)(พิเศษ), 204-207.

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. (2555). การใช้เมทิลจัสโมเนทในการลดการเกิดสีน้ำตาลของฝักกระเจี๊ยบเขียว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 43(3)(พิเศษ), 292-295.

พฤฒิยา นิลประพฤกษ์. (2551). *ผลของการใช้ Methyl jasmonate ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย*. รายงานวิจัย. คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยศิลปากร. วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.

มยุรี กระจายกลาง, พิมพ์วิภา กองพงษ์, ธวิช อินทรพันธุ์ และ ศลิษา พรมเสน. (2557). การเกิดอาการ ไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. *วารสารแก่นเกษตร*, 42(3)(พิเศษ), 12-18.

มัณฑนา บัวหนอง และ เฉลิมชัย วงศ์อารี. (2555). ผลของระยะความบริบูรณ์ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(3)(พิเศษ), 427-430.

มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และ ชัยชาญยุทธ ภาแกดำ. (2550). การลดความเสียหายเนื่องจากความหนาวเย็นสะท้านในผักและผลไม้บางชนิด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 26(2), 201-205.

มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และ อุษณา ไตรนอก. (2550). ผลของ 1-MCP (1-Methylcyclopropene) ที่มีต่อผัก และผล ไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26, 81-87

ยศพล ผลาผล และ อภิรดี กอร์ปไพบูลย์. 2554. การใช้ 1-MCP ภายหลังการเก็บกี่ยวของผลมังคุดเพื่อการส่งออก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 83 หน้า

วัลลภา วอทอง. (2553). *คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่งภายหลังการใช้ 1-methylcyclopropene*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วัลลภา วอทอง และมยุรี กระจายกลาง. 2553. ผลของ 1-Methylcyclopropene ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการวางจำหน่ายของหน่อไม้ฝรั่ง. *การประชุมวิชาการเกษตรครั้งที่ 11 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 25-26 มกราคม 2553, 455-459*

วิภาดา กันทยศ. (2554). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสาระสำคัญในพืชสกุลขิงบางชนิดที่พบในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมโภชน์ น้อยจินดา. (2547). *การเก็บรักษาผลสับปะรดในบรรยากาศที่ควบคุมได้*. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สุทธิวัลย์ สีทา. (2538). *การศึกษาอาการสะท้านหนาวของผลมะละกอพันธุ์แขกดำ*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาเทคโนโยหลังการเก็บเกี่ยว, กรุงเทพฯ.

สุทิน กันยะมี. (2548). *ความสัมพันธ์ระหว่างอาการสะท้านหนาวกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และตัวต้านออกซิเดชันในมะม่วงพันธุ์ต่างๆ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). สับปะรด. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2557 จาก http:www.oae.go.th.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2558). สืบค้นเมื่อ วันที่ 20 ธันวาคม 2559 จาก http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php

สำนักงานบริหารการค้าสินค้าทั่วไป. (2554). สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2557 จากhttp://www.agriman.doae.go.th/Pineapple.pdf

อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต. (2547). *อนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาภา คงสุวรรณ, วาริช ศรีละออง และ สุทธิวัลย์ สีทา. (2553). ความแปรปรวนของปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 41(3/1)(พิเศษ), 385-388.

ฤทัยรัตน์ ทันตวิวัฒนา. (2555). ผลของการใช้สารเมทิลจัสโมเนทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของ สับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 43(2)(พิเศษ), 213-216.

Abe, K. (1990). Ultrastructural changes during chilling stress. CY Wang, *Chilling Injury of Horticultural Crops*, CRC Press Inc., Boca Raton, USA, 71-84.

Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Watson, J.D. (1994). *Molecular biology of the Cell*. Garlang Publishing. New York.

Allen, R.D., R.P. Webb and S.A. Schake. (1997). Use of transgenic plants to study antioxidant defenses. *Free Radical Biology and Medicine*, 23, 473-479.

Akamine, E. K., Goo, T., Steepy, T., Greidanus, T., & Iwaoka, N. (1975). Control of endogenous brown spot of fresh pineapple in postharvest. *Journal American Society for Horticultural Science*, 100, 60–65.

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, M. D.

Amornputti, S., Ketsa, S., & van Doorn, W. G. (2014). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life of durian fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 97, 111-114.

Bartholomew, P.D., Paull, E.R., & Rohrbach, G.K. 2003, *The Pineapple: Botany, Production and Uses*, CABI publishing. 301 p.

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

Borsos-Matovina, V., & Blake, T. J. (2001). Seed treatment with the antioxidant Ambiol enhances membrane protection in seedlings exposed to drought and low temperatures. *Trees*, 15(3), 163-167.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytial Biochemistry*. 72, 248-254.

Bramlage, W. J., & Meir, S. (1990). Chilling injury of crops of temperate origin. *Chilling Injury of Horticultural Crops, CRC Press, Boca Raton FL*, 37-49.

Breusegem, F V., Vranová, E., Dat, J. F., & Inzé, D. (2001). The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, 161(3), 405-414.

Bua-in, S., & Paisooksantivatana, Y. (2009). Essential oil and antioxidant activity of Cassumunar ginger (Zingiberaceae: *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr.) collected from various parts of Thailand. *Kasetsart Journal Natural Science*, 43, 467-475.

Burzo, I., Delian, E., & Craciun, C. (2001). Ultrastructural changes induced by the physiological disorders in fruits and vegetables. *Acta Horticulturae*, 553, 255-256.

Cary, J.W., Lax A.R., & Flurkey, W.H. (1992). Cloning and characterization of cDNAs coding for *Vicia faba* polyphenol oxidase. *Plant Molecular Biology*, 20, 245–253.

Chen, C. C., & Paull, R. E. (2000). Sugar metabolism and pineapple flesh translucency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(5), 558-562.

Cheong, J., & Choi, Y.D. (2003). Methyl Jasmonate as a Vital Substance in Plants. *Trend in Genetics*. 19(7), 408-413.

Chevalier, T., de Rigal, D., Mbeguie-A-Mbeguie, D., Gauillard, F., Richard-Forget, F., & Fils-Lycaon, B. R. (1999). Molecular cloning and characterization of apricot fruit polyphenol oxidase. *Plant physiology*, 119(4), 1261-1270.

Coetzer, C., Corsini, D., Love, S., Pavek, J., & Tumer, N. (2001). Control of enzymatic browning in potato (*Solanum tuberosum* L.) by sense and antisense RNA from tomato polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 652-657.

Collins, J. L. (1960). *The pineapple*. CABI publishing. 294 p.

Desikan, R., J. Hancock and S. Neill. (2005). Reactive oxygen species as signaling molecules, In N. Smirnoff, ed. Antioxidants and *Reactive Oxygen Species in Plants*. Blackwell Publishing, Oxford, 169-196.

DeEll, J. R., van Kooten, O., Prange, R. K., & Murr, D. P. (1999). Applications of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology. *Horticultural Review*, 23, 69-107.

Diang, C., Wang, C.Y., Gross, K.C., & Smith, D.L. (2001). Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161, 1153-1159.

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., & Smith, D. L. (2001). Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, *161*(6), 1153-1159.

Dull, G. G. 1971. The pineapple. In: A. C. Hulme (Ed.). *The Biochemistry of Fruits and their Products*. Vol. II. Academic Press, London. 303-324.

Fan, X., Mattheis, J. P., & Fellman, J. K. (1998). Responses of apples to postharvest jasmonate treatments. Journal of the *American Society for horticultural Science*, 123(3), 421-425.

Feierabend, J. (2005). Catalases in plants: molecular and functional properties and role in stress defence, In N. Smirnoff, ed. *Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants*. Blackwell Publishing, Oxford, 101-140.

Fuchs, Y., Zauberman, G., & Lederman, E. I. (1995). Effect of post harvest treatments and storage conditions on avocado fruit ripening and quality. In *Proceedings of the World Avocado Congress III*. 323-330.

Fung, R. W.M., Wang, C.Y., Smith, D.L., Gross, K.C., & Tian, M. (2004). MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science*, 166, 711-719.

Gemma, H., Yuri., M., & Hong-kong, W. (1994). Ripening characteristics and chilling injury of banana fruit 1: Effect of storage temperature on respiration, ethylene

production and membrane permeability of peel and pulp tissue. *Janpan Journal of Tropical Agriculture*, 38, 216-220

Gonzalez-Aguilar, G. A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R., & Wang, C. Y. (2000). Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality of mango fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2), 515-519.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Gayosso, L., Cruz, R., Fortiz, J., Báez, R., & Wang, C. Y. (2000). Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 18(1), 19-26.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Buta, J. G., & Wang, C. Y. (2001). Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of 'Kent' mangoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1244-1249

Gonzalez-Aguilar, G. A., Ruiz-Cruz, S., Cruz-Valenzuela, R., Rodriguez-Felix, A., & Wang, C. Y. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, 37(3), 369-376.

Gonzalez-Aguilar, G. A., Tiznado-Hernandez, M., & Wang C.Y. (2006). Physiological and biochemical responses of horticultural products to methyl jasmonate. *Stewart Postharvest Review*, 2, 1–9.

Gooding, P. S., Bird, C., & Robinson, S. P. (2001). Molecular cloning and characterisation of banana fruit polyphenol oxidase. *Planta*, 213(5), 748-757.

Graham, M., Ko, L., Hardy, V., Robinson, S., Sawyer, B., O'Hare, T., Jobin, M., Dahler, J., Underhill, S., & Smith, M. (2000). The development of blackheart resistant pineapples through genetic engineering. *Acta Horticulturae*, 529, 133-136.

Gupta, A.S., Webb, R.P., Holaday, A.S., & Allen, R.D. (1993). Overexpression of superoxide dismutase protects plants from oxidative stress. *Plant Physiology*, 103, 1067-1073.

Hahlbrock, K., & Scheel, D. (1989). Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Annual review of plant biology*, 40(1), 347-369

Han, C., Zuo, J., Wang, Q., Xu, L., Wang, Z., Dong, H., & Gao, L. (2015). Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Scientia Horticulturae*, 182, 86-91.

Heinicke, R. M., & Gortner, W. A. (1957). Stem bromelain a new protease preparation from pineapple plants. *Economic Botany*, 11(3), 225-234.

Hill, R. S., & Murr, D. P. (1999). 1-MCP and CO2 Reduction of Ethylene Response on Snapdragon. *HortScience*, 34(3), 503.

Hodges, D.M. (2003). Overview: oxidative stress and postharvest produce, pp. 1-12. In D.M. Hodges, ed. *Postharvest Oxidative stress in Horticultural Crops*. Food Products Press, New York.

Hong, K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., & Gong, D. (2013). Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 151, 68-74.

Hyodo, H., Kuroda, H., & Yang, S. F. (1978). Induction of phenylalanine ammonia-lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. *Plant Physiology*, 62(1), 31-35.

Ishikawa H. A. (1996). Ultrastructural features of chilling injury: injured cells and the early events during chilling of suspension-cultured mung bean cells. *American Journal Botany*. 83, 825-835.

Jiang, Y., Joyce, D. C., & Terry, L. A. (2001). 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology*, 23(3), 227-232

Jiang, Y., Joyce, D. C., & Macnish, A. J. (1999). Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation*, 28(2), 77-82.

Jimenez, A., Hernandez, J. A., del Rio, L. A., & Sevilla, F. (1997). Evidence for the presence of the ascorbate-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves. *Plant Physiology*, 114(1), 275-284.

Kader, A.A., (1996). Recommendation for maintaining postharvest quality of pineapple. *Perishable Handling Newsletter*. 88, 19-20.

Kazuhiro, D., Masayasu, N., & Ichiji, Y. (1999). Changes in phenylalanine ammonia-lyase and polyphenol oxidase activities with occurrence of browning in shredded lettuce during storage. *Food Preservation Science*, 25(5), 209-212.

Ke, D., & Saltveit, M. E. (1989). Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiologia Plantarum*, 76(3), 412-418.

Ketsa, S., & Atantee, S. (1998). Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. *Postharvest Biology and Technology*, 14(1), 117-124.

King, M. M., & Ludford, P. M. (1983). Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. *Journal American Society for Horticultural Science*. 108, 74-77.

Kruger, F. J., & Lemmer, D. (2011). Commercialization of smartfresh TM in the South African avocado industry. *SA Fruit Journal*, 51-55.

Ku, K. M., Choi, J. H., Kim, H. S., Kushad, M. M., Jeffery, E. H., & Juvik, J. A. (2013). Methyl jasmonate and 1-methylcyclopropene treatment effects on quinone reductase inducing activity and post-harvest quality of broccoli. *PLoS One*, 8(10), 1-16.

Lafuente, M. T., Zacarias, L., Martínez-Téllez, M. A., Sanchez-Ballesta, M. T., & Dupille, E. (2001). Phenylalanine ammonia-lyase as related to ethylene in the development of chilling symptoms during cold storage of citrus fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(12), 6020-6025.

Lafuente, M. T., Zacarias, L., Martinez-Tellez, M. A., Sanchez-Ballesta, M. T., & Granell, A. (2003). Phenylalanine ammonia-lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 309-318.

Loison-Cabot, C. (1992). Origin, phylogeny and evolution of pineapple species. *Fruits*, 47(1), 25-32.

Lu, X., Sun, D., Li, Y., Shi, W., & Sun, G. (2011). Pre-and post-harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 97-101.

Lyons, J.M. (1973). Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 24, 445-466.

Mach, J. M., & Greenberg, J. T. (2004). Free radicals and oxidative stress. *Plant Cell Death Processes. Elsevier Academic Press, Amsterdam-Boston*, 203-214.

Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372, 9-11.

Marangoni, A.G., Palma, T., & Stanley, D.W. (1996). Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biolology Technology*, 7, 193-217.

Martinez, M.V., & Whitaker, J.R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Science & Technology*, 6, 195-200.

Manganaris, G. A., Vicente, A. R., Crisosto, C. H., & Labavitch, J. M. (2007). Effect of dips in a 1-methylcyclopropene-generating solution on'Harrow Sun'plums stored under different temperature regimes. *Journal of agricultural and food chemistry*. 55(17), 7015-7020.

Mayer, A. M. (1987). Polyphenol oxidase and peroxidase in plants recent progress. *Phytochemistry*, 26, 11-20.

McEvily, A. J., Iyengar, R., & Otwell, W. S. (1992). Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 32(3), 253-273

Meir, S., Rosenberger, I., Aharon, Z., Grinberg, S., & Fallik, E. (1995). Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell pepper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology*. 5, 303-309.

Mekwatanakarn, W. (2004) Methyl jasmonate and the possible role in postharvest quality management of tropical fruits and vegetables, *Proceeding of APEC Symposium on Quality Management in Postharvest Systems*.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*,17, 405-410.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in plant science*, 9(10), 490-498.

Mohamed, E. A., Iwaki, T., Munir, I., Tamoi, M., Shigeoka, S., & Wadano, A. (2003). Overexpression of bacterial catalase in tomato leaf chloroplasts enhances photo-oxidative stress tolerance. *Plant, Cell & Environment*, 26(12), 2037-2046.

Morris, L. L. (1982). Chilling Injury of Horticultural Crops- An Overview. *HortScience*, 17(2), 161-162.

Muller, R., Sisler, E. C., & Serek, M. (2000). Stress induced ethylene production, ethylene binding, and the response to the ethylene action inhibitor 1-MCP in miniature roses. *Scientia Horticulturae*, 83(1), 51-59.

Murata, T. (1990). Relation of chilling stress to membrane permeability. P. 201-209. In: C. Y. Wang (Ed.). *Chilling Injury of Horticultural Crops*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Murata, N., & Los, D. A. (1997). Membrane fluidity and temperature perception. *Plant Physiology*, 115(3), 875.

Murata, M., Haruta, M., Murai, N., Tanikawa, N., Nishimura, M., Homma, S., & Itoh, Y. (2000). Transgenic apple (Malus ×domestica) shoot showing low browning potential. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(11), 5243-5248.

Nguyen, T., Sherratt, P. J., & Pickett, C. B. (2003). Regulatory mechanisms controlling gene expression mediated by the antioxidant response element. *Annual review of pharmacology and toxicology*, 43(1), 233-260.

Niki, T., Yoshida, S., & Sakai, A. (1978). Studies on chilling injury in plant cells: I. ultrastuctural changes associated with chilling injury in callus tissues of *Cornus stolonifera*. *Plant Cell Physiology*, 19, 139-148.

Nilprapruck, P:, & Yodmingkhwan, P. (2009). Effect of exogenous methyl jasmonate on the internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) cv. Pattavia. *KKU Reseach Journal*, 14, 489-498.

Nishida, I., & Murata., N. (1996). Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: the crucial contribution of membrane lipids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Biol. 47, 541-568.

Paull, R. E. (1990). *Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin.* In C.Y. Wang. ed. Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press Inc., Boca Raton. Florida, 17-36.

Paull, R. E., & Rohrbach, K. G. (1982). Juice characteristic and internal atomosphere of waxed smooth cayenne pineapple fruits. *Journal American Society for Horticultural Science*,107, 448-452.

Paull, R. E., & Rohrbach, K. G. (1985). Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 110(1), 100-105.

Peiser, G., López-Gálvez, G., Cantwell, M., &Saltveit, M. E. (1998). Phenylalanine ammonia lyase inhibitors control browning of cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 14(2), 171-177.

Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R., & Droby, S. (1999). Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 15(2), 155-163.

Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita K., & Ogata, S. (1992). Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in sorghum. *Journal of Experimental Botany*, 43(12), 1569-1576.

Pusittigul, I., Kondo, S., & Siriphanich, J. (2012). Internal browning of pineapple (*Ananas comosus* L.) fruit and endogenous concentrations of abscisic acid and gibberellins during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 146, 45-51.

Raison, J. K., & Orr, G. R. (1990). Proposals for a better understanding of the molecular basis of chilling injury. *Chilling injury of horticultural crops*, 145-164.

Sala, J.M. (1998). Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biology Technology*. 13, 255-261.

Saltveit, M. E., & Morris, L. L. (1990). Overview on chilling injury of horticultural crops. *Chilling injury of horticultural crops*, 3-15.

Sharom, M., Willemot, C., & Thompson, J. E. (1994). Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. *Plant Physiology*, 105(1), 305-308.

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

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

Shewfelt, R. L. (1992). *Response of plant membranes to chilling and freezing*. In Plant membranes . Springer Netherlands, 192-219.

Shewfelt, R. L., & Del Rosario, B. A. (2000). The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. *HortScience*, 35(4), 575-579.

Singer, S.L., & Nicolson, G.L. (1972). *The fluid mosaic model of the structure of cell membranes*. Science, 175, 720-731.

Sisler, E. C., & Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum*, 100(3), 577-582.

Smith, L. G. (1983). Cause and development of blackheart in pineapples. *Tropical Agriculture*, 60, 31–35.

Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., and da Silva Souza, L. F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 201-207.

Sommer, A., Neeman, E., Steffens, J. C., Mayer, A. M., & Harel, E. (1994). Import, targeting, and processing of a plant polyphenol oxidase. *Plant physiology*, 105(4), 1301-1311.

Stewart, R. J., Sawyer, B. J., Bucheli, C. S., & Robinson, S. P. (2001). Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple. *Functional Plant Biology*, 28(3), 181-191.

Sveine, E., Klougart, A., & Rasmussen, C. R. (1967). Ways of prolonging the shelf-life of fresh mushrooms. *Mushroom Science*, 6, 463-474.

Tatsumi, Y., Iwamoto, M., & Murata, T. (1981). Electrolyte Leakage from the discs of Cucurbitaceae Fruits Associated with Chilling Iniury. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 50(1), 114-119.

Teisson, C., Combres, J. C., Martin, P. P., & Marchal, J. (1979). Internal browning of pineapple fruits. *Fruits*. 34(4), 245-261.

Tiwari, B. S., Belenghi, B., & Levine, A. (2002). Oxidative stress increased respiration and generation of reactive oxygen species, resulting in ATP depletion, opening of mitochondrial permeability transition, and programmed cell death. *Plant physiology*, 128(4), 1271-1281.

Toivonen, P.M.A. 2004. Postharvest storage procedures and oxidative stress. *HortScience*, 39, 938-942.

Ueda, J., Miyamoto, K., Sato, T., & Momotani, Y. (1991). Identification of jasmonic acid from Euglena gracilis Z as a plant growth regulator. *Agricultural and biological chemistry*, 55(1), 275-276.

Vamos-Vigyazo, L., and Haard, N. F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 49-127.

Vela, G., LeÓn, D., GarcÍa, H., & La Cruz, J. D. (2003). Polyphenoloxidase activity during ripening and chilling stress in 'Manila'mangoes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(1), 104-107.

Vreeburg, R. A., & Fry, S. C. (2005). Reactive oxygen species in cell walls. *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*, 215-249.

Walker, J.R.L. (1995). Enzymatic browning in fruits: its biochemistry and control, In C.Y. Lee and J.R. Whitaker, eds. *Enzymatic Browning and its Prevention*. ACS Symposium Series 600. American Chemical Society, Washington D.C. 8-22.

Wang, C. Y. (1982). Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience*, 17,173-186.

Wang, C. Y. (1990). *Chilling Injury of Horticultural Crops*, CRC Press, Boca Raton Florida. 313 p.

Wang, C. Y. (1998). Methyl jasmonate inhibits postharvest sprouting and improves storage quality of radishes. *Postharvest Biology and Technology*, 14(2), 179-183.

Wang, C. Y. (2004). Alleviation of chilling injury in tropical and subtropical fruits. *In III International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits*, 864, 267-273.

Wang, Y., Chen, J. Y., Jiang, Y. M., & Lu, W. J. (2007). Cloning and expression analysis of phenylalanine ammonia-lyase in relation to chilling tolerance in harvested banana fruit. *Postharvest biology and technology*, 44(1), 34-41.

Wasternack, C. 2004. Jasmonates-biosynthesis and role in stress responses and developmental processes. In L.D. Nooden, ed. *Plant Cell Death Process. Elsevier Academic Press, San Diego*, 143-155.

Watkin, C. B., & Nock, J.F. (2000). 1-MCP: Facts, speculation, and how could affect the New York apple industry. *New York Fruit Quarterly*, 8(3), 3-9.

Whitaker, J.R. (1994). *Principles of Enzymology for the Food Sciences.* Marcel Dekker Inc., New York.

Weerahewa, D., & Adikaram, N.K.B., (2005). Heat - induced tolerance to internal browning of pineapple (*Ananas comosus* cv. 'Mauritius') under cold storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(4), 500-509.

Woolf, A. B. (1997). Reduction of chilling injury in stored "hass" avocado fruit by 38 °C water treatments. *HortScience*, 32(7), 1247-1251.

Zambounis, A., Nianiou-Obeidant, I., & Tsaftaris, A. (2002). Cloning of superoxide dismutase (Cu/Zn SOD) gene in peppers for stress tolerance. *Acta Horticulturae*, 579, 101-106.

Zhou, Y., O'Hare, T. J., Jobin-Decor, M., Underhill, S. J., Wills, R. B., & Graham, M. W. (2003). Transcriptional regulation of a pineapple polyphenol oxidase gene and its relationship to blackheart. *Plant biotechnology journal*, 1(6), 463-478.

ภาคผนวก

ตาราง 66 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 20-25 °C (การทดลองที่ 1)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
20/มิ.ย./2557	24.01	22.08	23.02	95.60	48.20	89.46
21/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.97	95.60	75.10	85.05
22/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.92	92.30	74.30	83.92
23/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.88	95.70	72.70	84.75
24/มิ.ย./2557	24.01	22.48	22.85	95.60	71.30	84.50
25/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.85	95.70	68.80	82.80
26/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.87	95.70	68.80	83.54
27/มิ.ย./2557	24.40	22.48	22.87	95.70	66.20	83.25
29/มิ.ย./2557	24.40	22.09	22.70	95.70	55.80	82.17
30/มิ.ย./2557	24.40	22.09	22.74	95.70	70.00	85.76
1/ก.ค./2557	24.01	22.09	22.72	95.60	72.70	85.12
2/ก.ค./2557	24.40	22.09	22.64	95.70	72.00	85.33
3/ก.ค./2557	23.24	22.09	22.63	89.50	77.10	83.51
6/ก.ค./2557	24.79	22.09	22.65	95.70	60.60	82.02
7/ก.ค./2557	24.79	21.71	22.56	95.70	63.00	84.95
8/ก.ค./2557	24.79	21.71	22.54	95.70	66.30	85.07
9/ก.ค./2557	24.40	21.71	22.52	95.70	67.80	84.73
10/ก.ค./2557	24.40	22.09	22.53	95.60	76.10	84.40
11/ก.ค./2557	25.56	22.09	22.51	95.70	69.60	83.36
12/ก.ค./2557	25.56	22.09	22.67	92.2	56.20	83.26
13/ก.ค./2557	25.17	22.09	22.54	95.80	64.20	82.74
14/ก.ค./2557	25.17	22.09	22.55	95.80	65.40	84.18
15/ก.ค./2557	24.79	22.09	22.57	95.70	67.80	83.58
16/ก.ค./2557	24.40	22.09	22.42	95.70	76.10	83.88
17/ก.ค./2557	25.17	22.09	22.48	95.80	68.30	83.64
เฉลี่ย	24.55	22.15	22.69 ±0.10	95.17	67.78	84.20±1.30

ตาราง 67 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิตู้แช่ 8-10°C (การทดลองที่ 1)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
20/มิ.ย./2557	15.23	4.99	7.95	98.30	29.30	76.15
21/มิ.ย./2557	11.77	7.03	7.99	94.5	58.40	78.72
22/มิ.ย./2557	11.77	7.03	8.00	94.50	58.10	78.09
23/มิ.ย./2557	11.77	6.62	7.98	94.50	57.70	78.34
24/มิ.ย./2557	11.77	6.62	8.01	94.50	55.40	78.02
25/มิ.ย./2557	11.77	6.62	8.03	94.50	56.40	78.30
26/มิ.ย./2557	11.77	7.03	8.02	94.50	55.40	77.74
27/มิ.ย./2557	11.38	7.03	8.04	94.50	57.90	77.66
4/ก.ค./2557	8.63	7.43	8.11	78.70	67.60	73.68
5/ก.ค./2557	12.16	7.43	8.33	91.60	61.10	74.56
6/ก.ค./2557	12.55	7.43	8.39	91.60	53.10	72.28
7/ก.ค./2557	12.55	7.43	8.35	91.60	53.40	72.83
8/ก.ค./2557	12.16	7.43	8.24	91.60	59.20	74.37
9/ก.ค./2557	12.16	7.43	8.19	91.60	57.80	73.37
10/ก.ค./2557	12.16	7.43	8.18	91.60	56.60	73.50
11/ก.ค./2557	13.70	7.43	8.17	91.60	58.60	73.56
12/ก.ค./2557	12.55	7.43	8.29	94.50	54.30	74.10
13/ก.ค./2557	13.32	7.43	8.36	94.60	50.30	72.89
14/ก.ค./2557	13.32	7.43	8.32	94.60	51.80	73.16
16/ก.ค./2557	12.93	7.43	8.48	91.60	53.20	72.21
17/ก.ค./2557	12.93	7.43	8.51	94.60	50.60	72.52
เฉลี่ย	12.30	7.12	8.19±0.44	92.84	55.06	71.72±1.31

ตาราง 68 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง (การทดลองที่ 1)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
27/6/1957	30.71	24.01	29.14	54.50	44.90	51.49
28/6/1957	31.93	22.09	26.08	95.60	38.20	68.47
4/7/2557	30.71	22.09	25.81	95.70	37.80	64.42
5/7/2557	31.93	22.09	26.07	99.90	33.90	68.51
11/7/2557	31.12	25.95	30.41	67.70	44.60	49.20
12/7/2557	31.93	26.73	30.56	57.80	37.60	53.41
18/7/2557	31.12	22.09	27.03	95.80	41.40	66.27
19/7/2557	30.71	24.79	29.36	63.60	37.30	56.46
เฉลี่ย	31.27	23.73	28.06±1.32	78.83	39.46	59.78±1.93

ตาราง 69 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง ระหว่างการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
13/พ.ค./2558	29.1	26.34	28.22	100.00	77.90	96.32
14/พ.ค./2558	28.7	28.31	28.36	100.00	100.00	100.00
เฉลี่ย	28.9	27.33	28.29±0.02	100.00	88.95	98.16±0.13

ตาราง 70 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
14/พ.ค./2558	15.23	9.82	10.61	91.70	34.90	74.34
15/พ.ค./2558	13.70	10.21	10.64	94.60	58.80	77.25
16/พ.ค./2558	17.14	10.21	11.01	91.60	35.40	74.00
17/พ.ค./2558	14.09	10.60	10.98	91.60	54.70	72.52
18/พ.ค./2558	13.70	10.60	10.95	91.60	53.60	72.63
19/พ.ค./2558	14.09	10.60	11.00	91.60	54.70	74.16
20/พ.ค./2558	13.70	10.60	10.98	91.60	57.30	74.41
22/พ.ค./2558	12.55	10.21	10.69	91.60	61.00	78.86
23/พ.ค./2558	12.93	10.21	10.63	91.60	59.00	78.19
24/พ.ค./2558	12.93	10.21	10.58	91.60	58.00	77.11
25/พ.ค./2558	12.93	9.82	10.40	91.60	61.20	76.92
26/พ.ค./2558	12.93	9.82	10.40	91.60	61.90	76.87
27/พ.ค./2558	12.55	9.82	10.40	91.60	61.90	77.64
28/พ.ค./2558	12.93	9.82	10.54	91.60	62.30	79.08
3/มิ.ย./2558	13.32	10.21	10.69	91.60	48.80	76.57
4/มิ.ย./2558	13.70	10.21	10.61	91.60	55.20	75.34
10/มิ.ย./2558	14.09	10.21	10.89	94.60	55.20	75.77
11/มิ.ย./2558	14.85	10.21	10.81	94.70	50.00	74.84
12/มิ.ย./2558	15.23	10.21	10.96	94.70	49.30	74.00
เฉลี่ย	13.82	10.19	10.73±0.02	92.25	54.38	75.82±0.19

ตาราง 71 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการรม 1-MCP (การทดลองที่ 2)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
21/พ.ค./2558	31.12	28.31	30.24	53.30	47.70	50.89
22/พ.ค./2558	31.93	29.10	31.14	50.10	34.80	48.07
28/พ.ค./2558	26.73	22.09	24.98	55.80	30.20	44.32
29/พ.ค./2558	29.50	25.95	27.04	54.10	34.90	46.18
4/มิ.ย./2558	31.12	27.12	30.22	44.40	33.70	41.59
5/มิ.ย./2558	32.76	23.63	30.71	48.80	27.50	42.86
12/มิ.ย./2558	32.76	29.90	32.03	42.30	32.50	40.32
13/มิ.ย./2558	34.01	26.34	32.22	59.50	31.00	41.35
เฉลี่ย	31.24	26.56	29.82±0.05	51.04	34.04	44.45±0.16

ตาราง 72 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการจุ่ม MeJA (การทดลองที่ 3)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
23/พ.ย./2558	12.16	9.42	10.03	89.20	49.20	71.89
24/พ.ย./2558	12.16	9.42	10.04	91.60	66.30	77.18
25/พ.ย./2558	12.93	9.42	10.06	91.60	66.30	77.48
26/พ.ย./2558	12.16	9.42	10.06	89.20	64.90	76.44
27/พ.ย./2558	12.16	9.42	10.02	89.20	64.10	76.51
28/พ.ย./2558	12.55	9.42	10.06	89.20	62.80	76.58
29/พ.ย./2558	12.16	9.42	10.03	89.20	65.60	76.90
30/พ.ย./2558	12.16	9.42	9.96	89.20	66.30	76.37
1/ธ.ค./2558	12.55	9.42	10.10	91.60	65.50	77.06
2/ธ.ค./2558	12.55	9.42	10.00	91.60	63.70	76.27
3/ธ.ค./2558	12.55	9.42	10.03	91.60	64.70	77.30
4/ธ.ค./2558	12.55	9.42	10.02	91.60	64.60	76.89
5/ธ.ค./2558	12.55	9.42	10.00	91.60	66.70	78.66
6/ธ.ค./2558	12.16	9.42	10.02	91.60	69.30	78.33
7/ธ.ค./2558	12.16	9.42	9.99	91.60	69.30	78.21
8/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.77	91.60	69.40	79.57
9/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.78	91.60	69.80	79.44
10/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.79	91.60	68.90	79.33
11/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.78	91.60	68.10	79.07
12/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.78	91.6	67.40	78.97
13/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.74	91.60	68.50	78.72
14/ธ.ค./2558	14.85	9.42	9.80	94.60	67.00	78.79
15/ธ.ค./2558	12.55	9.42	9.79	91.60	68.30	78.76
16/ธ.ค./2558	10.21	9.42	9.79	80.40	72.90	76.30
17/ธ.ค./2558	13.70	9.42	10.02	94.60	57.40	76.92

18/ธ.ค./2558	13.32	9.42	10.00	91.60	57.40	76.89
19/ธ.ค./2558	13.32	9.42	9.98	91.60	59.60	76.91
20/ธ.ค./2558	13.32	9.42	9.95	91.60	60.90	77.77
21/ธ.ค./2558	13.32	9.42	9.91	91.60	62.60	78.01
เฉลี่ย	12.60	9.42	9.94±0.02	90.92	65.09	77.50±0.13

ตาราง 73 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการจุ่ม MeJA (การทดลองที่ 3)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
30/11/2558	29.90	29.10	29.53	51.90	44.40	48.21
1/ธ.ค./2558	29.90	24.01	27.40	55.90	39.30	48.28
7/ธ.ค./2558	27.52	25.17	27.12	60.30	54.30	57.03
8/ธ.ค./2558	27.52	25.95	26.79	61.30	50.40	57.48
15/ธ.ค./2558	27.52	25.86	26.69	61.30	50.30	57.38
16/ธ.ค./2558	27.52	25.89	26.68	61.30	51.40	57.36
21/ธ.ค./2558	27.53	26.73	27.28	48.60	43.10	45.40
22/ธ.ค./2558	27.12	24.01	26.15	57.40	42.10	50.12
เฉลี่ย	28.07	25.84	27.21±0.03	57.25	46.91	52.66±0.09

ตาราง 74 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ณ อุณหภูมิห้อง ระหว่างการรม 1-MCP (การทดลองที่ 4)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
1/มี.ค./2559	26.73	24.01	25.02	95.90	74.20	92.57
2/มี.ค./2559	27.52	26.73	26.90	89.80	59.50	86.60
เฉลี่ย	27.13	25.37	25.96±0.03	92.85	66.85	89.59±0.13

ตาราง 75 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิตู้แช่ หลังการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA (การทดลองที่ 4)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
2/มี.ค./2559	11.77	9.42	9.73	91.60	69.00	77.69
3/มี.ค./2559	11.77	9.42	9.74	91.60	71.80	78.84
4/มี.ค./2559	11.77	9.42	9.73	91.60	70.30	77.67
5/มี.ค./2559	11.77	9.42	9.69	91.60	70.80	77.99
6/มี.ค./2559	11.38	9.03	9.38	91.60	73.00	78.46
7/มี.ค./2559	11.77	9.03	9.46	91.60	72.30	79.3
8/มี.ค./2559	11.77	9.03	9.34	91.60	70.90	77.82
9/มี.ค./2559	11.38	9.03	9.36	91.60	70.90	77.72
12/มี.ค./2559	12.93	10.99	11.11	85.40	49.90	66.46
13/มี.ค./2559	12.93	10.60	11.11	87.20	48.30	66.05
14/มี.ค./2559	12.93	10.60	10.94	89.20	49.90	69.71
15/มี.ค./2559	12.55	10.60	10.85	89.20	59.00	73.10
16/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.27	94.50	68.60	78.78
17/มี.ค./2559	11.38	9.03	9.41	94.50	43.20	80.39
18/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.35	94.50	63.40	78.14
19/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.21	94.50	59.80	76.67
20/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.18	94.50	56.80	75.78
21/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.16	94.50	57.80	75.61
22/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.28	94.50	59.00	76.59
23/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.3	94.50	60.30	76.02
24/มี.ค./2559	12.16	8.63	9.32	94.50	61.40	76.32
25/มี.ค./2559	13.70	9.42	10.04	91.60	55.60	73.98
26/มี.ค./2559	13.70	9.42	10.06	91.60	46.40	74.62
27/มี.ค./2559	13.70	9.42	9.99	91.60	55.60	75.30
28/มี.ค./2559	13.32	9.42	9.99	91.60	60.20	76.94

29/มี.ค./2559	13.32	9.42	9.91	91.60	61.60	76.42
30/มี.ค./2559	13.70	9.42	9.94	91.60	59.80	71.71
เฉลี่ย	12.40	9.30	9.77±0.02	92.00	60.95	75.71±0.15

ตาราง 76 แสดงอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ตลอดการเก็บรักษาสับปะรด ณ อุณหภูมิห้อง หลังการใช้ 1-MCP ร่วมกับ MeJA (การทดลองที่ 4)

ระยะเวลาการทดลอง	อุณหภูมิ(°C)			ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
9/มี.ค./2559	30.31	24.79	28.09	44.60	34.80	37.71
10/มี.ค./2559	31.52	24.4	28.59	44.00	28.20	39.00
16/มี.ค./2559	28.70	25.56	28.00	43.90	41.60	42.69
17/มี.ค./2559	30.71	23.63	27.93	48.20	31.40	43.55
23/มี.ค./2559	32.34	28.70	32.02	32.60	29.40	31.10
24/มี.ค./2559	33.17	26.34	31.31	44.10	25.30	34.14
30/มี.ค./2559	29.90	24.79	27.82	45.00	39.80	42.23
31/มี.ค./2559	31.52	24.79	29.05	47.10	31.40	43.72
เฉลี่ย	31.02	25.38	29.10±0.07	43.69	32.74	39.27±0.07