

อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมในดินต่อการสะสมน้ำตาลและกรดซิตริกในมะเขือเทศ

โซลาริโน (*Solanum lycopersicum* L.)

Effects of Soil Potassium Content on the Sugar and Citric Acid

Concentrations in 'Solarino' Tomato Fruit (*Solanum lycopersicum* L.)

สุวิมล สืบคำ*

Suwimon Suebka*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

*ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) E-mail: suwimon@vru.ac.th

Received: September 12, 2025

Revised: September 23, 2025

Accepted: November 26, 2025

บทคัดย่อ

มะเขือเทศเป็นพืชที่นิยมนำมารับประทานได้ทั้งผลสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความนิยมบริโภคมะเขือเทศพันธุ์ผลเล็กมากขึ้นโดยเฉพาะพันธุ์โซลาริโน (*Solanum lycopersicum* L.) เนื่องจากมีรสชาติดี หวานอมเปรี้ยว ซึ่งปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์เป็นปัจจัยหลักในรสชาติของมะเขือเทศ โดยโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการปลูกผลไม้ให้มีรสชาติดี จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณโพแทสเซียมในดินต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดซิตริกในมะเขือเทศโซลาริโน พบว่าดินปลูกมะเขือเทศจากสวนที่ 1 มีปริมาณโพแทสเซียมรวมมากที่สุด คือ 543.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินจากสวนที่ 2 มีปริมาณโพแทสเซียมรวมมากเป็นลำดับถัดมาคือ 530.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ผลผลิตมะเขือเทศที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าสวนอื่นๆ คือ 5.69 และ 6.27 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ถึงแม้ว่าดินจากสวนที่ 1 จะให้ผลผลิตที่มีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าสวนที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสวนอื่นที่มีปริมาณโพแทสเซียมในดินน้อยกว่าจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่า ก็แสดงให้เห็นว่าปริมาณโพแทสเซียมในดินมีผลต่อการสร้างน้ำตาลในมะเขือเทศ และจากการศึกษาปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศ พบว่าปริมาณกรดซิตริกที่ลดลงนั้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมในดิน โดยดินจากสวนที่ 1 ที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุดจะให้มะเขือเทศที่มีกรดซิตริกต่ำกว่าสวนอื่น คือ ร้อยละ 0.419 โดยมวล จากกระบวนการสลายกรดอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม มะเขือเทศจากสวนที่ 5 ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในดินต่ำที่สุด มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดซิตริกต่ำที่สุด ทำให้คุณภาพของรสชาติต่ำที่สุดด้วย ดังนั้นโพแทสเซียมจึงเป็นธาตุอาหารสำคัญที่เพิ่มคุณภาพของรสชาติมะเขือเทศ

คำสำคัญ: มะเขือเทศ, โซลาริโน, ปริมาณโพแทสเซียม, น้ำตาลรีดิวซ์, กรดซิตริก

Abstract

Tomato is a popular plant in plant in Thailand due to its high nutritional value. It can be eaten fresh or processed into various products. Nowadays, Solarino tomatoes are more popular for consumption because it tastes good sweet and sour. The sugar content and organic acids are the main factors in tomato flavor and potassium is a key nutrient for growing good-tasting fruit. Therefore, the effect of soil potassium content on sugar and organic acid content in Solarino tomato was analyzed. It was found that the soil from Farm 1 had the highest potassium content (543.8 mg/kg) and the soil from Farm 2 had the second highest potassium content (530.4 mg/kg), yielding tomatoes with higher sugar concentration than other farms, 6.59 and 6.27 mg/g FW respectively. Although the soil from Farm 1 yielded lower sugar content than Farm 2, other farms with lower potassium content also yielded lower sugar content. It was shown that the potassium content in the soil affected sugar formation in tomato. The study of citric acid content in tomatoes was found that a decrease in the citric acid concentration was consistent with an increase in potassium content in the soil. The soils from Farm 1 which had the highest concentration of potassium produced tomatoes with a low concentration of citric acid (0.419 %w/w), resulting in a high sugar-to-citric acid ratio. However, tomatoes from Farm 5, which had the lowest potassium concentration in the soil, contain the lowest concentrations of reducing sugars and citric acid, leading to the poorest taste quality. Therefore, potassium is an important nutrient that increases the flavor quality of tomatoes.

Keywords: Tomatoes, Solarino, Potassium content, Reducing Sugar, Citric acid

บทนำ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมพืชของประเทศไทย จากสถิติการเกษตร ปี 2566 ประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวมะเขือเทศทั้งสิ้น 38,702 ไร่ ผลผลิตรวม 139,760 ตัน มูลค่าของผลผลิตรวมกว่าสองพันล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) มะเขือเทศที่นิยมบริโภคเป็นพันธุ์ผลเล็ก รู้จักกันในชื่อมะเขือเทศเชอร์รี่หรือมะเขือเทศราชินี เป็นพืชล้มลุกวงศ์มะเขือ (Solanaceae) ลำต้นตั้งตรงมีลักษณะเป็นพุ่ม ออกผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างต่างกัน เปลือกผลบางเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวหรือเขียวอมเทา เมื่อสุกจะมีสีเหลือง

สีส้ม หรือสีแดง นิยมรับประทานสดเป็นผลไม้ มีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว เนื้อแน่นมีกลิ่นหอม การปลูกจะเก็บเกี่ยวได้ภายใน 90 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,000 - 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ (วิณา จิรจรรย์กุล, 2543) มีแหล่งสารอาหารหลายชนิด ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น วิตามินเอ ช่วยบำรุงสายตาและผิวพรรณ วิตามินซี เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยควบคุมความดันโลหิตและบำรุงหัวใจ นอกจากนี้ มะเขือเทศพบไลโคปีน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งต่อมลูกหมากและโรคหลอดเลือดหัวใจ หัวใจ ลดปริมาณไขมันไม่ดี (LDL-cholesterol) และช่วยลดการอักเสบในร่างกาย (สุธาทิพ ภมรประวัติ, 2552) ในปัจจุบัน มะเขือเทศเชอร์รี่หรือมะเขือเทศราชินีจึงเป็นที่นิยมจึงเป็นที่นิยมรับประทานในกลุ่มคนรักสุขภาพมากขึ้นในกลุ่มคนรักสุขภาพมากขึ้น โดยรับประทานสดซึ่งมีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว เนื้อแน่นมีกลิ่นหอม

มะเขือเทศแต่ละสายพันธุ์จะมีรสชาติแตกต่างกัน คุณภาพขึ้นอยู่กับปริมาณกรดอินทรีย์และน้ำตาลที่สมดุลเพื่อบ่งบอกถึงรสชาติที่เหมาะสมแก่การรับประทาน ซึ่งกรดที่มีปริมาณมากที่สุด ในมะเขือเทศคือ กรดซิตริกและกรดมาลิก โดยเฉพาะกรดซิตริกที่มีปริมาณมากที่สุด ในมะเขือเทศทุกระยะ (Davies J. N., 1966; Salunkhe D.K., *et al.* 1974) โดยผลมะเขือเทศแก่จะมีปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้มีรสเปรี้ยวสูง แต่ปริมาณกรดอินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงตามระยะที่มะเขือเทศสุกมากขึ้น (นิธิยา รัตนพานนท์ และดนัย บุญเกียรติ, 2533) ซึ่งจากงานวิจัยของ Agius C., *et al.* (2018) พบว่าปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์ของมะเขือเทศขึ้นอยู่กับระดับความสุกของผลมะเขือเทศ สายพันธุ์ที่ปลูก สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต และแร่ธาตุที่ได้รับ โดยเฉพาะแร่ธาตุโพแทสเซียมซึ่งต่อมามีรายงานว่าสามารถเพิ่มคุณภาพของรสชาติของมะเขือเทศจากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลซูโครส กรดซิตริก และกรดมาลิกได้ (Wu S., *et al.*, 2021; Wu, K. *et al.*, 2022)

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีส่วนสำคัญสำหรับกระบวนการต่างๆ ของเซลล์พืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์น้ำตาลและแป้ง การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลจากใบไปยังผล ทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรค เป็นต้น โดยมีการศึกษาการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิตผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม (Quaggio J. A., *et al.* 2006) แอปเปิล (Zhang, W., *et al.* 2018), ลูกแพร์ (Shen, C., *et al.* 2017) องุ่น (Obenland, D., *et al.* 2015) และมะเขือเทศ (Ogawa, A., *et al.* 2012; Çolpan, E., *et al.*, 2013; Daoud, B., *et al.*, 2020; Hernández-Pérez, I., *et al.*, 2019) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การให้แร่ธาตุโพแทสเซียม สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส น้ำตาล ฟรุกโตส และกรดอินทรีย์ในส้ม (Wu S., *et al.* 2021) โดยสามารถเพิ่มเมตาบอลิซึมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสะสมน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริกในส้มด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม การบริโภคผักผลไม้อินทรีย์ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน จึงมีเกษตรกรหลายรายที่หันมาทำการเกษตรโดยไม่ใช้สารสังเคราะห์ใดๆ ในการเพาะปลูกแต่จะใช้เพียงปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกจากธรรมชาติเท่านั้น การลดขั้นตอนการใส่ปุ๋ยเคมีนี้อาจทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่พืชได้รับลดลง

โดยเฉพาะในระยะพัฒนาผลที่เน้นการเพิ่มแร่ธาตุโพแทสเซียม ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตที่ได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกมะเขือเทศแบบอินทรีย์ ต่อปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดอินทรีย์ในมะเขือเทศผลเล็กพันธุ์โซลาริโน (Solarino RZ F1) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ชาวสวนปลูกมากขึ้นในปัจจุบัน อีกทั้งเป็นสายพันธุ์ที่รับประทานง่าย มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว เนื้อแน่น ไม่มีกลิ่นฉุน โดยใช้ดินจาก 5 สวน ในพื้นที่อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะเขือเทศพันธุ์โซลาริโนอย่างแพร่หลาย และมีสภาพอากาศเย็นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การออกดอก และติดผล ดำเนินการปลูกมะเขือเทศแบบอินทรีย์ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2565 ใช้ระยะเวลา 3 เดือน และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2566 เก็บในระยะผลสุกเป็นสีแดงทั้งผลพร้อมจำหน่าย ดังนั้นระดับความสุกของมะเขือเทศจึงเป็นค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่นำออกจำหน่ายจริงจากสวนสู่ผู้บริโภค ทั้งนี้องค์ความรู้ที่ได้รับจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการดินสำหรับการปลูกมะเขือเทศในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหาปริมาณของโพแทสเซียมในดิน น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดซิตริกในมะเขือเทศพันธุ์โซลาริโน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมในดินต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดซิตริกในมะเขือเทศพันธุ์โซลาริโน

วิธีการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

โดยวิธีการจากหนังสือ Method of Soil Analysis (Helmke P. A. & Sparks, D. L., 1996) และรายงานวิชาการ กรมอุตสาหกรรมการพื้นฐานและการเหมืองแร่ (รชดาภรณ์ คัมพุ่ม, 2551)

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากสวนในพื้นที่อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 5 สวน ที่เตรียมโดยการยกแปลงขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 7 เมตร สำหรับปลูกมะเขือเทศพันธุ์โซลาริโนโดยไม่ใช้ปุ๋ยเคมี เริ่มปลูกในเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2565 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินจาก 5 ตำแหน่งภายในแปลงเดียวกันที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร นำมาผสมรวมกันเพื่อทำการวิเคราะห์ตามหลักการสุ่มตัวอย่างแบบผสมผสาน (Composite Sampling) ผึ่งดินให้แห้งในที่ร่ม แล้วบดตัวอย่างดินให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (soluble potassium) ในดิน

ชั่งดินที่แห้งหนัก 2.5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำ 3 ซ้ำ) ใส่ในขวดที่มีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดแล้วเขย่านาน 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นกรองของเหลวที่ได้ด้วยกระดาษกรอง ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวัดปริมาณไอออนโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (AAS): PerkinElmer รุ่น PinAAcle 900F (ทำการเจือจางความเข้มข้นสารละลายตัวอย่างก่อนวัด 10 เท่า) โดยใช้เทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ($y = 0.4261x + 0.0185$ ค่า $R^2 = 0.9914$) และคำนวณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)} = \frac{\text{ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \times 100}{\text{น้ำหนักดิน (กรัม)}}$$

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) ในดิน

นำตะกอนดินที่เหลือจากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้จากข้อ 1.2 มาเติมสารละลายแอมโมเนียมแอซิเตด (NH_4OAc) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ พีเอช 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นกรองของเหลวที่ได้ผ่านกระดาษกรองและล้างตะกอนดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมแอซิเตด 3-4 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่กรองทั้งหมดได้ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS (ทำการเจือจางความเข้มข้นสารละลายตัวอย่างก่อนวัด 20 เท่า) โดยใช้เทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไนเตรดและคำนวณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเช่นเดียวกับข้อ 1.2

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมะเขือเทศ โดยการใช้วิธี Modified dinitrosalicylic acid (Miller G. L., 1959; Jain A., *et al.*, 2020)

2.1 เตรียมสาร dinitrosalicylic (DNS) reagent

ละลาย กรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (DNS) ปริมาณ 2.5 กรัม ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 2 นอร์มอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) ปริมาณ 75 กรัม นำไปอุ่นและกวนจนละลายหมด เติมน้ำให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 250 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

2.2 การสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส

โดยเตรียมสารละลายกลูโคสเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตต์สารละลายกลูโคสมาตรฐานที่เตรียมได้ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNS 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการนำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำแข็งที่ละลายประมาณ 3-5 นาที เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Macylab รุ่น UV-1800SPC) ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 540 นาโนเมตร นำค่าที่อ่านได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส ($y = 0.014x + 0.0836$ ค่า $R^2 = 0.9954$)

2.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

นำตัวอย่างมะเขือเทศ 200 กรัม (เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2566) ระยะเวลาการปลูกประมาณ 90 วัน เก็บในระยะผลสุกเป็นสีแดงทั้งผลพร้อมจำหน่าย หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่น (OTTO รุ่น BE-127A) เป็นเวลา 2 นาที นำมะเขือเทศที่ได้มาปั่นหยาบที่ความเร็ว 5000 รอบต่อวินาที ตูดส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 0.9 มิลลิลิตร (เจือจางความเข้มข้นสารละลายตัวอย่าง 10 เท่า) ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNS 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที นำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำแข็งที่ละลายประมาณ 3-5 นาที เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายเบลงค์ (Blank solution) ซึ่งเตรียมโดยใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DNS 1.0 มิลลิลิตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสเพื่อหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

3. การวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศ

อ้างอิงวิธีการจาก AOAC (2000) ดังนี้

ใช้น้ำมะเขือเทศ 5 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล ซึ่งเทียบหาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วด้วยโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($C_8H_5KO_4$) และใช้ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน หลังจากนั้นคำนวณปริมาณกรดซิตริก (%) จากสูตร

$$\text{กรดซิตริก (\%)} = \frac{N \text{ ของ NaOH} \times \text{มิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้} \times \text{meq.wt citric acid} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมะเขือเทศ (กรัม)}}$$

โดย meq.wt citric acid = 0.06404

น้ำหนักนํ้ามะเขือเทศ (กรัม) = ปริมาณนํ้ามะเขือเทศ × ค่านํ้าหนักต่อปริมาตร (1.03)

$$\text{ดั่งนั้นกรดซิตริก (\%)} = \frac{\text{มิลลิกรัมของ NaOH} \times 0.6404}{5.15}$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน One-way ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลอง และเมื่อตรวจพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธีของ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% รายงานผลการทดลองรายงานในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD)

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

ปริมาณโพแทสเซียมในดินปลูกลมะเขือเทศที่ถูกวิเคราะห์อยู่ในรูปของโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นประเภทของโพแทสเซียมที่พืชนำไปใช้มากที่สุดเนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ทันที (Cox A. E., *et al.*, 1999) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณโพแทสเซียมในดินปลูกลมะเขือเทศ

ดินที่ปลูก มะเขือเทศ	ปริมาณโพแทสเซียมในดินเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) *		
	ปริมาณโพแทสเซียมที่ ละลายน้ำได้	ปริมาณโพแทสเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้	ปริมาณโพแทสเซียม รวม
สวนที่ 1	73.3 (±1.1) ^a	470.5 (±2.2) ^b	543.8 (±2.5) ^a
สวนที่ 2	52.6 (±1.1) ^c	477.8 (±1.8) ^a	530.4 (±2.1) ^a
สวนที่ 3	36.6 (±1.1) ^d	378.5 (±2.3) ^c	415.1 (±2.5) ^b
สวนที่ 4	52.7 (±1.2) ^b	141.7 (±2.3) ^d	194.4 (±2.6) ^c
สวนที่ 5	10.6 (±1.0) ^e	115.4 (±1.3) ^e	126.0 (±1.6) ^d

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกกำลังภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธีการทดสอบ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD)

จากผลการทดสอบพบว่าดินปลูกลมะเขือเทศจากสวนที่ 1 มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มากที่สุดคือ 73.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และยังมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมรวมทั้ง 2 ชนิดมากที่สุด คือ 543.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินจากสวนที่ 2 มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมรวมมากเป็นลำดับถัดมาคือ 530.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมรวมน้อยที่สุดคือสวนที่ 5

คือ 126.0 มิลลิกรัมต่อกรัม (p<0.05)

ปริมาณน้ำตาล และปริมาณกรดของมะเขือเทศขึ้นกับระดับความสูงของมะเขือเทศ จึงทำการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศพันธุ์โซลาริโนในระยะผลสุกเป็นสีแดงทั้งผลพร้อมจำหน่าย ดังนั้นระดับความสูงของมะเขือเทศจึงเป็นค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่นำออกจำหน่ายจริงจากสวนสู่ผู้บริโภค เนื่องจากน้ำตาลที่พบในมะเขือเทศคือน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสซึ่งมีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (พงษ์เทพ เกิดเนตร, 2542) จึงใช้การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมะเขือเทศด้วยวิธี DNS ดังแสดงในตารางที่ 2

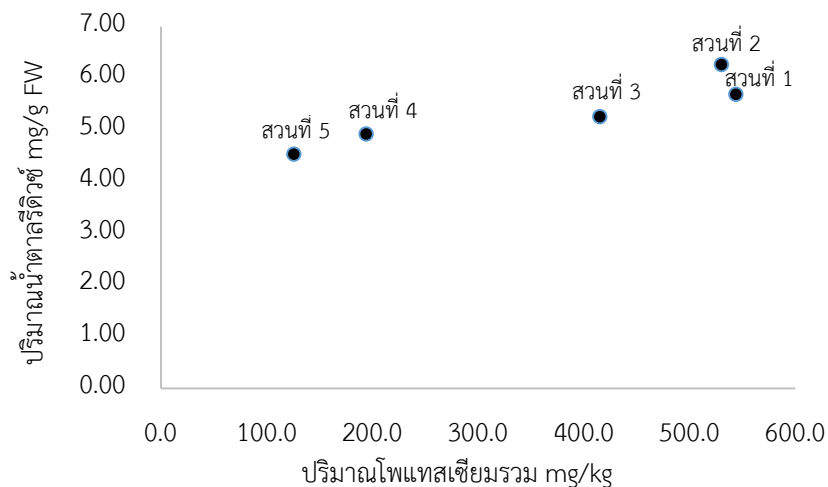
ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมะเขือเทศ วิเคราะห์โดยวิธี DNS

พื้นที่ปลูกมะเขือเทศ	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ย * (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)
สวนที่ 1	5.69 (± 0.06) ^b
สวนที่ 2	6.27 (± 0.01) ^a
สวนที่ 3	5.26 (± 0.05) ^c
สวนที่ 4	4.93 (± 0.11) ^d
สวนที่ 5	4.54 (± 0.07) ^d

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกกำลังภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธีการทดสอบ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD)

จากผลการวิเคราะห์พบว่าโดยส่วนใหญ่ปริมาณน้ำตาลในมะเขือเทศสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมในดินปลูก (p<0.05) มะเขือเทศจากสวนที่ 2 มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงที่สุดคือ 6.27 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือมะเขือเทศจากสวนที่ 1 มีความเข้มข้นของน้ำตาล 5.69 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งทั้ง 2 สวนมีปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าสวนอื่นๆ อย่างไรก็ตาม พบว่าดินจากสวนที่ 1 มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าแต่ให้ผลผลิตที่มีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าสวนที่ 2 แต่เนื่องจากดินจากทั้ง 2 สวนมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ทั้งยังมิได้มีการเติมแร่ธาตุโพแทสเซียมหรือสารเคมีใดๆลงในดินปลูก เป็นไปได้ว่ายังมีโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non-exchangeable potassium) ซึ่งส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้ในแร่ดินเหนียว และมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งมีบทบาทต่อการใช้โพแทสเซียมของพืช (Cox A. E., *et al.*, 1999; ทิมทอง ดรณสนธยา และคณะ, 2563) เป็นไปได้ว่ามะเขือเทศในสวนที่ 2 อาจสามารถเข้าถึงหรือใช้ประโยชน์จากโพแทสเซียมทั้งหมดรวมทั้งรูปแบบที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ ได้ดีกว่าสวนที่ 1 นอกจากนี้สวนอื่นๆที่มีปริมาณโพแทสเซียมในดินน้อยกว่าจะให้ผลผลิตมะเขือเทศที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่า โดยเฉพาะมะเขือเทศจากสวนที่ 5 ซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำตาลต่ำที่สุดคือ 4.54 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ

เป็นสวนที่มีปริมาณโพแทสเซียมในดินต่ำที่สุด จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 ส่วนนี้จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณโพแทสเซียมในดินมีผลต่อการสร้างน้ำตาลในมะเขือเทศ



ภาพที่ 1 กราฟแสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เทียบกับปริมาณโพแทสเซียมรวม ในมะเขือเทศโซลาริโน

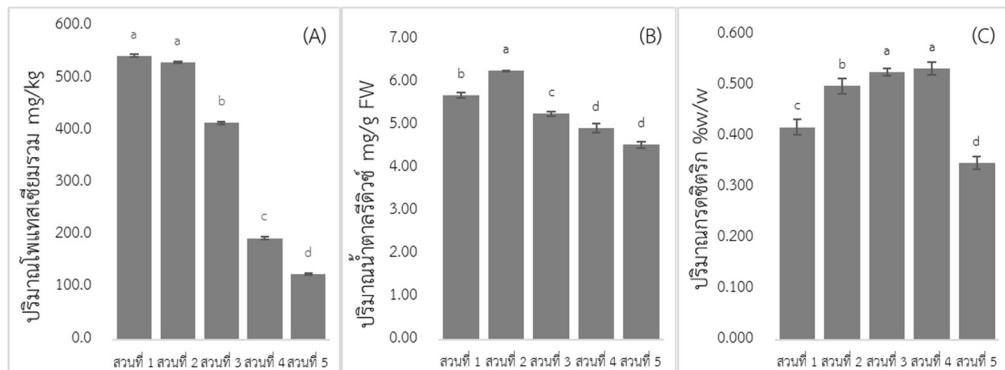
ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำตาลที่สูงจะส่งผลให้มะเขือเทศมีรสหวาน แต่รสชาติที่ดีต้องคำนึงถึงปริมาณกรดในผลไม้ซึ่งทำให้เกิดรสเปรี้ยวด้วย ทั้งยังมีรายงานว่า การให้แร่ธาตุโพแทสเซียมนอกจากจะสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลในผลไม้แล้ว ยังเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ได้อีกด้วย (Wu, S., et. al. 2021) ซึ่งกรดที่มีปริมาณมากที่สุดในมะเขือเทศคือกรดซิตริกและกรดมาลิก มีรวมกันประมาณร้อยละ 60 ของกรดทั้งหมด การศึกษาปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศ วิเคราะห์โดยวิธีไทเทรชัน

พื้นที่ปลูกมะเขือเทศ	ปริมาณกรดซิตริกเฉลี่ย * (ร้อยละโดยมวล)	อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดซิตริก
สวนที่ 1	0.419 (± 0.014) ^c	13.6:1
สวนที่ 2	0.499 (± 0.016) ^b	12.6:1
สวนที่ 3	0.526 (± 0.007) ^a	10.0:1
สวนที่ 4	0.535 (± 0.012) ^a	9.2:1
สวนที่ 5	0.348 (± 0.012) ^d	13.0:1

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกกำลังภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยวิธีการทดสอบ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD)

จากการศึกษาปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศ พบว่ามะเขือเทศจากสวนที่ 4 ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมรวมต่ำกว่าสวนที่ 1 สวนที่ 2 มีความเข้มข้นของกรดซิตริกสูงที่สุด คือร้อยละ 0.535 โดยมวล และสวนที่ 3 มีความเข้มข้นของกรดซิตริกต่ำกว่าเล็กน้อย คือ ร้อยละ 0.526 โดยมวล ซึ่งไม่แตกต่างกับสวนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่สวนที่ 2 สวนที่ 1 และสวนที่ 5 มีความเข้มข้นของกรดซิตริกลดลงตามลำดับ ($p < 0.05$)

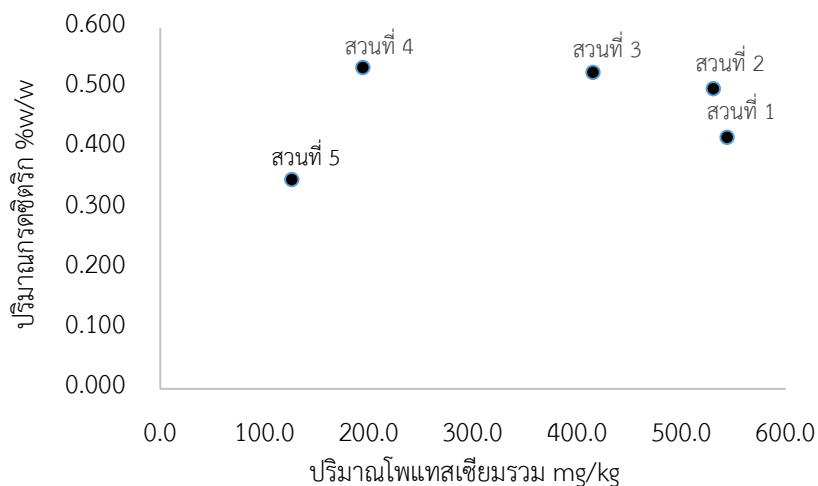


ภาพที่ 2 ปริมาณโพแทสเซียมรวม (A) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (B) และปริมาณกรดซิตริก (C) ในมะเขือเทศโซลาริโน ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu (2021) ซึ่งรายงานว่าดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูงจะทำให้การสะสมกรดซิตริกในผลไม้เพิ่มขึ้น แต่การพบว่าสวนที่มีแร่ธาตุโพแทสเซียมในดินต่ำ (สวนที่ 4 และ 3) กลับมีความเข้มข้นของกรดซิตริกสูง และสวนที่มีปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมสูง (สวนที่ 1 และสวนที่ 2) กลับมีปริมาณกรดซิตริกต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang (2024) ที่ได้ทำการศึกษากลุ่มของปริมาณโพแทสเซียมต่อเมตาบอลิซึมของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ในองุ่น ซึ่งพบว่านอกจากแร่ธาตุโพแทสเซียมจะสามารถเพิ่มการสร้างและสะสมกรดอินทรีย์ในองุ่นได้แล้ว ยังช่วยเพิ่มเมตาบอลิซึมในการสลายกรดอินทรีย์ในระยะที่องุ่นสุกอีกด้วย โดยโพแทสเซียมทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้กับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายกรดอินทรีย์ นอกจากนั้นไอออนโพแทสเซียมที่สะสมในผลไม้ปริมาณมากจะทำให้ปฏิกิริยากับกรดซิตริกอิสระ ก่อตัวเป็นเกลือโพแทสเซียม ทำให้ปริมาณกรดอิสระที่วัดได้ลดลงด้วย เช่นเดียวกับมะเขือเทศที่ปริมาณกรดอินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงในระยะที่มะเขือเทศสุก โดยปริมาณของกรดมาลิกจะลดลงก่อนและตามด้วยกรดซิตริก อัตราส่วนของกรดมาลิกต่อกรดซิตริกจะค่อยๆ ลดลงจนมีอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดประมาณ 6.25-11.30 (นิธิยา รัตนพานนท์ และคณะ บุญยเกียรติ, 2533)

อย่างไรก็ตาม มะเขือเทศจากสวนที่ 5 มีความเข้มข้นของกรดซิตริกต่ำที่สุด คือ 0.348 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุด สอดคล้องกับการที่ดินปลูกมะเขือเทศจากสวนที่ 5 มีปริมาณโพแทสเซียมรวมน้อยที่สุด และยังสอดคล้องกับรายงานวิจัยการปลูกมะเขือเทศเซอร์รี่ที่ปลูกในระบบ

ไฮโดรพอนิกส์ ซึ่งลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วพบว่ามะเขือเทศพันธุ์ทับทิมแดงและพันธุ์สวีทบอยมีปริมาณน้ำตาลและกรดซิตริกลดลง (กนกพร มานันตพงศ์ และคณะ, 2565) ดังนั้นการขาดโพแทสเซียมในดินปลูก จะส่งผลกระทบต่อเมตาบอลิซึมการสร้างและสะสมน้ำตาลและกรดอินทรีย์ในมะเขือเทศ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดซิตริกพบว่า สวนที่ 1 ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงที่สุด ให้ผลมะเขือเทศที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและมีอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดซิตริกสูงที่สุด ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมในดินจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพรสชาติที่ดีของมะเขือเทศ



ภาพที่ 3 กราฟแสดงปริมาณกรดซิตริกเทียบกับปริมาณโพแทสเซียมรวม ในมะเขือเทศโซลาริโน

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณโพแทสเซียมในดินต่อปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์ในมะเขือเทศโซลาริโน พบว่าดินปลูกมะเขือเทศจากสวนที่ 1 และดินจากสวนที่ 2 มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าสวนอื่นๆ ให้ผลผลิตมะเขือเทศที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงกว่า ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมในดินมีผลต่อการสร้างน้ำตาลในมะเขือเทศ และจากการศึกษาปริมาณกรดซิตริกในมะเขือเทศ พบว่าความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ลดลงสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมในดิน ซึ่งดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูงจะให้มะเขือเทศที่มีกรดซิตริกต่ำ และมีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดซิตริกสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สวนที่ 5 ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในดินต่ำที่สุด ให้ผลผลิตมะเขือเทศที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลรวิดส์และกรดซิตริกต่ำที่สุด ทำให้คุณภาพของรสชาติต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารสำคัญที่สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของรสชาติมะเขือเทศ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะนักวิทยาศาสตร์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งอำนวยความสะดวกทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กนกพร มานันตพงศ์, อนงนาฏ ศรีประโชติ, ศิริรัตน์ อนุตระกูลชัย, รัฐพล ไกรกลาง และ พรทิพา กัญยวงศ์หา. (2565). ผลของการลดปริมาณโพแทสเซียมต่อคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์. *วารสารแก่นเกษตร*, 50(4), 1006-1018.
- ทิมทอง ดรณสนธยา, พัสกร ทะสานนท์, วิทยา จินดาหลวง และ กรุณา พุ่มทรง. (2563). จลนศาสตร์การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินที่ลุ่มบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 36(1), 123-133.
- นินิยา รัตนานนท์ และดนัย บุญเกียรติ. (2533). *วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เศรษฐกิจ*. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงษ์เทพ เกิดเนตร. (2542). *เทคโนโลยีผักและผลไม้*. (เอกสารประกอบการสอนวิชา 0404434 เทคโนโลยีผักและผลไม้). นครศรีธรรมราช: ภาควิชา อุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์นครศรีธรรมราช สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพฯ.
- รชดาภรณ์ คุ่มพุ่ม. (2551). *เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในดินด้วยวิธีทางเคมี*. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- วีณา จิรัจฉริยากุล. (2543). มะเขือเทศ. *จุลสารข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล* 3(17), 3-11.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566) *สถิติการเกษตรของประเทศไทย 2566*.
- สุชาติพิท ภูมิประวดี. (2552). มะเขือเทศราชินี. *นิตยสารหมอชาวบ้าน*, 359, 28-32
- Agius, C., Tucher, S., Poppenberger, B., & Rozhon, W. (2018). Quantification of sugars and organic acids in tomato fruits. *MethodsX*, 5, 537-550. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.05.014>
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (17th ed). Maryland: AOAC international.

- Colpan, E., Zengin, M., & Ozbahce, A. (2013). The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54, 20–28. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0080-4>
- Cox, A. E., Joern, B. C., Brouder, S. M., & Gao, D. (1999) Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 902-911. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ1999.634902X>
- Daoud, B., Pawelzik, E., & Naumann, M. (2020). Different potassium fertilization levels influence water-use efficiency, yield, and fruit quality attributes of cocktail tomato- A comparative study of deficient-to-excessive supply. *Scientia Horticulturae*, 272, 109562. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109562>
- Davies, J. N. (1966). Changes in the non-volatile organic acids of tomato fruit during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17, 396–400.
- Helmke, P. A. & Sparks, D. L. (1996). Chapter 19: Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium, method of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America. (551-572).
- Hernández-Pérez, I., Valdez-Aguilar, L. A., Alia Tejacal, I., Cartmill, A. D., & Cartmill, D. L. (2019). Tomato fruit yield, quality, and nutrient status in response to potassium: Calcium balance and electrical conductivity in the nutrient solution. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 484–492. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00133-9>
- Jain, A., Jain, R., & Jain, S. (2020). Quantitative analysis of reducing sugars by 3, 5-dinitrosalicylic acid (dnsa method). in: basic techniques in biochemistry, microbiology and molecular biology (Springer Protocols Handbooks). New York: Humana.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 420-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Obenland, D., Feliziani, E., Zhu, S., Zhao, X., Margosan, D.A., Mlikota Gabler, F., VanZyl, S., Romanazzi, G., Smilanick, J.L., Beno-Moualem, D., Kaplunov, T. & Lichter, A. (2015). Potassium application to table grape clusters after veraison increases soluble solids by enhancing berry water loss. *Scientia Horticulturae*, 187, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.005>

- Ogawa, A., Eguchi, T. & Toyofuku, K. (2012). Cultivation method for leafy vegetable and tomatoes with low potassium content dialysis patients. *Environmental Control in Biology*, 50(4), 407-414. <https://doi.org/10.2525/ecb.50.407>
- Quaggio, J. A., Mattos, D. & Cantarella, H. (2006). Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in tropical soils. *Fruits*, 61(5), 293–302. <https://10.1051/fruits:2006028>
- Salunkhe, D. K., Jadhav, S. J., & Yu, M. H. (1974) Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qualitas Plantarum: Plant Foods for Human Nutrition*, 24, 85–113. <https://doi.org/10.1007/BF01092727>
- Shen, C., Wang, J., Jin, X., Liu, N., Fan, X., Dong, C., Shen, Q., & Xu, Y. (2017). Potassium enhances the sugar assimilation in leaves and fruit by regulating the expression of key genes involved in sugar metabolism of Asian pears. *Plant Growth Regulation*, 83, 287–300. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0294-z>
- Wang, J., Lu, Y., Zhang, X., Hu, W., Lin, L., Deng, Q., Xia, H., Liang, D., & Lv, X. (2024). Effects of potassium-containing fertilizers on sugar and organic acid metabolism in grape *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 2828. <https://doi.org/10.3390/ijms25052828>
- Wu, K., Hu, C., Wang, J., Guo, J., Sun, X., Tan, Q., Xiaohu, Z., & Wu, S. (2022). Comparative effects of different potassium sources on soluble sugars and organic acids in tomato. *Scientia Horticulturae*, 308, 111601. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111601>
- Wu, S., Zhang, C., Li, M., Tan, Q., Sun, X., Pan, Z., Deng, X. & Hu, C. (2021). Effects of potassium on fruit soluble sugar and citrate accumulations in Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Scientia Horticulturae*, 283, 110057. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110057>
- Zhang, W., Zhang, X., Wang, Y., Zhang, N., Guo, Y., Ren, X. & Zhao, Z. (2018). Potassium fertilization arrests malate accumulation and alters soluble sugar metabolism in apple fruit. *Biology open*, 7(12), bio24745. <https://doi.org/10.1242/bio.024745>