



## ผลของการลดปริมาณโพแทสเซียมต่อคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

### Effects of reducing potassium concentration on the quality of cherry tomatoes grown in the hydroponics system

กนกพร มานันตพงศ์<sup>1</sup>, อนงนาฏ ศรีประโชติ<sup>1\*</sup>, ศิริรัตน์ อนุตระกูลชัย<sup>2</sup>, รัฐพล ไกรกลาง<sup>3</sup> และ พรทิวา กัญยวงศ์หา<sup>4</sup>

Kanokporn Manantapong<sup>1</sup>, Anongnat Sriprachote<sup>1\*</sup>, Sirirat Anutrakulchai<sup>2</sup>, Rattaphol Kraiklang<sup>3</sup> and Pornthiwa Kanyawongha<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

<sup>2</sup> Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

<sup>3</sup> ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

<sup>4</sup> Department of Medicine, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

<sup>5</sup> คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

<sup>6</sup> Faculty of Public Health, Khon Kaen University

<sup>7</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

<sup>8</sup> Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**บทคัดย่อ:** ปริมาณโพแทสเซียมสำหรับผู้ป่วยโรคไตควรได้รับไม่เกิน 1,500 mg day<sup>-1</sup> การบริโภคผักและผลไม้จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญอย่างหนึ่งของผู้ป่วยโรคไต เนื่องจากมีโพแทสเซียมสูง เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวจึงทำการทดลองในโรงเรือนเพื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ทับทิมแดง T2021 และพันธุ์สวีทบอย 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วยโพแทสเซียม 4 ระดับจำนวน 3 ซ้ำ ปลูกมะเขือเทศทั้งสองสายพันธุ์ในสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับโพแทสเซียมแตกต่างกัน (3.0 1.5 0.75 0 mmol KNO<sub>3</sub>) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมในพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับ 0.75 และ 0 mmol KNO<sub>3</sub> มีปริมาณต่ำที่สุดในทางตรงกันข้าม ระดับโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมในผลมะเขือเทศพันธุ์สวีทบอย 1 นอกจากนี้ ไม่ส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตของมะเขือเทศทั้งสองสายพันธุ์ ได้แก่ กรด-ต่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการปลูกมะเขือเทศให้มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสำหรับผู้ป่วยโรคไต

**คำสำคัญ:** โพแทสเซียม; มะเขือเทศเชอร์รี่; ไฮโดรพอนิกส์; โรคไตเรื้อรัง

**ABSTRACT:** The potassium intake for the kidney disease patient should not be exceed 1,500 mg day<sup>-1</sup>. Therefore, due partially to the high potassium content, the consumption of fruit and vegetable is one of the critical limitations for them. To mitigate this limitation, a greenhouse experiment was conducted to reduce the potassium content of Tabtimdeang T2021 and Sweet boy 1 cherry tomatoes. The experiment was conducted under a completely randomized design (CRD) with 4 potassium levels, 3 replications. Both tomato varieties were grown in nutrient solutions with different potassium levels (3.0, 1.5, 0.75, 0 mmol KNO<sub>3</sub>). The results showed that the potassium content of Tabtimdeang T2021 cultivar was significantly reduced in all treatments, with 0.75 and 0 mmol KNO<sub>3</sub> treatment were lowest. Contrarily, the potassium levels in the nutrient solution had no effect on potassium content

\* Corresponding author: [anonsr@kku.ac.th](mailto:anonsr@kku.ac.th)

of Sweet boy 1 cultivar. Moreover, there were no effect on yield quality of both tomato varieties, such as pH and total soluble solid content. However, further studies should be done in the future. To find a suitable way to grow tomatoes with low potassium content for kidney disease patients.

**Keywords:** potassium; cherry tomatoes; hydroponic; chronic kidney disease (CKD)

## บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีผู้ป่วยโรคไต 850 ล้านคนและเสียชีวิตจากโรคไตเรื้อรัง 2.4 ล้านคนต่อปี (ISN, 2019) โดย Bulletin of the World Health Organization (2019) คาดว่าในปี 2573 เพิ่มขึ้นสูงเป็นสองเท่า ในภูมิภาคเอเชีย ประเทศไทยพบผู้ป่วยโรคไตเป็นอันดับ 3 โดยมีผู้ป่วยโรคไตประมาณ 8 ล้านคน และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (สมาคมโรคไตแห่งประเทศไทย, 2561) นอกจากการรับประทานอาหารที่มีโซเดียม (Sodium; Na) สูงแล้วนั้น การบริโภคอาหาร เนื้อสัตว์ ผักใบเขียวและผลไม้ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมสูง เนื่องจากผู้ป่วยโรคไตและผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง (Chronic Kidney Disease; CKD) หน่วยไตไม่สามารถขับโพแทสเซียมออกมาได้หมด ส่งผลให้เกิดการสะสมของโพแทสเซียมในเลือดสูงจนหัวใจทำงานผิดปกติ เป็นสาเหตุการเสียชีวิตแบบเฉียบพลัน เนื่องจากหัวใจล้มเหลว (Putcha and Allon, 2007; Massimiliano et al., 2018) ในคนปกติควรได้รับโพแทสเซียมจากการบริโภคอาหารวันละ 2,000 - 3,500 mg K day<sup>-1</sup> แต่สำหรับผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 2 - 4 ควรได้รับไม่เกิน 2,000 mg K day<sup>-1</sup> และระยะสุดท้าย (ระยะที่ 5) ต้องได้รับน้อยกว่า 1,500 mg K day<sup>-1</sup> (Pollock et al., 2005; AKF, 2019) ในขณะที่ปริมาณโซเดียมจะขึ้นอยู่กับคำแนะนำของแพทย์ โดยคนปกติควรได้รับโซเดียมไม่เกิน 2,000 mg Na day<sup>-1</sup> หรือ 5 g Na day<sup>-1</sup> (Megan and Dominique, 2018; NKF, 2020; WHO, 2020) ส่วนในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังจะต้องได้รับน้อยกว่าร้อยละ 5 (<100 mg Na serving) (The Kidney Foundation of Canada, 2013)

โพแทสเซียม (Potassium; K) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับมนุษย์มากเป็นอันดับ 3 รองจากแคลเซียม (Calcium; Ca) และฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ หัวใจและระบบประสาท ช่วยรักษาระดับกรด - ด่าง (pH) ของของเหลวในร่างกาย ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ การไหลเวียนของเหลว ช่วยรักษาสมาดุลน้ำและสมดุลอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) โดยคนปกติควรมีระดับโพแทสเซียมอยู่ในเลือด 3.5 - 5.5 mEq L<sup>-1</sup> ถ้าในเลือดมีค่าเกินที่กำหนดจะส่งผลให้การทำงานของหัวใจผิดปกติ เกิดอาการช็อก หมดสติและเสียชีวิตในที่สุด (Taluker et al., 2016) นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช โดยพืชจะดูดใช้โพแทสเซียมในปริมาณที่สูงรองจากไนโตรเจน พืชต้องการโพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและนำไปพัฒนาส่วนต่าง ๆ เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้โดยผ่านท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหาร ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ ควบคุมปริมาณน้ำในเซลล์ ควบคุมการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างนอกเซลล์และภายในเซลล์ของพืช สำคัญต่อคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร เช่น ขนาด สี สันรสชาติ กลิ่น และระยะเวลาในการเก็บรักษา (ยงยุทธ, 2558)

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นผักและผลไม้ที่มีผู้นิยมบริโภคเพิ่มขึ้น นิยมรับประทานผลสดและนำมาประกอบอาหาร รวมทั้งนำมาตกแต่งจานอาหารให้ดูน่ารับประทานมากขึ้น เพราะมีรูปร่างลักษณะรวมถึงสีที่หลากหลายน่ารับประทาน มะเขือเทศมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็นสำหรับร่างกาย เช่น วิตามินซี (Vitamin C) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุเหล็ก (Iron; Fe) นอกจากนี้ ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกไลโคปีน (Lycopene) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เบต้าแคโรทีน (Beta - carotene) และกรดอะมิโน (Amino acid) เป็นต้น (Cervoni, 2019) โดยเฉพาะไลโคปีนช่วยลดความเป็นพิษของยาเคมีบำบัด cisplatin ยาต้านมะเร็งที่มีผลต่อไตในหนูทดลองและผู้ป่วยโรคมะเร็ง ซึ่งยาชนิดนี้ทำให้การทำงานของไตเสื่อมพร้อมกับการสูญเสียเกลือแร่ที่มีอยู่ในร่างกายในรูปแบบปัสสาวะ จนเกิดภาวะไตวายเรื้อรังเฉียบพลัน (Story et al., 2010) ยังป้องกันและลดการอักเสบของเซลล์ในไตที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Zahra, 2015)

เนื่องจากในผักและผลไม้ที่ปลูกในดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่สูง (Lester et al., 2010; Marques et al., 2018) จากการสำรวจมะเขือเทศที่วางจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่จำหน่ายในตลาดสดและห้างสรรพสินค้า จำนวน 8 แห่ง จำนวน 16 ตัวอย่างจาก 12 แหล่งผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 57 - 220 mg 100 g<sup>-1</sup> FW ซึ่งผันแปรตามพันธุ์ของมะเขือเทศและแหล่งที่ปลูก จากการรายงานของ Patient Food and Nutrition Services (2016) โดยทั่วไปมะเขือเทศจะมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 290 mg K serving และน้ำมะเขือเทศ 275 mg K serving ซึ่งมีค่าสูงเกินที่ผู้ป่วยโรคไตจะรับประทานได้

ดังนั้น ในผู้ป่วยโรคไตระยะที่ 4 - 5 แพทย์จึงแนะนำให้หลีกเลี่ยงหรืองดรับประทานผักสีเขียวและผลไม้ที่มีรสหวาน (ขวลิต. 2561; Pollock et al., 2005; AKF, 2019) หากจะรับประทานจำเป็นต้องเอาไปต้ม เพื่อลดปริมาณโพแทสเซียมที่สะสม ทำให้สารอาหารและความเป็นประโยชน์ลดลง (ขวลิต. 2561; Cupisti et al., 2018; Batista et al., 2021) ซึ่งการรับประทานผักและผลไม้อาจส่งผลต่อโภชนาการของผู้ป่วย ดังนั้น การลดปริมาณโพแทสเซียมในผักและผลไม้ แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ จึงเป็นแนวทางที่ควรได้รับการพัฒนา จากที่เด็กล่าวมาข้างต้น มะเขือเทศเป็นผักและผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่า โลโคป็นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในมะเขือเทศ ช่วยลดและชะลอการอักเสบของหน่วยไตได้ เนื่องจากโรคไตเป็นปัญหาระดับโลก และมีผู้ป่วยเพิ่มขึ้นทุกปี จึงมีนักวิจัยได้ศึกษาแนวทางการลดปริมาณโพแทสเซียมในผลผลิต โดยอาศัยหลักการปลูกพืชไม่ใช้ดิน โดย Ogawa et al. (2012) ได้ทดลองปลูกมะเขือเทศพันธุ์ Red Olle ในระบบไฮโดรพอนิกส์ พบว่า การงดให้โพแทสเซียมก่อนเก็บมะเขือเทศ 1 สัปดาห์สามารถลดปริมาณโพแทสเซียมในมะเขือเทศลงได้ร้อยละ 45 เมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับโพแทสเซียมตลอดการทดลอง Tsukagoshi et al. (2015) ปลูกมะเขือเทศพันธุ์ Cindy Sweet ในสารละลายธาตุอาหาร โดยลดปริมาณโพแทสเซียมจาก 4 mmol L<sup>-1</sup> เหลือ 1 mmol L<sup>-1</sup> ในช่วงติดดอกช่อแรกถึงช่อที่สามและงดให้โพแทสเซียมจนเก็บผลผลิต ผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศมีปริมาณโพแทสเซียมลดลงร้อยละ 25 ของตำรับที่ได้รับโพแทสเซียมปกติ (4 mmol L<sup>-1</sup>) จากผลการทดลองดังกล่าว Tsukagoshi และคณะ ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการปลูกมะเขือเทศพันธุ์ Frutica และพันธุ์ Aichan ผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์มีการตอบสนองต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน โดยมะเขือเทศพันธุ์ Frutica และพันธุ์ Aichan มีปริมาณโพแทสเซียมลดลงร้อยละ 40 และ 60 ของตำรับที่ได้รับโพแทสเซียมปกติ ตามลำดับ จากงานวิจัยข้างต้น จึงมีกรอบแนวคิดของงานวิจัย คือ เมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมลงปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในผักและผลไม้ (ผลผลิตทางการเกษตร) ลดลงจนสามารถทำให้ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังสามารถบริโภคได้ (< 150 mg 100 g<sup>-1</sup> FW) แต่ในขณะเดียวกันต้องรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรเอาไว้ ดังนั้น งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการลดปริมาณโพแทสเซียมในมะเขือเทศเซอร์รี่ให้ต่ำกว่า 150 mg 100 g<sup>-1</sup> FW สำหรับให้ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง โดยนำเอาเทคโนโลยีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินด้วยระบบไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponic) มาใช้ในการศึกษา เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับได้โดยตรง ทำให้ควบคุมความเข้มข้นของระดับโพแทสเซียมที่พืชได้รับได้

## วิธีการศึกษา

### พืชทดลอง

มะเขือเทศเซอร์รี่ 2 พันธุ์ คือ 1) สีแดงพันธุ์ทับทิมแดง T2021 (Tabtimdeang T2021) ของ KNOWN-YOU SEED Co., Ltd., Chiangmai, Thailand และ 2) สีเหลืองพันธุ์สวีทบอย 1 (Sweet boy 1) ของ CHIA TAI Co., Ltd., Bangkok, Thailand โดยทำการเพาะเมล็ด (15 ตุลาคม 2561) นำเมล็ดมะเขือเทศมาแช่น้ำ 2-4 ชั่วโมง มาล้างทำความสะอาดนำเมล็ดมาเพาะในที่มีต 5-7 วัน เมื่องอกทำการย้ายต้นกล้าลงฟองน้ำเพาะกล้า ขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง (1 x 1 x 1 นิ้ว) และนำไปเลี้ยงสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Enshi ที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 3.0 mM KNO<sub>3</sub> (K1 = control) (Ogawa et al., 2007) จนต้นกล้ามีใบจริง 4 - 5 ใบ (20 - 30 วัน) ทำการย้ายลงปลูกตามสารละลายธาตุอาหารตามตำรับการทดลอง

### สารละลายธาตุอาหารพืช

สารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Enshi (Ogawa et al., 2007) ซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร ดังนี้ ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N = 77.38 mg L<sup>-1</sup>) และฟอสฟอรัส (P = 15.50 mg L<sup>-1</sup>) ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca = 80.00 mg L<sup>-1</sup>) แมกนีเซียม (Mg = 24.30 mg L<sup>-1</sup>) และกำมะถัน (S = 32.12 mg L<sup>-1</sup>) ส่วนจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก (Fe = 1.5064 mg L<sup>-1</sup>) ทองแดง (Cu = 0.0106 mg L<sup>-1</sup>) แมงกานีส (Mn = 0.2497 mg L<sup>-1</sup>) โบรอน (B = 0.2495 mg L<sup>-1</sup>) โมลิบดีนัม (Mo = 0.0014 mg L<sup>-1</sup>) คลอรีน (Cl = 0.1615 mg L<sup>-1</sup>) และโซเดียม (Na = 0.6187 mg L<sup>-1</sup>) มีเพียงธาตุโพแทสเซียมเท่านั้นที่ได้รับแตกต่างกันตามตำรับการทดลอง

### การวางแผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 4 ตำรับการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้ 1) K1 ให้เป็นตำรับควบคุมได้รับโพแทสเซียม 3.0 mM KNO<sub>3</sub> ตลอดการทดลอง 2) K2 ได้รับโพแทสเซียม 1.5 mM KNO<sub>3</sub> ตลอดการทดลอง 3) K3 ได้รับโพแทสเซียม 1.5 mM KNO<sub>3</sub> ตลอดการทดลอง และ 3) K4 ไม่ได้รับโพแทสเซียม 0 mM KNO<sub>3</sub> ตลอดการทดลอง

ในระบบไฮโดรพอนิกส์แบบน้ำนิ่ง โดยไม่มีการเติมอากาศในถังพลาสติกสีดำ เบอร์ 16 ขนาด 12 L ความกว้างปากถัง x ความกว้างฐาน ถัง x ความสูง (32.0 x 21.5 x 29.0 cm) ที่บรรจุสารละลายธาตุอาหาร 10 L ซึ่งในหนึ่งถังจะปลูกมะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์ เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชทุก 2 สัปดาห์ รักษาระดับ pH = 6.50 ด้วย 0.1 M NaOH และ 0.5 M HCl และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่ 1.20 mS cm<sup>-1</sup> ด้วย 0.1 M NaCl ตลอดการทดลอง ซึ่งย้ายปลูกมะเขือเทศในวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561 – 18 กุมภาพันธ์ 2562 ที่หมวดดินและปุ๋ย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บผลผลิตมะเขือเทศเป็นรุ่น (ข้อ) เมื่อผลสุกเต็มที่ นับจำนวน (Number of fruits) และชั่งน้ำหนักสด (Fresh weight; FW) ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม ไนเตรตและ pH ในผลสดต่อไป

1) วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในมะเขือเทศเซอร์สิด นำมะเขือเทศมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนัก 10.0 g นำมาบดด้วยโกร่งบดยาเพื่อให้ได้ตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัด (fruit sap) จากนั้น นำตัวอย่างน้ำสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม ไนเตรต และ pH ดังนี้ Potassium ion meter B-731, Calcium ion meter B-751, Sodium ion meter B-722, Nitrate ion meter B-741 และ pH meter pH-22 ด้วยเครื่อง LAQUA twin, HORIBA Ltd., Kyoto, Japan (Chandrappa et al., 2015)

2) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid content; TSS) ด้วยเครื่องวัดความหวานของ PONPE 520BR Brix Refractometer

3) วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity) โดยวิธีการไตเตรต ชั่งตัวอย่าง 10.0 g สกัดน้ำจากตัวอย่าง โดยใช้โกร่งบดยาบดตัวอย่างให้ละเอียด คูดตัวอย่างน้ำสกัด 2 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติมน้ำกลั่น 8 mL และหยด 1% phenolphthalein 2-3 หยด และปรับ pH สารละลายเป็น 8.2 ด้วย 0.01 N NaOH บันทึกปริมาณ NaOH ที่ใช้และคำนวณกลับเป็นร้อยละของกรดซิตริก (% citric acidity) (Cardoso et al., 2018)

4) วิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี (Ascorbic acid concentration or Vitamin C) ใช้วิธีพัฒนาสีด้วย 2% dinitrophenylhydrazine (DNP) คูดตัวอย่างสารสกัด 0.5 mL ใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 mL เติมหาสารละลาย 10% meta-phosphoric acid 0.5 mL เติม 0.03% 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCP) 1 mL เติม 10% thiourea 2 mL และ DNP 1 mL จากนั้นนำไปบ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นโดยวางในน้ำแข็ง จากนั้นเติม 85% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mL ทิ้งไว้ 30 นาทีในน้ำแข็ง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ยี่ห้อ LABOMED รุ่น Spectro UV-2550 (LABOMED Inc., Los Angeles, United States of America) ที่ความยาวคลื่น 520 nm (Asao et al., 2014)

5) วิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน (Lycopene and beta – carotene) ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 0.40 g ใส่ในหลอดทดลอง 50 mL เติม Hexene: Acetone: Ethanol (2:1:1) 5 mL นำไปเขย่าหรือบดด้วยโกร่งบดยาจนตัวอย่างมีสีซีด จากนั้นเติม Hexene 10 mL นำไปเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในน้ำแข็ง 15 นาที และนำมาเติมน้ำกลั่น 3 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในน้ำแข็ง 15 นาที และนำสารละลายส่วนบนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 444 nm สำหรับ Beta – carotene และ 503 nm สำหรับ Lycopene และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน ตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ (Gordon and Barret, 2007)

$$\text{Lycopene (mg kg}^{-1}\text{)} = (6.95 \times \text{Abs.503} - 1.59 \times \text{Abs.444}) \times 0.55 \times 537 \times \text{V/W} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Beta-carotene (mg kg}^{-1}\text{)} = (9.38 \times \text{Abs.444} - 6.70 \times \text{Abs.503}) \times 0.55 \times 537 \times \text{V/W} \dots \dots \dots (2)$$

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละตัวรับการทดลอง ด้วยวิธี Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ผลการศึกษา**

**ผลผลิต**

น้ำหนักสดและจำนวนผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างกัน แสดงไว้ใน **Table 1** พบว่า น้ำหนักผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชลง โดยมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ต่ำรับที่ลดโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร น้ำหนักผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับต่ำรับควบคุม ส่วนพันธุ์สวีทบอย 1 ต่ำรับ K2 และ K3 ได้รับโพแทสเซียมน้ำหนักผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ K1 และต่ำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียม (K4) น้ำหนักลดลงเมื่อเทียบกับต่ำรับควบคุม เช่นเดียวกับจำนวนผลผลิตที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับต่ำรับควบคุมเมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารที่ลง มีเพียงต่ำรับ K4 เท่านั้นที่ให้จำนวนผลผลิตน้อยที่สุด

**Table 1** Fruit fresh weight and number of fruits of cherry tomatoes at the harvest as affected by potassium restricted treatment. (n=3)

	Treatment	Tabtimdeang T2021	Sweet boy 1
Fruit fresh weight (g plant <sup>-1</sup> )	K1 <sup>1/</sup> (control)	53 <sup>2/</sup>	36
	K2	57	53
	K3	72	67
	K4	122	33
Number of fruits	K1 (control)	13	10
	K2	12	13
	K3	14	13
	K4	9	7

<sup>1/</sup> K1 is 3.0 mM KNO<sub>3</sub>, K2 is 1.5 mM KNO<sub>3</sub>, K3 is 0.75 mM KNO<sub>3</sub>, and K4 is 0 mM KNO<sub>3</sub>

<sup>2/</sup> Mean within the same columns followed by different letter are significantly different according to Tukey’s HSD test at *p* < 0.05

**ปริมาณธาตุอาหารในมะเขือเทศเชอร์รี่สด**

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมะเขือเทศสด แสดงไว้ใน **Table 2** พบว่า เมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชลง มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในผลผลิตในมะเขือเทศเชอร์รี่ทั้ง 2 พันธุ์ลดลง โดยพันธุ์ทับทิมแดง T2021 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 182.5 – 238.9 mg 100 g<sup>-1</sup> FW และพันธุ์สวีทบอย 1 (150.0 – 285.6 mg 100 g<sup>-1</sup> FW) มีเพียงผลผลิตรุ่นที่ 1 เท่านั้นที่ปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างทางสถิติ เมื่อเทียบกับต่ำรับควบคุม โดยมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ต่ำรับควบคุมที่ได้รับโพแทสเซียม 3 mM KNO<sub>3</sub> มีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยสูงที่สุด (238.9 mg 100 g<sup>-1</sup> FW) ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลงในต่ำรับ K2 K3 และ K4 คิดเป็นร้อยละ 10 23 และ 42 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับต่ำรับควบคุม ส่วนพันธุ์สวีทบอย 1 พบว่า ต่ำรับที่ได้รับโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร มีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยไม่ต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 258.9 – 285.6 mg 100 g<sup>-1</sup> FW และต่ำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150 mg 100 g<sup>-1</sup> FW ทั้งนี้มะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์ ในรุ่นที่ 2 และ 3 ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลง

ส่วนปริมาณโซเดียม พบว่า การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อมะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์ ยกเว้นในต่ำรับ K4 ที่มีปริมาณโซเดียมเฉลี่ย 18.0 mg 100 g<sup>-1</sup> FW ทั้งนี้ ผลผลิตมะเขือเทศทั้ง 3 รุ่น ปริมาณโซเดียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*p* < 0.05) เมื่อเทียบกับต่ำควบคุม เช่นเดียวกับปริมาณแคลเซียม พบว่า มีเพียงต่ำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียมเท่านั้นที่

มีค่าเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติ เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม เนื่องจากพืชต้องดูดใช้โซเดียมและแคลเซียมมาทำหน้าที่ทดแทนโพแทสเซียมที่ลดต่ำลง เพื่อให้สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

นอกจากนี้ ปริมาณไนเตรตเฉลี่ยในมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 และพันธุ์สวีทบอย 1 ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติและในทุกตำรับการทดลองยังมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณไนเตรตในผักและผลไม้ที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ว่าสามารถรับประทานได้ไม่เกิน  $4,000 \text{ mg day}^{-1}$  หรือ  $400 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$  (Tamme et al., 2011) แสดงให้เห็นว่าธาตุไนโตรเจน ( $\text{NO}_3^-$ ) ในสารละลายธาตุอาหารมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์

**Table 2** The nutrients concentration in fresh weight of cherry tomatoes at the harvest as affected by potassium restricted treatment. ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$ )

Treatment	Tabtimdaeng T2021				Sweet boy 1			
	1 <sup>st</sup> Truss	2 <sup>nd</sup> Truss	3 <sup>rd</sup> Truss	Mean	1 <sup>st</sup> Truss	2 <sup>nd</sup> Truss	3 <sup>rd</sup> Truss	Mean
Potassium K1 <sup>1/</sup> (control)	243 <sup>2/b</sup>	243a	230a	239b	270b	333a	253a	287b
K2	183ab	240a	223a	217ab	267b	270a	240a	259b
K3	147a	203a	200a	183ab	263b	260a	NFS	262b
K4	140a	139a	<sup>3/</sup> NFS	138a	150a	NFS	NFS	150a
Sodium K1 (control)	5.90a	7.07a	7.00a	6.66a	5.17a	6.27a	5.80a	5.74a
K2	7.90ab	7.53a	8.76b	8.07a	6.77ab	8.17b	7.20b	7.38b
K3	8.50b	8.53a	8.86b	8.63a	9.33b	9.87c	NFS	9.60c
K4	22.5c	13.5b	NFS	18.0b	38.0c	NFS	NFS	38.0d
Calcium K1 (control)	0.04a	0.05a	0.06a	0.05ab	0.05a	0.04a	0.04a	0.05a
K2	0.04a	0.04a	0.05a	0.04a	0.04a	0.04a	0.05a	0.04a
K3	0.04a	0.04a	0.04a	0.04a	0.04a	0.05a	NFS	0.04a
K4	0.04a	0.10b	NFS	0.07b	0.10b	NFS	NFS	0.10b
Nitrate K1 (control)	11.7a	19.7b	12.7a	14.7a	13.7a	15.7a	13.7a	14.3a
K2	16.7a	15.0ab	12.7a	16.0a	16.3a	14.7a	20.0b	17.0a
K3	15.0a	12.0a	16.3a	13.2a	18.7a	19.3a	NFS	19.0a
K4	14.0a	17.0ab	NFS	15.5a	17.7a	NFS	NFS	17.7a

<sup>1/</sup> K1 is 3.0 mM  $\text{KNO}_3$ , K2 is 1.5 mM  $\text{KNO}_3$ , K3 is 0.75 mM  $\text{KNO}_3$ , and K4 is 0 mM  $\text{KNO}_3$

<sup>2/</sup> Mean within the same columns followed by different letter are significantly different according to Tukey's HSD test at  $p < 0.05$  ( $n=3$ ).

<sup>3/</sup> None fruit setting (NFS)

### คุณภาพผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่สด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตมะเขือเทศแสดงไว้ใน Table 3 ผลการทดลองพบว่า การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีผลทำให้ค่า pH ของน้ำมะเขือเทศสกัดเพิ่มขึ้นจากตำรับ K1 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.10 – 4.15 และ 4.08 –

4.25 สำหรับมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 และพันธุ์สวีทบอย 1 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม จากการรายงานของ (Benivia, 2020) ระบุว่า น้ำมะเขือเทศสกัดควรมี pH อยู่ในช่วง 4.10 - 4.60 จากผลการทดลอง ถึงแม้ว่าการลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีผลทำให้ค่า pH ของน้ำมะเขือเทศสกัดเพิ่มขึ้นแต่ยังคงอยู่ในระดับมาตรฐาน

การลดปริมาณโพแทสเซียม ทำให้มะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ในขณะที่ปริมาณกรดซิตริก (Citric acid) ในมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 มีปริมาณลดลงในตำรับ K3 และ K4 ส่วนตำรับ K2 มีปริมาณไม่แตกต่างจาก K1 ส่วนมะเขือเทศพันธุ์สวีทบอย 1 พบว่า ปริมาณกรดซิตริกลดลงตามปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงในสารละลายธาตุอาหาร โดยทั้งมะเขือเทศชนิดทั้ง 2 พันธุ์ มีค่ากรดซิตริกต่ำกว่าที่ Petro-Turza, (1986) รายงานไว้ว่า ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 0.50

ผลการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ในน้ำมะเขือเทศทั้งมะเขือเทศชนิด 2 พันธุ์ พบว่า มีปริมาณต่ำกว่า 20 mg 100 g<sup>-1</sup> FW (Cervoni, 2019) แต่อย่างไรก็ตาม จะสังเกตเห็นว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ในขณะที่พันธุ์สวีทบอย 1 ปริมาณลดลง

ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน ในมะเขือเทศชนิดสวีทบอยพันธุ์ทับทิมแดง T2021 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณไลโคปีนยังคงมีปริมาณต่ำกว่า 0.72 - 20 mg 100 g<sup>-1</sup> FW ตามการรายงานของ Gross, (1991) และ Mangel et al. (1993) ในขณะที่ในมะเขือเทศสีเหลืองพันธุ์สวีทบอย 1 ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนได้ เนื่องจากไลโคปีนเป็นรงควัตถุสีแดง ที่จะไม่พบในมะเขือเทศสีเหลือง ในขณะที่เบต้าแคโรทีนมีปริมาณลดลงต่ำกว่าตำรับที่ได้รับ 3.0 mM KNO<sub>3</sub> ทั้ง 3 ตำรับการทดลอง

**Table 3** The fruit quality in fresh cherry tomatoes at the harvest as affected by potassium restricted treatment.

Treatment	pH	TSS	Citric acid	Ascorbic acid	Lycopene	Beta carotene	
		(° Brix)	(---%---)	(-----mg 100 g <sup>-1</sup> FW-----)			
Tabtimdaeng T2021	K1 <sup>1/</sup> (control)	4.10 <sup>2/</sup> a	5.90a	0.43c	2.08a	0.35a	394a
	K2	4.15c	6.53b	0.44c	4.35b	0.50ab	462a
	K3	4.13b	6.97b	0.37b	3.76b	0.54b	439a
	K4	4.13b	6.97b	0.26a	2.60a	0.53b	539a
Sweet boy 1	K1 (control)	4.09b	6.90a	0.68c	6.37b		123b
	K2	4.25d	7.47b	0.48b	3.17a	Non	58.5a
	K3	4.20c	7.98c	0.49b	4.16a	Detected	78.5ab
	K4	4.08a	6.90a	0.43a	6.79b		88.6ab

<sup>1/</sup> K1 is 3.0 mM KNO<sub>3</sub>, K2 is 1.5 mM KNO<sub>3</sub>, K3 is 0.75 mM KNO<sub>3</sub>, and K4 is 0 mM KNO<sub>3</sub>

<sup>2/</sup> Mean within the same columns followed by different letter are significantly different according to Tukey's HSD test at *p* < 0.05 (n=3).

**วิจารณ์**

จาก (Table 1) พบว่า มะเขือเทศทั้ง 2 พันธุ์มีผลผลิตเฉลี่ยทั้งหมดไม่แตกต่างกันในทุกตำรับการทดลอง มีเพียงตำรับการทดลอง K4 เท่านั้น ที่มีจำนวนผลผลิตลดลงตามปริมาณโพแทสเซียมที่ได้รับ ซึ่งมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ให้ผลผลิตเพียง 2 รุ่น

และ 1 รุ่น ในพันธุ์สวีทบอย 1 ทั้งนี้ ปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงส่งผลให้การขนส่งสารอาหารที่ผลิตได้ไปเลี้ยงยังดอกและผลลดลง จึงทำให้ดอกมะเขือเทศในตำรับการทดลองดังกล่าวร่วง โดย Tisdale et al. (1999) ได้กล่าวไว้ว่า โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์พลังงานของพืช (ATP; Adenosine triphosphate) เมื่อพืชได้รับโพแทสเซียมลดลง ส่งผลให้การสังเคราะห์ ATP ของพืชลดลงและส่งผลต่อเนื่องต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งทำให้ปริมาณการสะสมของธาตุอาหารในผลลดลง จึงเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตลดลง จากข้อมูลผลผลิตข้างต้น เมื่อนำมาหาคำนวณน้ำหนักรวมต่อผล จึงทำให้ในตำรับ K4 มีน้ำหนักรวมสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีจำนวนผลต่อรุ่นที่น้อยกว่า นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช โดยเฉพาะออกซิน (Auxin; IAA) ช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ และจิบเบอเรลลิน (Gibberellins; GA) ส่งเสริมการขยายขนาดของเซลล์ ดังนั้น การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลให้พืชอาจสังเคราะห์ออกซินและจิบเบอเรลลินลดลง ทำให้การติดดอกของมะเขือเทศลดลงและการหลุดร่วงของผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้น (Jong et al., 2009) เห็นได้ชัดในมะเขือเทศพันธุ์สวีทบอย 1 ตำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียมให้ผลผลิตน้อยที่สุด สอดคล้องกับ Ogawa et al. (2012) ที่รายงานว่า มะเขือเทศที่ปลูกในสารละลายไม่ได้รับโพแทสเซียมให้ผลผลิตเพียง 4-5 รุ่น เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า มะเขือเทศรุ่นที่ 1-3 ของตำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียม มีน้ำหนักรวมสูงกว่าตำรับที่ได้รับโพแทสเซียม 3.0 mM และมีน้ำหนักรวมลดลงในรุ่นที่ 4 เนื่องจากพืชขาดโพแทสเซียม ส่งผลต่อการเปิดและปิดของปากใบ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ขัดขวางการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี ซึ่งทำให้การลำเลียงสารอาหารในโพลีเอมในกระบวนการสังเคราะห์แสงจากแหล่งผลิตไปยังเซลล์ที่ลดลง (Cakmak, 2005) โดย Hafsi et al. (2011) รายงานว่า แม้ว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในอาหารเลี้ยงเชื้อจะต่ำมาก แต่ปริมาณโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชก็เพียงพอที่จะใช้ในการเจริญเติบโต ทั้งนี้ มะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ที่ปลูกในตำรับที่ไม่ได้รับโพแทสเซียมให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเกิดจากโพแทสเซียมเพียงพอที่ส่งเสริมการทำงานร่วมกับฮอร์โมนไซโทไคนิน (Cytokinin) ซึ่งช่วยในการขยายขนาดเซลล์ ทำให้พืชดูดน้ำเข้าไปเก็บไว้ในเซลล์เพิ่มขึ้น (ยงยุทธ. 2558; Saupe. 2008) จึงทำให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยสูงขึ้น

มะเขือเทศต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่สูง เพื่อการเจริญเติบโตและให้ปริมาณผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพ (Chapagain and Wiesman. 2004) เนื่องจากมีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แป้ง ส่งเสริมกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนและการหายใจ นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช รวมไปถึงการปิด-เปิดปากใบ มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนของธาตุอาหารและการดูดใช้น้ำของพืช (Havlin et al., 2005) จากการรายงานของ Rancić et al. (2010) พบว่า หลังจากมะเขือเทศติดดอกแล้วจะมีการลำเลียงสารอาหารไปยังผลที่กำลังพัฒนา เนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากใบไปยังผลผลิต โดยโพแทสเซียมจะทำหน้าที่ในการรักษาระดับ pH และแรงดันออสโมติกภายในโพลีเอม ดังนั้น เมื่อพืชได้รับปริมาณโพแทสเซียมลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสารอาหารรวมถึงโพแทสเซียมไอออนจากใบไปยังผลผลิตลดลง เมื่อปริมาณโพแทสเซียมไอออนในผลผลิตลดลง จึงส่งผลให้เมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชลง ปริมาณโพแทสเซียมในผลมะเขือเทศลดลงตามด้วย (Table 2) อย่างไรก็ตาม ตำรับ K4 มะเขือเทศมีปริมาณโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อพืชได้รับโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) ลดลง พืชจะดูดใช้โซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาสสมดุลออสโมติกในการลำเลียงธาตุอาหาร ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตมะเขือเทศลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Idowu and Aduayi, (2007) พบว่า การปลูกมะเขือเทศที่ได้รับโซเดียมในอัตรา 8 - 16 mg Na kg<sup>-1</sup> soil ทำให้การออกดอกและผลผลิตของมะเขือเทศลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ได้รับโซเดียม อย่างไรก็ตาม ปริมาณโซเดียมไอออนในมะเขือเทศจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโซเดียมที่ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง (CKD) ควรได้รับในแต่ละวันไม่เกิน 100 mg Na ต่อครั้ง ตามการรายงานของ The Kidney Foundation of Canada (2013) ปริมาณโซเดียมไอออนในมะเขือเทศเพิ่มขึ้นยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าดังกล่าว

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทต่อคุณภาพผลผลิตพืช (Table 3) จากผลการทดลอง พบว่า การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชส่งผลให้ปริมาณกรดซิตริก (Citric acid) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) และเบต้าแคโรทีน (Beta - carotene) ในมะเขือเทศพันธุ์สวีทบอย 1 ลดลงและปริมาณกรดซิตริกในพันธุ์ทับทิมแดง T 2021 ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของนักวิจัยส่วนใหญ่ที่รายงานว่า การได้รับปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นทำให้คุณภาพของผลผลิตเพิ่มขึ้น (Fanasca et al., 2005; Idowu and Aduayi, 2007; Sofonias et al., 2018) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลาย

ลดลง ส่งผลให้ค่ากรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศา Brix) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) และไลโคปีน (Lycopene) มะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณเบต้าแคโรทีนไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มะเขือเทศจะได้รับปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงในระดับ K2 และ K3 ก็ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของมะเขือเทศซึ่งสอดคล้องกับ Okada et al. (2020) พบว่า ต้นหอมที่ได้รับโพแทสเซียมลดลง (0, 25, 50 และ 75 %) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงเพียง 0.1 องศา Brix เมื่อเทียบกับตำรับที่ได้รับโพแทสเซียม 100 % (7.3 องศา Brix) ในขณะที่ Ahmad et al. (2015) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่เหมาะสม (60 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) ทำให้มะเขือเทศมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS; Total soluble solids) สูงที่สุด การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงขึ้นกลับส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกและ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง นอกจากนี้ ตัวถูกละลายอื่น ๆ เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโน มีส่วนในการปรับออสโมติก (Ogawa and Yamauchi, 2006) และการขาดโพแทสเซียมในระดับปกติส่งผลให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเหล่านี้เพิ่มขึ้น (Ogawa et al., 2012)

ทั้งนี้ การลดลงของปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น เมื่อพืชเริ่มขาดโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเพิ่มการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้และลดปริมาณแป้งลง ซึ่งมีผลต่อเอนไซม์ โดยเฉพาะ pyruvate kinase และ 6-phosphofructokinase นอกจากนี้ โพแทสเซียมไอออนยังส่งเสริมให้เอนไซม์ starch synthetase ทำงานได้สูงที่สุด (ยงยุทธ. 2558; Nitsos and Evans, 1969) จากการรายงานของ Wuzhong (2002) พบว่า การเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียมมีส่วนช่วยให้ปริมาณน้ำตาลและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้น (Balibrea et al., 2006) ตรงกันข้ามกับ Al-Moshileh et al. (2017) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่ผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ Tsukagoshi et al. (2018) รายงานว่า มะเขือเทศแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เท่ากัน กรรมวิธีปลูก สภาพแวดล้อมในการปลูกมีผลต่อการสะสมโพแทสเซียมในผล รวมไปถึงคุณภาพผลผลิตของมะเขือเทศ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ กรดซิตริก เป็นต้น

ส่วนปริมาณไลโคปีน (lycopene) และเบต้าแคโรทีน (beta carotene) เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงไม่ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงและการตรึงคาร์บอนของพืช ซึ่งช่วยสร้างกรดไพรูเวตเพิ่มขึ้น โดยกรดไพรูเวตจะถูกออกซิไดซ์เป็น Acetyl CoA สารตั้งต้นในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) เนื่องจากกลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไลโคโรปีนและเบต้าแคโรทีน โดย Acetyl CoA ถูกรีดิวซ์เป็น Mevalonate และมีกระบวนการ Phytoene synthase ได้ Phytoene และเปลี่ยนเป็น Lycopene จากนั้นเปลี่ยนเป็น Beta – carotene (Figuroa-Méndez and Rivas-Arancibia, 2016)

## สรุป

การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลให้ปริมาณ K<sup>+</sup> ในมะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดง T2021 ลดลง แต่ไม่มีผลต่อมะเขือเทศพันธุ์สวีทบอย 1 แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงไม่ส่งผลต่อคุณภาพผลผลิต เพื่อให้ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังสามารถบริโภคมะเขือเทศเซอรี่สด นับเป็นทางเลือกในการรับประทานผักและผลไม้ที่ไม่สามารถทำได้ โดยจำเป็นต้องทำการศึกษาวินิจฉัยการจัดการและการลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชต่อไป เพื่อให้ได้ระดับ K<sup>+</sup> ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ป่วยโรคไต

## คำขอบคุณ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโครงการป้องกันและชะลอโรคไตเรื้อรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (CKDNET) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มอบทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

ชวลิต รัตนกุล. 2561. อาหารบำบัดในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะก่อนฟอกเลือด. แหล่งข้อมูล: <http://www.nephrothai.org/images/3.%EA5%E %B8%94.pdf>. ค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2562.  
 ยงยุทธ โอสสถภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

- สมาคมโรคไตแห่งประเทศไทย. 2561. สถานการณ์และแนวโน้มผู้ป่วยโรคไตในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล:  
<http://www.nephrothai.org>. ค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2562.
- Almeselmani, M., A., R.C. Pant, and B. Singh. 2010. Potassium level and physiological response and fruit quality in hydroponically grown tomato. *International journal of vegetable science*. 16: 85-99.
- Al-Moshileh, A.M., M.A. Errebhi, and H.A. Obiadalla-Ali. 2017. Effect of potassium fertilization on tomato and cucumber plants under greenhouse conditions. *Bioscience research*. 14(1): 68-74.
- American Kidney Fund; AKF. 2019. Stages of chronic kidney disease (CKD). Available: <http://www.kidneyfund.org/kidney-disease/chronic-kidney-disease-ckd/stages-of-chronic-kidney-disease/>. Accessed July 10, 2019.
- Asao, T., M. Asaduzzaman, M.F. Mondal, M. Tokuea, F. Adachi, M. Ueno, M. Kawaguchi, S. Yano, and T. Ban. 2014. Impact of reduced potassium nitrate concentration in nutrient solution on the growth, yield and fruit quality of melon in hydroponics. *Scientia Horticulturae*. 164: 221-231.
- Balibrea, M.E., C. Martnez-Andújar, J. Cuartero, M.C. Bolarín, and F. Pérez-Alfocea. 2006. The high fruit soluble sugar content in wild lycopersicon species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. *Functional Plant Biology*. 33(3): 279-288.
- Barsan, C., M. Zouine, E. Maza, W. Bian, I. Egea, M. Rossignol, D. Bouyssie, C. Pichereaux, E. Purgatto, and M. Bouzayen. 2012. Proteomic analysis of chloroplast- to- chromoplast transition in tomato reveals metabolic shifts coupled with disrupted thylakoid biogenesis machinery and elevated energy-production components. *Plant Physiology*. 160: 708–725.
- Batista, R.A.B., C.C. Japur, I.V. Prestes, J.S. Fortunato, M. Cavanha, and G. Pena. 2021. Potassium reduction in food by preparation technique for the dietetic management of patients with chronic kidney disease: a review. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. 34(4): 736–746.
- Benivia, L. 2020. Master list of typical pH and acid content of fruits and vegetables for home canning and preserving. Available: [https://www.pickyourown.org/ph\\_of\\_fruits\\_and\\_vegetables\\_qh.99](https://www.pickyourown.org/ph_of_fruits_and_vegetables_qh.99). Accessed. August 8, 2021
- Besford, R.T. and G.A. Maw. 1974. Uptake and distribution of potassium in tomato plants. *Plant and Soil*. 41(3): 601–618.
- Bulletin of the World Health Organization 2019. CKD in disadvantaged populations. Available: <https://www.who.int/bulletin/volumes/86/3/07-041715/en/>. Accessed February 12, 2020.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 521-530.
- Cardoso, F.B., H.E. Prieto Martinez, D.J. Henriques da Silva., C. do Carmo Milagres, and J.G. Barbosa. 2018. Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. *Pesquisa Agropecuaria Tropical Goiânia*. 48(4): 340-349.
- Cervoni, B. 2019. Tomato nutrition facts calories, carbs, and health benefits of tomato. Available: <https://www.verywellfit.com/tomatoes-nutrition-facts-calories-and-health-benefits4119981>. Accessed May 11, 2019.
- Chandrappa, G., A.A. Ahmad., N.V. Hue, and J.K.T. Radovich. 2015. Comparison of potassium (K<sup>+</sup>) status in pak choi (*Brassica rapa Chinensis* group) using rapid candy meter sap test and ICP spectrometry. *The Food Provider*. Accessed June 11, 2019.

- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2004. Effect of nutri-vant-peak foliar spray on plant development, yield, and fruit quality in greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 102(2): 177–188.
- Cupisti, A., K. Csaba; D.A. Claudia, and K. Kalantar-Zadeh. 2018. Dietary approach to recurrent or chronic hyperkalaemia in patients with decreased kidney function. *Nutrients*. 10(3): 261–275.
- Fanasca S., Y. Roupahel, M. Cardarelli, and G. Colla. 2005. The influence of K: Ca: Mg: Na ratio and total concentration on yield and fruit quality of soilless-grown tomatoes: a modelling approach. *Acta Horticulturae*. 697: 345-350.
- Figuroa-Méndez, R. and S. Rivas-Arancibia. 2016. Vitamin c in health and disease: Its role in the metabolism of cells and redox state in the brain. *Frontiers Physiology*. 6: 397.
- Gordon, A., and D.M. Barret. 2007. Standard of a rapid spectrophotometric method for lycopene analysis. *Acta Horticulturae*. 758: 111-128.
- Gross, J. 1991. *Pigments in vegetables*. Van Nordstrand. New York. United States of America.
- Hafsi, C., A. Lakhdar, Debez, A. and C. Abdelly. 2011. Differential responses in potassium absorption and use efficiencies in the halophytes *catapodium rigidum* and *hordeum maritimum* to various potassium concentrations in the medium. *Plant Production Science*. 14: 135-140.
- Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 2005. *Soil fertility and fertilizer: an introduction to nutrient management*. 7 th edition. Pearson Education. Inc. New Jersey.
- Idowu, M.K., and E.A. Aduayi. 2007. Sodium-potassium interaction on growth, yield and quality of tomato in ultisol. *Journal of Plant Interactions*. 2(4): 263-271.
- International Society of Nephrology; ISN. 2019. CKD in disadvantaged populations. Available: <https://www.worldkidneyday.org/facts/chronic-kidney-disease/ckd-disadvantagedpopulations>. Accessed July 10, 2019.
- Jong, M.D., C. Mariani, and W.H. Vriezen. 2009. The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. *Journal of Experimental Botany*. 60(5): 1523-1532.
- Kahlau, S., and R. Bock. 2008. Plastid transcriptomics and translomics of tomato fruit development and chloroplast-to-chromoplast differentiation: chromoplast gene expression largely serves the production of a single protein. *Plant Cell*. 20: 856–874.
- Kidney Foundation of Canada. 2013. Sodium (salt) and chronic kidney disease. Available: <https://kidney.ca/Search-Result?searchtext=sodium%20&searchmode=anyword>. Accessed July 10, 2019.
- Lester, G. E., J. L. Jifon, and D. J. Makus. 2010. Impact of potassium nutrition on food quality of fruits and vegetables: a condensed and concise review of the literature. *Better Crops*. 94(1): 18-21.
- Mangels, A. R., J.M. Holden, G.R. Beecher, M.R. Forman, and E. Lanza 1993. Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data, *Journal of the American Dietetic Association*. 93: 284-296.
- Marques, D.J. H.C. Bianchini, A.K.S. Labato, and W.F. Silva. 2018. Potassium fertilization in the production of vegetables and fruits. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/59252>. Accessed November 6, 2021.
- Massimiliano, R., M. Castellino, B. Leoni, V.M. Paradiso, and P. Santamaria. 2018. Microgreens production with low potassium content for patients with impaired kidney function. *Nutrition*. (10): 675.
- Megan, C.B.S., and B.S.P. Dominique. 2018. The importance of sodium restrictions in chronic kidney disease. *Journal of Renal Nutrition*. 28(5): e37-e40.

- Mondal, M.F., M. Asaduzzaman, M. Ueno, M. Kawaguchi, S. Yano, T. Ban, and T. Asao. 2017: Reduction of potassium (K) content in strawberry fruits through KNO<sub>3</sub> management of hydroponic. Horticulture. 86(1): 26-36.
- National kidney foundation; NKF. 2020. Sodium and your CKD diet: how to spice up cooking. Available: <https://www.kidney.org/atoz/content/sodiumckd>. Accessed May 10, 2020.
- Nitsos, S.E. and H.J. Evans. 1969. Effect of univalent cations on the activity of particulate starch synthesis. Plant Physiology. 44: 1260-1266.
- Ogawa, A. and A. Yamauchi. 2006. Root osmotic adjustment under osmotic stress in maize seedlings. 2. Mode of accumulation of several solutes for osmotic adjustment in the root. Plant Production Science. 9: 36-46.
- Ogawa, A., S. Taguchi, and C. Kawachima. 2007. A cultivation of spinach with low potassium content for patients on dialysis. Japan. Crop Science. 76(2): 232-237. (In Japan with English abstract)
- Ogawa, A., T. Eguchi, and K. Toyofuku. 2012. Cultivation method for leafy vegetable and tomatoes with low potassium content dialysis patients. Environmental Control in Biology. 50(4): 407-414.
- Okada, H., T. Abedin, A. Yamamoto, T. Hayashi, and M. Hosokawa. 2020. Production of low-potassium onions based on mineral absorption patterns during growth and development. Scientia Horticulturae. 267: 109252.
- Patient Food and Nutrition Services. 2016. Available: Potassium content of foods. University of Michigan Health System. <https://www.med.umich.edu/1libr/Nutrition/PotassiumHandout.pdf>. Accessed August 16, 2021.
- Petro - Turza, M. 1986. Flavor of tomato and tomato products. Food Reviews International. 2(3): 309-351.
- Pollock, C., D. Voss, E. Hodson, and C. Crompton. 2005. Caring for australasians with renal impairment (CARI). The CARI guidelines. Nutrition and growth in kidney disease. Nephrology Carlton. (10): S177-S230.
- Pujos, A. and P. Morard. 1997. Effect of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. Plant Soil. 189: 189-196.
- Putcha, N. and M. Allon. 2007. Management of hyperkalemia in dialysis patients. Seminars in Dialysis. 20(5): 431-439.
- Rančić, D., S.P. Quarrie, and I. Pečinar. 2010. Anatomy of tomato fruit and fruit pedicel during fruit development. Microscopy Science, Technology, Applications and Education. 2(1): 851-861.
- Saupe, S.G. 2008. Plant hormones - cytokinins. Available: <http://employees.csbsju.edu/ssaupe/biol327/Lecture/cytokinin.htm>. Accessed October 31, 2021.
- Shan, L. K. Chan, and D. Grierson. 2021. Molecular and hormonal mechanisms regulating fleshy fruit ripening. Cell. 10: 1136-1170.
- Sofonias, H.W., S. Lal., D.Z. Zelelew, and M.T. Solomon. 2018. Effect of potassium levels on productivity and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Agricultural Studies. 6(1): 104-117.
- Story, E.N., R.E. Kopec, S.J. Schwartz, and G.K. Harris. 2010. An update on the health effects of tomato lycopene. Annual Review of Food Science and Technology. 1: 189-210.
- Suzuki, M., S. Takahashi, T. Kondo, H. Dohra, Y. Ito, Y. Kiriwa, M. Hayashi, S. Kamiya, M. Kato, and M. Fujiwara. 2015. Plastid proteomic analysis in tomato fruit development. PLoS ONE. 10(9): 1-25.
- Talukder, M.R., M. Asaduzzaman, M. Ueno, M. Kawaguchi, S. Yano, T. Ban, H. Tanaka, and T. Asao. 2016: Low potassium content vegetable research for chronic kidney disease patients in Japan. Nephrology. 2(1): 1-8.

- Tamme, T., M. Reinik., M. Roasto., K. Juhkam., T. Tenno and A. Kiis. 2011. Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by Estonian population. *Food Additives and Contaminants*. 23(4): 355-361.
- Tisdale, S.L., J.L. Havlin, J.D. Beaton, and W.L. Nelson. 1999. *Soil fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 6 th ed. Prentice Hall. New Jersey. United States of America.
- Tomemori, H., K. Hamamura, and K. Tanabe. 2002: Interactive effects of sodium and potassium on the growth and photosynthesis of spinach and komatsuna. *Plant Production Science*. 5(4): 281-285.
- Tsukagoshi, S., E. Hamano, M. Hohjo, and F. Ikegami. 2015. Hydroponic production of low-potassium tomato fruit for dialysis patients. *International Journal of Vegetable Science*. 21: 1-10.
- Tsukagoshi, S., M. Johkan, M. Aoki, M. Hohjo, and T. Maruo. 2018. A quantitative management of potassium supply for hydroponic production of low-potassium cherry-type tomato fruit for chronic kidney disease patients. *Horticulturae*. 7(87): 1-10.
- World health organization; WHO. 2020. Salt reduction. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction>. Accessed May 10, 2020.
- Wuzhong, N. 2002. Yield and quality of fruits of solanaceous crops as affected by potassium fertilization. *Better Crops International*. 16(1): 6-8.
- Zahra, T., M. Ghafari, and M. Amiri. 2015. Lycopene and kidney future potential application. *Nephropharmacol*. 4(2): 49-51.