ผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารในมะเขือเทศเชอรี่ พันธุ์ CH 154

Effect of Humic Acid Application on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Cherry Tomato (*Lycoperisicon esculentum* cv. CH 154)

อัญธิชา พรมเมืองคุก[1*] จุฑาทิพย์ เนตรวัฒน์[1] ปุญญิศา ตระกูลยิ่งเจริญ[1] และ ญาณิศา นามสวัสดิ์[1]

Aunthicha Phommuangkhuk[1*], Jutathip Natwat[1], Punyisa Trakoonyingcharoen[1] and Yanisa Namsawat[1]

Received: March 4, 2024
Revised: April 3, 2024
Accepted: April 9, 2024

Abstract: The humic substances have been used widely for agriculture, which diverse in terms of type and quantity. Our objective was to evaluate the effect of humic acid rates on growth, yield and nutrient uptake of cherry tomato under greenhouse condition. The experiment was operated in a completely randomized design (CRD) with 3 replications and five treatments (0, 25, 50, 75, and 100 kg humic acid/rai). Humic acid used in this study obtained by extraction from leonardite. Tomato plants were grown in the growing media consisted of coconut coir: rice hush ash: sand in the ratio of 2:2:1 by volume (4,200 g/pot) and supplied with Resh tropical dry summer nutrient solution. The results showed that different levels of humic acid application had significant effect on tomato yield, fresh weight, biomass, yield components, lycopene content, and total nutrient uptake (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) in different plant parts. Most of the highest values were obtained from 50 kg humic acid/rai addition. Nevertheless, no statistically significant difference was observed among the treatments in terms of total soluble solid. Plant growth, yield and nutrient uptake increased with increasing rates of humic acids; however, there was usually a decrease in the parameters measured at higher rates of humic acid application (75 and 100 kg humic acid/rai). These results indicated that, using 50 kg humic acid/rai would achieve better effects and improve the productivity of tomato.

Keywords: humic acid, leonardite, cherry tomato, nutrient uptake

บทคัดย่อ: สารฮิวมิกถูกนำมาใช้กับการผลิตพืชผลทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีความหลากหลายทั้งชนิดและปริมาณกรดฮิวมิกที่แตกต่างกัน จึงมีแนวคิดในการศึกษาผลของอัตรากรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH 154 ภายใต้สภาพโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) กำหนดให้ระดับกรดฮิวมิกที่สกัดมาจากลีโอนาร์ไดต์ที่ใส่มี 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกมะเขือเทศในวัสดุปลูกที่ผสมจาก ขุยมะพร้าว: แกลบดำ: ทราย ในอัตราส่วน 2:2:1 โดยวัสดุปลูก 1 กระถางมีน้ำหนัก 4,200 กรัม รดด้วยสารละลายสูตร Resh tropical dry summer

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agracp@ku.ac.th

ตลอดการทดลอง ผลการศึกษา พบว่า ระดับของกรดฮิวมิกที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้น้ำหนักผลผลิต น้ำหนักสด มวลชีวภาพ องค์ประกอบผลผลิต ปริมาณไลโคปีน การดูดใช้ธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) ในส่วนเหนือดิน ราก และผลมะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนอัตราการใส่กรดฮิวมิกที่ 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดมีค่าลดลง การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใส่กรดฮิวมิกทางดินที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเหมาะสมและเป็นแนวทางการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกมะเขือเทศเชอรี่ได้

คำสำคัญ: กรดฮิวมิก, ลีโอนาไดต์, มะเขือเทศเชอรี่, การดูดใช้ธาตุอาหาร

คำนำ

สารฮิวมิก (humic substances) เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์เชิงซ้อน มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กหลายๆ ชนิด มาเชื่อมกันด้วย hydrophobic interaction และพันธะไฮโดรเจน (Piccolo, 2002; Sutton and Sposito, 2005) มีสีน้ำตาลถึงดำ สลายตัวยาก และเป็นส่วนประกอบในอินทรียวัตถุ สามารถแยกองค์ประกอบของสารฮิวมิกโดยอาศัยสมบัติด้านการละลายออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ฮิวมิน กรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก สำหรับกรดฮิวมิกที่แยกได้จัดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม ละลายได้ในด่างและตกตะกอนเมื่อทำให้สารละลายดังกล่าวเป็นกรดจัด มีหมู่ทำปฏิกิริยาหลักสำคัญที่อยู่ในโครงสร้างทางเคมี ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ฟีนอลลิก ซึ่งทั้งสองหมู่นี้มีบทบาทอย่างมากต่อการปรับปรุงสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดด่างสูงขึ้น ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากกระบวนการชะละลายในดิน เพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในดินกรดที่มีปริมาณเหล็กสูง และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุในดิน ลดความเป็นพิษจากโลหะหนักในดิน Zhang *et al.* (2019) ศึกษาการสกัดฮิวมัสแบบลำดับส่วน พบว่า กรดฮิวมิกและโครเมียมสามารถทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโครเมียมได้ดีกว่าฮิวมินและฮิวมินเชิงซ้อน ตามลำดับ จึงลดการปนเปื้อนของธาตุดังกล่าวในดินได้ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ทำให้ดินมีสีคล้ำ เนื้อดินร่วนซุย ความแน่นทึบน้อยลง มีโครงสร้างดินดีขึ้น อุ้มน้ำได้มากและถ่ายเทอากาศได้ดี ลดการกร่อนดินเนื่องจากมีเสถียรภาพของเม็ดดินสูงขึ้น (Piccolo *et al.*, 1996) ส่วนสมบัติทางชีวภาพของดินนั้น จะส่งเสริมการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ทำให้มีกิจกรรมที่เป็นประโยชน์และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมากยิ่งขึ้น (ปิยะ, 2553) ปัจจุบันสารฮิวมิกและองค์ประกอบที่แยกได้จากสารฮิวมิก จัดอยู่ในกลุ่มสารกระตุ้นเชิงชีวภาพของพืช (biostimulants) อันหมายถึงสารใดๆ ก็ตามที่ใส่ให้พืชทางดิน ฉีดพ่นทางใบ คลุกเมล็ด ใส่ในวัสดุปลูกหรือสารละลายธาตุอาหาร แล้วสารนั้นช่วยปรับกระบวนการทางสรีระ ทำให้พืชมีศักยภาพในการเจริญเติบโตสูงขึ้น ทนต่อสภาพแวดล้อม และช่วยให้พืชปรับตัวต่อสภาพความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตได้ดีขึ้น (ยงยุทธ, 2557) จากการศึกษาการใช้กรดฮิวมิกกับพืชผักของ Nardi *et al.* (1994) และ Mora *et al.* (2010) รายงานว่า ผลของสารฮิวมิกที่มีต่อพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล รวมถึงสมบัติทางเคมีและชีวภาพ มีหลักฐานที่พบว่าสารฮิวมิกมีผลต่อพืชเนื่องจากมีบทบาทที่คล้ายกับการทำงานของฮอร์โมน โดยพบว่า กรดฮิวมิกช่วยให้น้ำหนักของส่วนเหนือดินสูงขึ้น ขณะเดียวกันก็เพิ่มความเข้มข้นของฮอร์โมนไซโตไคนินและสารพิวเทรสซีน ช่วยให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรตอน-เอทีพีเอสและความเข้มข้นของไนเทรตในส่วนเหนือดินสูงขึ้น

Labrada *et al*. (2023) พบว่า การใส่สารฮิวมิกในดินเนื้อปูนช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กในดิน ส่งผลให้จำนวนผลต่อต้น และผลผลิตของมะเขือเทศสูงสุดเมื่อเทียบกับตำรับที่ใส่สารกระตุ้นเชิงชีวภาพชนิดอื่น Patti *et al*. (2012) รายงานว่า สารฮิวมิกที่ใช้ส่งผลทางบวกให้ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รวมถึงการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีการบริโภคมะเขือเทศเชอรี่อย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร นิยมใช้รับประทานสด และแปรรูปเป็นผลไม้แช่อิ่ม ทั้งยังสามารถนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรได้ สำหรับการปลูกมะเขือเทศเชิงการค้าของประเทศไทยจะปลูกในวัสดุปลูกและรดด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช ร่วมกับการใส่สารกระตุ้นเชิงชีวภาพ ซึ่งรวมถึงกรดฮิวมิกด้วย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของกรดฮิวมิกมีหลายชนิด และมีปริมาณกรดฮิวมิกแตกต่างกัน การนำมาใช้จึงควรคำนึงถึงประโยชน์ที่ได้รับและความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์ที่เลือกใช้เป็นสำคัญ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาอัตราที่เหมาะสมของกรดฮิวมิกที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหาร รวมถึงคุณภาพผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่

อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกพืชในโรงเรือนทดลอง ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2563 ถึงเดือนมกราคม 2564 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ทำ 3 ซ้ำ จำนวน 5 ตำรับทดลอง ได้แก่ การใส่กรดฮิวมิก 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ (0, 0.42, 0.84, 1.26 และ 1.66 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ) สำหรับกรดฮิวมิกที่ใช้ในการทดลองสกัดมาจากลีโอนาร์ไดต์ โดยวิธี International Humic Substances Society (IHSS) (สุภานันท์, 2557; Tan, 2003) การวิเคราะห์ทางเคมีกรดฮิวมิกที่สกัดได้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:1) เท่ากับ 1.16 ค่าการนำไฟฟ้า (1:5) เท่ากับ 39.09 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) เท่ากับ 34.13 เปอร์เซ็นต์ และ 120.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.32, 0.0038, 0.49, 0.05 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ก่อนการปลูกพืชจะนำวัสดุปลูกที่เลือกใช้ ได้แก่ ขุยมะพร้าว และทราย มาล้างด้วยน้ำประปา จำนวน 3 ครั้ง แล้วผึ่งในที่ร่มจนแห้ง จากนั้นนำมาผสมกับขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน ขี้เถ้าแกลบ: ขุยมะพร้าว:ทราย เท่ากับ 2:2:1 โดยปริมาตร คิดเป็นน้ำหนัก 4.2 กิโลกรัมต่อกระถาง การวิเคราะห์ทางเคมีวัสดุปลูกภายหลังการผสม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (วัสดุ:น้ำ; 1:2) เท่ากับ 7.20 ค่าการนำไฟฟ้า (วัสดุ:น้ำ; 1:10) เท่ากับ 0.10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.001, 0.14, 0.004 และ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการดูดยึดน้ำ (water holding capacity) ของวัสดุปลูกที่ผสมแล้ว มีค่า 113.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์วัสดุหลังปลูก มีค่าความเป็นกรดด่าง และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 7.10-7.21 และ 0.12-0.24 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร อ้างอิงจากคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ มะเขือเทศเชอรี่ CH 154 (*Lycoperisicon esculentum* cv. CH 154) ซึ่งพัฒนาพันธุ์มาจากมะเขือเทศเชอรี่ที่มีขนาดผลเล็กหนักไม่เกิน 15 กรัม รสชาติหวาน รับประทานผลสดเป็นผลไม้ ลักษณะเด่นของพันธุ์คือ มีผลกลมรี รสชาติเข้มข้น มีเมล็ดน้อย ง่ายต่อการรับประทานสด และให้ผลผลิตสูงมาก เตรียมกล้าโดยเพาะเมล็ดมะเขือเทศลงในถาดขนาด 104 หลุม ใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก เมื่อต้นกล้ามีอายุระหว่าง 10 ถึง 20 วัน หลังเพาะเมล็ด จะรดด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer: RTDS (Resh, 2012) ที่เจือจางด้วยน้ำกรองในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่อต้นกล้าอายุ

ได้ 21 วันจึงย้ายปลูกลงในกระถางพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ซึ่งบรรจุวัสดุปลูกตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ก่อนการย้ายกล้าจะใส่กรดฮิวมิกตามอัตราที่กำหนดในแต่ละตำรับการทดลอง คลุกเคล้าให้เข้ากันดีกับวัสดุปลูก ทิ้งไว้ 1 คืน จึงคัดเลือกกล้ามะเขือเทศที่โตสม่ำเสมอกัน โดยปลูก 1 ต้นต่อกระถาง เมื่อต้นมะเขือเทศมีอายุได้ 35 วัน จะขึ้นค้างด้วยเชือกเพื่อพยุงต้นและช่อผล

การดูแลรักษา จะรดด้วยสารละลายธาตุอาหาร RTDS สูตรปกติ ในอัตรา 25 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการดูดยึดน้ำของวัสดุปลูก (1050 มิลลิลิตรต่อกระถางต่อวัน) ตลอดการทดลอง เก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตของมะเขือเทศเป็นเวลา 30 วัน นับจากวันที่ติดผล เก็บข้อมูลความยาวผล ความกว้างผล จำนวนและน้ำหนักผลต่อช่อ สุ่มเก็บผลสดจากแต่ละช่อเพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต ได้แก่ ปริมาณเบต้าแคโรทีน ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) (Nagata and Yamashita, 1992) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid; TSS) ด้วยเครื่อง digital refractometer จากนั้นจึงเก็บเกี่ยวต้นโดยแยกเป็นส่วนเหนือดิน ราก และผล บันทึกน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง บันทึกมวลชีวภาพ (biomass) วิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก (N, P, K) ธาตุรอง (Ca, Mg) และจุลธาตุ (Fe, Zn) (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) จากนั้นนำไปคำนวณการดูดใช้ (uptake) ธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 21 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของกรดฮิวมิกต่อผลผลิต น้ำหนักสดและมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ

ระดับของกรดฮิวมิกที่ใส่มีผลให้น้ำหนักผลผลิตสดและมวลชีวภาพผลผลิตต่อต้น น้ำหนักผลสดและมวลชีวภาพผลต่อช่อ น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดและมวลชีวภาพราก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยตำรับที่ใส่กรดฮิวมิกอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักผลผลิตสด มวลชีวภาพผลผลิต น้ำหนักผลสดต่อช่อ มวลชีวภาพผลต่อช่อ น้ำหนักสดและมวลชีวภาพรากสูงที่สุด โดยมีค่า 729.78, 50.78 กรัมต่อต้น, 73.78, 5.18 กรัมต่อช่อ, 24.27 และ 0.22 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนกรดฮิวมิกอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้น้ำหนักสดส่วนเหนือดินมีค่าสูงสุด คือ 130.25 กรัมต่อต้น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับตำรับควบคุมและการใส่กรดฮิวมิกอัตราสูงยกเว้นตำรับการทดลองที่ 3 ขณะที่ระดับของกรดที่ใส่ไม่มีผลทำให้มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของต้นมะเขือเทศแตกต่างทางสถิติ มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 0.92 – 1.35 กรัมต่อต้น (Table 1 และ Figure 1) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Moura *et al.* (2023) ที่รายงานว่าการใช้สารฮิวมิกฉีดพ่นทางใบให้กับพืชผักกินผล เช่น มะเขือเทศ แตงกวา และพริกไทยจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งผลผลิตได้ Yildrim (2007) ทดสอบผลของการฉีดพ่นกรดฮิวมิกทางใบทุกๆ 10 วันในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นร่วมกับการใส่ทางดินในระยะการให้ผลผลิตของมะเขือเทศ โดยใส่อัตราเดียวกันคือ 20 มิลลิลิตรต่อลิตร พบว่า อิทธิพลร่วมของวิธีการใส่ ทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ราก ความกว้างผล จำนวนผลต่อช่อ และผลผลิตต่อต้นสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์ regression ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรากรดฮิวมิกที่ใส่กับผลผลิตสดและมวลชีวภาพของมะเขือเทศทั้งหมด พบว่า การใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตสดและมวลชีวภาพสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (Figure 1) จะเห็นว่าหากใส่กรดฮิวมิกในอัตราที่สูงขึ้นมีผลทำให้ผลผลิตมะเขือเทศลดลง จึงกล่าวได้ว่าการใช้กรดฮิวมิกที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสมกับการปลูกมะเขือเทศในวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้การใส่กรดฮิวมิกอัตรา 25 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ยังส่งผลให้องค์ประกอบผลผลิต ปริมาณสารสำคัญ

และการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศสูงสุดและแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่ใส่และ ใส่กรดฮิวมิกในอัตราที่สูงกว่า (Table 2, 3, 4 และ Figure 2) Sani (2014) ศึกษาผลของการใช้กรดฮิวมิก ที่อัตรา 0 – 4,000 มิลลิกรัมต่อวัสดุปลูกแห้ง 1 กิโลกรัม พบว่า การใช้กรดฮิวมิกที่อัตรา 50 - 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้มะเขือเทศมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่กลับลดลงเมื่อใส่กรดฮิวมิกในอัตราที่สูงกว่านี้ สอดคล้องกับ Ekinci *et al*. (2015) ซึ่งรายงานว่าการใช้แคลเซียมฮิวเมท อัตรา 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีกรดฮิวมิกและฟูลวิกเป็นองค์ประกอบอยู่ 15 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตสดของมะเขือเทศสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราการใส่ที่ 4,000 – 6,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กลับทำให้ผลผลิตของมะเขือเทศลดลง Nardi *et al.* (2021) กล่าวว่า สารฮิวมิกทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช Zandonadi *et al*. (2010) กล่าวว่า มีหลายงานทดลองที่ชี้บ่งว่าสารฮิวมิก ถูกพิจารณาว่าเป็นแหล่งของกรดอินโดลอะซิติก (IAA) ซึ่งเป็นออกซินชนิดหนึ่งที่มีการศึกษามากที่สุดในกลุ่มของฮอร์โมนพืชที่ทำหน้าที่ในการแบ่งและการขยายขนาดเซลล์ Ekinci *et al*. (2015) ให้เหตุผลว่าการใส่แคลเซียมฮิวเมทอัตราสูงมีผลให้ผลผลิตมะเขือเทศลดลงเนื่องจากปริมาณของฮอร์โมนพืชที่มีมากจนไปยับยั้งการให้ผลผลิตของพืช ขณะที่ Akladious and Mohamed (2018) พบว่า การใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 1,500 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ผลผลิต และการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพริกไทยที่ปลูกในสภาพดินเค็มสูงกว่าการใช้อัตราต่ำ Moura *et al*. (2023) ให้ข้อเสนอแนะว่า การตอบสนองของพืชต่อระดับกรดฮิวมิกที่ใส่จะขึ้นกับสภาพแวดล้อม ชนิด และพันธุ์พืชด้วย

Table 1 Effect of humic acid application rate on total fruit yield, fruit weight, shoot weight, and root weight of cherry tomato.

Humic acid (kg/rai)	Total fruit yield (g/plant)		Fruit weight (g/cluster)		Shoot weight (g/plant)		Root weight (g/plant)	
	fresh fruit yield	biomass	fresh	biomass	fresh	biomass	fresh	biomass
0	608.54ab	39.88ab	59.95ab	3.69ab	94.87b	0.93	17.88b	0.12b
25	696.42a	50.48a	68.74a	5.05a	130.25a	1.35	22.93ab	0.20ab
50	729.78a	50.78a	73.78a	5.18a	120.63a	1.21	24.27a	0.22a
75	547.76b	39.43ab	53.68b	3.86ab	98.34b	0.92	19.82ab	0.14b
100	386.74c	30.18b	39.59c	3.31b	116.91b	1.16	21.10ab	0.18ab
F-test	***	**	***	**	*	ns	*	*
CV (%)	23.55	22.77	21.15	21.34	19.65	24.19	16.13	28.66

Remark: Means followed by the same letter in columns are not significantly different at the 5% level by DMRT.
***,** and * = significant at P<0.001, P<0.01 and P<0.05, respectively, while ns = not significant.

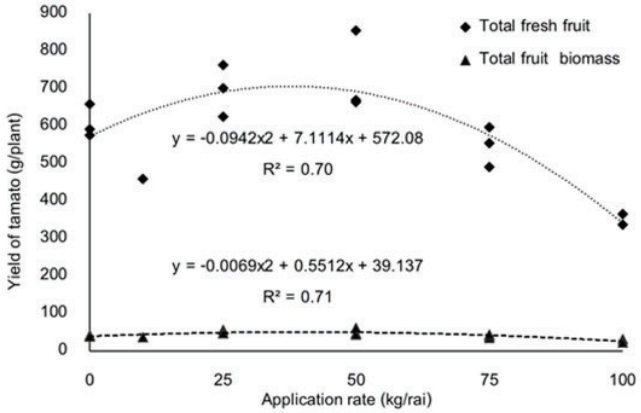

Figure 1 The regression of yield of tomato (total fresh fruit and total fruit biomass) on humic acid application rate.

ผลของกรดฮิวมิกต่อขนาดผล จำนวนผลต่อช่อ เบต้าแคโรทีน และปริมาณสารสำคัญในผลมะเขือเทศ

การใส่กรดฮิวมิกมีผลทำให้ความกว้างผล จำนวนผลต่อช่อ ปริมาณเบต้าแคโรทีน และปริมาณไลโคปีน ในผลมะเขือเทศมีความแตกต่างทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใส่กรดฮิวมิก อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีความกว้างผล (23.37 มิลลิเมตร) จำนวนผลต่อช่อ (14 ผลต่อช่อ) และปริมาณรงควัตถุเบต้าแคโรทีนสูงสุด (0.033 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ ส่วนการใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้มะเขือเทศมีปริมาณไลโคปีนสูงสุด คือ 0.091 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับการใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ระดับของกรดฮิวมิกที่ใส่ไม่มีผลทำให้ความยาวผล และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 30.81 – 33.71 มิลลิเมตร และ 6.30 – 7.67 องศาบริกซ์ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ผลมะเขือเทศที่มีขนาดเล็ก จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงกว่าขนาดใหญ่ สอดคล้องกับ Beckles (2012) ที่กล่าวว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้บ่งชี้ถึงปริมาณวัตถุแห้ง (dry matter content) และเป็นสัดส่วนที่แปรผกผันตามขนาดของผล (Table 2)

Table 2 Effect of humic acid application rate on fruit size, fruit no./cluster, total soluble solid, β-carotene, and lycopene content of cherry tomato.

Humic acid (kg/rai)	Fruit size (mm)		Fruit no./cluster (fruit)	TSS (°Brix)	β-carotene	Lycopene
	fruit width	fruit length			(mg/100g FW)	
0	22.30ab	30.94	10b	6.30	0.025ab	0.078ab
25	21.25bc	31.02	8bc	6.77	0.020b	0.091a
50	23.37a	33.71	14a	6.63	0.033a	0.084a
75	22.59ab	31.03	10b	6.47	0.025ab	0.064b
100	21.19bc	30.81	8bc	7.67	0.026ab	0.054bc
F-test	*	ns	*	ns	*	**
CV (%)	6.07	7.42	35.75	14.77	30.40	28.37

Remark: Means followed by the same letter in columns and rows are not significantly different at the 5% level by DMRT. ** and * = significant at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively, while ns = not significant.

ผลของกรดฮิวมิกต่อการดูดใช้ธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ

ระดับของกรดฮิวมิกที่แตกต่างกันมีผลทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศมีความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากมะเขือเทศ การใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในผล (1201.42 และ 69.91 มิลลิกรัมต่อต้น) มีค่าสูงสุด กรดฮิวมิกที่อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ยังส่งผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินมีค่าสูงสุดและเท่ากับการดูดใช้ฟอสฟอรัสของราก (0.34 มิลลิกรัมต่อต้น) นอกจากนี้การใช้กรดฮิวมิกในอัตราดังกล่าวยังส่งผลทางบวกต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนเหนือดินให้มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน คือ 13.77 มิลลิกรัมต่อต้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นยกเว้นตำรับที่ 3 ขณะที่การใส่กรดฮิวมิกอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้มีการสะสมโพแทสเซียมในรากและผลมะเขือเทศมากที่สุด คือ 16.24 และ 1553.22 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 3)

อัตราของกรดฮิวมิกที่ใส่ส่งผลให้การดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสีในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในตำรับที่ใส่กรดฮิวมิก อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ มีการสะสมธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีในผลมะเขือเทศสูงที่สุด คือ 41.49, 96.13 และ 1.218 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับที่ใส่ฮิวมิกในอัตรา 75, 100 กิโลกรัมต่อไร่ และตำรับควบคุม ($P<0.05$) (Table 4) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่กรดฮิวมิกในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้การดูดใช้แคลเซียมและสังกะสีในราก รวมถึงการดูดใช้เหล็กในส่วนเหนือดินมีค่าสูงสุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับตำรับอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 16.54, 0.105 และ 0.042 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 4) สำหรับตำรับควบคุม และการใส่กรดฮิวมิกในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้การสะสมธาตุเหล็กในผลและสังกะสีส่วนเหนือดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.221 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ขณะที่การใส่กรดฮิวมิกในอัตราต่างกันไม่มีผลทำให้ การสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมในส่วนเหนือดิน รวมทั้งการสะสมแมกนีเซียมและเหล็กในรากแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด พารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 2.61 - 4.57, 1.11 - 1.68, 2.38 - 4.93 และ 0.062 - 0.138 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 4) จากการทดลองชี้ให้เห็นว่ามีการสะสมธาตุอาหารในผลมากกว่าส่วนต้นและราก ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศที่สูงกว่าส่วนต้นและราก (Table 1 และ 4)

Table 3 Effect of humic acid application rate on total N, P, and K uptake (mg/plant) in different parts of cherry tomato.

Humic acid (kg/rai)	P uptake in			P uptake in			K uptake in		
	shoot	root	fruit	shoot	root	fruit	shoot	root	fruit
0	18.85	1.93	699.23b	0.20b	0.24b	61.98ab	8.65b	12.90b	847.90b
25	25.88	2.72	1201.42a	0.34a	0.34a	69.91a	13.77a	15.18a	1464.56ab
50	23.90	2.96	1068.07a	0.21b	0.29ab	51.58bc	10.31ab	16.24a	1553.22a
75	17.76	2.66	720.25b	0.21b	0.20b	42.73c	7.54b	10.49b	1145.24ab
100	24.08	2.99	591.53b	0.22b	0.32a	40.93c	6.75b	13.37ab	882.46b
F-test	ns	ns	**	*	*	*	*	*	*
CV (%)	27.36	27.14	33.99	32.12	37.51	26.98	34.99	26.37	27.31

Remark: Means followed by the same letter in columns and rows are not significantly different at the 5% level by DMRT.
** and * = significant at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively, while ns = not significant.

Table 4 Effect of humic acid application rate on total Ca, Mg, Fe, and Zn uptake (mg/plant) in different parts of cherry tomato.

Humic acid (kg/rai)	Ca uptake in			Mg uptake in			Fe uptake in			Zn uptake in		
	shoot	root	fruit	shoot	root	fruit	shoot	root	fruit	shoot	root	fruit
0	2.75	6.72b	33.03ab	1.11	2.38	65.66b	0.009bc	0.062	1.221a	0.001b	0.058c	0.950ab
25	4.00	11.28b	41.49a	1.68	3.28	96.13a	0.0019c	0.106	0.902a	0.002a	0.088ab	1.218a
50	4.57	16.54a	39.10ab	1.36	4.93	77.12ab	0.042a	0.138	0.343b	0.002a	0.105a	1.195a
75	2.61	10.50b	30.05b	1.22	2.88	58.24b	0.013b	0.068	1.114a	0.002a	0.078c	0.963ab
100	3.33	9.77b	18.55c	1.18	2.87	46.7b	0.015b	0.087	0.201b	0.004a	0.038ab	0.935b
F-test	ns	**	**	ns	ns	**	**	ns	*	*	**	*
CV (%)	32.66	41.38	30.59	33.53	30.35	31.93	17.75	28.64	25.41	21.81	26.27	18.81

Remark: Means followed by the same letter in columns and rows are not significantly different at the 5% level by DMRT. ** and * = significant at P<0.01 and P<0.05, respectively, while ns = not significant.

ความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกที่ใส่ต่อการสะสมธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกรดฮิวมิกที่ใส่ต่อการสะสมธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศด้วย Pearson correlation ซึ่งสรุปในรูปของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบความสัมพันธ์เชิงบวกและเชิงลบ โดยความสัมพันธ์เชิงบวกพบในระดับปานกลางถึงสูง (r >±0.50) ระหว่างการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศ (Table 5) จากการศึกษาของ Valdrighi *et al.* (1996) ให้ข้อมูลว่าการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มมากขึ้นอาจเป็นผลจากการที่กรดฮิวมิกไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน จึงช่วยให้ธาตุอาหารในดินอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น Moura *et al.* (2023) กล่าวว่า สารฮิวมิกมีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช เนื่องจากช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาที่ราก ส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ เช่น H^+-ATPase ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีส่วนช่วยให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้มากขึ้น ส่วนความสัมพันธ์เชิงลบ พบในการดูดใช้ธาตุเหล็กและแคลเซียมในผล (r = -0.664**) และระหว่างการดูดใช้สังกะสีในรากและส่วนเหนือดิน (r = -0.600*) (Table 5) Fagaria (2001) กล่าวถึงอันตรกิริยาระหว่างธาตุเหล็กกับธาตุอาหารอื่นๆ ไว้ว่า ในกรณีที่ดินมีปริมาณเหล็กในระดับปกติ การมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมงกานีสเพิ่มเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลให้พืชดูดใช้เหล็กได้น้อยลง

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อบ่งชี้การดูดใช้ธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) ในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศจากการได้รับกรดฮิวมิกในอัตราที่ต่างกัน พบว่า F1 และ F2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของปัจจัยได้ 50.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการสะสมของธาตุอาหารพืชมีความสัมพันธ์กันแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (Figure 2) จะเห็นได้ว่าการดูดใช้ธาตุอาหารพืชนั้นจะมีสัมพันธ์กันในกลุ่มของส่วนของพืช กล่าวคือ ในกลุ่มที่ 1 เป็นธาตุที่ถูกดูดใช้ในส่วนเหนือดิน กับราก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธาตุหลัก และธาตุรอง ส่วนกลุ่มที่ 2 จะพบการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุในผลกับราก และเมื่อเทียบกับปัจจัยการให้กรดฮิวมิก

พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มนี้ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยการให้กรดฮิวมิกที่อัตรา 25 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ยกเว้นกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีการดูดใช้ธาตุเหล็กในผลมะเขือเทศจะมีความสัมพันธ์กับการใส่กรดฮิวมิกที่ 100 กิโลกรัมต่อไร่

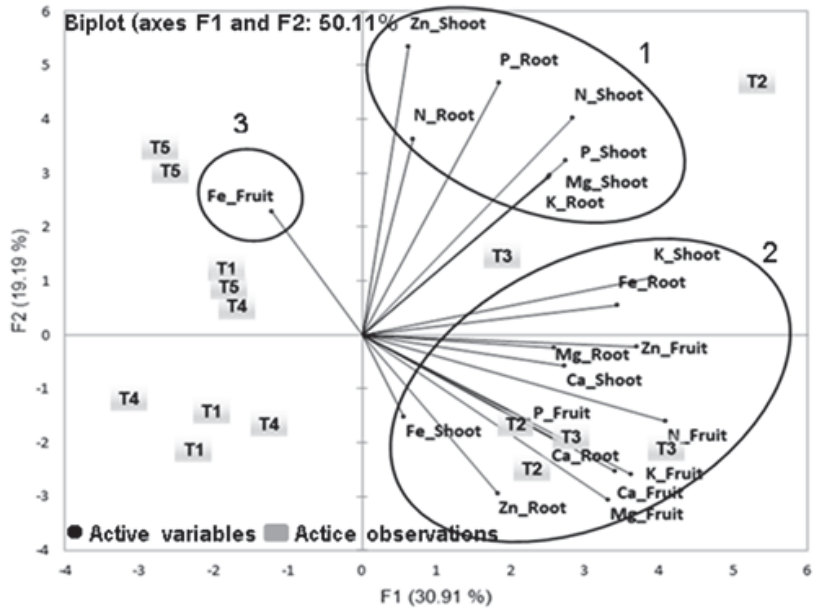

Figure 2 Principal component analysis (PCA) of the nutrients uptake by the different parts of the tomato plant according to the 0, 25, 50, 75, and 100 kg/rai of humic acid application.

Table 5 The correlation coefficients for relationships between nutrient uptakes in different parts of tomato plant under humic acid treatment.

	N uptake shoot	N uptake root	N uptake fruit	P uptake shoot	P uptake root	P uptake fruit	K uptake shoot	K uptake root	K uptake fruit	Ca uptake shoot	Ca uptake root	Ca uptake fruit	Mg uptake shoot	Mg uptake root	Mg uptake fruit	Fe uptake shoot	Fe uptake root	Fe uptake fruit	Zn uptake shoot	Zn uptake root	Zn uptake fruit
N uptake shoot	1	.247	.340	.711**	.512	.040	.623*	.347	.137	.441	.103	.151	.711**	.211	.038	-.097	.361	.164	.733**	-.123	.422
N uptake root		1	-.121	.138	.609*	-.321	.032	.500	-.038	-.139	.168	-.263	.261	.450	-.351	-.055	.437	.133	.429	.076	.009
N uptake fruit			1	.355	.155	.648**	.608*	.178	.733**	.341	.433	.583*	.182	.232	.820**	.037	.581*	-.058	-.046	.324	.779**
P uptake shoot				1	.576*	.265	.804**	.313	.086	.304	-.242	.401	.808**	-.133	.136	-.166	.082	-.149	.454	.096	.294
P uptake root					1	.265	.373	.733**	.003	-.098	-.224	-.092	.351	.039	-.033	-.200	.391	.313	.629*	-.045	.353
P uptake fruit						1	.416	.136	.451	-.089	-.186	.377	-.075	-.183	.679**	-.182	.138	.078	-.217	.270	.602*
K uptake shoot							1	.416	.427	.376	.077	.683**	.818**	.136	.460	-.165	.233	-.461	.185	.307	.370
K uptake root								1	.132	.088	.194	.202	.345	.459	.138	-.028	.574*	-.129	.517*	-.107	.295
K uptake fruit									1	.344	.644**	.432	.035	.468	.686**	.147	.522*	-.145	-.150	.514	.746**
Ca uptake shoot										1	.541*	.464	.433	.480	.201	.676**	.315	-.219	.194	.183	.243
Ca uptake root											1	.276	-.025	.853**	.358	.455	.709**	-.197	.041	.141	.411
Ca uptake fruit												1	.456	.236	.657**	.136	.248	-.664**	-.324	.524*	.316
Mg uptake shoot													1	.153	-.020	-.053	.022	-.400	.401	.146	.004
Mg uptake root														1	.180	.394	.714**	-.215	.222	.098	.320
Mg uptake fruit															1	-.063	.430	-.177	-.269	.305	.634*
Fe uptake shoot																1	.129	.031	-.026	.099	.036
Fe uptake root																	1	.045	.308	.103	.663**
Fe uptake fruit																		1	.411	-.362	.270
Zn uptake shoot																			1	-.600*	.238
Zn uptake root																				1	.176
Zn uptake fruit																					1

Non-significant correlation coefficients are blank. * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

สรุป

กรดฮิวมิกที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้น้ำหนักผลผลิต น้ำหนักสด มวลชีวภาพ องค์ประกอบผลผลิต ปริมาณไลโคปีน การดูดใช้ธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ธาตุอาหารรอง (Ca, Mg) และจุลธาตุ (Fe, Zn) ในส่วนเหนือดิน ราก และผลมะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลมะเขือเทศ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่อย่างใด ส่วนการใส่กรดฮิวมิกที่อัตรา 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดมีค่าลดลง การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใส่กรดฮิวมิกทางดินที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเหมาะสมและเป็นแนวทางการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกมะเขือเทศเชอรี่ได้ ทั้งนี้ควรพิจารณาสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งปัจจัยชีวนะและอชีวนะ รวมทั้งพันธุ์พืช ซึ่งจะมีผลให้พืชตอบสนองต่อกรดฮิวมิกที่ใส่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 49 หน้า.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 108 หน้า.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 256 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2557. การใช้สารเร่งชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. วารสารดินและปุ๋ย 36 (1-4):27-54.

สุภานันท์ เงินน้อย. 2557. ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 116 หน้า.

Akladious, S.A. and H.I. Mohamed. 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (Capsicum annuum) plants grown under salt stress. Scientia Horticulturae 236: 244–250. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.047.

Beckles, D.M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 63(1): 129-140.

Ekinci, M., A. Esringu, A. Dursun, E. Yildirim, M. Turan, M. Rusu Karaman and T. Arjumend. 2015. Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 39: 613-623.

Fagaria, N.K. 2001. Nutrient interaction in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24: 1269-1290.

Labrada, F.P., A.B. Mendoza, A.J. Maldonado, S.S. Gaona and S.G. Morales. 2023. Effects of citric acid and humic-like substances on yield, enzyme activities, and expression of genes involved in iron uptake in tomato plants. Horticulturae 9 (6): 630, https://doi.org/10.3390/horticulturae9060630.

Mora, V., E. Bacaicoa, A.M. Zamarreño, E. Aguirre, M. Garnica and M. Fuentes. 2010. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated

with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. Journal of Plant Physiology 167: 633–642.

Moura, O.V.T., R. L.L. Berbara, D.F. de O. Torchia, H.F.O. Da Silva, T.A. van Tol de Castro, O.C.H. Tavares, N.F. Rodrigues, E. Zonta, L.A. Santos and A.C. García. 2023. Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 22: 493-513.

Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. Journal of The Japanese Society for Food Science and Technology 39(10): 925-928.

Nardi, S., M.R. Panucci, M.R. Abenavoli and A. Muscolo. 1994. Auxin-like effect of humic substances extracted from faeces of *Allolobophora Caliginosa* and *Allolobophora Rosea*. Soil Biology and Biochemistry 23: 833–836.

Nardi, S., M. Schiavon and O. Francioso. 2021. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. Molecules 26(8): 2256, https://doi.org/10.3390/molecules26082256

Patti, A. F., W.R. Jackson, S. Norng, M.T. Rose and T.R. Cavagnaro. 2012. Commercial humic substances stimulate tomato growth. pp. 1079-1084. *In*: International Conference of International Humic Substances Society. Zhejiang University, Hangzhou, China.

Piccolo, A., G. Pietramellara and J.S.C. Mbagwu. 1996. Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. Soil Use and Management 12: 209–213.

Piccolo, A. 2002. The supra molecule structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. Advances in Agronomy 75: 57-134.

Resh, H.M., 2012, Hydroponic Food Production: a Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press, Boca Raton, Florida. 511 p.

Sutton, R. and G. Sposito. 2005. Molecular structure in soil humic substances: the new view. Environmental Science & Technology 39: 9009-9015.

Sani, B. 2014. Foliar application of humic acid on plant height in canola. pp. 82-86. *In*: 2013 4th International Conference on Agriculture and Animal Science (CAAS 2013) and 2013 3rd International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2013). Phuket, Thailand.

Tan, K.H. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies. Marcel Dekker Inc., New York. 459 p.

Valdrighi, I. M., A. Pera, M. Agnolucci, S. Frassinetti, D. Lunardi and G. Vallini. 1996. Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (Cichorium intybus)-soil system: a comparative study. Agriculture, Ecosystems & Environment 58 (2-3): 133-144.

Yildrim, E. 2007. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. Acta Agriculturae Scandinavica (57): 182–186, Section B.

Zandonadi, D.B., M.P., Santos, L.B., Dobbss, F.L., Olivares, L.P., Canellas, M.L. Binzel, A.L. Okorokova-Façanha and A.R. Façanha. 2010. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H^+-ATPase activation. Planta 231 (5): 1025–1036.

Zhang, J. H. Yin, H. Wang, L. Xu, B. Samuel, J. Chang, F. Liu and H. Chen. 2019. Molecular structure-reactivity correlations of humic acid and humin fractions from a typical black soil for hexavalent chromium reduction. Science of The Total Environment 651 (2): 2975-2984.