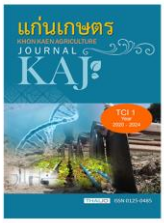
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



คุณภาพผลและสารแคโรทีนอยด์ในผลของมะเขือเทศเชอร์รี (*Solanum lycopersicum*) ที่ผลิตภายใต้โรงงานผลิตพืช

Fruit quality and carotenoids in fruits of cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) grown under plant factory

นคิรนทร์ จี้อาทิตย์[1]*, จันทร์สุดา โหมดนอก[1], สังคม เตชะวงค์เสถียร[2], ชานนท์ ลาภจิตร[2] และ สุชีลา เตชะวงค์เสถียร[2]

Nakarin Jeeatid[1]*, Junsuda Modnok[1], Sungcom Techawongstien[2], Chanon Lapjit[2] and Suchila Techawongstien[2]

[1] *ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200*
[1] *Department of Plant Science and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200*
[2] *สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002*
[2] *Section of Horticulture, Faculty* of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

บทคัดย่อ: ภาวะโลกร้อนส่งต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ผลิตในสภาพแปลงเปิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเขือเทศ ซึ่งเป็นพืชที่อ่อนแอต่อสภาพแวดล้อมดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพืชในระบบโรงงานผลิตพืชเพื่อลดปัญหาสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมในการผลิตพืช อย่างไรก็ตามยังขาดข้อมูลการจัดการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในโรงงานผลิตพืชสำหรับมะเขือเทศเชอร์รี การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาพแวดล้อมในโรงงานผลิตพืชต่อคุณภาพผลและสารแคโรทีนอยด์ของมะเขือเทศเชอร์รี (*Solanum lycopersicum*) เปรียบเทียบกับแปลงเปิดและในโรงเรือนผลิตพืช โดยปลูกทดสอบมะเขือเทศเชอร์รีจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ G1, G2 และพันธุ์นิลมณี (G3) ใน 4 สภาพแวดล้อม ได้แก่ สภาพแปลงปลูก (E1) สภาพโรงเรือนที่มีการพรางแสง 50% (E2) ในโรงงานผลิตพืชแบบตู้คอนเทนเนอร์ (อุณหภูมิประมาณ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และให้ช่วงแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน) ที่มีความยาวคลื่นแสงจากหลอด LEDs ต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ แสงสีแดง:น้ำเงินแสง:ขาว (1:1:0.5) ที่มีความเข้มแสง 323 µmol/m^2/s (E3) และแสงสีแดง:น้ำเงิน (1:1) ที่มีความเข้มแสง 229 µmol/m^2/s (E4) แต่ละสภาพแวดล้อมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการบันทึกข้อมูลคุณภาพผลและสารแคโรทีนอยด์ในผล จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) จากการศึกษาพบว่า ต้นมะเขือเทศพันธุ์ G1 และ G3 ที่ปลูกในสภาพ E1 และ E2 ให้น้ำหนักและขนาดผลมากกว่าที่ปลูกในสภาพ E3 และ E4 ขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลของมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพ E3 และ E4 มีค่าสูงกว่าที่ปลูกในสภาพ E1 และ E2 สภาพแวดล้อมในการปลูกที่แตกต่างกันยังมีผลต่อปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในผลมะเขือเทศเชอร์รี โดยพันธุ์ G2 และ G3 ซึ่งมีปริมาณสารทั้งสองสูงกว่าพันธุ์ G1 มีการสะสมปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในผลมากที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E3 แต่ไม่มีผลต่อมะเขือเทศพันธุ์ G1 จากการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมในโรงงานผลิตพืชสามารถเพิ่มปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ ปริมาณไลโคพีน และเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศเชอร์รีบางพันธุ์ได้

คำสำคัญ: ไดโอดเปล่งแสง; โรงเรือนปลูกพืช; ไลโคพีน; เบต้าแคโรทีน

* Corresponding author: njeeatid@gmail.com, nakarin.j@cmu.ac.th

Received: date; June 22, 2020 Accepted: date; October 19, 2020 Published: date; June 5, 2021

ABSTRACT: According to global warming has affected yield and quality of cultivated plants under open-field, especially tomatoes which are susceptible to environmental stresses. Recently, plant factory has been developed to solve the problem concerning poor plant growing environment. However, information about appropriate growing condition management for cherry tomato under plant factory is limited. Thus, this study was to investigate the effect of plant factory environment on fruit quality and carotenoids in fruit of cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) compared to open field and greenhouse conditions. Three cherry tomato varieties, i.e., G1, G2 and Nil Manee (G3) were grown in four growing environments: open-field (E1), greenhouse with 50% shading (E2). Under plant factory system (relative humidity 70 %, 25±2 ℃, 12-h photoperiod), three cherry tomato were subjected to different LED wavelengths, i.e., LED ratios red: blue: white (1:1:0.5) (E3) with photosynthetic photon flux densities (PPFD) 323 μmol/m^2/s (E3) and red: blue (1:1) with PPFD 229 μmol/m^2/s (E4). A complete randomized design with three replications was used in each environment. Fruit quality and carotenoid contents were measured. Combined analysis of variance was performed and the Least Significant Difference (LSD)was used to compare mean differences. The result found that G1 and G3 plants grown under E1 and E2 conditions had higher fruit weight and larger size than those plants grown under E3 and E4. In general, cherry tomato fruit under plant factory produced higher titratable acid than that under E1 and E2 conditions. Moreover, the different growing environments had affected lycopene and beta-carotene contents in cherry tomato fruits. G2 and G3 varieties which contained lycopene and β-carotene contents more than G1 variety produced the highest both phytochemical under E3, but G1 fruits was not affected by those environments. This study reveals that plant factory growing environment could increase titratable acid lycopene and β-carotene contents in some, but not all, cherry tomato varieties.
Keywords: Light emitting diode; greenhouse; lycopene; β-carotene

บทนำ

มะเขือเทศเชอร์รี (*Solanum lycopersicum*) เป็นพืชผักที่ใช้รับประทานผล ผลสุกมีขนาดเล็ก รสชาติหวาน กรอบ นิยมบริโภคสดเหมือนผลไม้หรือสามารถรับประทานร่วมกับสลัด อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ เช่น แคโรทีนอยด์ วิตามินซี โดยไลโคพีนจัดเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหลักโดยคิดเป็น 80% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Nguyen and Schwartz, 1999) จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ความนิยมรับประทานมะเขือเทศเชอร์รีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการผลิตมะเขือเทศในสภาพแปลงเปิดมีปัญหาหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นโรค แมลง รวมทั้งสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง และสภาวะแล้ง เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศเชอร์รีลดลง (Camejo et al., 2006; Kenyon et al., 2014; Lahoz et al., 2016)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการผลิตพืชด้วยระบบโรงงานผลิตพืช (plant factory) ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ได้ เช่น แสง อุณหภูมิ การหมุนเวียนอากาศ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยมีรายงานว่า การผลิตผักสดด้วยระบบ โรงงานผลิตพืชสามารถเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ได้มากกว่า 100 เท่าเมื่อเทียบกับการผลิตในสภาพแปลง (Bantis et al., 2018 อ้างอิงจาก Kozai et al., 2015) โดยแสงเป็นปัจจัยสำคัญของการผลิตพืชในระบบโรงงานผลิตพืช เนื่องจากระบบดังกล่าวเป็นระบบปิด ทำให้ไม่ได้รับแสงจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นการใช้แสงเทียมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิตพืชในระบบโรงงานผลิตพืช จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode; LED) ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการผลิตพืชทั้งในสภาพเปิดและสภาพปิด โดยแสงจากหลอด LED มีประสิทธิภาพมากกว่าแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดนีออน (high pressure sodium; HPS) โดยหลอด LED มีคุณสมบัติใช้ไฟฟ้าน้อย สามารถกำหนดความเข้มและช่วงคลื่นแสงที่ต้องการได้ อีกทั้งยังปลดปล่อยความร้อนได้น้อย ปัจจุบันมีการนำหลอด LED มาใช้ในการผลิตมะเขือเทศในโรงเรือน เพื่อเพิ่มความเข้มแสงในสภาพโรงเรือน (Matsuda et al., 2016) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การเพิ่มแสง LED สีน้ำเงิน (430 นาโนเมตร) และสีแดง (660 นาโนเมตร) ที่มีความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s ในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. สามารถเพิ่มปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศได้เมื่อเทียบกับการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติเท่านั้น (Xie et al., 2019) อีกทั้งยังมีรายงานว่า แสง LED อัตราส่วนแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินอัตราส่วน 2:1 สามารถเพิ่มปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศได้ เมื่อเทียบอัตราส่วนแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินอัตราส่วน 1:1, 4:1 และ 8:1 (Xie et al., 2016) เนื่องจากเซลล์รับแสงสีแดง เป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการสร้างสารไลโคพีนในมะเขือเทศ (Weller et

al., 2000) ทำงานได้ดีในสภาพที่มีแสงสีแดง อีกทั้งอุณหภูมิในการปลูกยังส่งผลต่อคุณภาพผลของมะเขือเทศ โดยอุณหภูมิในช่วง 25-30 องศาเซลเซียสส่งผลให้มะเขือเทศมีคุณภาพและสารสำคัญสูง (Camejo et al., 2005; Dumas et al., 2003) แต่การผลิตมะเขือเทศในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้คุณภาพและสารสำคัญในผลลดลง (Tinyane et al., 2013; Riga et al., 2008) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในการผลิตมะเขือเทศเชอร์รีภายใต้ระบบโรงงานผลิตพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพผลและสารแคโรทีนอยด์ในผลของมะเขือเทศเชอร์รีที่ผลิตภายใต้โรงงานผลิตพืช

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลองในฤดูแล้งระหว่างเดือนตุลาคม 2561 – มีนาคม 2562 ณ สาขาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น งานทดลองนี้ปลูกทดสอบมะเขือเทศเชอร์รีจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ G1, G2 และพันธุ์นิลมณี (G3) โดยพันธุ์ G1 มีการเจริญเติบโตแบบกึ่งเลื้อย ผลทรงรี ผลสุกสีเหลือง พันธุ์ G2 มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อย ผลทรงกลม ผลสุกสีชมพู และพันธุ์นิลมณี (G3) มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อย ผลทรงรี มีผลสุกสีน้ำตาล โดยนำมะเขือเทศทั้ง 3 พันธุ์ไปปลูกใน 4 สภาพแวดล้อม ได้แก่ การปลูกภายใต้สภาพแปลงปลูก (E1) การปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนที่มีการพรางแสง 50% (E2) การปลูกในสภาพปิดภายในตู้คอนเทนเนอร์ มีการควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และให้ช่วงแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน และให้แสงแตกต่างกัน ได้แก่ แสงแอลอีดีอัตราส่วน สีแดง:สีน้ำเงิน:สีขาว (1:1:0.5) (E3) และแสงแอลอีดีอัตราส่วน สีแดง:สีน้ำเงิน (1:1) (E4) แต่ละสภาพแวดล้อมมีการให้น้ำในระดับความจุสนามให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและให้ธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นตามวิธีการดัดแปลงจาก Pattricia, (1999) และแต่ละสภาพแวดล้อมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ

บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่อง data logger (LogTag HAXO-8, LogTag Recorders Limited, New Zealand) ความเข้มแสงของแต่ละความยาวคลื่น วัดโดยเครื่องมือ OHSP-350P Handheld Spectrum Color Meter โดยบันทึกช่วงเวลา 11.00-13.00 น. ที่มีความเข้มแสงสูงที่สุดของวัน เมื่อผลสุก (45 วันหลังดอกบาน) ทำการเก็บเกี่ยวและบันทึกข้อมูลน้ำหนักผลด้วยเครื่องชั่ง ทศนิยมสองตำแหน่ง บันทึกข้อมูลความกว้างผลและความยาวผลด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และบันทึกข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง digital refractometer (PAL-1, ATAGO USA, Inc., Bellevue, WA) วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) โดยนำเนื้อผลที่ปั่นละเอียด 10 กรัม เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) จนสารละลายมีค่าเท่ากับ 8.2 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน ดัดแปลงจาก Gautier et al. (2008) และ Kubola and Siriamornpun (2011) โดยชั่งมะเขือเทศปั่น 1.5 กรัม เติมตัวทำละลาย (hexane/acetone/ethanol อัตราส่วน 2:1:1) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เติมสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (BHT: butylated hydroxytoluene) ผสมโดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8-10 นาที ดูดแยกสารละลายส่วนที่อยู่บนสุด 0.3 มิลลิลิตร มาเจือจาง โดยเติมเฮกเซน 2.7 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 449 นาโนเมตร สำหรับวัดเบต้าแคโรทีน และ 472 นาโนเมตร สำหรับวัดไลโคพีน และนำไปคำนวณหาค่าปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนตามกราฟมาตรฐาน

วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของทุกลักษณะที่ศึกษาเพื่อใช้ในการประเมินความแตกต่างของพันธุ์ สภาพแวดล้อมและปฏิสัมพันธ์ของพันธุ์และสภาพแวดล้อม (Gomez and Gomez, 1984) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาพบว่า สภาพแวดล้อมภายใต้สภาพ E1 มีความเข้มแสง (photosynthetic photon flux densities; PPFD) ของความยาวคลื่นแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง (photosynthetically active radiation) สูงที่สุด (1,662 μmol/m^2/s) (**Table 1**) รองลงมาได้แก่ สภาพ E2 (598 μmol/m^2/s) และการปลูกในระบบโรงงานผลิตพืชแบบ E3 (323 μmol/m^2/s) ตามลำดับ ส่วนการปลูกในระบบโรงงานผลิตพืชแบบ E4 มีค่า PPFD ต่ำที่สุด (229 μmol/m^2/s) และเมื่อแบ่งตามคุณภาพแสงพบว่า E1 มีค่า PPFD ของ

แสงทุกสีสูงที่สุด ซึ่งมีค่ามากกว่า E2 ประมาณสามเท่า ขณะที่ E3 มีค่า PPFD สีน้ำเงิน (161 μmol/m^2/s) และสีแดง (154 μmol/m^2/s) ใกล้เคียงกับ E2 ที่มีค่า PPFD สีน้ำเงินและสีแดง เท่ากับ 153 และ 233 μmol/m^2/s ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม E3 และ E4 มีค่า PPFD ของแสง UV และ แสง far-red ต่ำ เมื่อเทียบกับ E1 และ E2 อีกทั้งจากข้อมูลสภาพอากาศพบว่า E1 และ E2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 40 องศาเซลเซียส (**Figure 1A**) และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่ E3 และ E4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25 องศาเซลเซียส ส่วนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์พบว่า E1 และ E2 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 63% ส่วน E3 และ E4 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73% (**Figure 1B**)

Table 1 Photosynthetic photon flux densities (PPFD) and spectral distribution of lights in the open field (E1), in a greenhouse with 50% shading (E2) and in container plant factory with different light spectral ratios from LEDs (E3 and E4)

Light treatments	PPFD (μmol/m^2/s)	UV (<400 nm)	Blue (401-500 nm)	Green (501-600 nm)	Red (601-700 nm)	Far red (>701 nm)
E1	1,662.4±6.6	93.1±4.3	437.4±5.9	590.0±3.2	635.0±8.3	592.4±7.3
E2	598.6±27.4	29.8±1.0	153.0±5.1	211.8±9.7	233.8±12.7	227.3±13.6
E3	323.1±6.6	0.4±0.1	161.4±2.0	7.2±0.2	154.4±4.6	1.1±0.4
E4	229.9±6.3	0.4±0.1	119.7±5.8	4.2±0.4	105.5±2.4	0.6±0.1

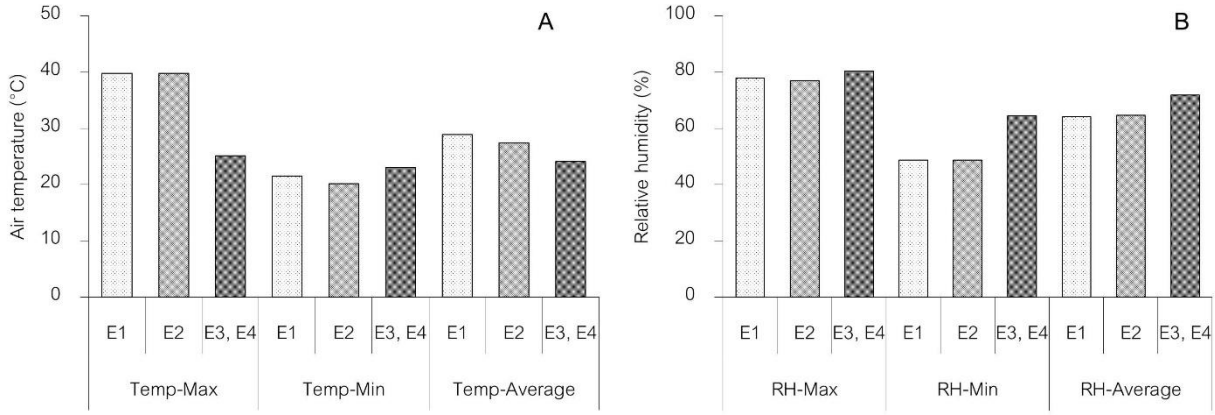


Figure 1 Air temperature (A) and relative humidity (B) under the open field (E1), in a greenhouse with 50% shading (E2) and in container plant factory with different light spectral ratios from LEDs (E3 and E4)

จากการศึกษาพบว่า อิทธิพลของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาพแวดล้อมมีผลต่อทุกลักษณะที่ศึกษา (**Table 2**) น้ำหนักผลของมะเขือเทศทั้งสามพันธุ์ ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในการปลูกไปในทิศทางเดียวกัน โดยมะเขือเทศมีน้ำหนักผลมากที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E1 และมีน้ำหนักผลลดลงเมื่อปลูกในสภาพ E2, E3 และ E4 ตามลำดับ (**Table 3**) อีกทั้งขนาดผลของพันธุ์ G1 มีความกว้างและยาวผลสูงที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E1 ส่วนพันธุ์ G2 และ G3 ที่ปลูกในสภาพ E1 มีความกว้างและยาวผลสูงกว่าต้นที่ปลูกในสภาพ E3 และ E4 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับต้นที่ปลูกในสภาพ E2 จากการตอบสนองของน้ำหนักผลต่อสภาพแวดล้อมในการปลูกดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของขนาดผล เมื่อน้ำหนักผลมีการลดลง ทำให้ขนาดผลมีขนาดเล็กลงด้วย (Jeeatid et al., 2017) นอกจากนั้นความเข้มแสงที่ต้นมะเขือเทศได้รับในช่วงการออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวมีผลต่อน้ำหนักและขนาดผล (Bertin et al., 2000; Xu et al., 2012) โดยในสภาพ E2, E3 และ E4 (598, 323 และ 229 μmol/m^2/s ตามลำดับ) มีค่าความเข้มแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ต่ำกว่า E1 มี (1,600 μmol/m^2/s) โดยในสภาพปลูกที่มีความเข้มแสง

ลดลงส่งผลให้มีการสะสมสารอาหารในต้นน้อย จึงทำให้น้ำหนักและขนาดผลลดลง (Tinyane et al., 2013) อีกทั้งยังมีรายงานว่าความเข้มแสงที่แตกต่างกันมีผลต่อขนาดผลมากกว่าอุณหภูมิในการปลูก (Gent, 2007)

Table 2 Combined analysis of variance for fruit size, total soluble solid, titratable acid, lycopene content and β-carotene content of three cherry tomato varieties evaluated in four environments

Source of Variation	Environment (E)	Error (E x Rep)[a]	Genotype (G)	GxE	Error (E x Rep x G)[b]	C.V. % [(a)]	C.V. % [(b)]
Fruit weight	358.362**	3.908	239.447**	65.603**	2.237	17.29	13.08
Fruit width	140.989**	1.619	230.184**	14.722**	1.206	5.13	4.43
Fruit length	303.186**	2.043	506.682**	59.597**	3.061	4.92	6.02
Total soluble solid	0.3204[ns]	0.6053	3.8124*	2.9709**	0.77648	9.46	10.71
Titratable acid	1.64282**	0.00734	0.04932**	0.0821**	0.00314	11.38	7.45
Lycopene content	155.54**	3.47	1019.74**	63.95**	3.89	16.37	17.33
β-carotene content	35.813**	0.762	170.837**	15.095**	1.066	18.99	22.46

Table 3 Fruit size of three cherry tomato varieties grown under the open field (E1), in a greenhouse with 50% shading (E2) and in container plant factory with different light spectral ratios from LEDs (E3 and E4)

Genotype	E1		E2		E3		E4		mean	
Fruit weight (g)										
G1	27.16	a	14.77	c	8.73	ef	6.17	gh	14.41	*A**
G2	17.58	b	12.02	d	8.25	fg	5.10	hi	12.84	*B*
G3	16.31	bc	10.63	de	6.73	fgh	3.79	i	7.06	*C*
mean	18.03	A	13.69	B	7.95	C	6.07	D	11.43	
Fruit width (mm)										
G1	31.66	a	26.93	d	20.80	gh	20.11	h	24.88	*B*
G2	31.08	ab	29.50	bc	28.46	cd	25.24	e	28.57	*A*
G3	23.92	ef	22.30	fg	19.42	hi	18.30	i	20.98	*C*
mean	28.89	A	26.24	B	22.89	C	21.22	D	24.81	
Fruit length (mm)										
G1	45.95	a	39.77	b	27.90	def	28.67	cde	35.57	*A*
G2	27.95	def	25.80	f	26.54	ef	22.92	g	25.80	*B*
G3	30.52	c	29.51	cd	22.50	g	20.85	g	25.84	*B*
mean	34.81	A	31.69	B	25.64	C	24.14	D	29.07	

*Means within row and column followed by the same common letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD.

จากการศึกษาพบว่า ผลมะเขือเทศทั้งสามพันธุ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ไลโคพีน และเบต้าแคโรทีนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 2**) โดยพันธุ์ G3 ผลสุกสีน้ำตาล มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไลโคพีน และเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด (8.69 องศาบริกซ์, 16.71 และ 7.18 mg/100gFW ตามลำดับ) (**Figure 2**) ขณะที่พันธุ์ G1 ผลสุกมีสีเหลือง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ไลโคพีน และเบต้าแคโรทีนต่ำที่สุด (7.72 องศาบริกซ์, 2.20 และ 0.92 mg/100gFW ตามลำดับ) เนื่องจากปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศพบมากบริเวณเปลือกผล (Toor and Savage, 2005) ดังนั้น สีผลของมะเขือเทศจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณไลโคพีน โดยปริมาณไลโคพีนในผลมีความสัมพันธ์กับสีแดง ผลสุกที่มีสีแดงจึงมีปริมาณไลโคพีนที่สูงกว่าผลสุกสีเหลือง (Arias et al., 2000) ถึงแม้ว่าไลโคพีนเป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 80-90% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Nguyen and Schwartz, 1999) แต่ในมะเขือเทศยังมีสารพฤกษเคมีอีกชนิดคือ เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีประมาณ 4.3-12.2% ของปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนที่พบในมะเขือเทศเชอร์รีมีความสัมพันธ์กันในทางบวก กล่าวคือผลที่มีปริมาณไลโคพีนสูงจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงด้วย (Ilahy et al., 2011; Lenucci et al., 2006) ทำให้ในพันธุ์ G3 ที่มีไลโคพีนสูง จึงมีสารเบต้าแคโรทีนสูงเช่นกัน

อย่างไรก็ตามคุณภาพผลของมะเขือเทศแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อสภาพแสงที่แตกต่างกัน (**Table 2**) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของพันธุ์ G2 มีค่าสูงที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E2 ในทางกลับกันพันธุ์ G3 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำเมื่อปลูกในสภาพ E2 แต่สภาพแวดล้อมในการศึกษานี้ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของพันธุ์ G1 (**Figure 2A**) จึงสามารถอธิบายได้ว่าพันธุ์ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง (ในที่นี้คือ G2) มักได้รับอิทธิพลของจากเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและอุณหภูมิมากกว่าพันธุ์ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ (ในที่นี้คือ G1) (Tinyane et al., 2013) สำหรับลักษณะปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในผลของพันธุ์ G1 และ G3 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E3 และลดลงเมื่อปลูกในสภาพ E4 (**Figure 2B**) โดยผลของทั้งสามพันธุ์ที่ปลูกภายใต้ E3 และ E4 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าในสภาพ E1 และ E2 ยังแสดงให้เห็นว่าในสภาพ E3 และ E4 ที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นสภาพที่เหมาะสมในการสะสมปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Aldrich et al., 2010) อีกทั้ง Riga et al. (2008) รายงานว่า อิทธิพลของอุณหภูมิในการปลูกมีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ขณะที่มะเขือเทศพันธุ์ G2 และ G3 มีปริมาณไลโคพีนสูงที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E3 และลดลงในสภาพ E2 และ E1 ตามลำดับ (**Figure 2C**) สามารถอธิบายได้ว่า ในสภาพ E3 มีแสงสีแดงเท่ากับ 154 μmol/m^2/s และมีแสง far-red ต่ำ (1.1 μmol/m^2/s) ขณะที่สภาพ E1 และ E2 มีแสงสีแดงสูง (635 และ 233 μmol/m^2/s) เช่นเดียวกัน แต่ทั้งสองสภาพแวดล้อมยังมีแสง far-red สูง (592 และ 227 μmol/m^2/s) โดยแสงสีแดงสามารถชักนำให้มีการสังเคราะห์ไลโคพีนในมะเขือเทศได้ แต่แสง far-red มีผลยับยั้งการสังเคราะห์ไลโคพีน (Bou-Torrent et al., 2015; Toledo-Ortiz et al., 2010) โดยเซลล์รับแสงสีแดง (Red light photoreceptors; PHY) เป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการสร้างสีผลในมะเขือเทศ (Weller et al., 2000) ทำงานได้ดีในสภาพที่มีแสงสีแดงและลดลงเมื่ออยู่ในสภาพที่มีแสง far-red สูง (Alba et al., 2000; Schofield and Paliyath, 2005) ด้วยในสภาพ E1 และ E2 มีอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสง far-red ต่ำจึงลดการทำงานของ PHY ในทางกลับกัน PHY จะทำงานได้ดีในสภาพ E3 ซึ่งมีอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสง far-red สูง ทำให้มีการสังเคราะห์ไลโคพีนเพิ่มขึ้น (Xie et al., 2019) โดยมะเขือเทศพันธุ์ G2 และ G3 มีปริมาณไลโคพีนต่ำสุดเมื่อปลูกในสภาพ E4 ถึงแม้ว่าสภาพ E4 มี แสง far-red ต่ำ แต่สภาพ E4 มีความเข้มแสงสีแดงต่ำที่สุด จึงทำให้มีการสะสมไลโคพีนได้น้อย ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสง far-red จะช่วยเพิ่มปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศได้ ตามที่มีรายงานว่าแสงสีน้ำแดงมีผลต่อการสังเคราะห์ไลโคพีนในมะเขือเทศ (Xie et al., 2019) ทั้งนี้อุณหภูมิการปลูกยังมีผลต่อการสังเคราะห์ไลโคพีน โดยสภาพ E1 และ E2 มีอุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส สูงกว่าสภาพ E3 และ E4 (25 องศาเซลเซียส) โดยสภาพที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการสะสมไลโคพีนในผลลดลง โดยอุณหภูมิและปริมาณไลโคพีนในผลมีความสัมพันธ์กันในทางลบ ($r = -0.90$, $P < 0.001$) (Tinyane et al., 2013)

ส่วนปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศพันธุ์ G2 และ G3 มีค่าสูงที่สุดเมื่อปลูกในสภาพ E3 (7.45 และ 12.62 mg/100gFW) และมีค่าสูงกว่าเมื่อปลูกในสภาพ E1 และ E2 (**Figure 2D**) อธิบายได้ว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์ทางลบกับการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีน โดยในในสภาพ E1 และ E2 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส มีผลยับยั้งการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนในผลมะเขือเทศ (Dumas et al., 2003; Gautier et al., 2005) อีกทั้งพันธุ์ G2 และ G3 ที่ปลูกในสภาพ E3 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าเมื่อปลูกในสภาพ E4 โดยสภาพ E3 และ E4 นั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน อย่างไรก็ตามสภาพ E3 มีค่า PPFD (323 μmol/m^2/s) แสงสีน้ำเงิน (161 μmol/m^2/s)

และแสงสีแดง (154 μmol/m^2/s) ซึ่งสูงกว่าสภาพ E4 โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความเข้มแสง ในสภาพที่มีความเข้มแสงสูงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงขึ้น (Tinyane et al., 2013) อีกทั้งในสภาพที่มีแสงสีแดงและน้ำเงินที่สูงกว่า ช่วยชักนำให้มีการสะสมเบต้าแคโรทีน (Schofield and Paliyath, 2005; Xie et al., 2019)

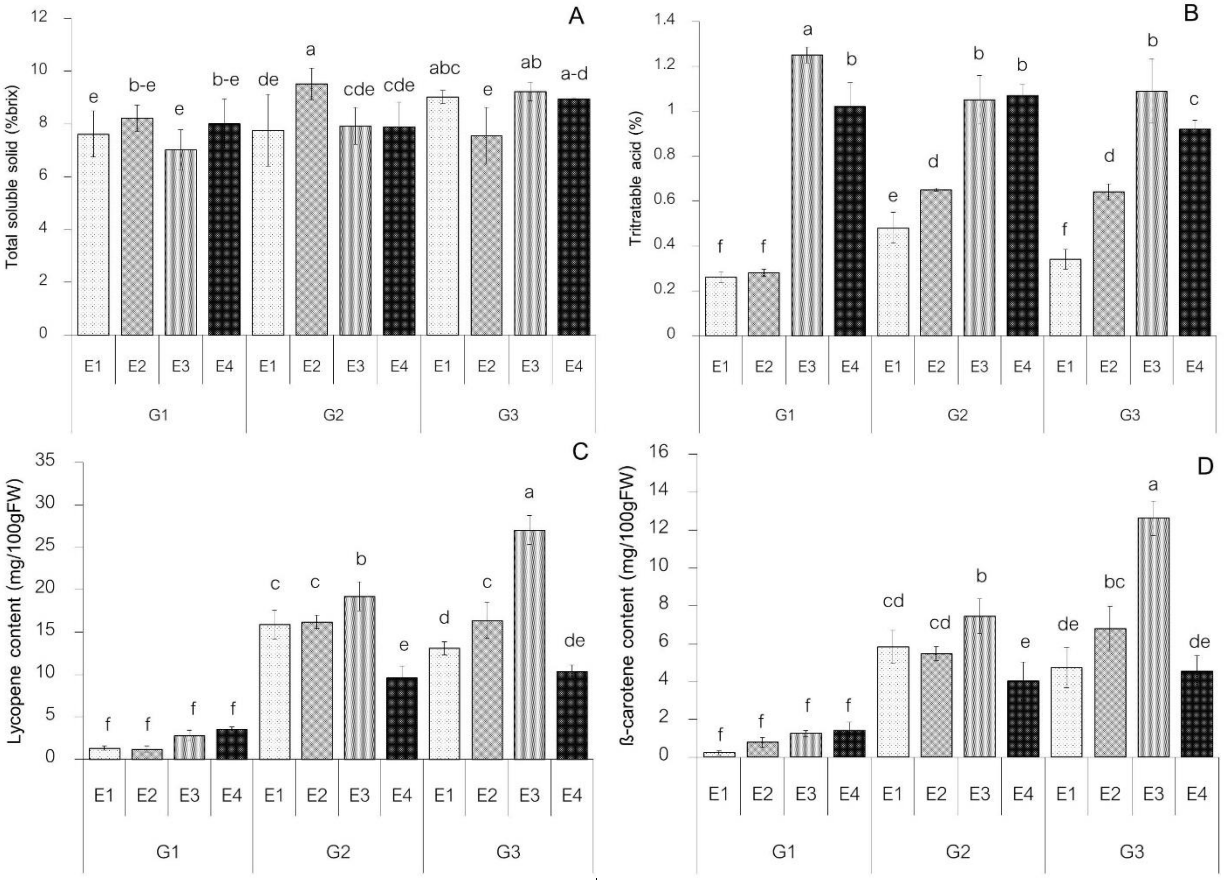


Figure 2 Total soluble solids (A), titratable acid (B), lycopene content (C), and β-carotene content (D) of three cherry tomato varieties (G1, G2, G3) grown under the open field (E1), in a greenhouse with 50% shading (E2) and in container plant factory with different light spectral ratios from LEDs (E3 and E4). Different letters indicate a significant difference ($P \leq 0.05$, LSD test) between growing environments of each genotype

สรุป

จากการศึกษานี้ มะเขือเทศเชอร์รีพันธุ์ G1 และ G3 ที่ปลูกในสภาพแปลงปลูก (E1) และโรงเรือน (E2) ซึ่งมีค่าความเข้มแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง (PPFD) สูง ทำให้ได้ผลมะเขือเทศมีน้ำหนักและขนาดผลที่มากกว่าการปลูกในระบบโรงงานผลิตพืช (E3 และ E4) ขณะที่มะเขือเทศเชอร์รีทั้งสามพันธุ์ที่ปลูกในระบบระบบโรงงานผลิตพืช (E3, E4) มีการสะสมปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่าในสภาพแปลงปลูก (E1) และโรงเรือน (E2) ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิในระบบปลูกมากกว่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน อีกทั้งมะเขือเทศพันธุ์ G2 และ G3 มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูงที่ปลูกในระบบโรงงานผลิตพืชที่มีการให้แสง LED อัตราส่วนสีแดง:น้ำเงินแสง:ขาว (1:1:0.5) (E3) เนื่องจากมีแสงสีแดงและน้ำเงินสูง และมีแสง far-red ต่ำ อย่างไรก็ตามอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในการปลูกไม่มีผลต่อการสะสมไลโคพีนและเบต้าแคโรของมะเขือเทศเชอร์รีพันธุ์ G1 ซึ่งมีปริมาณสารทั้งสองต่ำ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2562 และศูนย์ปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ดำเนินงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Alba, R., M.M. Cordonnier-Pratt, and L.H. Pratt. 2000. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. Plant Physiology. 123: 363-370.

Aldrich, H.T., K. Salandanan, P. Kendall, M. Bunning, F. Stonaker, O. Kulen, and C. Stushnoff. 2010. Cultivar choice provides options for local production of organic and conventionally produced tomatoes with higher quality and antioxidant content. The Journal of the Science of Food and Agriculture. 90: 2548-2555.

Arias, R., T.C. Lee, L. Logendra, and H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color lycopene content. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 1697-1702.

Bantis, F., S. Smirnakou, T. Ouzounis, A. Koukounaras, N. Ntagkas, and K. Radoglou. 2018. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). Scientia Horticulturae. 235: 437-451.

Bertin, N., S. Guichard, C. Leonardi, J.J. Longuenesse, D. Langlois, and B. Navez. 2000. Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. Annals of Botany. 85: 741-750.

Bou-Torrent, J., G. Toledo-Ortiz, M. Ortiz-Alcaide, N. Cifuentes-Esquivel, K.J. Halliday J.F. Martinez-Garcia, and M. Rodriquez-Concepcion. 2015. Regulation of carotenoid biosynthesis by shade relies on specific subsets of antagonistic transcription factors and co-factors. Plant Physiology. 169: 1584-1594.

Camejo, D., P. Rodríguez, M.A. Morales, J.M. Dell'Amico, A. Torrecillas, and J.J. Alarcón. 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. Journal of Plant Physiology. 162: 281-289.

Camejo, D., A. Jiménez, J.J. Alarcón, W. Torres, J.M. Gómez, and F. Sevilla. 2006. Changes in photosynthetic parameters and antioxidant activities following heat-shock treatment in tomato plants. Functional Plant Biology. 33: 177-187.

Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca, and P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. The Journal of the Science of Food and Agriculture. 83: 369-382.

Gautier, H., A. Rocci, M. Buret, D. Grasselly, and M. Causse. 2005. Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 85: 1009-1016.

Gautier, H., V. Diakou-Verdin, C. Bénard, M. Reich, M. Buret, F. Bourgaud, J.L. Poëssel, C. Caris-Veyrat, and M. Génard. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56: 1241-1250.

Gent, M.P.N. 2007. Effect of degree and duration of shade on quality of greenhouse tomato. HortScience. 42: 514-520.

Gomez, K.A., Gomez, A.A., 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. Wiley. New York.

Ilahy, R., C. Hdider, M.S. Lenucci, I. Tlili, and G. Dalessandro. 2011. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. Scientia Horticulturae. 127: 255-261.

Jeeatid, N., S. Techawongstien, B. Suriharn, P.W. Bosland, and S. Techawongstien. 2017. Light intensity affects capsaicinoid accumulation in hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 58: 103-110.

Kenyon, L., W.S. Tsai, S.L. Shih, and L.M. Lee. 2014. Emergence and diversity of begomoviruses infecting solanaceous crops in East and Southeast Asia. Virus Research. 186: 104-113.

Kozai, T., G. Niu, and M. Takagaki. 2015. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, Amsterdam.

Kubola, J., and S. Siriamornpun. 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). Food Chemistry. 127: 1138-1145.

Lahoz, I., A. Pérez-de-Castro, M. Valcárcel, J.I. Macua, J. Beltrán, S. Roselló, and J. Cebolla-Cornejo. 2016. Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. Scientia Horticulturae. 200: 55-65.

Lenucci, M.S., D. Cadinu, M. Taurino, G. Piro, and G. Dalessandro. 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 2606-2613.

Matsuda, R., T. Yamano, K. Murakami, and K. Fujiwara. 2016. Effects of spectral distribution and photosynthetic photon flux density for overnight LED light irradiation on tomato seedling growth and leaf injury. Scientia Horticulturae. 198: 363-369.

Nguyen, M. L., and S.J. Schwartz. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. Food Technology. 53: 38-45.

Patricia, I., 1999. Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. Available via. (Accessed 15 Jan) 2009. http://www.ipipotash.org/presentn/rtifohc

Riga, P., M. Anza, and C. Garbisu. 2008. Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. The Journal of the Science of Food and Agriculture. 88: 158-166.

Schofield, A., and G. Paliyath. 2005. Modulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit ripening through phytochrome regulation of phytoene synthase activity. Plant Physiology and Biochemistry. 43: 1052-1060.

Tinyane, P.P., D. Sivakumar, and P. Soundy. 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. Scientia Horticulturae. 161: 340-349.

Toledo-Ortiz, G., E. Huq, and M. Rodriguez-Concepcion. 2010. Direct regulation of phytoene synthase gene expression and carotenoid biosynthesis by phytochrome-interacting factors. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 107: 11626-11631.

Toor, R.K., and G.P. Savage. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. Food Research International. 38: 487-494.

Weller, J.L., M.E. Schreuder, H. Smith, M. Koornneef, and R.E. Kendrick. 2000. Physiological interactions of phytochromes A, B1 and B2 in the control of development in tomato. The Plant Journal. 24: 345-356.

Xie, B.X., S.W. Song, H.C. Liu, G.W. Sun, and R.Y. Chen. 2016. Effects of light quality on the quality formation of tomato fruits. Advances in Biological Sciences Research. 3: 11-15.

Xie, B.X., J.J. Wei, Y.T. Zhang, S.W. Song, W. Su, G.W. Sun, Y.W. Hao, and H.C. Liu. 2019. Supplemental blue and red light promote lycopene synthesis in tomato fruits. Journal of Integrative Agriculture. 18: 590-598.

Xu, H.L., Q. Xu, F. Li, Y. Feng, F. Qin, and W. Feng. 2012. Applications of xerophytophysiology in plant production—LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. Scientia Horticulturae. 148: 190-196.