บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาคุณภาพของมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมี

5.1.1 การหายใจ

การศึกษาคุณภาพของมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีที่บรรจุในกล่องพลาสติกแบบ clamshell และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการหายใจของมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมีมีมากกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์ ซึ่งมะเขือเทศเชอรี่ทั้ง 2 วิธีการปลูกมีอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 16 และมีการหายใจเท่ากับ 35.74 และ 31.05 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งผลผลิตที่มีอัตราการหายใจสูงส่วนใหญ่จะมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผลผลิตที่มีอัตราการหายใจต่ำกว่า (Sandhya et al, 2010) ทำให้การเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมีมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์

5.1.2 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมกระบวนการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่างในผลิตผล โดยที่ปริมาณหรือความเข้มข้นของเอทิลีนที่จะกระตุ้นให้เกิดการสุกนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามอายุของผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จากผลการทดลองพบว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมี มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นสูงสุดในวันที่ 8 (154.99 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมชั่วโมง) และมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงในวันที่ 16 (236.17 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมชั่วโมง) แสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์มีการเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพช้ากว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมี ซึ่ง ในการสุกของ climacteric fruit สอดคล้องกับก๊าซเอทิลีน เมื่อผลิตผลเข้าสู่ระยะสุกจะมีการผลิตก๊าซเอทิลีนสูง หลังจากนั้นการผลิตก๊าซเอทิลีนจะลดลงเมื่อผลิตผลเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพ (McCollum et al., 1990)

5.1.3 การเปลี่ยนสี ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและปริมาณไลโคปีน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์มีค่าน้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมี สารสีที่สำคัญในมะเขือเทศที่ทำให้เห็นสีแดงในมะเขือเทศเชอรี่ ได้แก่ แคโรทีน ไลโคปีน แซนโทรฟิลล์ และคลอโรฟิลล์ ซึ่งมะเขือเทศเมื่อเริ่มสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวมีการสร้างแคโรทีนและไลโคปีนเพิ่มขึ้น (McCollum, et al., 1955) ไลโคปีนในมะเขือเทศสดเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ในมะเขือเทศสุกโดยจะมีอยู่ถึง 80-90% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด โดยไลโคปีนพบอยู่ใน chromoplasts ของเนื้อเยื่อ เมื่อมะเขือเทศสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์ในรูปสุดท้ายคือ ไลโคปีน โดยกระบวนการนี้จะเกิดหลังจากมีการเก็บรักษามะเขือเทศเอาไว้ในระยะหนึ่ง (Kirk and Tilney-Bassett, 1987) ในงานวิจัยของ Hallmann and Rembialkowska (2007) รายงานว่ามะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์มีปริมาณ ฟลาวานอยด์มากกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีในมะเขือเทศเชอรี่ตั้งแต่ระยะสุกเขียว mature-green จนกระทั่งระยะสุกแดง red-ripe มีความสัมพันธ์กับของการสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ และการสร้างไลโคปีน (Cantwell, 2000) เมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงจึงปรากฏสีของแคโรทีนอยด์ขึ้นโดยทั่วไปปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น สำหรับมะเขือเทศมีการสร้างไลโคพีนเพิ่มสูงขึ้นในระยะที่แก่จัด (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน , 2556) ซึ่งมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมีมีค่า a* มากกว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์ แสดงว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีมีความเป็นสีแดงมากว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pieper and Barrett (2008) พบว่ามะเขือเทศพันธุ์ AB2 ที่ปลูกแบบอินทรีย์นั้นมีความเป็นสีแดงน้อยกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี ซึ่งมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์มีความเป็นสีแดงน้อยกว่าประมาณ 5.1 เปอร์เซ็นต์

5.1.4 การสูญเสียน้ำหนักสด

การสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผลเกิดจากการสูญเสียน้ำ และการใช้อาหารสะสมในผลิตผล นอกจากนี้น้ำเป็นองค์ประกอบหลักของผลิตผลสดทุกชนิด และการสูญเสียน้ำออกจากตัวผลิตผลเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว (Will et al., 1987) จากการศึกษาพบว่า การสูญเสียน้ำหนักสดในมะเขือเทศเชอรี่ทั้งสองวิธีการปลูกนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในพืช เช่น ขนาดผล ลักษณะโครงสร้าง และปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

5.1.5 ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อ เป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของผลิตผลสดอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดขณะสุก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางฟิสิกส์และทางเคมีขององค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) โดยเฉพาะส่วนที่ทำหน้าที่ยึดผนังเซลล์ให้ติดกัน (middle lamella) สารพวก pectic compounds ซึ่งอยู่ใน middle lamella และ cell wall เปลี่ยนรูปจากรูปที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้โดยเอนไซม์ pectolytic enzyme ทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ และเนื้อเยื่อของผลเกิดการอ่อนตัว (Wills et al., 1998) และการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจากการทำงานของเอทิลีนด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542; Grierson et al., 1993) จากการทดลองพบว่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์และปลูกแบบเคมี มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gilsenan et al. (2011) รายงานว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมีมีความแน่นเนื้อแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อของมะเขือเทศพันธุ์ Roma และ Rutgers จะลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกเพิ่มมากขึ้น (Carrington et al., 1996) นอกจากนี้ Mitcham et al. (1989) ทำการทดลองในมะเขือเทศพันธุ์ Rutgers ในระยะ immature green ถึงระยะ red ripe พบว่า น้ำหนักแห้งของ cell wall ในแต่ละระยะการพัฒนามีค่าลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งผลสุก

5.1.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในมะเขือเทศเชอรี่เป็นตัวบ่งบอกรสชาติ เนื่องจากน้ำตาลสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงของพืช และการเกิดไฮดรอไลซิสย่อยแป้งที่เก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในการหายใจในระหว่างเก็บรักษา ซึ่งน้ำตาลที่สำคัญในมะเขือเทศได้แก่ กลูโคส และ ฟรักโตส ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โปรตีน, เพคติน, เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส มีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และมีแร่ธาตุหลัก เช่น โปแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส มีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ในน้ำมะเขือเทศมีกรดอินทรีย์ที่ละลายในน้ำได้ดี เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแอมิโน และวิตามินซี ซึ่งค่าที่วัดได้ รายงานเป็นค่ารวมของความเข้มข้นน้ำตาลทุกชนิดและกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำมะเขือเทศ (Heuvelink, 2005) ผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงจากวันแรกถึงวันที่ 8 วันหลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าคงที่จนสิ้นสุดการเก็บรักษา ส่วนมะเขือเทศเชอรี่ ปลูกแบบ

เคมีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ (วันที่ 30) ซึ่งในระหว่างการสุกเกิดการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ ไปเป็นน้ำตาล ทำให้มะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Naik et al., 1993) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ของผลที่เข้าสู่ระยะการสุก ที่เปลี่ยนจากรูปละลายน้ำไม่ได้มาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538; Dalal et al., 1965) นอกจากนี้ Heeb et al. (2006) รายงานว่าความเครียดจากสภาวะดินเค็มอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำตาลในมะเขือเทศปลูกแบบเคมีเพิ่มขึ้น เพราะมะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมีนั้นมีการเพิ่มธาตุอาหาร เช่น $Ca(NO_3)_2$, KNO3, $(NH_4)_2SO_4$, K_2SO_4, $(NH_2)_2CO$, $MgSO_4$, $(NH_4)NO_3$. ทำให้สภาพดินที่ได้รับสารอาหารจากปุ๋ยเคมีดังกล่าวมีสภาพเป็นด่างมากกว่าปุ๋ยที่ได้จากมูลวัว

5.1.7 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะเขือเทศนั้นบ่งบอกปริมาณของกรดอินทรีย์ คือ กรดซิตริก ซึ่งมีประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และกรดมาลิค ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณกรดในผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุดในขณะที่ผลเริ่มสุกเป็นสีชมพู และลดลงเมื่อผลสุกเต็มที่ (Dalal et al., 1965) ผลการทดลอง พบว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมีมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมีมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้น้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์ อาจเนื่องมาจากมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์มีการเจริญพัฒนาช้ากว่าการปลูกแบบเคมี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Toor et al. (2006) พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการให้ไนโตรเจน เช่นการปลูกแบบระบบใช้สารเคมี จะมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ต่ำกว่ามะเขือเทศที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยคอก

5.1.8 ปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมด

ปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมดในมะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมีและปลูกอินทรีย์มีแนวโน้มลดลง แต่ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์มีการลดลงน้อยกว่าการปลูกมะเขือเทศแบบเคมี และปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมดของมะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์สูงกว่าในมะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี (วันที่ 30)อ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Toor et al. (2006) พบว่าปริมาณฟี

นอลลิกทั้งหมดในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์สูงกว่าปลูกแบบเคมี และ Curis-Veyrat et al. (2004) รายงานว่าสารประกอบฟีนอล เช่น rutin และ naringenin ในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์สูงกว่าในมะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี Ickman and Barrett (2008) ได้นำมะเขือเทศจากฟาร์มของ Joe Rminger จาก 2 แหล่งปลูกในปี 2007 พบว่า ปริมาณ rutin ของมะเขือเทศอินทรีย์สูงกว่าในมะเขือเทศเคมี และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ rutin เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากการปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์จะไม่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช จึงอาจทำให้พืชเกิดสภาวะเครียดจากสิ่งมีชีวิตต่างๆ (Biotic stresses)

5.1.9 กรดแอสคอบิกและกรดดีไฮดรอแอสคอบิก

การวัดปริมาณของวิตามินซีควรวัดทั้ง 2 รูปแบบ คือ กรดแอสคอร์บิก และกรดดีไฮดรอแอสคอร์บิก เนื่องจากระบบการขจัดอนุมูลอิสระโดยใช้กรดแอสคอร์บิกซึ่งมีอยู่ในผลิตผลทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 โดยมีเอนไซม์ ascorbate peroxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้กรดดีไฮดรอแอสคอร์บิก น้ำ ขณะที่กรดดีไฮดรอแอสคอร์บิก สามารถเปลี่ยนเป็นกรดแอสคอร์บิกได้โดยเอนไซม์ dehydroascorbic acid reductase (Lee and Kader, 2000) และกรดแอสคอร์บิกจะลดลงเมื่อผลมะเขือเทศเริ่มสุก (Jimenez et al., 2002) จากผลการทดลองมะเขือเทศเชอรี่ทั้ง 2 วิธีการปลูกมีการสะสมของวิตามินซีเพิ่มขึ้นในระยะ breaker และลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะ red ripe และ over red ripe และมะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์มีวิตามินซีมากกว่าปลูกแบบเคมี (รูปที่ 4.16) Clutter et al. (1961) พบว่ามะเขือเทศที่สุกเร็วจะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลที่สุกช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเดียวกัน ดังนั้นอาจเป็นได้ว่ามะเขือเทศปลูกแบบเคมีเกิดการเสื่อมที่เร็วกว่า นอกจากนี้ในการศึกษาของ Toor et al. (2006) พบว่าปริมาณกรดแอสคอบิกในมะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์มากกว่ามะเขือเทศปลูกแบบเคมี 29 เปอร์เซ็นต์ และ Caris-Veyrat et al. (2004) พบว่ามะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์มีปริมาณกรดแอสคอบิกมากกว่ามะเขือเทศปลูกแบบเคมี 31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุของการลดลงของปริมาณกรดแอสคอบิกในมะเขือเทศปลูกแบบเคมี อาจเนื่องมาปุ๋ยไนโตรเจนทำให้จำนวนใบของต้นมะเขือเทศมีมากขึ้น ซึ่งทำให้แสงส่องไม่ถึงผล และความเข้มแสงมีผลต่อการสะสมแอสคอบิก (Dumas et al., 2003) กรดแอสคอบิกสามารถสูญเสียโมเลกุลของไฮโดรเจนได้ง่าย และจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป L-Dehydroascorbie acid (DHA) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ซึ่งในช่วงแรกของการเก็บรักษามะเขือเทศทั้งสองวิธีการปลูก กรดดีไฮดรอแอสคอบิกมีค่าลดลง และกลับเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษอาจเนื่องจากการหายใจ และความเครียดทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายต่อ

เซลล์พืช พืชจึงพยายามสร้างสภาวะสมดุลเพื่อให้กรดแอสคอบิกไปขจัดอนุมูลอิสระเพื่อลดความเป็นอันตรายของเซลล์ (Artur and Urszula, 2012)

5.1.10 ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการปลูก ได้แก่ ชนิดของปุ๋ย และวิธีการควบคุมวัชพืช สายพันธุ์ และสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและดินมีผลต่อการสะสมของโมเลกุลที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Roose et al., 2010) จากผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์มีความสามารถการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่า มะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์มีกิจกรรมน้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Albino et al., 2013) โดยอาจเกิดจากสารอาหารที่ให้กับการปลูกแบบอินทรีย์ เช่นการใส่ ปุ๋ยคอกที่มีปริมาณแร่ธาตุ ไม่พอเหมาะสมในการเพาะปลูก สำหรับผักและผลไม้ Benbrook (2009) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของสารอาหารในวิธีการปลูกแบบเคมีและปลูกแบบอินทรีย์ ระบบการปลูกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารอาหาร บอกถึงระดับ และรูปของไนโตรเจนที่ให้กับพืช การสมดุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่มีอยู่ในดิน และคุณภาพของดิน เป็นปัจจัยหลักที่บอกถึงปริมาณสารอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nascimento et al. (2013) ทำการทดลองเพิ่มปริมาณสารอาหารไนโตรเจนโดยใช้ปุ๋ยคอกให้แก่ต้นมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ มีผลทำให้ปริมาณ DPPH และปริมาณฟีนอลลิกเพิ่มขึ้น แต่กลับมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP น้อยลง อาจเนื่องมาจากการให้ปุ๋ยคอก (เพิ่มการให้ N) มากขึ้น จะไปมีผลลดการสร้างฟลาวานอยด์ ซึ่งสารฟลาวานอยด์เป็นสารเมตาบอไลน์ ทุติยภูมิ ที่จะมีการสร้างขึ้นเมื่อพืชต่อต้านการเข้าทำลาย เช่น บาดแผลจากแมลง โรค และรังสียูวีบี (Alyson et al., 2007)

5.1.11 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT)

การควบคุมปริมาณของอนุมูลอิสระภายในพืชแบ่งได้เป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ การกำจัดเอาอนุมูลอิสระและการป้องกันไม่ให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากเกินไป กลไกหลักในการกำจัดอนุมูลอิสระประกอบด้วยตัวต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เช่น กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) และแคโรทีน เป็นต้น และเอนไซม์ต้านออกซิชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์

(antioxidant enzyme) เช่น superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT) เป็นต้น ซึ่งทำงานรวมกันเป็นระบบ เรียกว่า ระบบต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant system) โดยทั้งสารและเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ทำหน้าที่ประสานกันเป็นระบบ เพื่อไม่ให้ตัวต้านออกซิเดชันกลายเป็นอนุมูลอิสระและเพิ่มจำนวนต่อไป ในพืชพบว่าอนุมูลอิสระเกี่ยวข้องกับการวายและการหลุดร่วงของใบ รวมทั้งการเสื่อมสภาพของผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว เช่น การเหี่ยวของดอกไม้ การเสื่อมสภาพของใบ การสุกของผลมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; Abeles et al., 1992; Giovannoni, 2004, 2007) โดยตลอดการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีมีกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ SOD และ CAT สูงกว่าในมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบอินทรีย์ (รูปที่ 4.18 และ 4.19) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกแบบเคมีมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเกิดขึ้นก่อน หรือ เข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพก่อนมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ ในขณะที่มะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบอินทรีย์และปลูกแบบเคมีมีกิจกรรมของเอนไซม์ APX เพิ่มขึ้น และมะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์มีกิจกรรมของเอนไซม์ APX มากกว่ามะเขือเทศเชอรี่ปลูกแบบเคมี เอนไซม์ APX ทำหน้าที่กำจัด H_2O_2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของแอสคอเบทที่มีความจำเพาะสูง เพื่อช่วยลดอันตรายที่เกิดจาก H_2O_2 (Nishikawa et al., 2002) ซึ่ง Smirnoff (1996) กล่าวว่า H_2O_2 เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจ พืชจึงพยายามที่จะกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นออกจากตัวพืชเอง โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ APX เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

5.2 ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและไลโคปีน

การศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ได้แก่ ถุง Active ethylene removing (AER) ถุง Polypropylene (PPP) เจาะรู และถุง Ethylene removing window (ERW) ต่อคุณภาพของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95±5 % พบว่าการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ในบรรจุภัณฑ์ถุง Active ethylene removing สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือมะเขือเทศเชอรี่ที่บรรจุถุง Ethylene removing window มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่บรรจุถุง PP เจาะรู 8 รู และชุดควบคุม (รูปที่ 4.29) เนื่องจากคุณสมบัติของถุง Active ethylene removing มีอัตราการการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูง 43,082±3,513 TR cc/m^2day (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ , 2553) ทำให้สามารถลดปริมาณก๊าซเอทิลีนที่สะสมภายในถุง

บรรจุมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ได้จึงส่งผลต่อการชะลอการชราภาพของพืช Dominogo et al. (2009) เก็บรักษามะเขือเทศระยะ breaker ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เก็บในห้องขนาด 120 ลิตร ที่มีเครื่องบรรจุ activated carbon 1% Pd ปริมาณ 70 กรัม และระบบโปรแกรมควบคุม (ระบบดูดซับเอทิลีน) พบว่ามีอัตราการหายใจน้อยกว่ามะเขือเทศเก็บรักษาแบบไม่มีระบบดูดซับเอทิลีน ทำให้มะเขือเทศมีการสุกช้าลงจึงส่งผลต่อปริมาณไลโคปีน เพิ่มขึ้นช้า และสภาพบรรยากาศของมะเขือเทศเชอรี่ที่บรรจุถุง Active ethylene removing เข้าสู่ภาวะสมดุลชะลออัตราการหายใจของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ (รูปที่ 4.23 และ 4.24) คือปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์แบบ Active ethylene removing และแบบถุง Ethylene removing window มีปริมาณน้อยลง และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ซึ่งปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงจนเข้าสู่ระยะสมดุลช่วยให้ยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผลิตผลสดได้ (Zagory and Kader 1988; Kuenwoo et al., 2000) นอกจากนี้ Opiyo et al. (2005) พบว่าเอทิลีนจากภายนอกทำให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ และเกิดการสะสมของเบต้าแคโรทีน และไลโคปีน ทำให้มะเขือเทศเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง เร่งให้เกิดการสุกอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ถุงฟิล์มมีคุณสมบัติเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนสูงทำให้สภาวะบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีการสะสมก๊าซเอทิลีนน้อยลง และช่วยชะลอการหายใจของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ ดังนั้นมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์บรรจุถุง Active ethylene removing จึงสามารถชะลอการสุกได้ดีที่สุด และมีความสอดคล้องกับค่าสีเปลือก พบว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่บรรจุถุง Active ethylene removing ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีแดง a* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ มะเขือเทศเชอรี่ที่บรรจุถุง Ethylene removing window ถุง PP เจาะรู และชุดควบคุม ตามลำดับ และสอดคล้องกับค่า b* คือ มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่บรรจุถุง Active ethylene removing มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงได้ช้าที่สุด และสัมพันธ์กับ ค่า Hue angle ที่ลดลงน้อย และค่า L* หรือค่าความสว่างของสี พบว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่บรรจุถุง Active ethylene removing สามารถคงความสว่างได้ดีที่สุด รองลงมาคือ มะเขือเทศเชอรี่ที่บรรจุถุง Ethylene removing window มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์เก็บรักษาในถุง PP เจาะรู และชุดควบคุม

5.2.2 การสูญเสียน้ำหนักสด

ในระหว่างการเก็บรักษามะเขือเทศจะมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการหายใจของพืช เนื่องจากผลผลิตสดยังคงมีการหายใจอยู่ตลอด ทำให้ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ลดลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ ที่มีการสร้างสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีสัดส่วนเหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลสดก็ช่วยยืด

อายุผลผลิตสดได้ นอกจากนี้ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทส่งผลต่อการแพร่ของโมเลกุลก๊าซจากผลิตผลสดด้วย เนื่องจากผลิตผลมีการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผ่านฟิล์มที่มีการเลือกผ่านของก๊าซออกสู่ภายนอก ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของความสามารถของฟิล์ม สภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability) ของฟิล์ม อัตราการหายใจของผลิตผลและสภาพแวดล้อมภายนอก (Fonseca et al., 2002; Krishi et al., 2010) และจากผลการทดลอง พบว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์บรรจุถุง Active ethylene removing และมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์บรรจุถุง Ethylene removing window มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด รองลงมาคือมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์บรรจุถุง PP เจาะรู ส่วนมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ไม่บรรจุถุงมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (รูปที่ 4.21) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pretel et al. (2000) เก็บรักษา apricots ที่ 10 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ถุงแอคทีฟที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซสูง ทำให้ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์เข้าสู่สภาวะสมดุล คือออกซิเจนในถุงลดลง และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหายใจลดลง และทำให้การผลิตเอทิลีนน้อยลงส่งผลให้ apricots มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยลง และชนิต วานิกานุกูล และคณะ (2550) รายงานว่าผลมะม่วงที่บรรจุในภาชนะที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูงสามารถสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (EMA) ช่วยชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการใช้ภาชนะบรรจุชนิด LDPE นอกจากนี้ Fishman et al. (1996) รายงานว่าถุงฟิล์มที่เจาะ รูมีปริมาณอากาศภายนอกผ่านเข้าออกได้มากกว่าฟิล์มที่ไม่มีรูเจาะ ทำให้น้ำในผลิตผลแพร่ออกมาสู่อากาศภายนอกได้มากขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซที่ต่างกันระหว่างภายในผลิตผลสดกับบรรยากาศภายนอก (Saltveit, 2001) ทำให้มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำไปสู่บรรยากาศภายนอก จึงมีการคายน้ำออกไปจากผลมะเขือเทศเชอรี่ได้มากขึ้น

5.2.3 ความแน่นเนื้อ

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ทุกชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถุง Active ethylene removing สามารถคงความแน่นเนื้อของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ในถุง Ethylene removing window ถุง PP เจาะรู ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อนี้เป็นผลมาจากการทำงานของเอทิลีน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542; Grierson et al., 1993) บรรจุภัณฑ์ถุงชนิดแอคทีฟที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซสูง สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนที่แพร่ออกมาจากผลผลิตสดด้วยคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนของถุง Active ethylene removing จึงทำให้การสะสมเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์น้อยลงและสามารถ รักษาความแน่นเนื้อของมะเขือเทศได้ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลสดในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ MAP สามารถรักษา

คุณภาพความแน่นเนื้อของมะเขือเทศได้ (Pretel et al., 2000) และสอดคล้องกับงานทดลองของ Gil et al. (2002) ได้ทำการบรรจุมะเขือเทศตัดแต่งในถุงที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซระดับกลางร่วมกับการใช้แผ่นดูดซับก๊าซเอทิลีนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถคงความแน่นเนื้อได้ดีกว่ามะเขือเทศตัดแต่งที่บรรจุถุงที่มีรูเจาะ ดังนั้นคุณสมบัติของถุงฟิล์ม Active ethylene removing และ Ethylene removing window สามารถเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนได้สูงกว่าถุงชนิดอื่นทำให้บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์น้อยลงเมื่อเทียบกับถุง PP เจาะรู และชุดควบคุม จึงทำให้ไม่เกิดการเร่งการสุกจากก๊าซเอทิลีนจากภายนอกทำให้มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์คงความแน่นเนื้อได้ดีเมื่อเก็บรักษาในถุง Active ethylene removing และ Ethylene removing window

5.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็นปริมาณน้ำตาลและแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ที่มีในผักและผลไม้ เป็นตัวชี้วัดความหวานในผลไม้ ซึ่งมีน้ำตาลประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Heuvelink, 2005) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลไม้มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุก เนื่องจากการถูกย่อยสลายโพลีแซคคาไลน์ เพื่อที่จะได้โมเลกุลน้ำตาลซึ่งทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (Naik et al., 1993) ผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ทุกชุดการทดลองปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาและไม่มีความแตกต่างทางสถิติตลอดระยะการเก็บรักษา สอดคล้องกับผลการทดลองของ Maedeh et al. (2012) เก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม PVC ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา

5.2.5 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่บรรจุในแต่ละชนิดบรรจุภัณฑ์ มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่10 และลดลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สอดคล้องกับ Maedeh et al. (2012) เก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม PVC ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีค่าลดลงในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและลดลง ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์มีผลต่อรสชาติมากกว่าปริมาณน้ำตาลที่มีในแต่ละพันธุ์ในมะเขือเทศ

โดยปริมาณกรดในผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุดในขณะที่ผลเริ่มสุกเป็นสีชมพู และลดลงเมื่อผลสุกเต็มที่ (กมลา มะโรหบุตร , 2545) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระหว่างการสุกของมะเขือเทศ พบว่ามีปริมาณกรดซิตริกเพิ่มขึ้น และกรดมาลิคลดลง บ่งบอกว่ามีการเปลี่ยนแปลงเมทาบอลิซึมของซิเตรท (Sánchez-Moreno et al., 2006)

5.2.6 กรดแอสคอบิก

ในระหว่างการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ พบว่ามะเขือเทศที่บรรจุถุง Active ethylene removing สามารถชะลอการสุกของมะเขือเทศได้และมีปริมาณวิตามินซีสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รองลงมาคือ Ethylene removing window ถุง PP เจาะรู และชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Manta et al. (2009) ทดลองเก็บรักษา grape tomato พันธุ์ merot ในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่มี % O_2 และ % CO_2 4 แบบ ดังนี้ [3+7], [3+12], [3+18], [10+12] ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศพันธุ์ merot ในสภาพดัดแปลงบรรยากาศทั้ง 4 แบบสามารถคงคุณค่าวิตามินซีไว้ได้ตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้มะเขือเทศ grape เก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิกน้อยมากเมื่อเทียบกับมะเขือเทศ grape ที่ไม่ได้เก็บในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Toor และ Savage, 2006) กิติพงศ์ อัศตรกุล (2549) เก็บรักษามะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อที่ระยะ mature green บรรจุถุงแอคทีฟรุ่น 15-2 ชื่อทางการค้าคือ FRESHPAC^{TM} กับการปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ที่มี CO_2 5% O_2 5% และ N_2 90% ร่วมกับการใช้เมทิลจัสโมเนต เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถชะลอการสุกของมะเขือเทศได้ดีมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และมีปริมาณวิตามินซีสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เพราะการเก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการสร้างสภาวะบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงและมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลมะเขือเทศ (Leshuk and Saltveit, 1990; Sargent and Moretti, 2004)

5.2.7 ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการทดลอง พบว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชนิดบรรจุภัณฑ์ โดยมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากสุดคือ มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์บรรจุถุง Active ethylene

removing รองมาคือ Ethylene removing window ถุง PP เจาะรู 8 รู และชุดควบคุม (รูปที่ 4.35) ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองของ Liu et al. (2011) รายงานว่ามะเขือเทศเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงในช่วงที่มะเขือเทศเข้าสู่ระยะผลส้มแดง และมีค่าลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะสุกแดง และ Ale-jandra et al. (2009) เก็บรักษามะเขือเทศด้วยถุงแอคทีฟที่มีคุณสมบัติการเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนทำให้บรรยากาศภายบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าสภาพบรรยากาศนอกถุง และช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่มีอยู่นอกถุงกับผลมะเขือเทศ ซึ่งมีผลต่อการลดลงของกรดแอสคอบิก นอกจากนี้ Vunnam et al. (2012) เก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุถุงแอคทีฟที่มีมีคุณสมบัติการเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนสามารถชะลอการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระเช่น กรดแอสคอบิก เป็นต้น ดังนั้นการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ในถุง Active ethylene removing จึงทำให้มะเขือเทศอินทรีย์ มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

5.3 ผลของการฉายรังสี UV-B ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ในระหว่างการวางจำหน่าย

5.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และไลโคปีน

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ ระยะ breaker stage ฉายรังสี UV-B ที่ปริมาณ 0 5 15 และ 30 กิโลจูล ก่อนบรรจุถุง active ethylene removing เปรียบเทียบกับมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ไม่ได้ฉายรังสี UV-B แล้วไม่บรรจุถุง (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95±5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการฉายรังสี UV-B มีผลช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และไลโคปีน จากรายงานของ Calvenzani et al. (2010) และ Giuntini et al. (2005) พบว่าการฉายรังสี UV-B มีผลชัดเจนต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ไลโคปีน และ ฟลาโวนอยด์ คือมีการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้เพิ่มขึ้น แต่การใช้รังสี UV-B เพื่อการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของรังสี และความคงทนของพืชแต่ละชนิด โดยผลที่เกิดขึ้นต่อผักผลไม้ที่ฉายรัง สี UV-B จะมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ และสารป้องกันตัวเองจากรังสี UV (Jansen et al., 2008) นอกจากนี้การฉายรังสี UV-B ที่ปริมาณเหมาะสมกับผลมะเขือเทศนั้นสามารถชะลอการสะสมปริมาณไลโคปีนได้ (Liu et al., 2011) และการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะเขือเทศจะเกิดขึ้นจากการที่มะเขือเทศเข้าสู่ระยะการสุก Fraser et al. (1994) พบการเพิ่มขึ้นของ total carotenoid ในมะเขือเทศ

พันธุ์ Ailsa Craig ในระหว่างระยะการเจริญพัฒนาของผล โดยมีไลโคปีน และ เบต้า-แคโรทีนเป็นหลัก และพบว่ามีการสะสมปริมาณสูงสุดที่ผลระยะ red ripe ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลง จากผลการทดลองปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมะเขือเทศเชอรี่ชุดควบคุม มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด เนื่องจากผลมะเขือเทศเชอรี่นั้นมีการสุกมากกว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่บรรจุถุง active ethylene removing โดยเฉพาะมะเขือเทศเชอรี่ที่ฉายรังสี UV-B พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดค่อนข้างน้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ไม่ฉายรังสีและไม่เก็บรักษาในถุงบรรจุภัณฑ์ active ethylene removing สอดคล้องกับ Vunnam et al. (2012) เก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ ที่ฉายรังสี UV-C ปริมาณ 3.7 กิโลจูลต่อตารางเมตรในถุงแอคทีฟที่มีคุณสมบัติเลือกผ่านของก๊าซ (PEAK*fresh*®) แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ามะเขือเทศชุดควบคุม (มะเขือเทศที่ไม่ได้ฉายรัง สีและแล้วไม่ได้บรรจุถุงแอคทีฟ) มีอัตราการหายใจสูงกว่ามะเขือเทศที่ฉายรังสีแล้วเก็บรักษาในถุงแอคทีฟ PEAK*fresh*® ส่วนมะเขือเทศที่ฉายรังสีแต่ไม่ได้เก็บรักษาในถุงแอคทีฟมีอัตราการหายใจสูงที่สุด เนื่องจากมะเขือเทศภายหลังการฉายรังสีมีการหายใจสูงขึ้น ทำให้มะเขือเทศสุกเร็วขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีผิวสัมพันธ์กับแคโรทีนอยด์ และปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับค่า a* เพิ่มขึ้นระหว่างการสุกมีผลมาจากการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีน (Wilson, 1995; Maharaj et al., 1999; Arias et al., 2000; Erkan et al., 2001; Allende and Artés, 2003) ถุงแอคทีฟ ที่มีสภาพบรรยากาศภายในมีออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในบรรจุภัณฑ์ทำให้มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง (Klieber et al., 1996; Alejandra et al., 2009) ทำให้มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ฉายรังสี UV-B และเก็บรักษาในถุงแอคทีฟสามารถรักษาปริมาณแคโรทีนอยด์ และไลโคปีนได้นานขึ้น

5.3.2 การเปลี่ยนแปลงสี

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ฉายรังสี UV-B ที่ปริมาณ 30 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีแดงน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า a* น้อย และค่า Hue angle มาก สอดคล้องกับงานของ Lui et al. (2011) ที่ฉายรังสี UV-B ในมะเขือเทศพันธุ์ Zhenfe 202 ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 กิโลจูลต่อตารางเมตร ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ และมีความสัมพันธ์กับการสะสมปริมาณไลโคปีน โดยมะเขือเทศที่ฉายรังที่ UV-B ที่ปริมาณ 20 และ 40 กิโลจูลต่อตารางเมตรมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีแดงน้อยที่สุด และงานวิจัยของ Vunnam et al. (2012) พบว่ามะเขือเทศเชอรี่ฉายรังสี UV-C แล้วเก็บ

รักษาในถุงแอคทีฟ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ามะเขือเทศที่ไม่ฉายรังสี และมะเขือเทศเก็บรักษาในถุงเจาะรู

5.3.3 การสูญเสียน้ำหนักสด

การฉายรังสี UV-B ปริมาณต่างๆ ไม่ได้มีผลทำให้มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์เกิดการสูญเสียน้ำหนักสดแตกต่างกัน (รูปที่ 4.36) แต่มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ไม่บรรจุถุง (ชุดควบคุม) เกิดการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ามะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ ที่บรรจุถุง ภายหลังจากการฉายรังสี UV-B ที่ปริมาณต่างๆ เมื่อนำมะเขือเทศไปบรรจุถุง Active ethylene removing พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดน้อยมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vunnam et al. (2012) ทำการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่หลังจากฉายรังสี UV-C ในถุงแอคทีฟที่มีคุณสมบัติเลือกผ่านของก๊าซ (PEAK*fresh*®) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นและออกซิเจนลดลง สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดได้ดี

5.3.4 ความแน่นเนื้อ

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ฉายรังสี UV-B ปริมาณ 30 กิโลจูลต่อตารางเมตร แล้วเก็บรักษาในถุง active ethylene removing สามารถคงความแน่นเนื้อได้ดีตลอดการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อที่ลดลงสัมพันธ์กับปริมาณอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของเซลล์พืช (Leshem et al., 1986) และมีผลต่อผนังเซลล์ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์ เช่น polygalacturonase, pectin methyl esterase, cellulose, xylanase, β-D-galactosidase และ protease มีกิจกรรมลดลงในมะเขือเทศที่ฉายรังสี (Barja et al., 2000) นอกจากนี้ความแน่นเนื้อยังสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักสด และ อัตราการหายใจ โดยการใช้สภาพดัดแปลงบรรยากาศร่วมกับการฉายรังสี UV-B ในมะเขือเทศทำให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น สภาวะดังกล่าวสามารถรักษาความแน่นเนื้อมากกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้บรรจุถุง (Vunnam et al., 2012)

5.3.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ฉายรังสี UV-B ปริมาณ 30 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็ง

ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 20) Vannam et al. (2012) นำมะเขือเทศไปฉายรังสี UV-C แล้วเก็บรักษาในถุงแอคทีฟ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ามะเขือเทศฉายรังสี UV-C เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้เก็บรักษาในถุงแอคทีฟ มี ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยกว่ามะเขือเทศเชอรี่ที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สัมพันธ์กับกรดอินทรีย์ และการที่มีปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้นในสภาพดัดแปลงบรรยากาศทำให้ชะลอการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะเขือเทศเชอรี่ระหว่างการเก็บรักษา (Akbudak et al., 2006)

5.3.6 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ของมะเขือเทศ ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาแล้วจึงลดลงจนวันสุดท้าย และมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ฉายรังสี UV-B ปริมาณ 15 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีการลดลงของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้น้อยที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 20) มีความแตกต่างทางสถิติกับมะเขือเทศเชอรี่ที่ไม่ฉายรังสี UV-B การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการสุกของมะเขือเทศนั้น จะมีกรดซิตริกเพิ่มขึ้น (Moreno et al., 2006) แต่ในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้ กรดซิตริกจะมีปริมาณกรดลดลง (Bhatnagar et al. 2006) จากการทดลองพบว่าการฉายรังสี UV-B แก่มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ร่วมกับการเก็บรักษาในถุง Active ethylene removing ช่วยชะลอการลดลงของกรดซิตริกได้ สอดคล้องกับ Cote et al. (2013) ทำการฉายรังสี UV-C แก่มะเขือเทศระยะ breaker พบว่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีค่าลดลงน้อยกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้ฉายรังสี UV-C (ชุดควบคุม)

5.3.7 กรดแอสคอบิกและกรดดีไฮดรอแอสคอบิก

มะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ฉายรังสี UV-B ในระหว่างการเก็บรักษามีค่า ascorbic acid เพิ่มขึ้นมากกว่ามะเขือเทศชุดควบคุมและมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lui and Han (2011) พบว่า มะเขือเทศระยะสุกแก่ที่ฉายรังสี UV-B แล้วนำเก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น และ เนื่องจากมะเขือเทศที่มีการฉายรังสี มี กิจกรรมเอนไซม์ ascorbate oxidase ที่ไปย่อย ascorbic acid ลดลง (Barka, 2000) และการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลง

บรรยากาศ ที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ ช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจึงช่วยชะลอการลดลงของ ascorbic acid (Alejandra et al., 2009)

5.3.8 ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มเล็กน้อยและค่อยๆ ลดลง และมะเขือเทศเชอรี่อินทรีย์ที่ฉายรังสี UV-B ปริมาณ 5 กับ 15 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าชุดการทดลองอื่นในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา และมีการลดลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่4.46) ในมะเขือเทศมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายน้ำได้ มีอยู่ประมาณ 92% ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมันมีเพียง 8 % ส่วนใหญ่คือ ไลโคปีน และ ฟีนอล (Toor and Savage, 2005) จากงานวิจัยของ Lui et al. (2011) พบว่าการฉายรังสี UV-B ทำให้มะเขือเทศมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถละลายน้ำได้ เพิ่มขึ้น นอกจาก นี้จากผลการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assay มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เล็กน้อยแล้วจึงมีแนวโน้มลดลงและมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา แล้วกลับมามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง (รูปที่ 4.47) โดยชุดการทดลอง ที่ฉายรังสี UV-B ปริมาณ 15 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีค่ามากที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา จากงานวิจัยของ Vunnam et al. (2012)–รังสี UV มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟีนอลิกในเขือเทศ เนื่องจากรังสี UV มีการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ในมะเขือเทศสุกทำให้ cell mambrane มีระดับการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation เพิ่มขึ้น Barka et al. (2000) และหลังจากฉายรังสี UV ไปแล้ว 5 วันพบว่ามีการลดลงของระดับการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และต่ำกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้ฉายรังสี UV อาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการต่อต้านการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยา lipid peroxidation เพราะรังสี UV มีผลให้เกิดอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วจากปฏิกิริยาจากการสังเคราะห์แสง พืชจึงถูกกระตุ้นให้เกิดกระบวนการป้องกันตัวเองจากปฏิกิริยา Oxidation (Shama and Alderson, 2005) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าลดลง ในระหว่างการเก็บรักษามะเขือเทศ และสารต้านอนุมูลอิสระที่แบบไม่ใช่เอนไซม์ เช่น กรดแอสคอร์บิก มีปริมาณลดลงรวดเร็ว (Srilaong and Tatsumi 2003) ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาพบว่ามะเขือเทศที่ฉายรังสีแล้วเก็บรักษาในถุง active ethylene removing มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FARP สูงกว่าชุดควบคุม สัมพันธ์ทางสถิติ ในมะเขือเทศที่ฉายรังสียูวี มีการลดลงของ ascorbate oxiase ทำให้มีการลดลงของ กรดแอสคอบิก (Barka, 2001). และ

มะเขือเทศที่ฉายรังสี UV-B ที่ความเข้มข้น 15 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลสูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติ อาจเป็นเพราะ การฉายรังสียูวีซีที่ความเข้มข้นเหมาะสมทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบบรยากาศ ช่วยให้คงค่าสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้ซึ่งน่าจะสัมพันธ์กับปริมาณกรดแอสคอร์บิก การฉายรังสี UV-B มีผลกระทบเชิงบวกต่อ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Alejandra et al. 2009) สอดคล้องกับ Hagen et al (2007) ที่พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในเปลือกของแอปเปิ้ล ที่ฉายรังสียูวีบี เปรียบเทียบกับผลแอปเปิ้ลที่ไม่ฉายรังสียูวีบี