

ผลของปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศ เชอร์รี่พันธุ์ปลูก CH154

Effects of zinc fertilizers on growth and yield of cherry tomato 'CH154'

 วีรศิลป์ สอนจรรยา^{1,2,3}
Weerasin Sonjaroon^{1,2,3}
 ณัฐวดี พยุงแสนกุล³
Nattvadee Payungsanku³
 จุติภรณ์ ทัสสกุลพนิช^{3,*}
Jutiporn Thussagunpanit^{3,*}

¹ วิทยาลัยบูรณาการศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² สถาบันวิทยาการขั้นสูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ School of Integrated Science, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

² Kasetsart University Institute for Advanced Studies, KUIAS, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

³ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

 *Corresponding author: jutiporn.thu@ku.th

ประวัติบทความ

รับเรื่อง: 13 ตุลาคม 2567

ปรับแก้ไข: 18 มกราคม 2568

รับตีพิมพ์: 2 เมษายน 2568

คำสำคัญ

จุลธาตุ
จำนวนดอก
จำนวนผล
มะเขือเทศเชอร์รี่
ไฮโดรพอนิกส์

Article History

Received: 13 October 2024

Revised: 18 January 2025

Accepted: 2 April 2025

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: มะเขือเทศเชอร์รี่นิยมปลูกแบบไม่ใช้ดินมักประสบปัญหาการขาดจุลธาตุเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยสังกะสีและวิธีการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่

วิธีดำเนินการวิจัย: ทดลองในมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรพอนิกส์ประกอบด้วย 6 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสี ชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสี สารละลายธาตุอาหารที่ให้ปุ๋ย Zn-EDTA หรือ $ZnSO_4$ ทางใบความเข้มข้น 250 ppm หรือทางรากความเข้มข้น 50 ppm โดยการพ่นทางใบหรือให้ทางราก 2 ครั้ง เมื่อมะเขือเทศอายุ 40 และ 47 วันหลังจากเพาะเมล็ด บันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์เมื่อต้นมะเขือเทศเชอร์รี่อายุ 40 วันหลังจากเพาะเมล็ด และบันทึกข้อมูลผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการวิจัย: การให้ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิดทางใบหรือทางรากมีแนวโน้มทำให้จำนวนดอกเพิ่มขึ้น ซึ่ง Zn-EDTA สามารถเพิ่มจำนวนผลต่อต้นและน้ำหนักผลต่อต้นสูงกว่าการให้ปุ๋ย $ZnSO_4$ 12-89 เปอร์เซ็นต์ และ 11-55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการให้ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิดช่วยฟื้นฟูดินมะเขือเทศจากการขาดธาตุสังกะสี การให้ปุ๋ยสังกะสีทางรากส่งผลให้เกิดการสะสมสังกะสีในใบน้อยกว่าการให้ปุ๋ยทางใบ ซึ่งจะลดผลกระทบจากความเค็มพิษของปริมาณสังกะสีที่มากเกินไป อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อความสูงของต้น ดัชนีความเขียวของใบ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในผล และน้ำหนักแห้งของต้นและราก

Keywords

Micronutrient
Number of flowers
Number of fruits
Cherry tomato
Hydroponics

การอ้างอิง

วีรศิลป์ สอนจรรณ, ณัฐวดี พยุงแสนกุล และ จุติภรณ์ ทัสสกุลพนิช. 2569. ผลของปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ปลูก CH154. ว. วิทย. นวัตกรรม. 57(1): 1–13.

How to cite

Sonjaroon, W., N. Payungsanku and J. Thussagunpanit. 2026. Effects of zinc fertilizers on growth and yield of cherry tomato 'CH154'. Agric. Sci. Innov. J. 57(1): 1–13.

สรุป: การให้ปุ๋ย Zn-EDTA หรือ ZnSO_4 ทางใบหรือทางรากช่วยเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ในสภาวะขาดสังกะสีได้ แต่ควรให้ทางรากเพื่อลดการสะสมสังกะสีและความเสี่ยงต่อความเป็นพิษในพืช

Abstract

Background and Objective: Cherry tomatoes, commonly grown in soilless systems, often face micronutrient deficiencies, which can lead to a reduction in both the quantity and quality of the yield. This study aimed to compare types of zinc fertilizer and ways to apply to the growth and yield of cherry tomato.

Methodology: The experiment was conducted on cherry tomatoes grown using a hydroponics system consisting of 6 treatments: control grown in nutrient solution containing zinc, control grown in nutrient solution without zinc, nutrient solution fertilized with Zn-EDTA or ZnSO_4 by foliar spray at a concentration of 250 ppm or root at a concentration of 50 ppm application twice when the tomatoes were 40 and 47 days old after sowing. Data were recorded weekly when the cherry tomato plants were 40 days old after sowing, and yield data were recorded after harvest.

Main Results: The application of both types of zinc fertilizers via foliar spray or root application tended to increase the number of flowers. Zn-EDTA fertilizers increased fruit number per plant and fruit weight per plant more than ZnSO_4 fertilizers by 12–89% and 11–55%, respectively. Both zinc fertilizers helped to recover tomato plants from zinc deficiency. Root application of zinc fertilizers resulted in lower zinc accumulation in the leaves compared to foliar application, which helps reduce the risk of zinc toxicity from excessive accumulation. However, both types of Zn fertilizers did not affect stem height, leaf greenness index, total soluble solids in fruit, and dry weight of shoot and root.

Conclusions: Foliar or root application of zinc fertilizers Zn-EDTA or ZnSO_4 can increase the yield of cherry tomatoes grown under zinc deficiency conditions. However, the root application is recommended to minimize zinc accumulation and the risk of toxicity in plants.

บทนำ

มะเขือเทศเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและต่อสุขภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นในด้านของการรับประทานผลสดและการแปรรูป (Lakchaikun, 2013) มะเขือเทศมีสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ เส้นใย แคโรทีนอยด์ เบต้าแคโรทีน ลูทีน ไกลโคปีน วิตามินซี และฟีนอลิก (Stewart

et al., 2000; Carillo *et al.*, 2019) มะเขือเทศแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ กลุ่มมะเขือเทศเชอร์รี่ กลุ่มมะเขือเทศสีดา กลุ่มมะเขือเทศรับประทานสดผลใหญ่ กลุ่มมะเขือเทศแปรรูป และกลุ่มมะเขือเทศที่ใช้ทำต้นตอ โดยมะเขือเทศเชอร์รี่เป็นมะเขือเทศที่นิยมบริโภคสดเนื่องจากผลมีความหวานสูง โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากกว่า 8 องศาบริกซ์ (Khattala, 2015)

มะเขือเทศเชอร์รี่ (*Solanum lycopersicum*) ชื่อสามัญ cherry tomato เป็นพืชล้มลุกในวงศ์มะเขือหรือวงศ์ Solanaceae โดยเป็นพืชนำเข้ามาในประเทศไทย มีลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่ม มีขนอ่อน ๆ ปกคลุมลำต้น ใบเป็นใบประกอบแบบสลับ ใบย่อยมีขนาดใหญ่ไม่เท่ากัน ปลายใบแหลม ขอบใบหยักลึกคล้าย ฟันเลื่อยมีขนอ่อนปกคลุม ดอกเป็นช่อ ออกดอกบริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียว ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่าง และสีต่างกัน โดยรูปร่างมีทั้งทรงกลมหรือกลมรีขึ้นอยู่กับพันธุ์ปลูก (Jitpong *et al.*, 2025) ในปัจจุบันนิยมใช้มะเขือเทศเชอร์รี่ในการศึกษา เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่ขนาดใหญ่กว่า (Ranc *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2011)

การปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่สามารถทำได้ทั้งปลูกแบบใช้ดิน ในแปลงปลูกและปลูกแบบไม่ใช้ดิน (Soiless culture) เมื่อเปรียบเทียบการปลูกทั้งสองรูปแบบพบว่าการปลูกแบบไม่ใช้ดินได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมะเขือเทศเชอร์รี่จะให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี (Asaduzzaman *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตาม มะเขือเทศที่ปลูกแบบไม่ใช้ดิน เช่น การปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มักเกิดปัญหาการขาดธาตุบางชนิด เช่น การขาดธาตุสังกะสี (Sainju *et al.*, 2003) สังกะสี (Zn) เป็นธาตุอาหารพืชที่อยู่ในกลุ่มธาตุพืชมีความต้องการธาตุในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองแต่ต้องการใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า โดยพืชมีความต้องการธาตุนี้ต่ำกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม (Kavitha *et al.*, 2009)

ธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช การขาดธาตุสังกะสีทำให้ผลผลิตของพืชหลายชนิดลดลง (Sadeghzadeh, 2013) ในปัจจุบันการขาดธาตุสังกะสีเป็นปัญหาในการปลูกพืชทั่วโลก โดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นด่าง เนื่องจากสังกะสีจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดซึมเอาไปใช้ได้ (Nielsen, 2012) หากมะเขือเทศขาดสังกะสีจะแสดงอาการเนื้อเยื่อตายเป็นหย่อม ๆ (Necrosis) และมีอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ (Chlorosis) นอกจากนี้ ก้านใบจะม้วนงอลง ปล้องจะสั้นลง ทำให้พืชมีเนื้อแน่นและแข็งกระด้าง ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศจะลดลง (Sainju *et al.*, 2003) การแก้ไขการขาดธาตุรวมถึงการขาดสังกะสี สามารถทำได้โดยการให้ปุ๋ยในรูปเกลือ เช่น ปุ๋ย $ZnSO_4$ และการให้ปุ๋ยในรูปคีเลตสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ย Zn-EDTA (Yodprang, 2010) ข้อดีของการให้ปุ๋ยในรูปเกลือคือปุ๋ย $ZnSO_4$ มีปริมาณสังกะสีสูงกว่า Zn-EDTA โดยปุ๋ย $ZnSO_4$ ประกอบด้วยสังกะสี 36 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปุ๋ย Zn-EDTA ประกอบด้วยสังกะสี 14 เปอร์เซ็นต์ (Schulte, 2004)

อย่างไรก็ตาม เมื่อปุ๋ยในรูปเกลือแตกตัวเป็นไอออนอาจทำปฏิกิริยากับไอออนของธาตุอาหารอื่นทำให้เกิดการตกตะกอน พืชจึงไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานได้ (Yodprang, 2010) สำหรับข้อดีของการให้ปุ๋ยในรูปคีเลตสังเคราะห์คือ ไอออนของธาตุอาหารจะไม่ถูกแทนที่โดยง่าย เนื่องจากมีความเป็นกลางและสามารถดูดซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของพืชได้ง่าย (Yodprang, 2010)

การใช้ปุ๋ยสังกะสีทั้งปุ๋ย $ZnSO_4$ ปุ๋ย Zn-EDTA และปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบอื่นสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพดหวาน (Ounpipat *et al.*, 2018) ข้าว (Phuphong *et al.*, 2018) และถั่วลูกไก่ (Chickpea) (Khan *et al.*, 1998) ในการศึกษาครั้งนี้ทดลองปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่โดยใช้ปุ๋ยสังกะสีที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ $ZnSO_4$ และ Zn-EDTA เพื่อเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยสังกะสีและวิธีการให้ปุ๋ยระหว่างการให้ปุ๋ยทางใบและการให้ปุ๋ยทางรากต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกและการดูแลต้นมะเขือเทศ

เพาะเมล็ดมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ CH154 (Open pollinated variety; OP) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งพัฒนาพันธุ์เพื่อบริโภคสด มีรสชาติดี ผ่านการประเมินจากการวิจัย มีศักยภาพสูงสำหรับการจำหน่ายและทำตลาด ทำการเพาะเมล็ดลงในฟองน้ำขนาด 96 หลุม โดยแช่ฟองน้ำเพาะเมล็ดในน้ำกลั่นจนชุ่มแล้วจึงหยอดเมล็ดมะเขือเทศลงเพาะ หลังจากเพาะเมล็ดได้ 7 วัน ทำการเติมสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Resh Tropical Dry Summer (ดัดแปลงจาก Resh, 1978) ที่มีค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) เท่ากับ 0.6 mS cm^{-1} และมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 5.5 โดยเติมสารละลายธาตุอาหาร 2 รูปแบบ คือ แบบมีธาตุสังกะสีและแบบไม่มีธาตุสังกะสี (Table 1) รูปแบบละ 1 ถาดปลูก เมื่อมะเขือเทศอายุ 14 วันหลังการเพาะเมล็ด ปรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้มี EC เท่ากับ 1.2 mS cm^{-1} และเมื่อมะเขือเทศอายุ 21 วันหลังการเพาะเมล็ดย้ายกล้าลงกระถางปลูกซึ่งประยุกต์เป็นระบบไฮโดรพอนิกส์แบบ Deep Water Technique (DWT) ซึ่งมีการเติมอากาศโดยปั๊มเติมอากาศ ใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer ที่มี EC เท่ากับ 2.4 mS cm^{-1} และ pH เท่ากับ 5.5 สารละลายธาตุอาหารแบ่งเป็นแบบมีธาตุสังกะสีและแบบไม่มีธาตุสังกะสี (Table 1) ตามทริตเมนต์ที่ทำการทดลอง เติมสารละลายธาตุอาหารไม่ให้ลดลงตลอดการทดลอง โดยการเติมสารละลายธาตุ

อาหารให้คงไว้ที่ระดับเดิม คือ 7 ลิตร และปรับค่า pH และ EC ให้มีค่าเท่าเดิมทุกสัปดาห์ ทำการทดลองภายในโรงเรือนตาข่ายทรงจั่ว ขนาด 6×10 เมตร หลังคาคลุมด้วยพลาสติก ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 เป็นระยะเวลาประมาณ 90 วัน

การวางแผนการทดลองและการให้ปุ๋ยสังกะสีแก่ต้นมะเขือเทศ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 6 ทรีตเมนต์ ดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1: สารละลายธาตุอาหารแบบมีธาตุสังกะสี (ชุดควบคุม +Zn) ทรีตเมนต์ที่ 2: สารละลายธาตุอาหารแบบไม่มีสังกะสี (ชุดควบคุม -Zn) ทรีตเมนต์ที่ 3: สารละลายธาตุอาหารแบบไม่มีสังกะสีและให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทางใบ ความเข้มข้น 250 ppm (Zn-EDTA, Foliar -Zn) ทรีตเมนต์ที่ 4: สารละลายธาตุอาหารแบบไม่มีสังกะสีและให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทางราก ความเข้มข้น 50 ppm (Zn-EDTA, Root -Zn) ทรีตเมนต์ที่ 5: สารละลายธาตุอาหารแบบไม่มีสังกะสีและให้ปุ๋ย ZnSO_4 ทางใบ ความเข้มข้น 250 ppm (ZnSO_4 , Foliar -Zn) และทรีตเมนต์ที่ 6: สารละลายธาตุอาหารแบบไม่มีสังกะสีและให้ปุ๋ย ZnSO_4 ทางราก ความเข้มข้น 50 ppm (ZnSO_4 , Root -Zn) โดยในทรีตเมนต์ที่ใช้สารละลายธาตุอาหารที่

มีสังกะสีนั้นจะมีสังกะสีละลายอยู่ในปริมาณเท่ากันทุกทรีตเมนต์ คือ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร

หลังจากย้ายกล้าต้นมะเขือเทศลงระบบปลูกไฮโดรพอนิกส์ในสารละลายธาตุอาหารแบบมีและไม่มีธาตุสังกะสีตามทรีตเมนต์ทำการให้ปุ๋ย Zn-EDTA หรือ ZnSO_4 แตกต่างกันตามแต่ละทรีตเมนต์ โดยทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยทางใบ (ทรีตเมนต์ที่ 3 และ 5) ใช้ปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 250 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย tween-20 0.1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นสารจับใบก่อนพ่นพ่นปุ๋ยสังกะสี 2 ครั้ง ตลอดการทดลอง โดยพ่นเมื่อมะเขือเทศอายุ 40 และ 47 วันหลังจากเพาะเมล็ด ซึ่งเป็นระยะที่มะเขือเทศเริ่มออกดอก สำหรับทรีตเมนต์ที่ให้ปุ๋ยทางราก (ทรีตเมนต์ที่ 4 และ 6) ใช้ปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ละลายลงในสารละลายธาตุอาหารโดยใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งหมด 2 ครั้ง ตลอดการทดลอง เมื่อมะเขือเทศอายุ 40 และ 47 วันหลังจากเพาะเมล็ด เช่นเดียวกันกับการให้ปุ๋ยทางใบ เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การให้ปุ๋ยสังกะสีความเข้มข้น 250 ppm ทางราก ทำให้ค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้น จนทำให้ต้นมะเขือเทศเหี่ยวไม่สามารถใช้ในการทดลองได้ จึงลดความเข้มข้นของปุ๋ยสังกะสีที่ให้ทางรากลง เหลือเพียงแค่ 50 ppm ซึ่งในระหว่างการทดลองไม่มีการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร แต่วัดค่า pH และ EC ทุกสัปดาห์

Table 1 Components in 1X Resh tropical dry summer nutrient solution

Chemicals	Amount (mg/L)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,475.94
KNO_3	323.55
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	188.65
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	364.79
KH_2PO_4	258.57
Fe-EDTA	23.60
H_3BO_3	2.86
$\text{MnSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	2.11
$\text{NaMnO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.025
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22 ^{1/}

^{1/} $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ was omitted in nutrient media without zinc (-Zn).

และปรับให้มีความ 5.5 และ 2.4 mS cm⁻¹ ตามลำดับ

ทดลองทรีตเมนต์ละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กระถาง หลังจากให้ปุ๋ยสังกะสีครั้งที่ 2 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ต้นมะเขือเทศจะมีอายุประมาณ 60 วันหลังจากเพาะเมล็ด ซึ่งอยู่ในระยะเริ่มติดผล แบ่งต้นมะเขือเทศทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบ สำหรับต้นมะเขือเทศที่เหลืออยู่ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ใช้ในการเก็บข้อมูลจำนวนดอก ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งระยะเวลาทำการทดลองทั้งหมดไม่เกิน 90 วันนับจากวันเริ่มเพาะเมล็ด

การวัดการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ

วัดความสูงของต้นโดยใช้ตลับเมตร หน่วยการวัดมีค่าเป็นเซนติเมตร วัดความสูงจากข้อใบเลี้ยงไปจนถึงปลายยอด โดยเริ่มวัดความสูงเมื่อต้นมะเขือเทศเจริญอายุ 40 วันหลังจากเพาะเมล็ดหรือก่อนการให้ปุ๋ยสังกะสี ครั้งที่ 1 ทำการวัด 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เก็บข้อมูลต่อเนื่อง 4 ครั้ง บันทึกผลการทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยเก็บข้อมูลทรีตเมนต์ละ 6 ซ้ำ

การวัดดัชนีความเขียวของใบ

วัดดัชนีความเขียวของใบด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter รุ่น SPAD-502 ที่ตำแหน่งใบที่ 3 นับจากยอดของต้นมะเขือเทศ บันทึกค่าจำนวน 1 ค่าต่อหนึ่งใบย่อย จำนวน 3 ใบย่อย แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย โดยค่าดัชนีความเขียวมีหน่วยเป็น SPAD unit เริ่มวัดดัชนีความเขียวของใบเมื่อต้นมะเขือเทศเจริญอายุ 40 วันหลังจากเพาะเมล็ดหรือก่อนการให้ปุ๋ยสังกะสีครั้งที่ 1 ทำการวัด 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เก็บข้อมูล 4 ครั้ง โดยใช้ใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอดในทุกครั้งของการวัด เก็บข้อมูลทรีตเมนต์ละ 6 ซ้ำ

การนับจำนวนดอกของมะเขือเทศ

เมื่อมะเขือเทศอายุ 71 วันหลังจากเพาะเมล็ดหรือในระยะเริ่มติดผล ทำการนับจำนวนดอกทั้งหมดในต้นของมะเขือเทศ เก็บข้อมูลทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ

การวัดปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต

เก็บผลผลิตมะเขือเทศหลังจากดอกบานประมาณ 45–60 วัน เก็บผลมะเขือเทศในระยะที่ผลมีสีแดงทุก ๆ 5 วัน นับปริมาณจำนวนผลทั้งหมดต่อต้น จากนั้น ชั่งน้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้นโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง หน่วยเป็นกรัม และนำน้ำหนักผลต่อต้นหารด้วยจำนวนผลต่อต้นเพื่อคำนวณหาน้ำหนักผลต่อหนึ่งผล

การตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตโดยการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) โดยสุ่มผลมะเขือเทศ 3 ผลต่อหนึ่งซ้ำ คั้นน้ำจากเนื้อผล วัดค่า TSS ด้วย hand refractometer หน่วยเป็นองศาบริกซ์ นำค่าที่ได้จากการสุ่มผล 3 ผลต่อหนึ่งซ้ำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของ 1 ซ้ำ เก็บข้อมูลทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ

การวัดน้ำหนักแห้งของต้นและราก

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเขือเทศ แยกส่วนต้นและส่วนรากของมะเขือเทศ จากนั้น นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง หรือแห้งสม่ำเสมอแล้ว จึงชั่งน้ำหนักแห้งของต้นและราก โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีหน่วยเป็นกรัม

การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในใบ

หลังจากให้ปุ๋ยสังกะสีครั้งที่ 2 เป็นเวลา 14 วัน สุ่มต้นมะเขือเทศจำนวน 3 ซ้ำต่อทรีตเมนต์ เพื่อเก็บใบไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบตามวิธีการของ Ngennoy (2014) โดยนำตัวอย่างใบ 0.1 กรัม ที่ผ่านการอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาบดให้ละเอียด และสกัดด้วยสารละลาย DTPA 5 มิลลิโมลาร์, CaCl₂ 5 มิลลิโมลาร์ และ TEA (Triethanolamine) 0.1 โมลาร์ที่ pH 7.3 และวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer โดยโครงการพัฒนาวิชาการดิน ปุ๋ย พืช และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P < 0.05) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความสูงของต้นมะเขือเทศ

จากการติดตามความสูงของต้นมะเขือเทศก่อนให้ปุ๋ยสังกะสีและหลังให้ปุ๋ยสังกะสีเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า ต้นมะเขือเทศมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกสัปดาห์ที่มีการบันทึกผล โดยในแต่ละทรีตเมนต์ต้นมะเขือเทศมีความสูงใกล้เคียงกันในแต่ละสัปดาห์ของการบันทึกผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัปดาห์ที่ 3 หลังจากการให้ปุ๋ยสังกะสี Zn-EDTA และ ZnSO₄ ทางใบหรือทางราก

พบว่า ความสูงของต้นมะเขือเทศไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีความสูงอยู่ระหว่าง 100.2–119.2 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม การให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทางใบทำให้ต้นมะเขือเทศมีความสูงมากที่สุด (Figure 1A) การใช้ปุ๋ยสังกะสี Zn-EDTA และ ZnSO_4 ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถเพิ่มความสูงของต้นมะเขือเทศหรืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยนี้อาจเกิดจากความเข้มข้นของสังกะสีที่ไม่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการยืดยาวของลำต้น ซึ่งอาจเป็นพิษกับพืช หรือเกิดการแทรกแซง (Interference) เชิงลบกับธาตุอาหารอื่นที่มีบทบาทสำคัญในการยืดยาวของลำต้น เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และทองแดง (Prasad *et al.*, 2016) นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยสังกะสีทางรากมีแนวโน้มทำให้ความสูงของต้นมะเขือเทศต่ำกว่าการให้ปุ๋ยทางใบ ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์นี้ คือ กรดอินโดล-3-อะซิติก (Indole-3-acetic acid; IAA) ที่มีฤทธิ์ส่งเสริมการยืดตัวของลำต้นพืช ก่อนถูกทำลายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Ljung, 2002) ซึ่งสังกะสีมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของ IAA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซินที่มีบทบาทสำคัญต่อการยืดตัวของข้อปล้องและลำต้นของพืช (Cakmak *et al.*, 1989) เมื่อให้ปุ๋ยสังกะสีทางใบ โอกาสที่ธาตุสังกะสีจะพบและกระตุ้นการทำงานของ IAA จึงมีมากกว่า ส่งผลให้การยืดตัวของ

ลำต้นแสดงผลได้เด่นชัดกว่าการให้ปุ๋ยทางราก นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มลงในสารละลายธาตุอาหารอาจส่งผลทำให้มีปริมาณสังกะสีที่พืชได้รับมากเกินไปจนเป็นพิษกับพืช ซึ่งหากพืชได้รับสังกะสีมากเกินไปจนเป็นพิษจะส่งผลให้การออกของเมล็ดต่อการเจริญเติบโตของรากและยอดลดลง โดยเฉพาะในยอด ซึ่งเป็นเหตุผลให้ค่าความสูงต้นมีแนวโน้มต่ำกว่า (Behura *et al.*, 2018; Meng *et al.*, 2023) สอดคล้องกับการศึกษาในข้าวและมะเขือเทศโรงงาน โดยพบว่า การใส่ปุ๋ย ZnSO_4 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทางดินไม่สามารถเพิ่มความสูงของกอข้าว (Phuphong *et al.*, 2018) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ย ZnSO_4 2 กิโลกรัมต่อไร่ ทางดินยังไม่สามารถเพิ่มความสูงของต้นมะเขือเทศโรงงานพันธุ์ Maharaja เมื่อเก็บข้อมูล 35 วันหลังจากย้ายกล้า แต่สามารถเพิ่มความสูงของต้นมะเขือเทศเมื่อบันทึกข้อมูลในวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (Osman *et al.*, 2019) สำหรับการทดลองครั้งนี้เก็บข้อมูลความสูงของต้นครั้งสุดท้ายเมื่อต้นมะเขือเทศมีอายุ 39 วันหลังจากย้ายกล้า จึงเป็นไปได้ว่าปุ๋ยสังกะสียังไม่ส่งผลต่อความสูงของต้นมะเขือเทศในการเจริญเติบโตระยะนี้ อย่างไรก็ตาม ในพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพดหวาน ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 สามารถเพิ่มความสูงของต้นได้ตั้งแต่ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืช (Ounpipat *et al.*, 2018)

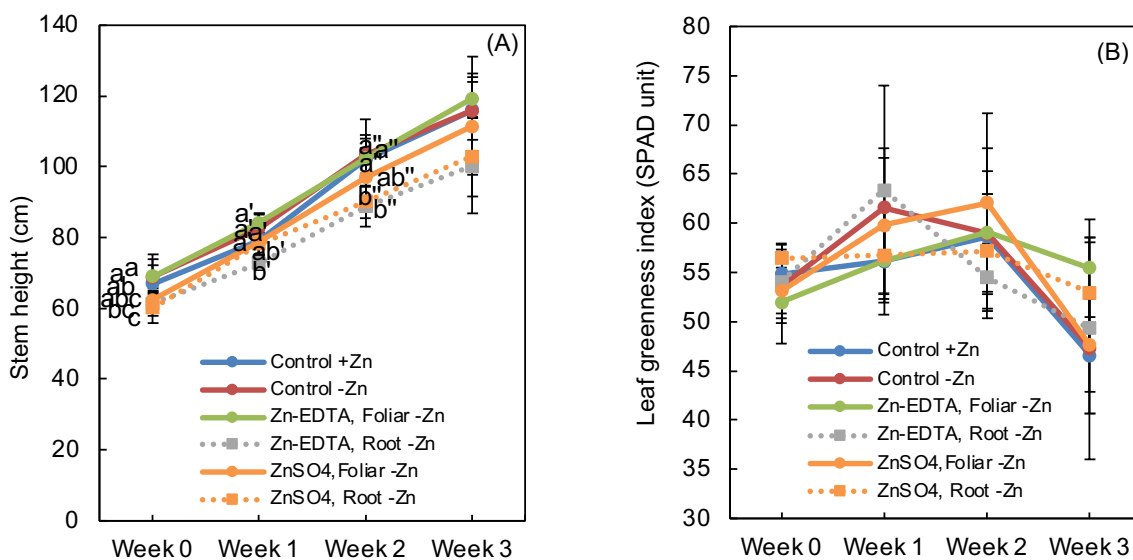


Figure 1 Changes of stem height (A) and leaf greenness index (SPAD index) (B) of cherry tomato 'CH154' before application of zinc fertilizers (Week 0) and after first application of zinc fertilizers for 1, 2, and 3 weeks (Week 1, Week 2, and Week 3, respectively). Data are means $\pm$ SD shown by vertical error bars ($n = 6$). Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test. +Zn and -Zn mean planting media that contained zinc and did not contain zinc, respectively.

ดัชนีความเขียวของใบมะเขือเทศ

ดัชนีความเขียวของใบก่อนให้ปุ๋ยสังกะสีและหลังให้ปุ๋ยสังกะสีเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า หลังจากมะเขือเทศได้รับปุ๋ยสังกะสีเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ใบมีค่าดัชนีความเขียวเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 56.12–63.38 SPAD unit เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนได้รับปุ๋ยสังกะสีที่มีค่าระหว่าง 51.96–56.42 SPAD unit โดยผลการศึกษานี้มีค่าดัชนีความเขียวใบสูงกว่าการศึกษาของ Shibaeva *et al.* (2020) ที่รายงานค่าดัชนีความเขียวของใบมะเขือเทศเซอร์รียาอายุ 63 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.5 SPAD unit ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อมการปลูกและพันธุ์ปลูกถัดมาเมื่อวัดดัชนีความเขียวของใบครั้งที่ 3 หรือหลังจากให้ปุ๋ยสังกะสีเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีมีค่าดัชนีความเขียวของใบลดลงกว่าสัปดาห์ก่อนหน้า ในขณะที่ ชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสี และพืชที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีแต่ได้รับ Zn-EDTA ทางใบ และ ZnSO_4 ทั้งทางใบหรือทางรากมีค่าดัชนีความเขียวของใบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสัปดาห์ก่อนหน้า (Figure 1B) ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและการทำงานของคลอโรพลาสต์ หากพืชขาดธาตุสังกะสีจะเกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ (Chlorosis) เนื่องจากมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง (Sharma *et al.*, 2013) โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมะเขือเทศมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความเขียวของใบ (Jiang *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม ในครั้งที่ 4 ของการสังเกตผลหรือหลังจากให้ปุ๋ยสังกะสีเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า ทุกทรีตเมนต์มีดัชนีความเขียวของใบลดลง แต่การใช้ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 ทั้งทางใบหรือทางรากมีแนวโน้มเพิ่มดัชนีความเขียวของใบ

มากกว่าชุดควบคุม (Figure 1B) ดังนั้น การให้ปุ๋ยสังกะสีทั้งทางใบหรือทางรากจึงเป็นการทดแทนสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีธาตุสังกะสีอยู่ โดยธาตุสังกะสียังช่วยซ่อมแซม D1 protein ในระบบแสงสอง (Photosystem II) จากการเกิด photoinhibition สังกะสีจึงลดการถูกทำลายของคลอโรฟิลล์จากแสงแดดได้ (Hänsch and Mendel, 2009)

จำนวนดอกของมะเขือเทศ

เมื่อมะเขือเทศอายุ 71 วันหลังจากเพาะเมล็ดหรือในระยะเริ่มติดผล การใช้ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 ทั้งทางใบหรือทางรากมีแนวโน้มทำให้มะเขือเทศมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีและไม่มีสังกะสี โดยการใช้ปุ๋ย Zn-EDTA ทางใบส่งผลให้มะเขือเทศมีจำนวนดอกมากที่สุดถึง 366.33 ดอกต่อต้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีและไม่มีสังกะสีที่มีจำนวนดอกเพียง 222.00 และ 253.67 ดอกต่อต้น ตามลำดับ (Figure 2) การเพิ่มขึ้นของจำนวนดอกมะเขือเทศเมื่อใช้ปุ๋ยสังกะสีสอดคล้องกับรายงานของ Singh *et al.* (2017) ที่พบว่า การพ่นปุ๋ย ZnSO_4 ทางใบในอัตรา 2 กรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนดอกมะเขือเทศต่อช่อดอกต่อต้น จำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปุ๋ยสังกะสีเกิดจากต้นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เพียงพอต่อการสร้างตาดอก (Haque *et al.*, 2011) การเพิ่มขึ้นของจำนวนดอกจากการได้รับธาตุสังกะสีทางใบนั้น Yadav *et al.* (2024) รายงานว่า เกิดจากธาตุสังกะสีส่งเสริมการสร้างตาดอก ในระยะ bud initiation และการพัฒนาการของดอกในระยะ flower opening ในต้น African marigold

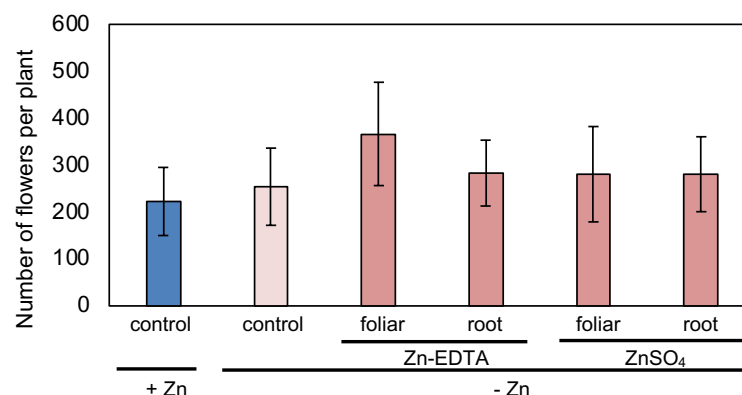


Figure 2 Effect of zinc fertilizers on number of flowers per plant in cherry tomato ‘CH154’. Data are means $\pm$ SD shown by vertical error bars ($n = 3$). Means were statistically analyzed according to Duncan’s multiple range test at $P < 0.05$. +Zn and -Zn mean planting media that contained zinc and did not contain zinc, respectively.

ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของมะเขือเทศ

การให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทั้งทางใบหรือทางราก และการให้ปุ๋ย ZnSO_4 ทางรากสามารถเพิ่มจำนวนผลต่อต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 78.67 91.33 และ 70.67 ผล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีและไม่มีสังกะสีที่มีจำนวนผลต่อต้นเพียง 43.67 และ 42.33 ผล ตามลำดับ (Figure 3A) เมื่อชั่งน้ำหนักผลต่อต้นพบว่า การให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทั้งทางใบหรือทางราก และการให้ปุ๋ย ZnSO_4 ทางราก มีแนวโน้มเพิ่มน้ำหนักผลต่อต้นของมะเขือเทศ คือ 196.00 233.34 และ 175.27 กรัม ตามลำดับ (Figure 3B) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผล การให้ปุ๋ย Zn-EDTA สามารถเพิ่มจำนวนผลและน้ำหนักผลต่อต้นของมะเขือเทศมากกว่าปุ๋ย ZnSO_4 เนื่องจาก Zn-EDTA เป็นปุ๋ยในรูปคีเลตสังเคราะห์ซึ่งพืชสามารถดูดเข้าไปใช้งานได้โดยตรงโดยไม่ต้องแตกตัวเป็นไอออน Zn^{2+} ก่อน (Doolette *et al.*, 2018) ดังนั้น จึงลดโอกาสการถูกเข้าแทนที่ของไอออน และ Zn-EDTA ยังมีประจุเป็นกลางจึงสามารถผ่านเข้าเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชได้ง่าย (Yodprang, 2010) โดย Zn-EDTA มีสังกะสีในรูปพร้อมใช้งาน (Zn availability) สูงกว่า ZnSO_4 อย่างน้อย 2 เท่า (Doolette *et al.*, 2018) พืชจึงมีโอกาสนำประโยชน์จากธาตุสังกะสีจากปุ๋ย Zn-EDTA ได้มากกว่าปุ๋ย ZnSO_4 ในส่วนของปุ๋ย ZnSO_4 ที่พบว่าทำให้ทางรากมีแนวโน้มทำให้ค่าจำนวนผลต่อต้นสูงกว่าทางใบ ซึ่งอาจเป็นเพราะ ZnSO_4 สามารถละลายน้ำและเข้าสู่ระบบรากได้ง่าย ทำให้รากดูดซึมธาตุอาหารได้ง่ายและต่อเนื่องกว่าทางใบ นอกจากนี้ ZnSO_4 ที่ให้ทางใบอาจไม่สามารถดูดซึมได้ทั้งหมดเนื่องจากการระเหยของน้ำ ความสม่ำเสมอของการพ่น หรือการกีดขวางทางกายภาพของใบพืช

สำหรับน้ำหนักผลต่อผลหนึ่งผลพบว่า การปลูกมะเขือเทศในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีทำให้น้ำหนักผลต่อผลหนึ่งผลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับจำนวนผลต่อต้น สามารถอธิบายได้ว่า ชุดควบคุมมีจำนวนผลต่อต้นน้อยกว่า ส่งผลให้ธาตุอาหารถูกนำไปสะสมและใช้ในการพัฒนาผลในปริมาณที่ต่ำกว่า ส่งผลให้มีการสะสมธาตุอาหารในผลมากขึ้น ทำให้ผลมีขนาดใหญ่กว่า ในทางกลับกัน ทริตเมนต์อื่น ๆ มีจำนวนผลต่อต้นมากกว่า ส่งผลให้ธาตุอาหารที่พืชได้รับต้องกระจายไปยังผลจำนวนมาก จึงทำให้ขนาดของผลเล็กลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Matsuda *et al.*, 2011) การใช้ปุ๋ยสังกะสีทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักผลต่อผลหนึ่งผล (Figure 3C) แต่การให้ปุ๋ยสังกะสีสามารถเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศต่อต้นได้ (Figure 3B) การให้ปุ๋ยสังกะสีสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ผลผลิตข้าวโพดหวาน (Ounpipat *et al.*, 2018)

เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของข้าว (Phuphong *et al.*, 2018) และ น้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลูกไก่ (Khan *et al.*, 1998) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า การให้ปุ๋ย ZnSO_4 โดยการให้ทางดินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มจำนวนผลและน้ำหนักผลสดของมะเขือเทศต่อต้น (Osman *et al.*, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้ Osman *et al.* (2019) ยังรายงานว่ามะเขือเทศที่มีอาการขาดธาตุสังกะสีนอกจากมีจำนวนผลที่ลดลงจะส่งผลให้น้ำหนักผลต่อหนึ่งผลของมะเขือเทศลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของน้ำหนักผลต่อหนึ่งผลของมะเขือเทศในทุกทริตเมนต์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีธาตุสังกะสี แสดงให้เห็นว่าธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของมะเขือเทศ โดยการให้ปุ๋ยสังกะสีร่วมกับจุลธาตุชนิดอื่น เช่น โบรอน สามารถเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศได้มากกว่าปกติถึง 2 เท่า (Osman *et al.*, 2019)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในผลมะเขือเทศ (TSS) พบว่า ทุกทริตเมนต์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมะเขือเทศมีค่า TSS อยู่ระหว่าง 8.00–9.72 องศาบริกซ์ (Figure 3D) การไม่เปลี่ยนแปลงของค่า TSS ของผลมะเขือเทศเมื่อให้ปุ๋ยสังกะสีไม่สอดคล้องกับรายงานของ Singh *et al.* (2017) ที่พบว่า ปุ๋ย ZnSO_4 สามารถเพิ่มค่า TSS และเพิ่มปริมาณวิตามินซีในผลมะเขือเทศ อย่างไรก็ตาม ค่า TSS ที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้จัดอยู่ในค่ามาตรฐานของการผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ควรมีค่าสูงกว่า 8 องศาบริกซ์ (Khattala, 2015)

น้ำหนักแห้งของต้นและรากของมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดทำการชั่งน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศโดยแยกเป็นส่วนต้นและส่วนราก ผลการทดลองพบว่า ทุกทริตเมนต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งของต้นมีค่าระหว่าง 30.19–36.08 กรัม (Figure 4A) และ น้ำหนักแห้งของรากมีค่าระหว่าง 4.46–6.40 กรัม (Figure 4B)

ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่สะสมในใบมะเขือเทศ

หลังจากให้ปุ๋ยสังกะสีครั้งที่ 2 แก่ต้นมะเขือเทศเป็นเวลา 2 สัปดาห์ สุ่มเก็บใบมะเขือเทศเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบ ผลการทดลองพบว่าชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีมีปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบเท่ากับ 84.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (mg/kgDW) ในขณะที่ชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีมีปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบเพียง 24.66 mg/kgDW ซึ่งน้อยกว่าชุดควบคุม

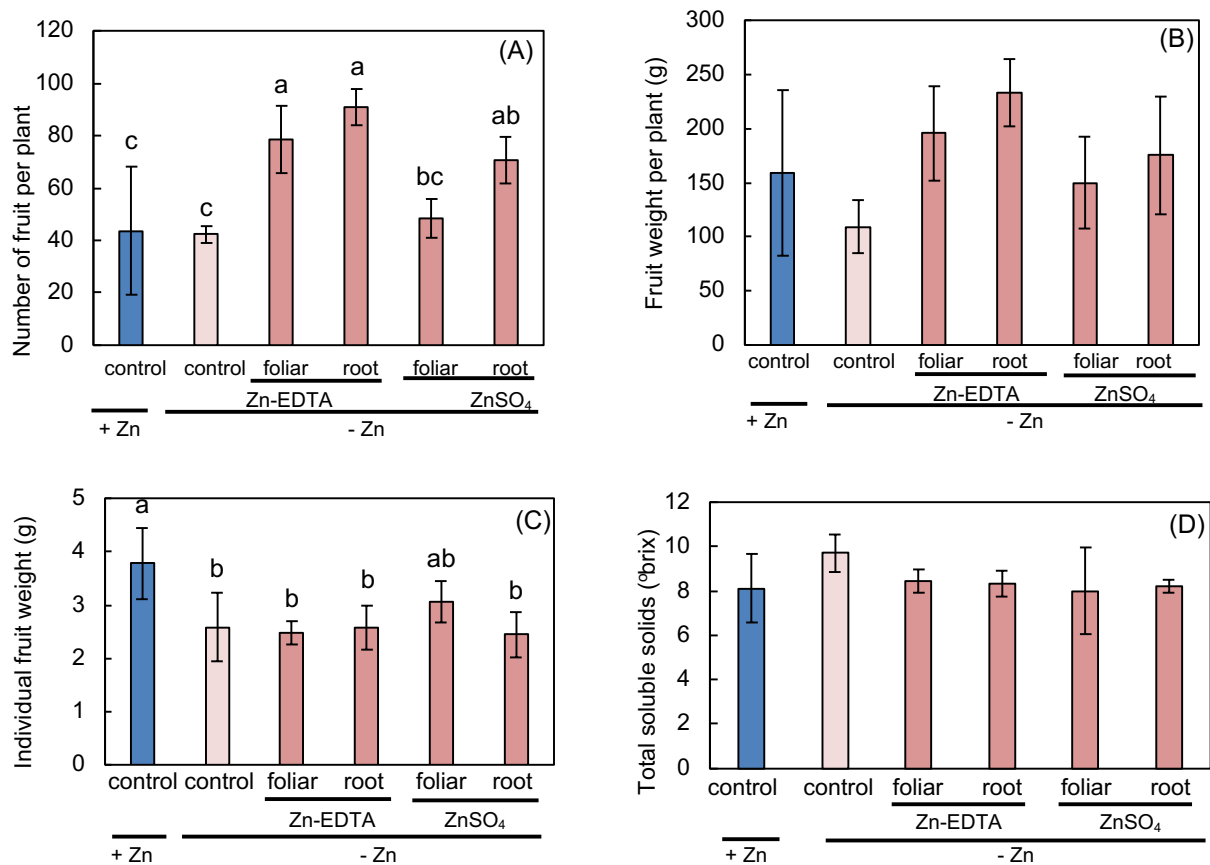


Figure 3 Effect of zinc fertilizers on number of fruits per plant (A), fruit weight per plant (B), individual fruit weight (C) and the total soluble solids (TSS) (D) in cherry tomato 'CH154'. Data are means $\pm$ SD shown by vertical error bars ($n = 3$). Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test. +Zn and -Zn mean planting media that contained zinc and did not contain zinc, respectively.

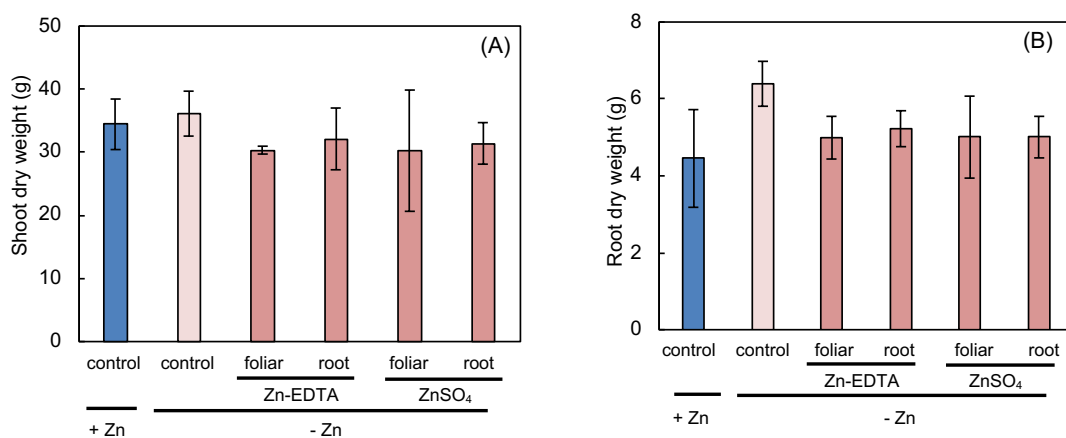


Figure 4 Effect of zinc fertilizers on shoot dry weight (A) and root dry weight (B) of cherry tomato 'CH154'. Data are means $\pm$ SD shown by vertical error bars ($n = 3$). Means were statistically analyzed according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$. +Zn and -Zn mean planting media that contained zinc and did not contain zinc, respectively.

ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Student t-test (Figure 5) โดยปริมาณสังกะสีที่น้อยกว่า 25 mg/kgDW ในพืชบางชนิด เช่น แครอทและบลูเบอร์รี่ เป็นระดับที่ทำให้พืชอยู่ในภาวะขาดธาตุสังกะสี (Sutradhar, 2016) และสังกะสีในใบของมะเขือเทศที่น้อยกว่าระดับดังกล่าวทำให้ใบมะเขือเทศเริ่มมีสีซีด ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่ามะเขือเทศในชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีอยู่ในภาวะขาดธาตุสังกะสี จึงส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตต่อต้นและน้ำหนักแห้งของยอดต่อรากลดลงต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ๆ สำหรับปริมาณสังกะสีในใบที่อยู่ในระดับพอเพียงในพืชผักบางชนิด เช่น กะหล่ำปลี แครอท และกะหล่ำดอกมีค่าระหว่าง 25–250 mg/kgDW (Sutradhar, 2016) เมื่อให้ปุ๋ย Zn-EDTA หรือ ZnSO_4 ทางใบหรือทางรากกับต้นมะเขือเทศที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีสังกะสีพบว่า การให้ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 ทางใบทำให้มีปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบเท่ากับ 538.52 และ 478.39 mg/kgDW ตามลำดับ ในขณะที่การให้ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 ทางรากทำให้มีปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบเท่ากับ 360.22 และ 308.84 mg/kgDW ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณสังกะสีที่สะสมอยู่ในใบจากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยปกติค่อนข้างมาก ซึ่งการสะสมธาตุสังกะสีจำนวนมากมีผลทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชโดยไปขัดขวางความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารตัวอื่น ๆ เช่น เหล็ก และแมงกานีส นำไปสู่การเกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ได้ (Gupton and Spiers, 1996; Stuiver

et al., 2014) และการที่พืชสะสมสังกะสีมากเกินไปจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Ebbs and Uchil, 2008) เป็นสาเหตุให้ใบซีดเหลืองได้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของการวัดดัชนีความเขียวของใบที่ในสัปดาห์ที่ 3 หลังการใส่ปุ๋ยสังกะสี ใบมะเขือเทศมีดัชนีความเขียวที่ลดลง ส่วนการซีดเหลืองของใบมะเขือเทศในชุดควบคุมนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการที่พืชได้รับปริมาณสังกะสีที่ไม่เพียงพอ จึงทำให้ใบซีดเหลืองได้ นอกจากนี้ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีทางรากทำให้ปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบต่ำกว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีทางใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 5) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการให้ปุ๋ยทางรากใช้ความเข้มข้นเพียง 50 ppm ในขณะที่การให้ปุ๋ยทางใบใช้ความเข้มข้น 250 ppm หรืออาจเนื่องมาจากแม้สังกะสีจะเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile nutrient) แต่มีอัตราการเคลื่อนย้ายในเซลล์พืชต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารอื่น (Doolette *et al.*, 2018) ดังนั้น การให้ปุ๋ยสังกะสีทางรากจึงอาจทำให้สังกะสีเคลื่อนย้ายมาสะสมในใบได้ยากกว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีทางใบโดยตรง อย่างไรก็ตาม ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่สะสมในใบของการให้ปุ๋ยสังกะสีทั้ง 4 ทรีตเมนต์ มีปริมาณมากกว่าระดับพอเพียง (Sutradhar, 2016) แต่มีค่าใกล้เคียงกับระดับที่เป็นพิษ โดยปริมาณสังกะสีในใบในระดับเป็นพิษต่อมะเขือเทศต้องมากกว่า 541 mg/kgDW (Osotsapa, 2009) ดังนั้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ย Zn-EDTA และ ZnSO_4 ทางใบหรือทางรากจึงสามารถแก้ไขการขาดธาตุสังกะสีของมะเขือเทศได้

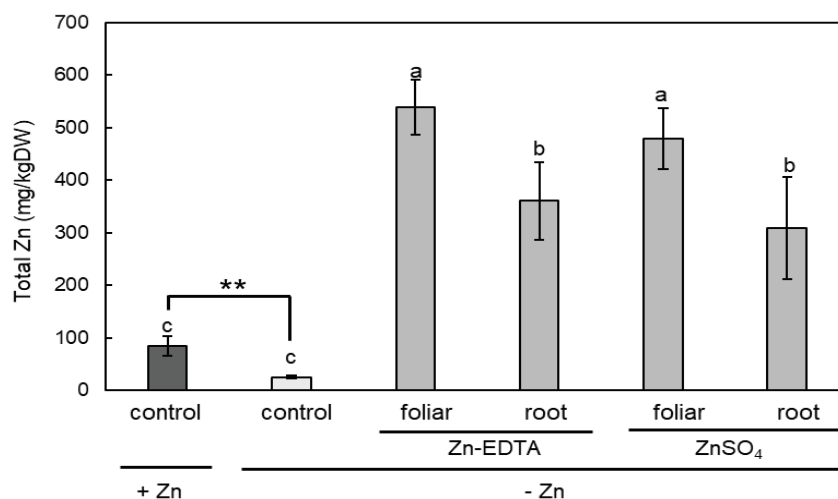


Figure 5 Total zinc accumulation in shoot of cherry tomato ‘CH154’ after harvesting. Data are means $\pm$ SD shown by vertical error bars ($n = 3$). Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan’s multiple range test. ** Means are significantly different at $P < 0.05$ according to the Student t-test. +Zn and -Zn mean planting media that contained zinc and did not contain zinc, respectively.

สรุป

การให้ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิด (Zn-EDTA 250 ppm และ ZnSO_4 50 ppm) มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ในสภาวะขาดธาตุสังกะสีได้ โดยเฉพาะการให้ปุ๋ย Zn-EDTA ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าปุ๋ย ZnSO_4 อย่างชัดเจน โดยสามารถเพิ่มจำนวนผลต่อต้นได้ 12–89 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มน้ำหนักผลต่อต้นได้ 11–55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของ Zn-EDTA ในการกระตุ้นการสร้างผลผลิต แม้ว่าการให้ปุ๋ย Zn-EDTA ทางใบหรือทางรากจะให้ผลต่อผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่การให้ทางใบส่งผลให้เกิดการสะสมของสังกะสีในใบสูงกว่าการให้ทางราก ซึ่งอาจนำไปสู่ความเป็นพิษต่อพืชได้ ดังนั้น การให้ปุ๋ย

Zn-EDTA ทางรากจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตาม การให้ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิด ไม่ว่าจะเป็นทางใบหรือทางราก ไม่มีผลกระทบต่อความสูงของต้น ดัชนีความเขียวของใบ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผล และน้ำหนักแห้งของต้นและราก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยตลอดจนการเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Asaduzzaman, M., M. Saifullah, A.S.R. Mollick, M.M. Hossain, G. Halim and T. Asao. 2015. Influence of soilless culture substrate on improvement of yield and produce quality of horticultural crops, pp. 1–32. In M. Asaduzzaman, ed. Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops, London, UK.
- Behura, A.K., M. Mohapatra and B.K. Mohanty. 2018. Ecophysiological studies of a cereal crop *Oryza sativa* L. with zinc stress. J. Environ. Sci. Pollut. Res. 4(4): 311–313. <https://doi.org/10.30799/JESPR.147.18040402>.
- Cakmak, I., H. Marschner and F. Bangerth. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Exp. Bot. 40(3): 405–412. <https://doi.org/10.1093/jxb/40.3.405>.
- Carillo, P., M.C. Kyriacou, C. El-Nakhel, A. Pannico, E. dell'Aversana, L. D'Amelia, G. Colla, G. Caruso, S. De Pascal and Y. Rouphael. 2019. Sensory and functional quality characterization of protected designation of origin 'Piennolo del Vesuvio' cherry tomato landraces from Campania-Italy. Food Chem. 292: 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.056>.
- Choi, S.H., H.R. Kim, H.J. Kim, I.S. Lee, N. Kozukue, C.E. Levin and M. Friedman. 2011. Free amino acid and phenolic contents and antioxidative and cancer cell-inhibiting activities of extracts of 11 greenhouse-grown tomato varieties and 13 tomato-based foods. J. Agric. Food Chem. 59(24): 12801–12814. <https://doi.org/10.1021/jf202791j>.
- Doolette, C.L., T.L. Read, C. Li, K.G. Scheckel, E. Donner, P.M. Kopittke, J.K. Schjoerring and E. Lombi. 2018. Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: Differences in mobility, distribution, and speciation. J. Exp. Bot. 69(18): 4469–4481. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery236>.
- Ebbs, S. and S. Uchil. 2008. Cadmium and zinc induced chlorosis in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern] involves preferential loss of chlorophyll b. Photosynthetica. 46: 49–55. <https://doi.org/10.1007/s11099-008-0010-3>.
- Gupton, C.L. and J.M. Spiers. 1996. High zinc concentrations in the growing medium contribute to chlorosis in blueberry. HortScience. 31(6): 955–956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.6.955>.
- Hänsch, R. and R.R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Curr. Opin. Plant Biol. 12(3): 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>.

- Haque, M.E., M.A. Islam and S.T. Ahmed. 2011. Effect of nitrogen and boron on the growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL.). J. Sher-e-Bangla Agric. Univ. 5(2): 1–9.
- Jiang, C., M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi and T. Maruo. 2017. A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. HortResearch. 71: 37–42. <http://doi.org/10.20776/S18808824-71-P37>.
- Jitpong, P., J. Janno, W. Sastawittaya, R. Mega, P. Chulaka and J. Thussagunpanit. 2025. Impact of greenhouse height on growth, physiological changes, and yield of two cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum*) cultivars. Thai J. Agric. Sci. 58(1): 1–16.
- Kavitha, L., M.N. Nakhon and S. Suwanwong. 2009. Plant Physiology. 2th edition. Kasetsart University, Faculty of Science, Department of Botany, Bangkok, Thailand. 259 pp. (in Thai)
- Khan, H.R., G.K. McDonald and Z. Rengel. 1998. Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. Plant Soil. 198: 11–18. <https://doi.org/10.1023/A:1004241826907>.
- Khattala, S. 2015. Tomato Production Technology. Research Project, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Lakchaikun, A. 2013. Tomato. Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ljung, K. 2002. Auxin Biosynthesis and Homeostasis in *Arabidopsis thaliana* in Relation to Plant Growth and Development. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Matsuda, R., K. Suzuki, Y. Nakano, H. Sasaki and M. Takaichi. 2011. Nutrient supply and fruit yields in tomato rockwool hydroponics under daily quantitative nutrient management: Analysis and evaluation based on leaf area index. J. Agric. Meteorol. 67(3): 117–126. <https://doi.org/10.2480/agrmet.67.3.6>.
- Meng, Y., C. Xiang, J. Huo, S. Shen, Y. Tang and L. Wu. 2023. Toxicity effects of zinc supply on growth revealed by physiological and transcriptomic evidences in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Sci. Rep. 13: 19203. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46504-2>.
- Ngennoy, S. 2014. Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Development, Yield and Plant Nutrition of Maize (*Zea mays* L.). MS Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Nielsen, F.H. 2012. History of zinc in agriculture. Adv. Nutr. 3(6): 783–789. <https://doi.org/10.3945/an.112.002881>.
- Osman, I.M., M.H. Hussein, M.T. Ali, S.S. Mohamed, M.A. Kabir and B.C. Halder. 2019. Effect of boron and zinc on the growth, yield and yield contributing traits of tomato. IOSR. J. Agric. Vet. Sci. 12(2): 25–37.
- Osotsa, Y. 2009. Foliar Fertilization. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 164 pp. (in Thai)
- Ounpipat, B., N. Chittamart and S. Tawornpruek. 2018. Intensification of zinc availability by Zn-Humate prepared from peat for sweet corn grown on a calcareous soil. Khon Kaen Agr. J. 46(Suppl. 1): 301–307. (in Thai)
- Phuphong, P., I. Cakmak, B. Dell and C. Prom-u-thai. 2018. Effects of foliar application of zinc on grain yield and zinc concentration of rice in farmers' fields. CMU J. Nat. Sci. 17(3): 181–190. <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2018.0013>.
- Prasad, R., Y.S. Shivay and D. Kumar. 2016. Interactions of zinc with other nutrients in soils and plants - A review. Indian J. Fertil. 12(5): 16–26.
- Ranc, N., S. Muñoz, S. Santoni and M. Causse. 2008. A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (solanaceae). BMC Plant Biol. 8: 130. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-8-130>.

- Resh, H.M. 1978. Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Publishing Company, California, USA.
- Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. J. Soil Sci. Plant Nutr. 13(4): 905–927. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000072>.
- Sainju, U.M., R. Dris and B. Singh. 2003. Mineral nutrition of tomato. J. Food Agric. Environ. 1: 176–183.
- Schulte, E.E. 2004. Soil and Applied Zinc. WIS-PUBS, USA.
- Sharma, A., B. Patni, D. Shankhdhar and S.C. Shankhdhar. 2013. Zinc – an indispensable micronutrient. Physiol. Mol. Biol. Plants. 19(1): 11–20. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0139-1>.
- Shibaeva, T.G., A.V. Mamaev and E.G. Sherudilo. 2020. Evaluation of a SPAD-502 plus chlorophyll meter to estimate chlorophyll content in leaves with interveinal chlorosis. Russ. J. Plant Physiol. 67(4): 690–696. <https://doi.org/10.1134/s1021443720040160>.
- Singh, B., S. Kasera, S.K. Mishra, S. Roy, S. Rana and D. Singh. 2017. Growth, yield and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) as influenced by foliar application of zinc and boron. J. Pharmacogn. Phytochem. SP1: 911–914.
- Stewart, A.J., S. Bozonnet, W. Mullen, G.I. Jenkins, M.E.J. Lean and A. Crozier. 2000. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. J. Agric. Food Chem. 48(7): 2663–2669. <http://dx.doi.org/10.1021/jf000070p>.
- Stuiver, C.E.E., F.S. Posthumus, S. Parmar, M. Shahbaz, M.J. Hawkesford and L.J. De Kok. 2014. Zinc exposure has differential effects on uptake and metabolism of sulfur and nitrogen in Chinese cabbage. J. Plant Nutr. Soil Sci. 177(5): 748–757.
- Sutradhar, A.K. 2016. Zinc for Crop Production. University of Minnesota Extension, Minnesota, USA.
- Yadav, K.L., R.S. Meena, A. Mishra, S. Singh, U. Joshi and K.K. Yadav. 2024. Impact of zinc application on growth, yield, and quality of African marigold in semi-arid conditions. J. Sci. Res. Rep. 30(10): 693–705. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i102495>.
- Yodprang, W. 2010. The Effects of Foliar Application of Amino Acid Chelated Secondary and Micro-Nutrients on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Chili (*Capsicum frutescens* L.). MS Thesis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)