

TỔNG HỢP VẬT LIỆU NANO TRÊN CƠ SỞ TRO TRẤU VÀ CeO_2 ỨNG DỤNG LÀM CHẤT KÍCH THÍCH SINH TRƯỞNG CHO CÂY ỚT CHUÔNG (*Capsicum annuum* L.)

Huỳnh Xuân Trường, Nguyễn Viết Trung, Nguyễn Thúy Nhi, Phạm Trần Thanh Ngân,
Đặng Thị Diệu Linh, Lê Thị Thu Hương, Cao Văn Hoàng*

Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Thành phố Quy Nhơn, Bình Định, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Cao Văn Hoàng <caovanhoang@qnu.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 11-03-2024; Hoàn thành phản biện: 22-04-2024; Ngày chấp nhận đăng: 22-04-2024)

Tóm tắt. Trong nghiên cứu này, vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ được tổng hợp và ứng dụng làm chất kích thích sinh trưởng cây ớt chuông từ tiền chất $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$ và tro trấu bằng phương pháp chiếu xạ gamma. Hình thái và cấu trúc vật liệu được xác nhận thông qua các phương pháp đặc trưng hóa lý bao gồm: đặc trưng XRD, EDX, IR và SEM. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ đến sự sinh trưởng phát triển của cây ớt chuông cho thấy, $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ ảnh hưởng đáng kể đến sự sinh trưởng, phát triển của cây ớt chuông. Dữ liệu thực nghiệm thu được chỉ ra rằng năng suất ớt chuông tăng 22 tấn/ha, chiều dài rễ trung bình tăng 3,6 cm và thời gian thu hoạch ít hơn 11 ngày so với mẫu đối chứng. Ngoài ra, cây ớt chuông có bổ sung $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ thì cứng cáp hơn và không có hiện tượng vàng lá. Điều này cho thấy $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ có tác dụng kích thích sinh trưởng đối với cây ớt chuông.

Từ khóa: CeO_2 , SiO_2 , kích thích sinh trưởng thực vật, ớt chuông, năng suất

Synthesis of nano materials on the base of rice husk ash and CeO_2 for application as a growth stimulant for bell pееppers plan (*Capsicum annuum* L.)

Huynh Xuan Truong, Nguyen Viet Xuan, Nguyen Thuy Nhi, Pham Tran Thanh Ngan,
Dang Thi Dieu Linh, Le Thi Thu Huong, Cao Van Hoang*

Faculty of natrral Science Quy Nhon University, 170 An Duong Vuong St., Binh Dinh, Vietnam

* Correspondence to Cao Van Hoang <caovanhoang@qnu.edu.vn>

(Received: 11 March 2024; Revised: 22 April 2024; Accepted: 22 April 2024)

Abstract. In this study, $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ material was synthesized and applied as a growth stimulant for bell pepper plants from $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$ precursor and rice husk ash using gamma irradiation method. Material morphology and structure were confirmed through physicochemical characterization methods including: XRD, EDX, IR and SEM characterization. The results of surveying the effects of $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ materials on the growth and development of bell pepper plants show that $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ significantly affects the growth and development of bell pepper plants. Experimental data obtained showed that bell pepper yield increased by 22 tons/ha, average root length increased by 3.6 cm and harvest time was 11 days less than the control sample. In addition, bell pepper plants supplemented with $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$

are stronger and do not have yellow leaves. This shows that $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ has a growth stimulating effect on bell pepper plants.

Keywords: Stimulates plant growth, bell pepper, productivity

1 Mở đầu

Trong trồng trọt, nguyên tố silic không được xem là một nguyên tố thiết yếu (trong 16 nguyên tố cần thiết cho cây trồng) nhưng có vai trò quan trọng đối với cây trồng [1,2,3,4]. Hầu hết trong đất về bản chất đều giàu nguyên tố silic, chiếm từ 60-70% tùy loại đất. Nhưng điều quan trọng là silic tồn tại trong đất ở dạng cấu trúc cây trồng khó có thể hấp thụ và sử dụng được. Đất rất dễ nghèo silic do trong điều kiện nhiệt đới, lượng silic dễ tiêu bị rửa trôi liên tục, mặt khác hàng năm các loại cây trồng đều lấy đi một lượng silic đáng kể. Theo Miyake và Takahashi, sức chịu đựng tốt hơn của cây đối với sự xâm nhập của nấm bệnh có thể cũng nhờ vào sự tích lũy Si trong lớp tế bào biểu bì [2-3]. Kết quả nghiên cứu trên nhiều loại cây trồng đã chứng tỏ, Si có ảnh hưởng tốt đến khả năng chống chịu của cây nhờ vào hàm lượng Si trong cây cao giúp bảo vệ cây trước sự tấn công của sâu bệnh [5-8]. Nhiều nghiên cứu cho rằng, silic được cây hút dưới dạng SiO_3^{2-} một cách thụ động bằng quá trình thoát hơi nước của cây, hấp thụ có chọn lọc do sự chi phối của quá trình trao đổi chất qua hệ thống rễ cây, rõ ràng đã đến lúc phải nhìn nhận việc bón silic cho cây trồng là cần thiết đặc biệt với nhóm cây như lúa, ngô, mía, dưa, cao lương [7-8],... Nhiều dữ liệu về kết quả phân tích hàm lượng các nguyên tố đất hiếm trong đất trồng và cây cối cho thấy, trong đất trồng và cây cối thường chứa một lượng nguyên tố đất hiếm nhất định [9-10]. Cây trồng hấp thụ đất hiếm từ đất để đáp ứng nhu cầu sinh trưởng và phát triển. Các nguyên tố đất hiếm đóng vai trò quan trọng đối với quá trình sinh trưởng và phát triển của thực vật. Đất hiếm ảnh hưởng tới hệ thống rễ, hệ thống lá và quá trình nảy mầm, phát triển chồi; thúc đẩy quá trình phát

triển của cây, làm tăng hàm lượng chất diệp lục, tăng quá trình quang hóa, tăng sự hấp thụ các chất dinh dưỡng vi lượng và đa lượng cũng như khả năng chống chịu trong điều kiện bất lợi của thời tiết [11-13]. Đất hiếm tăng sự hấp thụ và tích lũy chất dinh dưỡng, tăng tốc độ tổng hợp, tăng khả năng tích lũy và vận chuyển các chất đường trong ngũ cốc [14-16]. Sự có mặt của đất hiếm còn làm tăng hàm lượng đường của mía, củ cải đường, dưa hấu, tăng hàm lượng fructozo và vitamin C trong trái cây, tăng độ cay và thơm của hạt tiêu. Những vai trò này là nguyên nhân làm cho năng suất cây trồng tăng cao khi sử dụng phân bón chứa đất hiếm. Bên cạnh đó cây ớt chuông hay còn gọi là ớt ngọt, chứa nhiều đường chất thiết yếu. Hiện nay, ớt chuông có các màu sắc phổ biến như đỏ, vàng, xanh, cam. Với mỗi sắc màu đặc trưng, ớt sẽ nổi trội về thành phần dinh dưỡng, mang đến các giá trị hữu ích cho sức khỏe người dùng [17]. Chất Lutein và Zeaxanthin có trong ớt chuông sẽ giúp điểm vàng của mắt khỏe hơn, chống lại các tác hại do ánh sáng xanh gây ra. Bên cạnh đó còn giúp cải thiện thị lực, hạn chế các phản ứng oxy hóa gây tổn thương lên vùng võng mạc của mắt. Ngoài ra trong cây ớt chuông có chứa sắt là loại khoáng chất nổi bật có trong ớt chuông giúp tăng chất lượng máu nuôi cơ thể, tránh được các nguy cơ thiếu hụt máu. Ngoài ra trong ớt chuông còn chứa hàm lượng vitamin C, polyphenol và flavonoid, có khả năng chống lại các gốc tự do xấu, tăng cường tuần hoàn máu, bảo vệ tim mạch hiệu quả [17-19]. Gần đây, cây ớt chuông được di thực trồng ở khu vực Lâm Đồng, kết quả bước đầu cho thấy, cây thích nghi với điều kiện thổ nhưỡng, đặc biệt phù hợp trồng trong nhà kính.

Vấn đề nghiên cứu và tổng hợp hệ vật liệu nano $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ đã được nhiều nhà khoa học thực

hiện thành công như nhóm nghiên cứu của J. Lin và cộng sự [20] sử dụng phương pháp thủy nhiệt ở nhiệt độ 523 K trong thời gian 3 giờ người ta thu được hỗn hợp nano $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ và sản phẩm được ứng dụng để xử lý ion florua trong nước. Năm 2018 nhóm nghiên cứu Nguyễn Thị Hà Chi, Viện vật liệu, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tổng hợp thành công hệ vật liệu nano CeO_2 trên nền SiO_2 từ tiền chất là $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$ và nano SiO_2 có kích thước 30 nm bằng phương pháp đốt cháy gel và ứng dụng trong xử lý môi trường [21]. Christy E J S, Alagar R, Dhanu M and Pius A (2020), tổng hợp thành công vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ dạng khối ứng dụng trong xử lý các hợp chất hữu cơ đạt hiệu suất cao [22]. Nguyễn Việt Bắc và cộng sự (2021) đã tổng hợp thành công hệ $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ phân tán trong polyurethane, ứng dụng trong công nghệ sơn [23]. Dù rằng, cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu tổng hợp hệ vật liệu nêu trên. Tuy nhiên, việc sử dụng tiền chất là phế phụ phẩm ở Bình Định và phương pháp chiếu xạ gamma là chưa có công trình nghiên cứu nào công bố. Đây là một hướng nghiên cứu rất mới khi sử dụng phế phụ phẩm để tổng hợp thành nano silica có cấu trúc xếp cùng với nano ceria.

Do vậy trong bài báo này, vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ được tổng hợp bằng phương pháp chiếu xạ gamma ứng dụng làm chất kích thích sinh trưởng và phát triển cho cây ớt chuông nhằm góp phần gia tăng năng suất và chất lượng dinh dưỡng.

2 Thực nghiệm

2.1 Nguyên liệu, hóa chất và dụng cụ

Nguyên liệu: Cây giống ớt chuông được mua tại Đà Lạt Hasfarm, tro trấu được lấy tại huyện Hoài Ân, tỉnh Bình Định.

Hóa chất: Tất cả hóa chất và dung môi đều đạt tiêu chuẩn phân tích: acetic acid (Sigma-Aldrich), $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), KOH (Sigma-

Aldrich), HCl (Merck), chitosan (Merck), phân urea (VN), phân kali (VN), phân lân (VN).

2.2 Tổng hợp vật liệu

Điều chế vật liệu SiO_2 từ tro trấu

Cân 50 gam tro trấu đã được xử lý bởi acid HCl 1 M cho vào cốc teflon, thêm 150 mL dung dịch KOH nồng độ 6,5 M. Tiến hành đun hỗn hợp (luôn giữ thể tích không đổi) trên bằng máy khuấy từ gia nhiệt gắn hệ thống sinh hàn hồi lưu trong 120 phút ở nhiệt độ 90°C. Sau đó, tiếp tục khuấy đến khi hỗn hợp nguội hoàn toàn. Tiến hành lọc thu dung dịch Na_2SiO_3 . Dung dịch Na_2SiO_3 được phân tán trong dung dịch chitosan 5% với tỉ lệ 1:1 về thể tích. Điều chỉnh pH bằng 6 với dung dịch acid CH_3COOH 4 M, thu được hỗn hợp silica và muối CH_3COONa (hỗn hợp A). Hỗn hợp A được hòa tan trong nước cất được 5 lít và đem đi chiếu xạ với liều chiếu 20 Kgrey trong 12 giờ thu được dung dịch B.

Điều chế vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$

Hòa tan 3,94 g $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ trong 50 mL nước cất. Cho dung dịch muối $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ từ từ vào 75 mL dung dịch chitosan 5% được đựng trong cốc thủy tinh và khuấy liên tục trong 2 giờ được dung dịch C. Thêm từ từ dung dịch C vào dung dịch B (tỷ lệ thể tích $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2 = 1/1$) thu được dung dịch D. Đem dung dịch D chiếu xạ gamma với liều chiếu 20 Kgrey trong 12 giờ thu được hệ vật liệu nano $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$.

2.3 Đặc trưng vật liệu

Thành phần pha được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (D8-Advance 5005). Đặc trưng các liên kết hóa học của vật liệu tổng hợp được xác định bằng phương pháp phổ hồng ngoại (IR- Tensor-27, Bruker). Sự có mặt của các nguyên tố trong các mẫu vật liệu tổng hợp được phân tích bằng phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (thiết bị Jeol 5410). Khảo sát hình ảnh

bề mặt bằng phương pháp hiển vi điện tử quét (JEOL JSM-6500F).

2.4 Thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ đến sự sinh trưởng của cây ớt chuông

Diện tích đất trồng 300 m² chia 6 luống thử nghiệm, trong đó 3 luống đối chứng và 3 luống thử nghiệm có bổ sung $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ kích thích sinh trưởng cây trồng. Vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ được pha với tỷ lệ thích hợp theo từng thời điểm kích thích sinh trưởng và phun trên lá.

Các luống đối chứng được trồng theo quy trình kỹ thuật trồng cây ớt chuông của Viện nông nghiệp [24] như sau: Thời gian trồng vào ngày 05/11/2023, khoảng cách trồng 30 x 20 cm; phân bón trên 1 ha gồm 20 tấn phân chuồng hoai, 200 kg phân (urê), 500 kg supe lân và 300 kg phân kali (K_2O).

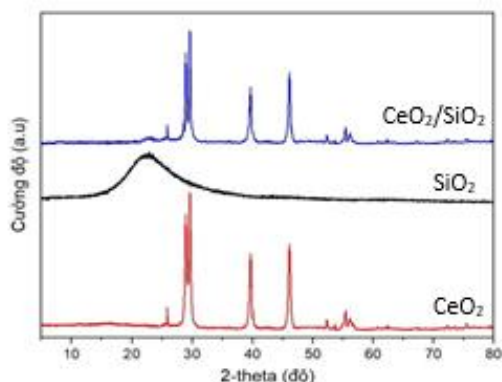
Các luống thử nghiệm có bổ sung $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$: cho 1L dung dịch nano $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ nồng độ 500 mg/L, sau đó pha trong 360 Lít nước trước khi phun cho 1 ha cây ớt chuông. Tổng số lần phun $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ cho mẫu thí nghiệm trong suốt quá trình phát triển và sinh trưởng của cây ớt chuông là 5 lần (Thời điểm ớt chuông trồng được 0,5; 1; 1,5; 3 và 4 tháng), phun cho cây (phun lá) lúc chiều mát, không phun trước mưa.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc trưng vật liệu

Để xác định các hợp phần trong vật liệu CeO_2 , SiO_2 và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, các vật liệu tổng hợp được đặc trưng bằng phương pháp nhiễu xạ tia X, kết quả được trình bày ở Hình 1. Trên giản đồ nhiễu xạ tia X của SiO_2 xuất hiện một đỉnh nhiễu xạ có độ rộng bán phổ lớn với đỉnh nhiễu xạ ở góc 2-theta khoảng 23° [21, 23]. Còn trên giản đồ XRD của CeO_2 có các đỉnh nhiễu xạ có cường độ mạnh được quan sát ở các góc 2-theta bằng 27, 28, 39 và

48° lần lượt tương ứng với các mặt (220), (300), (400) và (622) (theo thể chuẩn JCPDS 04 - 0856) [23]. Trong khi đó, giản đồ nhiễu xạ tia X của các vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng sắc nét cho hợp phần cho CeO_2 , còn đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho SiO_2 ở góc 2-theta khoảng 23° có cường độ rất yếu.



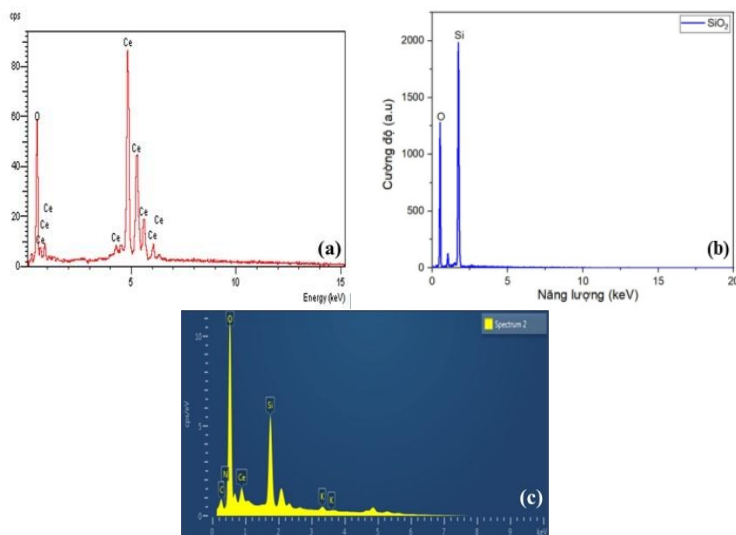
Hình 1. Giản đồ XRD của các vật liệu CeO_2 , SiO_2 và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$

Để xác định thành phần các nguyên tố có mặt trong vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, các vật liệu được đặc trưng bằng phổ EDX. Kết quả được trình bày ở Hình 2. Kết quả phổ tán xạ năng lượng tia X của các vật liệu CeO_2 , SiO_2 và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ ở Hình 2 chỉ ra rằng, đỉnh phổ có cường độ mạnh đặc trưng cho Si, O và Ce xuất hiện lần lượt tại mức năng lượng 1,88; 0,50 và 4,62 KeV. Từ phổ EDX cho thấy, xuất hiện đầy đủ các đỉnh phổ đặc trưng cho cả hai hợp phần SiO_2 và CeO_2 trong vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, không có sự xuất hiện của nguyên tố lạ [23].

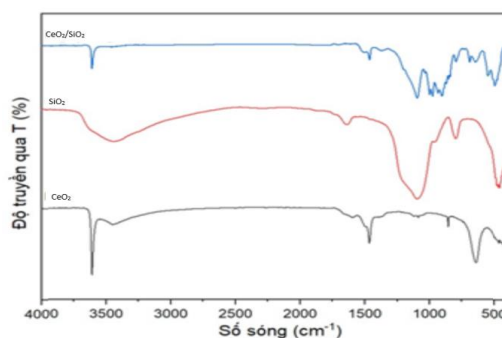
Các đặc điểm liên kết trong vật liệu CeO_2 , SiO_2 và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ thấy, xuất hiện các dải phổ tại số sóng 649 cm⁻¹ ứng với dao động của liên kết Ce-O trong CeO_2 [21] và một dải phổ có cường độ cao và sắc nét ở 3625 cm⁻¹ được gán cho dao động kéo dài và uốn cong của O-H trong nhóm Ce-O-H [21]. Còn đối với phổ hồng ngoại của SiO_2 có đỉnh hấp thụ có cường độ mạnh ở số sóng 1115 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động O-Si-O (siloxane), tại số sóng 1594,73 cm⁻¹ là ứng với dao động uốn của

nhóm -OH, dao động ở số sóng khoảng 800 cm^{-1} có thể là dao động của các nhóm Si-OH (silanol), từ 475 cm^{-1} là dao động của Si-O [22-23]. Các dải phổ ở 3421 cm^{-1} và $1625 - 1490\text{ cm}^{-1}$ có thể được

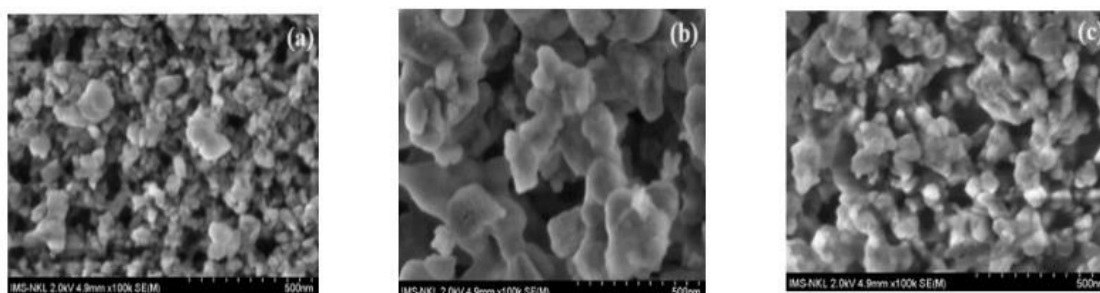
gán cho dao động O-H trong nước hấp thụ trên bề mặt vật liệu [23]. Trong khi đó, trên phổ hồng ngoại của vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, xuất hiện đầy đủ các đỉnh phổ đặc trưng cho hợp phần SiO_2 và CeO_2 .



Hình 2. Phổ EDX của các vật liệu CeO_2 (a), SiO_2 (b) và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ (c)



Hình 3. Phổ hồng ngoại của các vật liệu CeO_2 , SiO_2 và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$



Hình 4. Ảnh SEM của các vật liệu CeO_2 (a), SiO_2 (b) và $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$ (c)

Ảnh SEM ở Hình 4 cho thấy, vật liệu CeO_2 gồm các hạt với đa dạng hình dáng với kích thước trung bình khoảng $40 - 50\text{ nm}$ nhưng có xu hướng co cụm lại với nhau; còn vật liệu SiO_2 cũng gồm các hạt kết hợp lại với nhau tạo ra bề mặt gồ ghề,

lồi lõm có kích thước khoảng $50 - 100\text{ nm}$. Đối với vật liệu $\text{CeO}_2/\text{SiO}_2$, có sự phân tán các hạt CeO_2 trên SiO_2 tạo nên bề mặt gồ ghề, lồi lõm và kích thước khoảng $50 - 80\text{ nm}$.

3.2 Ảnh hưởng của CeO₂/SiO₂ đến sự sinh trưởng của cây ớt chuông

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của CeO₂/SiO₂ đến sự sinh trưởng, phát triển cây ớt chuông được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số liên quan đến sự sinh trưởng phát triển của cây ớt chuông khi sử dụng vật liệu CeO₂/SiO₂

Thông số	Đối chứng (n=50)	CeO ₂ /SiO ₂ (n=50)
Thời gian trồng	05/10/2023	05/10/2023
Thời gian thu hoạch	(8/1/2024)	(30/12/2023)
Chiều dài trung bình rễ chính (cm)	25,6 ± 0,3	31,2 ± 0,5
Năng suất (tấn /ha)	57 ± 0,1	79 ± 0,3
Màu sắc lá	Xanh và có hiện tượng vàng lá, héo rũ	Xanh đậm

(Sử dụng phần mềm thống kê Minitab 18)



Hình 5. Cây ớt chuông khi không có (đối chứng) (a) và có bổ sung vật liệu CeO₂/SiO₂ (b)

Hiện tượng vàng lá của cây ớt chuông khi không có (đối chứng) bổ sung vật liệu CeO₂/SiO₂ được trình bày ở Hình 5.

Kết quả thử nghiệm trồng ớt chuông trong trường hợp có bổ sung vật liệu CeO₂/SiO₂ cho thấy, đối với mẫu đối chứng thì năng suất trái đạt 57 tấn/ha, rễ chính có chiều dài trung bình 25,6 cm, thời gian sinh trưởng đến lúc thu hoạch là 94 ngày. Trong khi đó, mẫu bổ sung vật liệu

CeO₂/SiO₂ có năng suất rễ đạt 79 tấn/ha (năng suất thu được tăng 38,60 % so với mẫu đối chứng), rễ chính có chiều dài trung bình 31,2 cm, thời gian sinh trưởng đến thời điểm thu hoạch là 86 ngày. Bên cạnh đó, rễ chính còn có kích thước đồng đều, lá xanh đậm và không có hiện tượng vàng lá so với mẫu đối chứng. Điều này có thể được giải thích do Si có ảnh hưởng lên sự tổng hợp lignin, nếu thiếu Si thì hàm lượng lignin bị giảm đáng kể. Si đóng vai trò như chất dinh dưỡng có tác dụng tăng cường sự sinh trưởng, cứng cáp, cải thiện năng suất cây trồng và chất lượng nông sản [24]. Bên cạnh đó, các hợp chất silica và ceria kích thích sinh trưởng và phát triển rễ của thực vật, thúc đẩy quá trình quang hợp, tăng sự hấp thụ các chất dinh dưỡng vi lượng và đa lượng và có khả năng chống chịu tốt trong điều kiện bất lợi của thời tiết [25]. Do vậy, khi bổ sung CeO₂/SiO₂ trên cây ớt chuông đã làm cho cây cứng cáp hơn và sự phát triển của rễ cũng mạnh hơn, dẫn đến tăng năng suất cây ớt chuông.

4 Kết luận

Đã tổng hợp thành công vật liệu CeO₂/SiO₂ bằng phương pháp nhiệt chiếu xạ gamma. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vật liệu CeO₂/SiO₂ đến sự sinh trưởng của cây ớt chuông cho thấy, mẫu đối chứng thì năng suất trái đạt 57 tấn/ha, rễ chính có chiều dài trung bình 25,6 cm. Mẫu bổ sung vật liệu CeO₂/SiO₂ có năng suất trái đạt 79 tấn/ha (năng suất tăng 38,60%), rễ chính có chiều dài trung bình 31,2 cm và không thấy hiện tượng vàng lá so với mẫu đối chứng.

Lời cảm ơn

Các tác giả cũng ghi nhận sự hỗ trợ từ kinh phí nghiên cứu khoa học sinh viên của trường Đại học Quy Nhơn Mã số: S2023.918.76.

Tài liệu tham khảo

1. Suriyaprabha R, Karunakaran G, Yuvakkumar R, Rajendran V, Kannan N. Silica Nanoparticles for Increased Silica Availability in Maize (*Zea mays*. L) Seeds Under Hydroponic Conditions. *Current Nanoscience*. 2012;8(6):902-8.
2. Miyake Y, Takahashi E. Silicon Deficiency of Tomato Plant. *Soil Science and Plant Nutrition*. 1978;24(2):175-89.
3. Dobermann A. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. *Int Rice Res Inst*; 2000.
4. Matichenkov VV, Calvert DV. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*. 2002;22(2):21-30.
5. Rovani S, Santos JJ, Corio P, Fungaro DA. Highly Pure Silica Nanoparticles with High Adsorption Capacity Obtained from Sugarcane Waste Ash. *ACS Omega*. 2018;3(3):2618-27.
6. Takahashi E. Uptake mode and physiological functions of silica. *Sci. Rice Plant*. 1995;2:58-71.
7. Le VH, Thuc CN, Thuc HH. Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method. *Nanoscale research letters*. 2013;8:1-0.
8. Artyszak A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*. 2018;7:54.
9. Wu Z, Tang X, Tsui C. Studies on the effect of rare earth elements on the increasement of yield in agriculture. *J Chin Rare Earth Soc*. 1983;1(1):70-5.
10. Ning JB, Xiao SL. Effect of rare earth elements on day lily. *J Chin Rare Earth Soc*. 1989;5:52.
11. Xin Y, Wang Z, Qi Y, Zhang Z, Zhang S. Synthesis of rare earth (Pr, Nd, Sm, Eu and Gd) hydroxide and oxide nanorods (nanobundles) by a widely applicable precipitation route. *Journal of alloys and compounds*. 2010;507(1):105-11.
12. Liu J, Li G, Chen L, Gu J, Wu H, Li Z. Cerium oxide nanoparticles improve cotton salt tolerance by enabling better ability to maintain cytosolic K⁺/Na⁺ ratio. *Journal of Nanobiotechnology*. 2021;19(1):153.
13. Wu H, Shabala L, Shabala S, Giraldo JP. Hydroxyl radical scavenging by cerium oxide nanoparticles improves *Arabidopsis* salinity tolerance by enhancing leaf mesophyll potassium retention. *Environmental Science: Nano*. 2018;5(7):1567-83.
14. Rossi L, Zhang W, Lombardini L, Ma X. The impact of cerium oxide nanoparticles on the salt stress responses of *Brassica napus* L. *Environmental Pollution*. 2016;219:28-36.
15. Djanaguiraman M, Nair R, Giraldo JP, Prasad PV. Cerium oxide nanoparticles decrease drought-induced oxidative damage in sorghum leading to higher photosynthesis and grain yield. *ACS omega*. 2018;3(10):14406-16.
16. Wu H, Tito N, Giraldo JP. Anionic cerium oxide nanoparticles protect plant photosynthesis from abiotic stress by scavenging reactive oxygen species. *ACS nano*. 2017;11(11):11283-97.
17. Pugliese A, Loizzo MR, Tundis R, O'Callaghan Y, Galvin K, Menichini F, O'Brien N. The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids from chili peppers (*Capsicum* species). *Food Chemistry*. 2013;141(3):2606-13.
18. Deli J, Molnár P, Matus Z, Tóth G. Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; biosynthesis of carotenoids in red paprika. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 2001;49(3):1517-23.
19. Tundis R, Loizzo MR, Menichini F, Bonesi M, Conforti F, De Luca D, Menichini F. Air-dried *capsicum annuum* var. *acuminatum* medium and big: Determination of bioactive constituents, antioxidant activity and carbohydrate-hydrolyzing enzymes inhibition. *Food Research International*. 2012;45(1):170-6.
20. Lin J, Wu Y, Khayambashi A, Wang X, Wei Y. Preparation of a novel CeO₂/SiO₂ adsorbent and its adsorption behavior for fluoride ion. *Adsorption Science & Technology*. 2018;36(1-2):743-61.
21. Chi NT, Dũng ĐT, Chức PN, Lịm DT, Nhiệm ĐN. Tổng hợp vật liệu CeO₂ kích thước nanomet trên nền SiO₂ và nghiên cứu khả năng quang xúc tác của chúng. *Vietnam Journal of Chemistry*. 2018;56(1):117-21.
22. Christy EJ, Alagar R, Dhanu M, Pius A. Porous nonhierarchical CeO₂/SiO₂ monolith for effective degradation of organic pollutants *Environ. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2020 ;14:100365
23. Bac NQ, Chuc PN, Chi NTH, Dung T, Lim DT, Nghia PN, Mai NVN, Hoang CV, Lam TD, Nhiem DN. The impact of cerium oxide nanoparticles on

- the salt stress responses of *Brassica napus* L. *Materials Research Express*. 2021;8:056405.
24. Meena VD, Dotaniya ML, Coumar V, Rajendiran S, Ajay, Kundu S, Subba Rao A. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the national academy of sciences, India section b: Biological sciences*. 2014;84:505-18.
25. Tang XK, Tong Z. Effects of rare earth elements on plant root growth and activity. *Chinese Rare Metal*. 1988;5:22-4.