บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาการเสื่อมสภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของบร็อคโคลี่ต่อการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD)

จากการศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของบร็อคโคลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 0, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ โดยพบว่า การเหลืองของบร็อคโคลีเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ควบคู่ไปกับการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และ total chlorophylls มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นซึ่งในช่วง 48 ชั่วโมงแรกมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อย่างช้าๆ หลังจากนั้นในชั่วโมงที่ 72 จะมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์มากขึ้นซึ่งส่งผลให้บร็อคโคลีมีสีเหลือง สังเกตได้จากรูปภาพที่แสดงการเหลืองของบร็อคโคลีในแต่ละเวลา (รูปที่ 4.1) โดยกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน เริ่มจากการย้ายหมู่ phytol ออกจากคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์ chlorophyllase เกิดเป็นโมเลกุลของ chlorophyllide ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็น pheophobide โดยเอนไซม์ Mg-dechelatase และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน porphyrin ring ของ pheophorbide โดยเอนไซม์ pheophorbide α - oxygenase ได้ fluorescent chlorophyll catabolite (FCC) เป็นสารเรืองแสงสีน้ำเงิน ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็น nonfluorescent chlorophyll catabolite (NCC) ที่ไม่เรืองแสง มีชื่อว่า a-formyl-1-oxobilane เป็นสารตัวสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ในการศึกษาถึงการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ในบรอคโคลีระหว่างการเสื่อมสภาพจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงโดยการสลายคลอโรฟิลล์เป็น chlorophyllide pheophorbide และสารประกอบมวลโมเลกุลต่ำที่ปราศจากสี (Matile et al., 1996; Vicentini et al., 1995)

การเปลี่ยนแปลงสีของบร็อคโคลีที่เก็บรักษาแสดงโดยค่า L*, b* และ H° ของบร็อคโคลีมีการสูญเสียสีเขียวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และ total chlorophylls ที่เหลืออยู่ และพบว่า บร็อคโคลีมีอัตราการหายใจสูงมากเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20°C ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในชั่วโมงที่ 24 จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นจากนั้นจะลดต่ำลงเมื่อเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพซึ่งสอดคล้องกับ Kader, 1985 ที่รายงานว่า บร็อคโคลีจัด

อยู่ในกลุ่มพืชผักที่มีอัตราการหายใจสูงมาก คือ 60 mg CO_2/kg.hr ที่อุณหภูมิ 5 ˚C ส่วนในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 25 ˚C อัตราการหายใจของบร็อคโคลีเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเสื่อมสภาพ (Makhlouf และคณะ,1989) ในทำนองเดียวกันอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นหลังการเก็บรักษาซึ่งส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และ total chlorophylls โดยทั่วไปการเสื่อมของคลอโรฟิลล์นั้นเนื่องจากการทำงานของกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Matile et al., 1996) ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกส่วนหัว (porphyrin ring) และส่วนหาง (phytol) ของคลอโรฟิลล์ (Yamauchi et al., 1997) ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับเอทิลีน ถ้ามีเอทิลีนสูงเอนไซม์ดังกล่าวก็จะมีกิจกรรมสูงขึ้น คลอโรฟิลล์จะเกิดการเสื่อมได้เร็วขึ้น ในการทดลองสังเกตว่าในชั่วโมงที่ 72 มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังจะเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตามไปด้วย

ร้อยละของการเกิดปฏิกิริยา TTC reduction เป็นการวัดอัตราการการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ dehydrogenase เป็นตัวชี้วัดการเกิดความเสียหายของเซลล์พืชแบบ oxidative damage ที่เกิดจากกระบวนการ respiratory activity หรือเป็นตัวบอกค่าความมีชีวิตของบรอคโคลี่อีกนัยหนึ่ง โดยค่าอัตราการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ dehydrogenase สูงบ่งบอกถึงการเกิดความเครียดจากออกซิเดชั่น (oxidative stress) ความเสียหายของเซลล์พืชเนื่องจาก oxidative damage โดยใช้วิธี Triphenyl tetrazolium chloride assay โดยเอนไซม์ Dehydrogenase นี้มีการปลดปล่อยอนุมูลไฮโดรเจน (H^+) ออกมา และอนุมูล H^+ นี้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยารีดักชั่น (reduction) กับเกลือเตรทตราโซเดียมคลอไรด์ (2,3,5- triphenyl tetrazolium chloride, TTC) สารนี้จะถูกรีดิวซ์ให้เปลี่ยนเป็นสารชื่อฟอร์มาแซน (formazan) ซึ่งมีสีแดง ซึ่งในกระบวนการเกิด oxidation ที่เกิดในกระบวนการหายใจและปลดปล่อย H^+ ออกมาก็จะเกิดการทำปฏิกิริยากับสาร TTC ให้เปลี่ยนเป็นสาร Formazan ที่มีสีแดง (Leist, 2004) ซึ่งจากการทดลอง พบว่า มีการผลิตสาร Formazan เพิ่มมากขึ้นจนสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 และลดต่ำลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพซึ่งสอดคล้องกับผลของอัตราการหายใจที่ลดลงต่ำเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงกระบวนการเสื่อมสภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับการตายแบบโปรแกรม (PCD) (Gan and Amasino, 1997) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการเกิด DNA laddering ซึ่งจากการทดลองไม่พบการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) แต่จะพบว่าลักษณะการเกิด DNA smear ที่เกิดจากการสลายตัวของดีเอนเอ ก่อนการเก็บรักษาเริ่มมีการเสื่อมสภาพแล้ว อาจเป็นไปได้ที่บร็อคโคลีเริ่มมีการเสื่อมสภาพของ DNA ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากบร็อคโคลีมีอัตราการหายใจสูงย่อมส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น

5.2 ศึกษาผลของความร้อนต่อการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD)

จากการศึกษาถึงกระบวนการเสื่อมสภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับการตายแบบโปรแกรม (PCD) (Gan and Amasino, 1997) โดยการใช้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อกระตุ้นให้เกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการเกิด DNA laddering ซึ่งจากการทดลองไม่พบการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) แต่จะพบว่าลักษณะของชิ้นส่วน DNA ก่อนการเก็บรักษาเริ่มมีการเสื่อมสภาพแล้ว อาจเป็นไปได้ที่บร็อคโคลีเริ่มมีการเสื่อมสภาพของ DNA ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากบร็อคโคลีมีอัตราการหายใจสูงย่อมส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น นอกจากนี้ยังพบว่าบร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนมีการเสื่อมสภาพของ DNA น้อยกว่าบร็อคโคลีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความร้อนไปทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของ DNA ซึ่งเป็นโปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพไม่สามารถทำหน้าที่ได้ จึงช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของ DNA ภายในเซลล์พืชได้ และถึงแม้การให้บร็อคโคลีผ่านความร้อนจะไม่สามารถกระตุ้นการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) ได้ แต่การได้รับความร้อนก็สามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของบร็อคโคลีได้ โดยผลจากการทดลองพบว่า บร็อคโคลีที่ผ่านการได้รับความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C สามารถรักษาคุณภาพของบร็อคโคลีในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยไปชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์เอ บี และ total chlorophylls เป็นผลทำให้ชะลอการเหลืองของบร็อคโคลี การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, b* และ H°) และลดอัตราการหายใจ สำหรับการเสื่อมสภาพของบร็อคโคลีที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 ˚C เกิดขึ้นเร็วกว่าบร็อคโคลีผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C คือ การเปลี่ยนแปลงสีของบร็อคโคลี โดยวัดจากค่าความสว่างของบร็อคโคลีที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน ค่าความสว่างของสีจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเนื่องจากสีของบร็อคโคลีจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (รูปที่ 4.12) ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองเพิ่มขึ้นตาม แต่ในบร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนจะเกิดขึ้นช้ากว่า การเปลี่ยนแปลงสีโดยค่า hue angle ที่ลดลง หมายถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง จากการทดลองบร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของบร็อคโคลีได้ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Kazami และคณะ; Fomey; Tian และคณะ พบว่า การจุ่มบร็อคโคลีในน้ำร้อนสามารถชะลอการเหลืองของบร็อคโคลีได้ ซึ่งในงานของ Tian และคณะ พบว่าการจุ่มบร็อคโคลีในน้ำร้อนอุณหภูมิ 47 ˚C เป็นเวลา 7.5 นาที ทำให้ค่า hue angle ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 2.5 ระหว่าง 72-120 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 ˚C นอกจากนี้

การใช้ความร้อนยังสามารถชะลอการเปลี่ยนสีในผลิตผลอื่นๆ เช่น มะเขือเทศ (Klein และ Lurie, 1991) และ คะน้า (Wang, 1998)

อัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตเป็นขบวนการ metabolism ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอาหาร สะสมให้เกิดเป็นพลังงาน (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) ขบวนการดังกล่าวนี้จะมีอัตราสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุณหภูมิเป็นหลัก (สายชล เกตุษา, 2528) และอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ผักและผลไม้สดมีการเสื่อมคุณภาพหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วเนื่องจากผลิตผลทุกชนิดยังมีชีวิตและมีการหายใจ ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงย่อมเสื่อมคุณภาพได้เร็ว เนื่องจากมีการใช้อาหารภายในผลิตผลมาเปลี่ยนเป็นพลังงานในอัตราที่สูงดั้งนั้นหากต้องการให้ผลิตผลยังคงมีคุณภาพดีและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน จึงจำเป็นต้องลดอัตราการหายใจของผลิตผลให้เหลือน้อยลง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า บร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C สามารถชะลออัตราการหายใจได้ดีที่สุด เนื่องจากการศึกษาโดยทั่วไปพบว่าการทำ Heat treatment หรือการให้ความร้อนกับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลออัตราการหายใจได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Subehat และคณะ (1995) พบว่าการทำ heat treatment สามารถลดอัตราการหายใจของผลมะเขือเทศได้และสามารถชักนำให้ผลมะเขือเทศทนต่ออาการ chilling injury ได้ นอกจากนี้ Tian และคณะ (1997) พบว่า การให้ความร้อนกับบร็อคโคลี่สามารถลดอัตราการหายใจของบร็อคโคลี่ในระหว่างการเก็บรักษา และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการหายใจได้อีกด้วย (นงลักษณ์ พลูทอง, 2542) และจากการศึกษาจะพบว่า บร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 ºC มีอัตราการหายใจสูงกว่าบร็อคโคลีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงช่วยกระตุ้นให้เมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์สูงขึ้นตามไปด้วย เช่น การหายใจ การสลายตัวของบร็อคโคลี เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538)

สำหรับอัตราการผลิตเอทิลีน พบว่า หลังการเก็บรักษา 12 ชั่วโมง บร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาที ที่เก็บรักษาในทั้งสองอุณหภูมิ มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นหลังจากนั้นจึงลดต่ำลงจนสิ้นสุดการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากบร็อคโคลีได้รับความร้อนจนก่อให้เกิดความเครียดกับบร็อค โคลี เนื่องจากกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเอทิลีนได้รับผลกระทบไปด้วย ความเครียดดังกล่าวจึงไปกระตุ้นให้มีการผลิตเอทิลีนมากขึ้น และมีค่าสูงกว่าบร็อคโคลีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเก็บรักษาเดียวกัน

การวัดค่าการเกิด TTC reduction หรือ กิจกรรมของเอนไซม์ dehydrogenase บ่งบอกถึงการเกิด oxidative damage ในบรอคโคลี่ พบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส มีการเกิด oxidative damage สูงกว่าบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส โดยบรอคโคลี่ที่มีการเกิด oxidative damage สูงจะมีอัตราการหายใจสูง มีการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวส่งสัญญาณให้พืชเกิดการวาย (Mitller, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tiwari และ คณะ (2008) รายงานว่า การเกิด oxidative stress จะไปเร่งกระบวนการหายใจและผลิต reactive oxygen species (ROS) ซึ่งนำไปสู่การตายของเซลล์แบบโปรแกรมในเซลล์อะราบิดอฟซิส นอกจากนี้ พบว่า บรอคโคลี่ที่ให้ความร้อนที่ 55°C 10 นาที และเก็บรักษาที่ 10°C มีการเกิด oxidative damage น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก เซลพืชมีการสร้างโปรตีนชนิดหนึ่งเมื่อได้รับความร้อน ได้แก่ heat shocked protein (HSPs) โดยชนิดที่พบมากในพืชได้แก่ small HSPs (smHSPs) (Lindquist and Craig, 1988) และ smHSPs ช่วยปกป้องพืชต่อการเกิด oxidative stresses (Miyao-Tokutomi et al., 1998)

5.3 ศึกษาผลของ 1- MCP ต่อการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) ในบล็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อน

จากการศึกษาถึงผลของ 1- MCP ต่อกระบวนการเสื่อมสภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับการตายแบบโปรแกรม (PCD) (Gan and Amasino, 1997) ในบร็อคโคลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อกระตุ้นให้เกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการเกิด DNA laddering ซึ่งจากการทดลองไม่พบการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) ซึ่งจากการทดลองไม่พบการเกิดการตายแบบโปรแกรม (PCD) แต่จะพบลักษณะการเสื่อมสภาพของ DNA ที่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพตั้งแต่ก่อนการเก็บรักษา และพบว่าบร็อคโคลีที่รม 1-MCP และนำไปผ่านการให้ความร้อนนั้น สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของบร็อคโคลีได้ โดยจากผลการทดลอง บร็อคโคลีที่รมด้วย 1-MCP เพียงอย่างเดียวโดยไม่ผ่านความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C สามารถรักษาคุณภาพของบร็อคโคลีในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยไปชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ เป็นผลทำให้ชะลอการเหลืองของบร็อคโคลี การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, b* และ H°) และลดอัตราการหายใจ ในขณะที่บร็อคโคลีที่รมด้วย 1-MCP และนำไปผ่านความร้อนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ˚C ก็สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้เช่นกันโดยชะลอการเหลืองของบร็อคโคลี การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, b* และ H°) การผลิตเอทิลีนและลดอัตราการหายใจ จากที่กล่าวว่าการรม 1-

MCP มีผลช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของบร็อคโคลี สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจาก 1-MCP ไปขัดขวางการทำงานของเอทิลีน ทำให้ลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ถูกสร้างและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการเสื่อมสภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นมากกว่าการสร้าง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) การรมสาร 1-MCP สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ อาจเป็นผลมาจากการที่สาร 1-MCP ไปขัดขวางการทำงานของเอทิลีนโดยการไปแย่งจับกับตัวรับเอทิลีน ทำให้ตัวรับไม่มีการส่งสัญญาณไปยังนิวเคลียสได้ เมตาบอลิซึมต่างๆภายในเซลล์จึงเกิดขึ้นได้ช้าลง ส่งผลทำให้บร็อคโคลีเสื่อมสภาพช้าลง กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส โดยการแยกส่วนหัวและหางของคลอโรฟิลล์ออกจากกัน (Eskin, 1997) ทำให้คลอโรฟิลล์ที่ถูกย่อยกลายเป็นสารที่ไม่มีสี และพบว่าเอทิลีน คือฮอร์โมนพืชที่สำคัญที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวด้วย (Feng และคณะ, 2000)

สำหรับบร็อคโคลีที่รม 1-MCP โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนและเก็บที่ 20 ˚C มีอัตราการหายใจสูงกว่าบร็อคโคลีที่นำไปผ่านความร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20˚C ซึ่งการที่ผลิตผลมีอัตราการหายใจสูงทำให้อัตราการเสื่อมสภาพเร็วกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำกว่า (Wills และคณะ, 1981; Prasad และคณะ, 1997) ซึ่งการที่ผลผลิตได้รับความร้อนมีอัตราการหายใจต่ำกว่าทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการเสื่อมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ (Nilson และ Orentt, 1996) นอกจากนี้ Inaba และ Chachin , 1989 รายงานว่า อัตราการหายใจที่ต่ำลง เนื่องจาก heat injury อาจเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมมเบรนของผลิผล ทำให้ respiratory metabolism เปลี่ยนไป และกระบวนการ oxidative phosphorylation ในไมโตคอนเดรียมีประสิทธิภาพลดลง

สำหรับอัตราการผลิตเอทิลีน จะพบว่า ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น แต่บร็อคโคลีที่ได้รับความร้อนและเก็บรักษาที่ 10 ˚C สามารถชะลอการผลิตเอทิลีนซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นตลอดระยะการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานทดลองในอะโวกาโด (Woof และคณะ, 1995) และ dwarf bean (Field, 1984) ที่พบว่า ความร้อนหรืออุณหภูมิสูงมีผลทำให้การผลิตเอทิลีนของผลิตผลลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงมีผลทำให้สูญเสีย integrity ของ ethylene synthesis system และเกิดการรบกวนโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่างๆ ทำให้การผลิตเอทิลีนลดลง (Metzidakis และ Sfakiotakis, 1998) นอกจากนี้ Ferguson, 1994 รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อ ethylene receptor หรืออาจรบกวนกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase และ/หรือ เอนไซม์ ACC synthase (Chan, 1986) อย่างไรก็ตามแม้ว่าจากการทดลองมีการรมบร็อคโคลีด้วย 1-MCP ก่อนในทุก

ชุดการทดลอง แต่ยังสามารถตรวจพบการผลิตเอทิลีนได้นั้นอาจเนื่องมาจากตัวรับเอทิลีนส่วนใหญ่จับอยู่กับ 1-MCP ดังนั้นเอทิลีนที่ถูกผลิตขึ้นมาใหม่จึงไม่มีตัวรับเอทิลีนให้จับกันได้ เอทิลีนที่ถูกผลิตขึ้นมาใหม่ถูกปลดปล่อยออกมาภายนอกเซลล์จึงทำให้ตรวจพบปริมาณเอทิลีน (Sisler และ Serek, 1999) จากผลการทดลองจึงสามารถกล่าวได้ว่า การรมสาร 1-MCP ในบร็อคโคลี มีผลในการขัดขวางการทำงานเอทิลีนเพียงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นบร็อคโคลีจะปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลตามธรรมชาติเพื่อทำให้กระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์เกิดขึ้นตามปกติ

ในการตรวจสอบความเสียหายเนื่องจาก oxidative damage โดยวัดอัตราการการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ dehydrogenase หรือเป็นตัวบอกค่าความมีชีวิตของบรอคโคลี่อีกนัยหนึ่ง โดยค่าอัตราการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ dehydrogenase สูงบ่งบอกถึงการเกิด oxidative stress ความเสียหายของเซลล์พืชเนื่องจาก oxidative damage ซึ่งจากการทดลอง พบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการรม 1-MCP และให้ความร้อนและเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส มีการเกิด oxidative damage น้อยกว่าชุดทดลองอื่นๆ อาจเนื่องจาก การให้ความร้อนกระตุ้นให้พืชสร้าง heat shocked proteins ชนิด small HSPs (smHSPs) (Lindquist and Craig, 1988) ซึ่ง smHSPs ช่วยปกป้องพืชต่อการเกิด oxidative stresses (Miyao-Tokutomi et al., 1998) นอกจากนี้มีรายงานว่า การรมด้วย 1-MCP กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และ Catalase (CAT) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนอนุมูลอิสระให้อยู่ในรูปเสถียรที่ไม่ทำลายเซลล์พืช ป้องกันการเกิด oxidative stress และการให้ 1-MCP ร่วมกับการให้ความร้อนยิ่งเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ NADPH oxidase ในต้นฝ้าย (Storch และ Oosterhuis, 2008) เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีความสำคัญในการเร่งการวาย และพบว่าเอทิลีนเร่งให้เกิดการตายแบบโปแกรมในเซลล์ใบยาสูบ และเอนโดสเปิมร์ของต้นข้าวสาลี โดยพบลักษณะ DNA fragmentation ชิ้นส่วนของดีเอนเอที่ถูกตัดจำเพาะขนาด 180 bp (Young and Gallie, 1999) จากการทดลองนี้เมื่อให้ความร้อนระดับที่ชักนำให้เกิดการตายแบบโปรแกรมในเซลล์พืชชนิดอื่นแก่บรอคโคลี่คือที่ระดับ 55°C 10 นาที ปรากฏว่า ไม่พบ DNA fragmentation แต่กลับพบว่าเมื่อใช้ความร้อนระดับนี้ร่วมกับการเก็บรักษาที่ 10°C กลับยืดอายุและชะลอการลดลงของคลอโรฟิลด์ของบรอคโคลี่ แต่พบการสลายตัวของดีเอนเอ DNA degradation ตั้งแต่เริ่มต้นหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากการตัดออกจากต้นแม่เร่งการวายของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (จริงแท้, 2549)