Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam 2026, 24(9): 1255-1262 https://doi.org/10.31817/tckhnnvn.2026.24. 9.09
vie.vjas.vn

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC GỐC GHÉP ĐẾN SINH TRƯỞNG, NĂNG SUẤT, CHẤT LƯỢNG VÀ TÍCH LŨY CADIMI CỦA CÂY CÀ CHUA TRỒNG TRÊN ĐẤT Ô NHIỄM CADIMI

Nguyễn Thị Giang[1*], Ngô Thị Dung[1], Vũ Thị Xuân[1], Ngô Thanh Sơn[1], Nguyễn Thu Thùy[1], Nguyễn Xuân Điệp[2], Đặng Thị Lệ[1]

[1]Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam
[2]Viện Nghiên cứu Rau quả, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

[*]Tác giả liên hệ: giangkhue@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 14.03.2026 Ngày chấp nhận đăng: 28.08.2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của các gốc ghép đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng quả và sự tích lũy cadimi (Cd) của cây cà chua trồng trên đất ô nhiễm Cd. Thí nghiệm chậu trong nhà lưới sử dụng giống cà chua bi Thúy Hồng làm cành ghép với ba gốc ghép Vimina 1, Vimina 2 và cà tím EG203 ở mức ô nhiễm Cd (8 mg/kg đất). Kết quả cho thấy các gốc ghép không ảnh hưởng có ý nghĩa đến sinh trưởng và năng suất quả của cây cà chua (311,8-346,6 g/cây), nhưng ảnh hưởng rõ đến chất lượng quả và sự phân bố Cd trong cây. Cây ghép trên gốc cà tím EG203 cho chất lượng quả cao nhất (vitamin C: 22,20 mg/100g; Brix:7,30%; đường tổng số: 4,55%) và hàm lượng Cd trong quả thấp nhất (2,64 mg/kg). Kết quả cho thấy gốc ghép EG203 có khả năng hạn chế tích lũy Cd trong quả cà chua, góp phần nâng cao chất lượng và an toàn thực phẩm khi trồng cà chua trên đất ô nhiễm Cd.

Từ khóa: Cà chua ghép, cadimi (Cd), gốc ghép, tích lũy Cd, chất lượng quả.

Effects of Different Rootstocks on Growth, Yield, Quality and Cadmium Accumulation in Tomato Plants Grown in Cadmium - Contaminated Soil

ABSTRACT

This study evaluated the effects of different rootstocks on the growth, yield, fruit quality, and cadmium (Cd) accumulation of tomato plants grown in Cd-contaminated soil. A pot experiment was conducted in a greenhouse using cherry tomato cultivar 'Thúy Hồng' as the scion grafted onto three rootstocks: Vimina 1, Vimina 2, and eggplant EG203 under a Cd contamination level of 8 mg kg^{-1} soil. The results showed that rootstocks did not significantly affect plant growth or fruit yield, which ranged from 311.8 to 346.6 g/plant, but significantly influenced fruit quality and Cd distribution in the plant. Tomatoes grafted onto eggplant rootstock EG203 showed the highest fruit quality (vitamin C: 22.20 mg/100g, Brix: 7.30%, total sugars: 4.55%) and Cd concentration in fruits was lowest in this treatment (2.64mg kg^{-1}). These results indicate that eggplant rootstock EG203 can reduce Cd accumulation in tomato fruits while maintaining yield and improving fruit quality, contributing to safer tomato production in Cd-contaminated soils.

Keywords: Grafted tomato, cadmium (Cd), rootstock, Cd accumulation, fruit quality.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô nhiễm kim loại nặng, đặc biệt là cadimi (Cd), đang là một trong những vấn đề môi trường đáng quan tâm trong sản xuất nông nghiệp. Cd có độc tính và khả năng di động cao, dễ được cây trồng hấp thu, từ đó xâm nhập vào chuỗi thực phẩm (Alloway, 2013; Zhang & cs., 2019). Khi tích lũy trong cây, Cd gây rối loạn sinh lý, ức chế quang hợp, mất cân bằng dinh dưỡng và stress oxy hóa, làm ảnh hưởng đến sinh trưởng và năng suất (Benavides & cs., 2005; Clemens, 2006).

Cà chua (*Solanum lycopersicum* L.) là một trong những loại rau ăn quả quan trọng, có giá trị dinh dưỡng cao nhưng cũng có khả năng tích

lũy Cd trong điều kiện đất ô nhiễm (Edelstein & Ben-Hur, 2018). Sự tích lũy Cd trong quả làm suy giảm chất lượng, tiềm ẩn nguy cơ đối với sức khỏe con người. Cadimi có thể tích lũy lâu dài trong cơ thể và gây ảnh hưởng bất lợi đến chức năng thận và hệ xương (Zhang & cs., 2019). Khảo sát tại các vùng sản xuất cà chua xung quanh khu vực công nghiệp ở Bangladesh đã ghi nhận tình trạng ô nhiễm Cd trong đất canh tác và quả cà chua, cho thấy nguy cơ ô nhiễm Cd trong sản xuất cà chua (Rahman & cs., 2022).

Trong những năm gần đây, kỹ thuật ghép cây đã được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất rau nhằm nâng cao khả năng chống chịu của cây trồng đối với điều kiện bất lợi. Việc sử dụng gốc ghép thích hợp có thể giúp tăng khả năng hấp thu nước và dinh dưỡng, cải thiện sinh trưởng, nâng cao năng suất (Lee & cs., 2010; Schwarz & cs.,2010) và hạn chế sự vận chuyển Cd từ rễ lên các bộ phận trên mặt đất, góp phần giảm tích lũy Cd trong sản phẩm thu hoạch (Arao & cs., 2008; Savvas & cs., 2010). Các nghiên cứu gần đây cho thấy gốc ghép có thể điều tiết quá trình hấp thu và phân bố Cd trong cây thông qua các cơ chế sinh lý và phân tử (Sun & cs., 2025).

Tại Việt Nam, công bố liên quan đến sự tích lũy Cd trên cây cà chua còn hạn chế. Nghiên cứu về cà chua ghép chủ yếu tập trung vào khả năng chống chịu bệnh, sinh trưởng và năng suất (Đào Thị Thanh Huyền & Bùi Xuân Hồng, 2022; Ngô Thị Hạnh & cs., 2022). Tuy nhiên, ảnh hưởng của gốc ghép đến quá trình hấp thu, vận chuyển và tích lũy Cd trong cây, đặc biệt là trong quả, vẫn còn ít được nghiên cứu.

Trong bối cảnh yêu cầu bảo đảm an toàn thực phẩm ngày càng được quan tâm, việc nghiên cứu các biện pháp giảm tích lũy Cd ngay từ giai đoạn sản xuất có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng mô hình đất được bổ sung Cd nhằm tạo điều kiện ô nhiễm có kiểm soát để đánh giá ảnh hưởng của Cd và hiệu quả của giải pháp hạn chế sự tích lũy Cd trong cây trồng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của gốc ghép đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng quả và khả năng tích lũy Cd của cây cà chua trồng trên đất ô nhiễm Cd, góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn gốc ghép phù hợp nhằm hạn chế tích lũy Cd trong quả cà chua và nâng cao an toàn thực phẩm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Cây cà chua bi Thúy Hồng được sử dụng làm cành ghép, kết hợp với ba loại gốc ghép gồm cà chua Vimina 1, cà chua Vimina 2 và cà tím EG203.

Đất thí nghiệm là đất phù sa trung tính thuộc hệ thống sông Hồng, được thu thập tại khu vực Gia Lâm, Hà Nội. Đất có thành phần cơ giới thịt trung bình (21% sét; 60,2% limon và 18,8% cát). Đất có phản ứng ít chua (pH_{KCl} = 6,4) và dung tích trao đổi cation (CEC) đạt 19,3 meq/100g. Hàm lượng chất hữu cơ (OM) là 2,6%; đạm tổng số (N_{ts}) là 0,15%; lân tổng số (P_2O_{5ts}) là 0,19% và kali tổng số là (K_2O_{ts}) 1,9%. Hàm lượng Cd tổng số ban đầu trong đất là 0,001 mg/kg.

Đất ô nhiễm Cd được tạo bằng cách bổ sung và trộn $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ vào đất đã phơi khô, nghiền nhỏ và sàng qua rây 2mm. Mỗi chậu chứa 7kg đất khô được bổ sung 154mg $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ hòa tan trong nước cất và ủ trong 10 ngày trước khi trồng. Trong suốt thí nghiệm, cây được tưới bằng nước sạch (không phát hiện Cd) và độ ẩm đất được duy trì ở mức 70-80% sức chứa ẩm đồng ruộng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành trong nhà lưới của Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam từ tháng 01 đến tháng 7 năm 2025. Thí nghiệm được bố trí theo kiểu khối ngẫu nhiên hoàn chỉnh (RCBD) gồm 4 công thức, mỗi công thức gồm 9 chậu (1 cây/chậu), với 3 lần nhắc lại, mỗi lần 3 chậu. Mỗi chậu là một đơn vị thí nghiệm.

Các công thức thí nghiệm gồm:

CT1: Cà chua bi Thúy Hồng không ghép (đối chứng)

CT2: Thúy Hồng ghép trên gốc cà chua Vimina 1

CT3: Thúy Hồng ghép trên gốc cà chua Vimina 2

CT4: Thúy Hồng ghép trên gốc cà tím EG203

Sau khi vết ghép liền hoàn toàn, mỗi cây được trồng vào một bầu kích thước 40 × 25cm, chứa 7kg đất khô đã xử lý ô nhiễm Cd. Khoảng cách đặt bầu là 40 × 60cm (cây × hàng).

Phân bón được áp dụng theo quy trình của Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn Hà Nội (Quyết định 2993/QĐ-SNN, 2016). Lượng phân bón cho mỗi chậu gồm 3,06g urê; 5,10g supe lân; 3,06g KCl và 14,28g NPK (5-10-3). Toàn bộ lượng phân được chia thành một lần bón lót và bốn lần bón thúc.

2.2.2. Phương pháp lấy mẫu

Mẫu đất được lấy theo tiêu chuẩn TCVN 7538-2:2005 (ISO 10381-2:2002) và xử lý theo TCVN 6647:2007 (ISO 11464:2006). Đất được lấy bằng khoan ở độ sâu 20cm tính từ mặt bầu.

Mẫu cây được thu theo TCVN 9016:2011, rửa sạch, sấy ở 75°C đến khối lượng không đổi, nghiền nhỏ và trộn đều trước khi phân tích. Mẫu rễ, thân và lá được thu vào cuối vụ, mẫu quả được thu sau mỗi lần thu hoạch.

2.2.3. Phương pháp phân tích

Hàm lượng Cd trong mẫu cây được xác định bằng phương pháp phá mẫu axit nitric trong lò vi sóng. Cụ thể, 0,2g mẫu khô được xử lý với 8ml HNO_3 và gia nhiệt đến 180°C. Dung dịch sau phá mẫu được định mức 50ml, lọc qua màng 0,45µm và đo bằng hệ thống ICP-MS NexION 2000.

Hàm lượng Cd trong đất được xác định theo TCVN 6496B:2009.

- Chất rắn hòa tan (Brix): đo bằng khúc xạ kế kỹ thuật số ATAGO theo TCVN 7771:2007

- Axit hữu cơ tổng số: Xác định bằng phương pháp chuẩn độ điện thế theo TCVN 5483:2007

- Vitamin C: TCVN 6427-2:1998

- Đường tổng số: TCVN 4594-88

- Chất khô: TCVN 5366 - 91

Hệ số vận chuyển Cd (TF) được tính theo các công thức:

TF_fruit = Cd_quả/Cd_rễ

2.2.4. Theo dõi các chỉ tiêu

Chiều cao cây (cm) được đo từ gốc đến đỉnh sinh trưởng bằng thước dây; đường kính thân (cm) được đo bằng thước cặp Vernier caliper.

Hàm lượng diệp lục (Chỉ số SPAD) được đo bằng máy đo Chlorophyll meter SPAD - 502 Plus (Konica Minolta).

Khối lượng của quả (g) được xác định bằng cân kỹ thuật (± 0,1g) sau mỗi lần thu hoạch.

Năng suất cá thể (g/cây) được tính bằng tổng khối lượng quả thu trên mỗi cây. Khối lượng trung bình quả (g/quả) được tính theo công thức:

$$\text{Khối lượng trung bình quả} = \frac{\text{Tổng khối lượng quả}}{\text{Tổng số quả}}$$

2.2.5. Xử lý số liệu

Số liệu được tổng hợp bằng Microsoft Excel và phân tích phương sai (ANOVA) bằng phần mềm SPSS 22.0. Sự khác biệt giữa các nghiệm thức được đánh giá bằng phép thử Tukey HSD ở mức ý nghĩa 5%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của gốc ghép đến các chỉ tiêu sinh trưởng của cây cà chua trồng trên đất ô nhiễm Cd

Kết quả nghiên cứu cho thấy các chỉ tiêu sinh trưởng và chỉ số SPAD của cây cà chua trồng trên đất ô nhiễm Cd (8 mg/kg) không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các công thức (P >0,05). Các chỉ tiêu sinh trưởng như SPAD, chiều cao cây, khối lượng thân tươi và đường kính thân chỉ dao động nhẹ giữa các nghiệm thức. Chiều cao cây đạt từ 210,22 đến 225,56cm, trong đó CT3 có xu hướng cao hơn. Khối lượng thân tươi biến động từ 500,0 đến 592,0g, với giá trị cao nhất ghi nhận ở CT1. Đường kính thân (0,93-1,02cm) và chỉ số SPAD (55,33-56,68) tương đối ổn định giữa các công thức. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu gần đây cho thấy trong điều kiện ô nhiễm Cd ở mức nhẹ hoặc trung bình, sự tích lũy Cd trong cây cà chua có thể khác nhau giữa các giống hoặc tổ hợp ghép nhưng chưa làm giảm đáng kể sinh trưởng của cây mà chủ yếu ảnh hưởng đến quá

trình hấp thu và vận chuyển kim loại trong cây (Marques & cs., 2023).

3.2. Ảnh hưởng của gốc ghép đến năng suất cá thể của cà chua trồng trên đất ô nhiễm

Kết quả thí nghiệm cho thấy năng suất quả của cây cà chua bi Thúy Hồng dao động từ 311,8 đến 346,6 g/cây. Trong đó công thức CT3 có giá trị cao nhất, tiếp theo là CT1 và CT2, trong khi CT4 có giá trị thấp nhất. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa các công thức không đạt mức ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P >0,05). Điều này cho thấy trong điều kiện đất ô nhiễm Cd ở mức 8 mg/kg, việc sử dụng các gốc ghép khác nhau không làm thay đổi đáng kể năng suất quả của cây cà chua bi Thúy Hồng.

Kết quả này phù hợp với kết quả theo dõi các chỉ tiêu sinh trưởng trước đó, khi các công thức ghép không tạo ra sự khác biệt đáng kể về SPAD, chiều cao cây, khối lượng thân tươi và đường kính thân. Sinh trưởng sinh dưỡng ổn định giữa các tổ hợp ghép có thể là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự tương đồng về năng suất quả. Trong nhiều nghiên cứu về cà chua ghép, năng suất thường có mối liên hệ chặt chẽ với sự phát triển sinh dưỡng và khả năng hấp thu nước, dinh dưỡng của hệ rễ; do đó khi các chỉ tiêu sinh trưởng không có sự khác biệt đáng kể thì năng suất cũng ít biến động giữa các nghiệm thức (Savvas & cs., 2010).

Các nghiên cứu gần đây cho thấy gốc ghép có thể ảnh hưởng đến phản ứng của cây cà chua đối với độc tính kim loại nặng thông qua việc điều tiết quá trình hấp thu và vận chuyển Cd trong cây. Nghiên cứu của Marques & cs. (2023) cho thấy sự tương tác giữa gốc ghép và chồi ghép có thể làm thay đổi phản ứng sinh lý của cây cà chua dưới điều kiện ô nhiễm Cd, đặc biệt liên quan đến khả năng hấp thu và phân bố Cd trong các mô thực vật. Tuy nhiên, ảnh hưởng của gốc ghép đến sinh trưởng và năng suất không phải lúc nào cũng rõ rệt, đặc biệt khi mức độ ô nhiễm Cd chưa đủ cao để gây độc đến nghiêm trọng đến sinh trưởng.

Bảng 1. Ảnh hưởng của gốc ghép đến sinh trưởng và chỉ số SPAD của cà chua

Công thức	Chiều cao cây (cm)	Khối lượng thân tươi (g/cây)	Đường kính thân (cm)	SPAD
CT1	222,22^{a} ± 10,14	592,0^{a} ± 53,2	0,99^{a} ± 0,03	55,33^{a} ± 0,93
CT2	211,11^{a} ± 4,47	500,0^{a} ± 56,1	0,97^{a} ± 0,03	56,47^{a} ± 1,24
CT3	225,56^{a} ± 7,43	516,25^{a} ± 32,5	0,93^{a} ± 0,03	56,68^{a} ± 0,79
CT4	210,22^{a} ± 8,7	533,89^{a} ± 36,7	1,02^{a} ± 0,03	56,26^{a} ± 1,05
CV (%)	*13,8*	*19,5*	*10,1*	*6,4*

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng Trung bình ± sai số chuẩn (SE), n = 9; Các chữ cái giống nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P >0,05).

Bảng 2. Ảnh hưởng của gốc ghép đến năng suất của cây cà chua

Công thức	Khối lượng quả (g/cây)
CT1	330,7^{a} ± 15,2
CT2	321,9^{a} ± 13,8
CT3	346,6^{a} ± 18,1
CT4	311,8^{a} ± 16,5
CV (%)	18,7

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng Trung bình ± sai số chuẩn (SE), n = 9; Các chữ cái giống nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P >0,05).

Bảng 3. Ảnh hưởng của gốc ghép đến khối lượng, kích thước và chỉ số hình dạng quả cà chua

Công thức	Khối lượng (g/quả)	Đường kính (cm)	Chiều cao (cm)	Chỉ số hình dạng
CT1	9,03^{a} ± 0,41	2,16^{a} ± 0,06	3,10^{a} ± 0,05	1,44^{a} ± 0,03
CT2	9,26^{a} ± 0,33	2,19^{a} ± 0,04	3,17^{a} ± 0,04	1,45^{a} ± 0,02
CT3	8,56^{a} ± 0,43	2,14^{a} ± 0,06	3,08^{a} ± 0,05	1,44^{a} ± 0,02
CT4	7,92^{a} ± 0,36	2,07^{a} ± 0,06	3,05^{a} ± 0,04	1,47^{a} ± 0,03
CV (%)	*9,6*	*5,7*	*4,5*	*3,1*

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng Trung bình ± sai số chuẩn (SE), n = 9; Các chữ cái giống nhau trong cùng một cột biểu thị không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P >0,05); Chỉ số hình dạng quả = chiều cao quả/đường kính quả.

Bảng 4. Ảnh hưởng của các công thức ghép đến một số chỉ tiêu chất lượng quả cà chua

Công thức	Vitamin C (mg/100g)	Brix (%)	Chất khô (%)	Axit (%)	Đường tổng số (%)
CT1	19,04^{c} ± 0,11	6,80^{c} ± 0,06	7,52^{c} ± 0,10	0,600^{b} ± 0,009	3,47^{c} ± 0,07
CT2	21,36^{ab} ± 0,20	6,50^{d} ± 0,06	7,25^{d} ± 0,09	0,516^{c} ± 0,007	3,31^{d} ± 0,06
CT3	20,55^{b} ± 0,20	6,95^{b} ± 0,06	7,73^{b} ± 0,10	0,616^{a} ± 0,009	3,78^{b} ± 0,07
CT4	22,20^{a} ± 0,17	7,30^{a} ± 0,06	8,13^{a} ± 0,10	0,613^{a} ± 0,007	4,55^{a} ± 0,09
CV (%)	*2,6*	*2,1*	*2,5*	*3,1*	*2,8*

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng Trung bình ± sai số chuẩn (SE), n = 3; Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P <0,05).

Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu này cho thấy mặc dù các gốc ghép khác nhau không tạo ra sự khác biệt đáng kể về sinh trưởng và năng suất của cây cà chua trong điều kiện đất ô nhiễm Cd ở mức 8 mg/kg. Nhưng sự khác biệt về đặc điểm sinh lý và hệ rễ của các gốc ghép có thể ảnh hưởng đến quá trình hấp thu và tích lũy Cd trong cây. Do đó, khi đánh giá hiệu quả của các gốc ghép trong điều kiện ô nhiễm Cd, cần xem xét đồng thời cả chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất và hàm lượng Cd tích lũy trong quả, nhằm đảm bảo hiệu quả sản xuất và an toàn thực phẩm.

3.3. Ảnh hưởng của gốc ghép đến khối lượng và hình dạng quả cà chua

Kết quả ở bảng 3 cho thấy, các gốc ghép không ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến khối lượng trung bình quả, kích thước quả và chỉ số hình dạng quả của cà chua bi Thúy Hồng (P >0,05). Khối lượng trung bình quả dao động từ 7,92 đến 9,26g, trong khi đường kính và chiều cao quả lần lượt nằm trong khoảng 2,07-2,19cm và 3,05-3,17cm; chỉ số hình dạng quả dao động từ 1,44 đến 1,47 cho thấy, hình dạng quả giữa các công thức tương tự nhau. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, cho thấy gốc ghép thường không ảnh hưởng đáng kể đến hình thái quả cà chua, mặc dù tác động này có thể thay đổi tùy thuộc vào tổ hợp ghép và điều kiện canh tác (Schwarz & cs., 2010; Rouphael & cs., 2018).

3.4. Ảnh hưởng của gốc ghép đến chỉ tiêu chất lượng của quả cà chua

Kết quả phân tích tại bảng 4 cho thấy, các công thức ghép có ảnh hưởng đến hàm lượng vitamin C, Brix, chất khô, axit và đường tổng số trong quả cà chua bi Thúy Hồng. Hàm lượng vitamin C trong quả dao động từ 19,04 đến 22,20 mg/100g, trong đó CT4 (cây ghép trên gốc cà tím EG203) đạt giá trị cao nhất, trong khi CT1 (cây tự sinh, không ghép) có giá trị thấp hơn. Vitamin C là một trong những chỉ tiêu quan trọng phản ánh giá trị dinh dưỡng và khả năng chống oxy hóa của quả cà chua. Sự gia tăng hàm lượng vitamin C ở các công thức ghép cho thấy gốc ghép có thể ảnh hưởng đến quá

trình tổng hợp và tích lũy các hợp chất chống oxy hóa trong quả thông qua việc cải thiện khả năng hấp thu dinh dưỡng và điều hòa hoạt động sinh lý của cây (Rouphael & cs., 2018). Các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy việc ghép cà chua trên các gốc ghép thuộc chi Solanum có thể làm tăng hàm lượng vitamin C và các hợp chất chống oxy hóa trong quả do cải thiện trạng thái sinh lý và hiệu quả quang hợp của cây ghép (Kyriacou & cs., 2017).

Đối với hàm lượng chất rắn hòa tan (Brix), giá trị dao động từ 6,50 đến 7,30%, trong đó CT4 đạt giá trị cao nhất. Độ Brix là chỉ tiêu phản ánh tổng lượng các chất hòa tan trong quả, chủ yếu là đường và các hợp chất hữu cơ hòa tan khác. Giá trị Brix ở CT4 cao hơn cho thấy quả cà chua từ cây được ghép trên gốc cà tím EG203 có xu hướng ngọt và đậm vị hơn so với các công thức còn lại.

Tương tự, hàm lượng chất khô của quả trong các công thức dao động từ 7,25 đến 8,13%, trong đó CT4 cũng đạt giá trị cao nhất. Hàm lượng chất khô cao thường liên quan đến sự tích lũy carbohydrate và các hợp chất hữu cơ trong quả, chỉ tiêu này góp phần cải thiện chất lượng cảm quan và giá trị dinh dưỡng của sản phẩm. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng gốc ghép có thể làm tăng tích lũy carbohydrate trong quả thông qua việc cải thiện hiệu quả quang hợp và vận chuyển các sản phẩm quang hợp trong cây (Schwarz & cs., 2010; Kyriacou & cs., 2023).

Hàm lượng axit hữu cơ trong quả cà chua bi Thúy Hồng ở các công thức gốc ghép khác nhau dao động từ 0,516 đến 0,616%, thấp nhất ở CT2, tiếp đến CT1 và cao nhất ở CT3 và CT4; trong đó CT3 và CT4 không khác biệt có ý nghĩa thống kê. Axit hữu cơ cùng với đường hòa tan là hai yếu tố quan trọng quyết định vị chua ngọt đặc trưng của quả cà chua. Trong thí nghiệm này, sự kết hợp giữa hàm lượng đường tổng số cao và hàm lượng axit ở mức trung bình ở CT4 có thể góp phần tạo nên hương vị cân đối hơn so với các công thức khác. Đối với đường tổng số, giá trị dao động từ 3,31 đến 4,55%, trong đó ở CT4 có giá trị cao hơn có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại. Hàm lượng đường trong quả cà chua cao hơn phản ánh gốc ghép cà tím có khả năng tích lũy carbohydrate tốt hơn trong quả so với các gốc ghép còn lại trong thí nghiệm, đồng thời góp phần nâng cao chất lượng cảm quan của sản phẩm. Sự gia tăng các chỉ tiêu Brix, chất khô và đường tổng số ở CT4 có thể liên quan đến đặc điểm sinh lý của gốc ghép cà tím EG203. Gốc ghép này thường có hệ rễ phát triển mạnh và khả năng hấp thu nước, khoáng dinh dưỡng hiệu quả hơn, từ đó giúp tăng cường hoạt động quang hợp của bộ lá và thúc đẩy quá trình tổng hợp carbohydrate trong cây. Các sản phẩm quang hợp sau đó được vận chuyển thông qua hệ thống mạch libe từ lá đến quả, dẫn đến sự gia tăng tích lũy đường và chất rắn hòa tan trong quả. Ngoài ra, gốc ghép còn có thể ảnh hưởng đến mối quan hệ nguồn - nơi tiêu thụ giữa lá và quả, làm tăng hiệu quả vận chuyển và phân bố các sản phẩm quang hợp trong cây ghép, qua đó góp phần cải thiện hàm lượng chất rắn hòa tan và chất lượng quả (Marques & cs., 2023).

Trong điều kiện thí nghiệm, mặc dù các công thức ghép không tạo ra sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về năng suất quả, nhưng chúng có thể ảnh hưởng rõ rệt đến một số chỉ tiêu chất lượng quả. Đặc biệt, việc sử dụng gốc ghép cà tím EG203 (CT4) có xu hướng cải thiện hàm lượng vitamin C, Brix, chất khô và đường tổng số trong quả so với cây tự sinh. Điều này cho thấy việc lựa chọn gốc ghép phù hợp không chỉ giúp cây thích nghi tốt hơn với điều kiện đất ô nhiễm Cd, mà còn góp phần nâng cao giá trị dinh dưỡng và chất lượng cảm quan của quả cà chua. Kết quả này phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây cho thấy ghép cây thường cải thiện chất lượng quả nhiều hơn so với ảnh hưởng đến năng suất tổng thể (Schwarz & cs., 2010; Rouphael & cs., 2021).

3.5. Ảnh hưởng của gốc ghép đến sự tích lũy Cadimi của cà chua

Mặc dù các gốc ghép không làm thay đổi rõ rệt các đặc điểm hình thái và khối lượng quả cà chua bi như kết quả ở trên, nhưng sự khác biệt về khả năng tích lũy và phân bố Cd trong các bộ phận của cây cà chua có thể là yếu tố quan trọng quyết định chất lượng và độ an toàn của sản phẩm.

Bảng 5. Ảnh hưởng của gốc ghép đến sự tích lũy Cadimi của cà chua (Đơn vị: mg/kg)

Công thức	Rễ	Gốc	Thân	Lá	Quả	TF
CT1	91,04^{a} ± 2,73	9,07^{c} ± 0,27	9,07^{a} ± 0,27	35,89^{a} ± 1,08	3,05^{a} ± 0,09	0,03
CT2	37,98^{c} ± 1,14	16,88^{a} ± 0,51	7,21^{b} ± 0,22	33,85^{a} ± 1,02	2,99^{a} ± 0,09	0,08
CT3	48,56^{b} ± 1,46	14,85^{b} ± 0,45	6,77^{b} ± 0,20	22,17^{b} ± 0,67	2,99^{a} ± 0,09	0,06
CT4	46,84^{b} ± 1,41	12,58^{b} ± 0,38	5,18^{c} ± 0,16	25,66^{b} ± 0,77	2,64^{b} ± 0,08	0,06
CV (%)	*3,12*	*3,05*	*3,48*	*2,98*	*3,21*	

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng Trung bình ± sai số chuẩn (SE), n = 3; Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo phép thử Tukey HSD (P <0,05).

Kết quả tại bảng 5 cho thấy, hàm lượng Cd có sự khác biệt rõ rệt giữa các bộ phận của cây cà chua và giữa các công thức ghép. Nhìn chung, Cd được tích lũy cao nhất ở phần rễ, sau đó là lá và thấp nhất ở quả. Công thức không ghép (CT1) có hàm lượng Cd ở rễ cao nhất (91,04 mg/kg), trong khi các công thức ghép, đặc biệt là CT2 (gốc Vimina1: 37,98 mg/kg) và CT3 (Vimina2: 48,56 mg/kg), giảm đáng kể. Xu hướng tương tự cũng ghi nhận ở các bộ phận trên mặt đất, cho thấy gốc ghép có vai trò quan trọng trong việc hạn chế vận chuyển Cd trong cây. Đáng chú ý, ở quả CT4 (gốc cà tím EG203) có hàm lượng Cd thấp nhất (2,64 mg/kg), thấp hơn có ý nghĩa so với CT1 (3,05 mg/kg), cho thấy hiệu quả của gốc ghép này trong việc giảm tích lũy Cd ở phần thu hoạch. Giá trị TF dao động từ 0,03 đến 0,08 và đều nhỏ hơn 1, cho thấy sự vận chuyển Cd từ rễ lên quả bị hạn chế mạnh và phần lớn Cd được giữ lại ở hệ rễ. Kết quả này phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây cho thấy Cd thường tích lũy chủ yếu ở rễ và chỉ một phần nhỏ được vận chuyển lên các cơ quan phía trên của cây (Arao & cs., 2008).

Sự khác biệt về hàm lượng Cd giữa các công thức có thể liên quan đến đặc tính sinh lý và khả năng hấp thu kim loại nặng của từng gốc ghép. Một số nghiên cứu cho thấy việc sử dụng gốc ghép thích hợp có thể làm giảm sự hấp thu hoặc hạn chế sự vận chuyển Cd từ rễ lên thân và quả thông qua các cơ chế như cố định Cd trong thành tế bào rễ hoặc cô lập Cd trong không bào (Rouphael & cs., 2018; Kyriacou & cs., 2023). Trong nghiên cứu này, CT4 có hàm lượng Cd trong quả thấp nhất, cho thấy gốc ghép ở công thức này có thể góp phần hạn chế sự tích lũy Cd ở cơ quan thu hoạch. Kết quả này tương tự với các nghiên cứu trước đây cho thấy việc ghép cây trên một số gốc ghép thuộc họ cà có thể làm giảm đáng kể hàm lượng Cd trong các cơ quan trên mặt đất của cây trồng (Nawaz & cs., 2016).

Kết quả ở bảng 5 cho thấy gốc ghép, đặc biệt là gốc cà tím EG203, có thể đóng vai trò như một "hàng rào sinh lý", góp phần hạn chế sự vận chuyển Cd từ rễ lên các cơ quan phía trên của cây. Thay vì để rễ hấp thu ồ ạt kim loại nặng như cây cà chua tự sinh (CT1), hệ rễ của gốc ghép điều tiết việc hấp thu Cd ở mức vừa phải hơn (46,84 mg/kg ở rễ) và giữ một lượng lớn tại phần gốc (12,58 mg/kg). Từ đó, hạn chế tối đa việc vận chuyển độc chất này lên thân, lá và quả. Đây là một hướng tiếp cận rất có giá trị thực tiễn trong canh tác nông nghiệp an toàn trên vùng đất có nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng.

4. KẾT LUẬN

(1) Trong điều kiện đất ô nhiễm Cd ở mức 8 mg/kg, việc sử dụng các gốc ghép Vimina 1, Vimina 2 và EG203 không ảnh hưởng đáng kể đến sinh trưởng và năng suất của cây cà chua bi Thúy Hồng. Tuy nhiên, các gốc ghép có ảnh hưởng đến một số chỉ tiêu chất lượng quả. Trong đó, cây ghép trên gốc cà tím EG203 (CT4) cho quả có hàm lượng vitamin C đạt 22,20 mg/100g, độ Brix đạt 7,30%, chất khô đạt 8,13% và đường tổng số đạt 4,55%, cao hơn so với cây không ghép (CT1).

(2) Các gốc ghép có ảnh hưởng đến khả năng tích lũy Cd trong cây cà chua bi Thúy Hồng. Trong đó, cây ghép trên gốc cà tím EG203 (CT4) có hàm lượng Cd trong quả thấp nhất

(2,64 mg/kg chất khô), giảm 13,4% so với cây không ghép (3,05 mg/kg chất khô). Kết quả cho thấy gốc ghép EG203 có tiềm năng hạn chế vận chuyển Cd từ rễ lên quả, góp phần giảm tích lũy Cd trong quả cà chua trồng trên đất ô nhiễm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ một phần kinh phí từ đề tài cấp Học viện "Nghiên cứu sự tích lũy Cd của cây cà chua ghép trồng trên đất ô nhiễm (MS:T2025-03-9), Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Alloway B.J. (Ed.). (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). Springer.

Arao T., Takeda H. & Nishihara E. (2008). Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in eggplant (Solanum melongena) by grafting onto Solanum torvum rootstock. Soil Science and Plant Nutrition. 54(4): 555-559. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2008.00269.x.

Benavides M.P., Gallego S.M. & Tomaro M.L. (2005). Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17(1): 21-34. doi.org/10.1590/S1677-04202005000100003

Clemens S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie. 88(11): 1707-1719. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003.

Edelstein M. & Ben-Hur M. (2018). Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. Scientia Horticulturae. 234: 431-444. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.039.

Kyriacou M.C., Rouphael Y., Colla G., Zrenner R. & Schwarz D. (2017). Vegetable grafting: The implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. Frontiers in Plant Science. 8: 741. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00741.

Lee J.M., Kubota C., Tsao S.J., Bie Z., Hoyos-Echevarria P., Morra L. & Oda M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. Scientia Horticulturae. 127(2): 93-105. doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003.

Marques D.N., Nogueira M.L., Gaziola S.A., Batagin-Piotto K.D., Freitas N.C., Alcantara B.K., Paiva L.V., Mason C., Piotto F.A. & Azevedo R.A. (2023). New insights into cadmium tolerance and accumulation in tomato: Dissecting root and shoot responses using cross-genotype grafting. Environmental Research. 216(Part 2): 114577. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114577.

Nawaz M.A., Imtiaz M., Kong Q., Cheng F., Ahmed W., Huang Y. & Bie Z. (2016). Grafting: A technique to modify ion accumulation in horticultural crops. Frontiers in Plant Science. 7: 1457. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01457.

Nguyen T.N.D., Vu K.T., Nguyen T.H.N., Nguyen T.P., Pham N.K., Nguyen T.G., Rumanzi M.S. & Nguyen L.V. (2024). Effects of biochar and rice straw application on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield, and cadmium accumulation in contaminated soil. Vegetos. 37(1): 404-411. https://doi.org/10.1007/s42535-023-00604-6.

Rahman M.M., Tareq S.M., Bhuiyan M.S.I., Akand M.S.H. & Shamsuzzaman S.M. (2022). Cadmium content in soil and tomato (Lycopersicon esculentum Miller) around industrial areas of Bangladesh. Bangladesh Journal of Botany. 51(4): 729-736. https://doi.org/10.3329/bjb.v51i4.63492.

Rouphael Y., Kyriacou M.C. & Colla G. (2018). Vegetable grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. Frontiers in Plant Science. 8: 2255. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02255.

Savvas D., Colla G., Rouphael Y. & Schwarz D. (2010). Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. Scientia Horticulturae. 127(2): 156-161. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.011.

Schwarz D., Rouphael Y., Colla G. & Venema J.H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. Scientia Horticulturae. 127(2): 162-171. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016

Sun N., Zhu F., Sun L., Zou G. & Li H. (2025). Grafting on rootstocks with low Cd accumulating potential: A green technology in vegetable production. Environmental Technology & Innovation. 38: 104077. https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104077

Vu K.T., Dinh Thi Lan P., Nguyen N T.H. & Thanh H.N. (2022). Cadmium immobilization in rice-paddy soil with biochar additive. Journal of Ecological Engineering, 23(4): 85-95. https://doi.org/10.12911/22998993/146331.

Zhang X., Zhong T., Liu L. & Ouyang X. (2019). Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. PLoS ONE. 14(8): e0221326. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221326.