

CÔNG NGHỆ SINH HỌC

Khảo sát ảnh hưởng của liều lượng chiếu xạ tia Gamma đến khả năng sinh trưởng và phát triển của giống Cà chua Bi Nâu

Huỳnh Hải Long¹, Nghị Khắc Nhu^{*2}, Trịnh Ngọc Ái², Trần Xuân Lâm², Trần Hữu Hậu¹, Lê Thị Phương Thảo¹, Nguyễn Minh Hiệp³ và Lê Xuân Cường³

¹Trung tâm Sinh học Ứng dụng, Khoa Nông nghiệp - Thủy sản, Đại học Trà Vinh

²Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, Việt Nam

³Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt, Việt Nam

*Corresponding author:

Nghị Khắc Nhu - Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, Việt Nam.

Email: nknhu@tvu.edu.vn

Received: 04/04/2026. Revised: 01/05/2026. Accepted: 17/05/2026. DOI: [10.53901/tjs.2026.v01.issue02.art05](https://doi.org/10.53901/tjs.2026.v01.issue02.art05)

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành xử lý chiếu xạ hạt khô của giống cà chua bi nâu ở các liều chiếu xạ khác nhau (0, 30, 40, 50, 70 Gy) nhằm đánh giá ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên khả năng sinh trưởng và phát triển của giống sau chiếu xạ. Hạt giống sau chiếu xạ được cho nảy mầm trong 10 ngày để đánh giá tỷ lệ nảy mầm, chiều cao thân mầm và xác định liều gây chết 50%. Cây con sau đó được ương 4 tuần và được trồng trên giá thể gồm đất, xơ dừa và phân hữu cơ, sau đó tiến hành ghi nhận các chỉ tiêu về sinh trưởng và phát triển. Kết quả đánh giá cho thấy liều chiếu xạ 30 Gy là tốt nhất cho tỷ lệ nảy mầm của hạt (trên 70%) và sự phát triển của thân mầm (dài trên 23 mm). Liều gây chết ở 50% (LD₅₀) của giống cà chua bi nâu được xác định là 45,27 Gy. Mặc dù ở một số chỉ tiêu, liều chiếu xạ 50 Gy cho thấy sự kích thích tốt hơn như chiều cao cây (187 cm) và hàm lượng Ca²⁺ trong quả (trên 73 ppm), nhưng nhìn chung liều chiếu xạ 30 Gy được xem là có ảnh hưởng tốt nhất đến sự sinh trưởng và phát triển, cũng như hàm lượng dinh dưỡng khoáng của giống cà chua bi nâu.

Từ khoá: Chiếu xạ gamma; cà chua bi nâu; Liều gây chết 50%; hàm lượng chlorophyll; hàm lượng dinh dưỡng khoáng (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺).

Giới thiệu

Cà chua là cây trồng có vai trò quan trọng trong ngành nông nghiệp Việt Nam, ước tính tổng diện tích gieo trồng cà chua hàng năm trên cả nước là khoảng 28 nghìn hecta với tổng sản lượng ước đạt hơn 1 triệu tấn [1]. Có nguồn gốc từ vùng Nam Mỹ, hiện nay cà chua là loài cây trồng có giá trị cao, với rất nhiều chủng loại giống khác nhau được trồng và tiêu thụ khắp nơi trên thế giới, trong đó Trung Quốc đứng đầu thế giới về cả diện tích trồng, tổng sản lượng sản xuất và tiêu thụ hàng năm [2-4].

Giống cà chua bi nâu thuộc nhóm cà chua bi (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) trái nhỏ, đường kính từ 1 đến 3 cm, trọng lượng trái 20 đến 50 gram [5, 6]. Đây là nhóm giống cà chua rất phổ biến, đa dạng về màu sắc quả từ đỏ, vàng, xanh, tím và nâu, chúng được xem là tổ tiên của các giống cà chua quả lớn ngày nay [7]. Quả cà chua có giá trị dinh dưỡng rất cao với các thành phần dưỡng chất thực vật như đường hòa tan, protein, lipid, các loại acid hữu cơ, các hợp chất phenol, flavonoid, carotenoid, vitamin, khoáng chất và hàng trăm các hợp chất tạo mùi khác

n nhau giúp cho cà chua có mùi vị đặc trưng [3, 7]. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc tiêu thụ một lượng nhất định cà chua hàng ngày trong khẩu phần ăn có thể giúp phòng ngừa các bệnh về tim mạch, đột quỵ và thậm chí cả ung thư nhờ vào hoạt tính kháng oxy hóa của các hợp chất phenol và flavonoid, đặc biệt là lycopene, trong quả cà chua [7-11].

Được du nhập vào nước ta và trồng tại khu vực tỉnh Lâm Đồng từ năm 2014, đến nay cà chua bi nâu đã trở thành cây trồng quan trọng trong ngành nông nghiệp của nước ta với diện tích gieo trồng, sản lượng và nhu cầu tiêu thụ trong nước ngày càng tăng [5]. Đây là giống cà chua thường được ăn sống do có quả nhỏ, giòn, vị ngọt thanh và ít chua [5]. Bên cạnh đó, nó còn được chế biến thành nhiều sản phẩm công nghiệp có giá trị xuất khẩu cao với nhiều thị trường xuất khẩu tiềm năng như Nhật Bản, Hàn Quốc, Singapore. Nhiều phương pháp chọn tạo giống cà chua mới nhằm gia tăng về năng suất, chất lượng trái đang ngày càng được chú trọng. Trong đó, gây đột biến bằng xử lý chiếu xạ tia gamma được xem là một phương pháp tiềm năng. Các biến dị di truyền có lợi ở cây trồng do đột biến tạo ra sẽ được chọn lọc nhằm giúp cải thiện

hiều tính trạng tốt của cây trồng như tăng năng suất, tăng khả năng chống chịu của cây trồng đối với sâu bệnh, điều kiện bất lợi của môi trường. Mặc dù đã được áp dụng rộng rãi và thành công trên hầu hết tất cả các loại cây trồng đang được trồng phổ biến hiện nay trong đó có cây cà chua [6, 12–18], việc sử dụng chiếu xạ tia gamma để gây đột biến trên các giống cà chua tại Việt Nam vẫn còn rất hạn chế. Đặc biệt, hiện nay chưa có bất cứ công trình nghiên cứu trong nước nào liên quan đến việc chọn tạo ra giống cà chua bi nâu mới có năng suất chất lượng cao hơn. Trong bối cảnh đó, chúng tôi tiến hành nghiên cứu “khảo sát ảnh hưởng của liều lượng chiếu xạ tia gamma đến khả năng sinh trưởng và phát triển của giống cà chua bi nâu”.

Nhiều nghiên cứu trước đây trên thế giới cho thấy hạt cà chua phản ứng rất khác nhau dưới ảnh hưởng của tia gamma. Nghiên cứu trên giống cà chua bi vàng cho thấy tia gamma liều cao (300 Gy) làm giảm mạnh tỷ lệ nảy mầm [6]. Tuy nhiên, trên các giống cà chua thông thường, liều lượng gây chết nằm trong khoảng 123,59 Gy và liều có hiệu quả tạo biến dị kháng bệnh tốt nhất là 70 Gy [15]. Kết quả cũng cho thấy việc chiếu xạ tia gamma với liều lượng trên 100 Gy sẽ tạo ra các hạt cà chua bất thường (hạt không có nội nhũ) [19]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào mục tiêu khảo sát tia gamma ở liều thấp (30-70 Gy) nhằm xác định liều lượng chiếu xạ thích hợp của tia gamma trong việc cải thiện đặc tính sinh trưởng và phát triển của giống cà chua bi nâu, qua đó giúp nâng cao năng suất, chất lượng quả cũng như khả năng thích nghi trong điều kiện môi trường Việt Nam cho các dòng cà chua đột biến.

Vật liệu và Phương pháp

Vật liệu

Giống cà chua bi nâu được thu thập và trồng tại trại thực nghiệm Viện Công nghệ sinh học, Đại học Trà Vinh. Hạt của các quả cà chua sau khi chín được thu thập, làm khô và chọn lọc. Hạt cà chua khô được đóng gói cẩn thận trước khi gửi đi chiếu xạ. Các hạt được chọn có kích thước trung bình, không bị sâu bệnh, độ sạch trên 99%, tỷ lệ hạt nảy mầm 100%, độ ẩm trung bình 8,4% (đo bằng máy đo độ ẩm Kett Fv211, do hãng Kett, Nhật Bản sản xuất), đảm bảo tiêu chuẩn theo TCVN 9962:2013 - Tiêu chuẩn Quốc gia về Chất lượng hạt giống cây họ cà - Yêu cầu kỹ thuật.

Phương pháp

Phương pháp xử lý chiếu xạ bằng tia gamma và xác định liều gây chết 50%

Hạt của giống cà chua bi nâu được chiếu xạ với 4 liều lượng chiếu xạ khác nhau (30, 40, 50, 70 Gy) với liều lượng 18,06 Gy/phút bằng thiết bị chiếu xạ Gamma Co-60 GC – 5000 (Gamma Chamber 5000) với hoạt độ 4000 Ci tại Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt.

Đây là buồng chiếu xạ tự che chắn nguyên khối do hãng BRIT của Ấn Độ sản xuất. Mẫu hạt được đặt tại vị trí tâm buồng chiếu, khoảng cách hình học 8 cm. Nhiệt độ buồng chiếu lúc chiếu xạ là 30 °C. Phương pháp chuẩn liều Fricke được sử dụng trong chiếu xạ. Hạt đối chứng là các hạt không chiếu xạ (0 Gy). Mỗi nghiệm thức chiếu xạ cho 30 hạt, lặp lại 3 lần.

Hạt cà chua sau chiếu xạ và đối chứng được ngâm trong nước ấm trong 6-8 h và được cho nảy mầm trên đĩa petri ở 37 °C. Sau đó tiến hành đánh giá các chỉ tiêu:

- Tỷ lệ hạt nảy mầm = số hạt nảy mầm / tổng số hạt xử lý × 100%.
- Chiều cao thân mầm: Đo từ cổ rễ đến chóp lá cao nhất của cây (mm).
- Liều gây chết 50% (LD₅₀): được tính theo phương pháp hồi quy tuyến tính của Miller và Tainter, 1944 như mô tả bởi Randhawa [20], theo công thức:

$$\text{Tỷ lệ chết (\%)} = \frac{\text{Số hạt không nảy mầm}}{\text{Tổng số hạt chiếu xạ}} \times 100\%$$

Quy ước: Hạt được xem là bị ức chế vĩnh viễn hoặc chết sinh học khi không nảy mầm sau 10 ngày theo dõi liên tục trong điều kiện tối ưu [21].

Đánh giá ảnh hưởng liều chiếu xạ lên sự sinh trưởng và phát triển của các dòng cà chua đột biến

Hạt giống nảy mầm sau chiếu xạ được ương trong vườn ương 4 tuần, sau đó chuyển ra trong chậu (kích thước 20 x 20 cm) để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo. Thành phần giá thể (gồm đất, phân hữu cơ, xơ dừa theo tỷ lệ 1:2:1), tỷ lệ phân bón, chế độ nước tưới cho từng giai đoạn cây con là như nhau cho tất cả các nghiệm thức chiếu xạ.

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD) trong nhà màng với 5 nghiệm thức (0, 30, 40, 50, 70 Gy), trong đó nghiệm thức 0 Gy là nghiệm thức đối chứng. Mỗi nghiệm thức lặp lại 3 lần, mỗi lần lặp lại gồm 10 cây. Tổng số cây thí nghiệm: 5 x 3 x 10 = 150 cây. Các chỉ tiêu theo dõi gồm thời gian sinh trưởng, chiều cao cây, số lá, số nhánh, số bông, số quả, dài quả, rộng quả.

Phương pháp xác định hàm lượng chlorophyll trên lá.

Hàm lượng chlorophyll được xác định theo phương pháp của Saeedipour [22]. Cân và nghiền 100 mg mẫu lá cà chua bi nâu trong 20ml dung dịch acetone 80%, dung dịch sau đó được ủ ở 4 °C trong 4 giờ. Hỗn hợp được ly tâm ở tốc độ 500rpm trong 5 phút và thu lấy phần nổi phía trên. Độ hấp thụ được đọc ở bước sóng 645 nm và 663 nm bằng máy quang phổ tử ngoại khả kiến UV-VIS 1800 PharmaSpec (Nhật Bản). Hàm lượng chlorophyll được tính theo công thức sau:

$$\text{Chlorophyll a (mg/g)} = 12,7(\text{O.D})_{663} - 2,69(\text{O.D})_{645} \times \frac{V}{W} \times 1000$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g)} = 12,7(\text{O.D})_{645} - 2,69(\text{O.D})_{663} \times \frac{V}{W} \times 1000$$

$$\text{Chlorophyll tổng số (mg/g)} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

Trong đó:

- W: Trọng lượng tươi của lá cà chua (g).
- V: Thể tích dung dịch 80% acetone (ml).
- O.D: Mật độ quang tại bước sóng cụ thể.

Phương pháp xác định hàm lượng nước trong quả

Hàm lượng nước trong quả cà chua được xác định theo mô tả của Trịnh Ngọc Ái và ctv. [23]. Mẫu quả cà được cân ngay sau khi cắt khỏi cành để xác định khối lượng tươi (FW), mẫu quả sau đó được xác định khối lượng khô (DW) bằng cân sấy ẩm (Model: MS-70, Hãng A&D, P1070347). Hàm lượng nước trong quả được tính theo công thức:

$$\text{Hàm lượng nước (\%)} = \left(\frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{DW}} \right) \times 100\%$$

Phương pháp xác định hàm lượng Nitrogen trong quả

Hàm lượng Nitrogen (N) trong quả cà chua được phân tích theo phương pháp của Trịnh Ngọc Ái và ctv. [23]. Hàm lượng N trong 0,1 g mẫu quả cà chua đã sấy khô được phân tích bằng máy phân tích đạm tự động FB828-MC (Mỹ).

Phương pháp xác định hàm lượng khoáng (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) trong quả

Quả cà chua bi nâu được thu hoạch ở giai đoạn quả chín, loại bỏ hạt và sấy khô đến khối lượng không đổi. Thủy phân 0,5 g thịt quả trong 10 mL dung dịch HNO_3 65% bằng thiết bị công phá mẫu MARS6 One Touch (Mỹ). Dung dịch thủy phân sau đó được pha loãng về nồng độ 100 ppm và hàm lượng các khoáng được đo bằng hệ thống hấp thụ nguyên tử AA DUO 24FS/240Z.

Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được ghi nhận và xử lý thống kê bằng các phần mềm Microsoft Excel 2019 và Statgraphics 19-X64. Dữ liệu được xử lý bằng phương pháp phân tích phương sai một nhân tố (one-way ANOVA) và sự khác biệt giữa các trung bình nhóm được so sánh bằng kiểm định Tukey's test ở mức khác biệt $p \leq 0,05$.

Phân tích dữ liệu

Số liệu thực nghiệm được thu thập và xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2019, sau đó phân tích phương sai một yếu tố ANOVA bằng phần mềm Statgraphics ở mức ý nghĩa 5%. Kết quả được trình bày dưới dạng giá trị trung bình của 3 lần lặp lại \pm độ lệch chuẩn (Mean \pm SD). Các chữ số khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê.

Kết quả

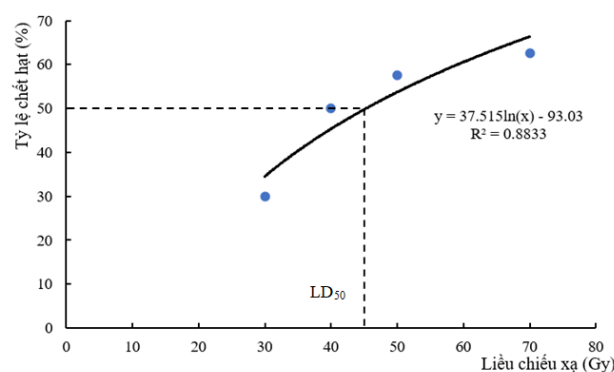
Ảnh hưởng của liều chiếu xạ đến tỷ lệ nảy mầm của giống cà chua bi nâu

Trong thí nghiệm này, chúng tôi tiến hành đánh giá ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên khả năng nảy mầm của hạt giống cà chua bi nâu cũng như chiều dài của cây mầm. Hạt sau khi chiếu xạ được cho nảy mầm trên đĩa petri có lót một lớp bông ẩm, mỏng và kết quả được ghi nhận sau 10 ngày. Kết quả trong **Bảng 1** cho thấy tỷ lệ nảy mầm của hạt gần như tỷ lệ nghịch với liều chiếu xạ của tia gamma. Nghiệm thức đối chứng (0 Gy) cho tỷ lệ nảy mầm cao nhất là 100% và khác biệt hẳn so với các nghiệm thức còn lại. Ở mức chiếu xạ từ 40 Gy trở lên, không có sự khác biệt có ý nghĩa trong tỷ lệ nảy mầm của hạt. Liều chiếu xạ cho tỷ lệ nảy mầm thấp nhất (chỉ đạt 37,5%) là 50 Gy. Kết quả hồi quy tuyến tính cũng xác định được liều gây chết 50% (LD_{50}) trong trường hợp của hạt cà chua bi nâu là 45,27 Gy (**Hình 1**).

Bảng 1: Ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên khả năng nảy mầm và chiều dài thân mầm của hạt cà chua bi nâu.

Liều chiếu xạ (Gy)	Tỷ lệ nảy mầm (%)	Chiều dài thân mầm (mm)	Tỷ lệ chết hạt (%)
0	100,0 \pm 0,0 ^a	18,7 \pm 6,5 ^{ab}	0,0 \pm 0,0 ^a
30	70,0 \pm 7,1 ^b	23 \pm 10,7 ^a	30,0 \pm 7,1 ^b
40	50,0 \pm 7,1 ^{bc}	21,7 \pm 9,5 ^a	50,0 \pm 7,1 ^{bc}
50	37,5 \pm 3,5 ^c	14,4 \pm 7,7 ^b	62,5 \pm 3,5 ^c
70	42,5 \pm 10,6 ^{bc}	15,2 \pm 7,1 ^b	57,5 \pm 10,6 ^{bc}
Trung bình	60,0 \pm 25,6	18,6 \pm 3,8	40,0 \pm 25,6
CV%	42,6%	20,5%	63,9%

Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê; \pm standard deviation



Hình 1: Liều gây chết LD_{50} của tia gamma đối với giống cà chua bi nâu.

Kết quả phân tích từ **Bảng 1** cũng cho thấy, các hạt cà chua sau chiếu xạ phát triển thân mầm có chiều dài từ 14,4 đến 23 mm (trung bình 18,6 mm). Chiều dài thân mầm có xu hướng tăng khi liều chiếu xạ ở vào khoảng 30 Gy đến 40 Gy (lần lượt là 23 và 21,7

mm), mặc dù sự khác biệt là không quá lớn so với đối chứng (18,7 mm). Khi liều chiếu xạ tăng cao hơn, chiều dài thân mầm giảm. Kết quả phân tích cho thấy, liều chiếu xạ tia gamma ở 30 Gy là phù hợp nhất cho việc xử lý gây đột biến hạt cà chua bi nâu.

Ảnh hưởng của liều chiếu xạ lên sự sinh trưởng và phát triển của các dòng cà chua đột biến

Đặc điểm thân và lá

Chiều cao cây và kích thước lá là những chỉ tiêu trọng yếu phản ánh tình trạng sinh trưởng và phát triển của thực vật. Do đây là giống cà chua sinh trưởng liên tục, nên chiều cao cây và kích thước lá của tất cả các dòng cà chua chiếu xạ được xác định tại thời điểm 60 ngày sau gieo (đây là thời điểm cây cà chua bắt đầu ra chùm hoa đầu tiên). Kết quả cho thấy tia gamma có tác động rất lớn lên chiều cao cây cũng như kích thước lá của cây cà chua (Bảng 2). Chiều cao cây ở tất cả các nghiệm thức cao hơn đối chứng (0 Gy) và có xu hướng tăng theo liều chiếu xạ từ 0 đến 50 Gy. Cây đạt chiều cao cao nhất ở liều 50 Gy (187,0 cm) và thấp nhất ở liều 0 Gy (154,1 cm). Ở liều 30 Gy, cây có chiều cao thấp hơn 50 Gy (178,8 cm so với 187,0 cm). Tuy nhiên sự khác biệt này không có ý nghĩa thống kê. Ở chiều ngược lại, kích thước lá (cả chiều dài và chiều rộng) có xu hướng giảm khi liều chiếu xạ tăng dần. Ở liều chiếu xạ 70 Gy, kích thước lá giảm hẳn so với đối chứng (dài lá là 6,18 cm so với 7,03 cm và rộng lá là 3,17 cm so với 4,05 cm) (Bảng 2). Kết quả cho thấy liều chiếu xạ 30 Gy kích thích tốt nhất cho sự phát triển thân và lá cà chua.

Bảng 2: Ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên chiều cao cây và kích thước lá của cây cà chua bi nâu.

Liều chiếu xạ (Gy)	Cao cây (cm)	Dài lá (cm)	Rộng lá (cm)
0	154,1 ± 15,1 ^a	7,03 ± 0,90 ^a	4,05 ± 0,66 ^a
30	178,8 ± 20,2 ^{bc}	6,64 ± 0,99 ^{ab}	3,70 ± 1,05 ^{ab}
40	169,0 ± 17,7 ^{ab}	6,58 ± 0,61 ^{ab}	3,63 ± 0,80 ^{ab}
50	187,0 ± 8,5 ^c	6,79 ± 0,66 ^a	3,58 ± 0,44 ^{ab}
70	168,5 ± 20,0 ^{ab}	6,18 ± 0,69 ^b	3,17 ± 0,59 ^b
Trung bình	171,5 ± 12,4	6,6 ± 0,3	3,6 ± 0,3
CV%	7,2	4,7	8,7

Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê; ± standard deviation

Đặc điểm bông cà chua

Kết quả trong Bảng 3 cho thấy số nhánh bông và số bông trung bình trên mỗi nhánh có sự biến động giữa các nghiệm thức thí nghiệm. Số nhánh bông trung bình ở mỗi nghiệm thức đạt 9,7 bông, trong đó nghiệm thức 50 Gy cho số nhánh bông nhiều nhất (10,7 nhánh) và nghiệm thức 70 Gy cho số nhánh bông ít nhất (8,8 nhánh) (Bảng 3). Trong khi đó, số bông trung bình trên mỗi nhánh cao nhất ở nghiệm thức

30 Gy (18,2 bông) và thấp nhất ở nghiệm thức 70 Gy (15,8 bông). Tuy nhiên, sự khác biệt ở 2 thông số này giữa nghiệm thức 0 Gy và các nghiệm thức khác là không quá lớn (Bảng 3). Mặc dù liều chiếu xạ 50 Gy cho số nhánh bông tốt hơn, nhưng nhìn chung liều 30 Gy vẫn là liều kích thích tối ưu cho sự phát triển bông cà chua.

Bảng 3: Ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên khả năng hình thành bông của cây cà chua bi nâu.

Liều chiếu xạ (Gy)	Số nhánh Bông (nhánh)	Số bông/nhánh (bông)
0	9,8 ± 4,3 ^{ab}	17,6 ± 2,4 ^a
30	9,8 ± 2,3 ^{ab}	18,2 ± 2,5 ^a
40	9,5 ± 1,5 ^a	17,8 ± 3,2 ^a
50	10,7 ± 2,3 ^{ab}	17,5 ± 2,6 ^a
70	8,8 ± 2,5 ^b	15,8 ± 3,1 ^a
Trung bình	9,7 ± 0,7	17,4 ± 0,9
CV%	7,0	5,3

Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê; ± standard deviation

Đặc điểm của quả cà chua

Bảng 4: Ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên kích thước, khối lượng và hàm lượng nước của quả cà chua bi nâu.

Liều chiếu xạ (Gy)	Chiều dài quả (mm)	Chiều rộng quả (mm)	Khối lượng quả tươi (g)	Hàm lượng nước trong quả (%)
0	25,18 ± 3,35 ^a	24,09 ± 2,96 ^a	8,03 ± 2,63 ^a	92,47 ± 2,20 ^a
30	23,41 ± 3,20 ^{ab}	22,26 ± 3,34 ^b	6,55 ± 2,41 ^a	92,19 ± 1,06 ^a
40	23,76 ± 1,80 ^{ab}	22,57 ± 1,35 ^b	7,09 ± 1,19 ^a	90,73 ± 1,46 ^b
50	23,47 ± 1,94 ^{ab}	22,14 ± 1,45 ^b	6,74 ± 1,20 ^a	92,19 ± 0,01 ^a
70	22,46 ± 3,10 ^b	22,47 ± 2,88 ^{ab}	6,60 ± 2,04 ^a	92,17 ± 0,79 ^a
Trung bình	23,7 ± 1,0	22,7 ± 0,8	7,0 ± 0,6	92,0 ± 0,7
CV%	4,2	3,5	8,7	0,8

Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê; ± standard deviation

Tất cả các quả cà chua ở giai đoạn chín được thu thập và xác định các chỉ tiêu về kích thước, khối lượng cũng như hàm lượng nước trong quả (Bảng 4). Kết quả đo đạc cho thấy kích thước và khối lượng quả cà chua ở các nghiệm thức chiếu xạ thấp hơn so với đối chứng. Cụ thể, chiều dài quả dao động từ 22,46 - 25,18 mm, chiều rộng quả dao động từ 22,14 - 24,09 mm (đối chứng) (Bảng 4). Khối lượng quả trung bình của các nghiệm thức là 7,0 gram, trong đó nghiệm thức 30 Gy có khối lượng thấp nhất (6,55 g) và đối chứng có khối lượng cao nhất (8,03 g). Nghiệm thức đối chứng (0 Gy) luôn cho các giá trị cao nhất về chiều dài trái (25,18 mm), chiều rộng trái (24,09 mm), và khối lượng trái (8,03 g/trái) (Bảng 4). Phân tích thống kê cho thấy, phần lớn các chỉ tiêu này ở giống đối chứng (0 Gy) là cao hơn rất nhiều so với các cây cà chua được chiếu xạ.

Hàm lượng nước trong quả được xác định dựa vào sự chênh lệch giữa khối lượng tươi (được đo ngay sau khi trái được thu hoạch từ cây cà chua) và khối

lượng khô của quả cà chua. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng nước trong quả luôn cao hơn 90%. Chỉ số này dao động từ 90,73% đến 92,47%. Trong đó nghiệm thức 40Gy cho quả có lượng nước thấp nhất (90,73%) và thấp hơn hẳn so với các nghiệm thức khác (Bảng 4). Kết quả phân tích cho thấy không có sự chênh lệch quá lớn giữa các nghiệm thức, trừ nghiệm thức 40 Gy. Điều này cho thấy liều chiếu xạ từ 0 đến 50 Gy không ảnh hưởng nhiều đến khả năng hấp thụ nước cũng như kích thước của quả cà chua khi chín.

Hàm lượng chlorophyll trên lá của các dòng cà chua đột biến

Trong thí nghiệm này, hàm lượng Chlorophyll từ các mẫu lá được xác định dựa theo phương pháp của Saeedipour [22], và kết quả được ghi nhận trong Bảng 5. Nhìn chung, hàm lượng Chlorophyll ở các mẫu có xu hướng giảm khi liều chiếu xạ tăng dần. Hàm lượng chlorophyll tổng số cao nhất thuộc về nghiệm thức đối chứng (10,4 mg/g), hàm lượng chlorophyll a và b của nghiệm thức này cũng cho thấy xu hướng tương tự (hàm lượng 7,2 mg/g cho chlorophyll a và 3,1 mg/g cho chlorophyll b). Hàm lượng chlorophyll thấp nhất thuộc về nghiệm thức 70 Gy (hàm lượng 3,5 mg/g; 1,5 mg/g và 4,9 mg/g lần lượt cho chlorophyll a; b và tổng số), thấp hơn hẳn so với các nghiệm thức còn lại (Bảng 5). Có sự thay đổi trong hàm lượng chlorophyll khi tăng liều chiếu xạ từ 0 đến 50 Gy, nhưng sự khác biệt này là không quá lớn (Bảng 5).

Bảng 5: Ảnh hưởng của liều chiếu xạ tia gamma lên hàm lượng chlorophyll trong lá của cây cà chua bi nâu.

Liều chiếu xạ (Gy)	Hàm lượng (mg/g)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b
0	7,2 ± 2,2 ^a	3,1 ± 1,5 ^a	10,4 ± 3,2 ^a
30	7,0 ± 2,2 ^a	2,9 ± 1,1 ^a	9,9 ± 3,3 ^a
40	6,2 ± 1,2 ^a	3,2 ± 1,0 ^a	9,4 ± 2,1 ^a
50	6,1 ± 1,3 ^a	2,5 ± 0,8 ^a	8,6 ± 2,2 ^a
70	3,5 ± 0,7 ^b	1,5 ± 0,4 ^b	4,9 ± 1,2 ^b
Trung bình	6,0 ± 1,5	2,6 ± 0,7	8,6 ± 2,2
CV%	24,6	26,2	25,4

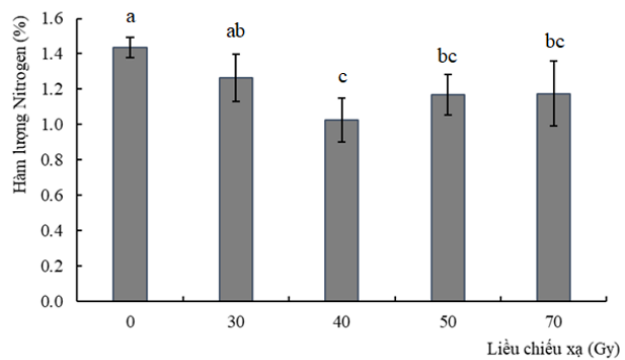
Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê; ± standard deviation.

Hàm lượng Nitrogen và các khoáng chất chính (K, Mg, Ca) trong quả của các dòng cà chua đột biến

Hàm lượng Nitrogen

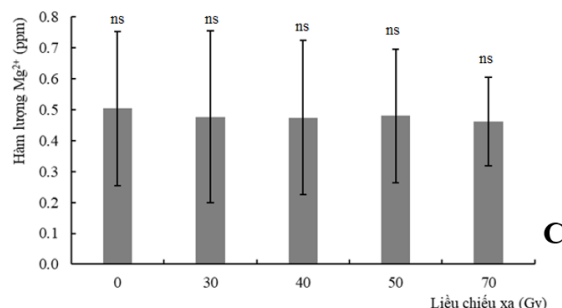
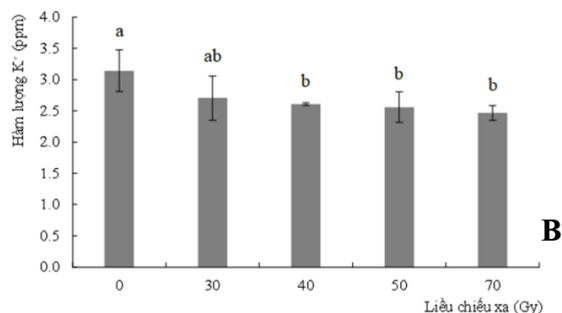
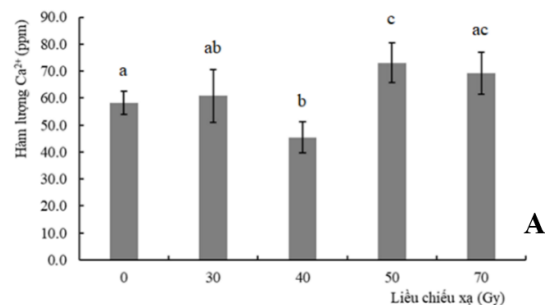
Đạm hay Nitrogen (N) là một trong những nhân tố quan trọng quyết định đến giá trị dinh dưỡng trong quả cà chua. Trong thí nghiệm này, hàm lượng N trong quả cà chua chín được xác định bằng máy phân tích đạm tự động FB828-MC. Kết quả phân tích từ Hình 2 cho thấy hàm lượng N trong quả cà chua có sự khác biệt rất lớn giữa các liều lượng chiếu xạ. Nhóm nghiệm thức từ 0 đến 30 Gy có hàm lượng N cao nhất (lần lượt là 1,44% và 1,26%). Khi liều chiếu xạ tăng lên trên 40 Gy, hàm lượng N có xu hướng giảm. Tuy

nhien, các dòng cà chua được chiếu xạ từ 40 Gy đến 70 Gy không cho thấy có sự khác biệt trong chỉ số này (Hình 2).



Hình 2: Hàm lượng Nitrogen trong quả cà chua chín ở các liều chiếu xạ khác nhau. Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

Hàm lượng K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺



Hình 3: Hàm lượng dinh dưỡng khoáng trong quả cà chua chín ở các liều chiếu xạ khác nhau. A. Hàm lượng Ca²⁺; B. Hàm lượng K⁺; C. Hàm lượng Mg²⁺. (Ghi chú: Các chữ số giống nhau chỉ ra sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê).

Hàm lượng các thành phần khoáng K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ trong quả cà chua chín được xác định bằng

hệ thống hấp thụ nguyên tử AA DUO 24FS/240Z UltraAA. Kết quả thí nghiệm được phân tích và trình bày trong **Hình 3**. Nhìn chung, hàm lượng Mg^{2+} giữa các nghiệm thức có sự dao động từ 0,46 ppm (70 Gy) đến 0,5 ppm (0 Gy), tuy nhiên sự khác biệt giữa chúng là không quá lớn (**Hình 3**).

Ngược lại với hàm lượng Mg^{2+} , sự dao động trong hàm lượng K^+ và Ca^{2+} giữa các nghiệm thức là rất lớn (**Hình 3**). Nhìn chung, hàm lượng K^+ có xu hướng giảm khi tăng liều lượng chiếu xạ tia gamma (**Hình 3b**). Hàm lượng K^+ đạt 3,14 ppm ở liều chiếu xạ 0 Gy (đối chứng), hàm lượng này cao hơn rất nhiều so với các liều chiếu xạ từ 40 Gy (2,61 ppm) đến 70 Gy (2,47 ppm). Kết quả **Hình 3b** cũng cho thấy hàm lượng K^+ ở các mẫu đối chứng vẫn cao hơn các mẫu 30 Gy, mặc dù sự khác biệt là không lớn (3,14 ppm so với 2,71 ppm).

Sự khác biệt trong hàm lượng Ca^{2+} giữa các nghiệm thức lớn hơn rất nhiều và không thể hiện xu hướng rõ ràng so với K^+ (**Hình 3a**). Trong đó, hàm lượng Ca^{2+} lớn nhất thuộc về nhóm 50 Gy (73,04 ppm). Mẫu đối chứng (0 Gy) có hàm lượng tương đối thấp ở chỉ số này (58,12 ppm) và thấp hơn rất nhiều so với nhóm 50 Gy (73,04 ppm) và 70 Gy (69,15 ppm). Phân tích tổng quát cả 3 chỉ số cho thấy, liều chiếu xạ 50 Gy có tác động tốt nhất lên khả năng tích lũy khoáng chất của trái cà chua.

Thảo luận

Quá trình nảy mầm của hạt cà chua thường bắt đầu bằng việc hút nước của hạt khô và kết thúc với sự xuất hiện của 2 lá mầm. Quá trình này thường kéo dài từ 3 đến 10 ngày tùy thuộc vào giống cà chua cũng như điều kiện môi trường xung quanh [24–26]. Nhiều nghiên cứu cho thấy, việc chiếu xạ tia gamma đã gây tác động lớn lên khả năng nảy mầm cũng như phát triển thân mầm của hạt giống cà chua. Theo Hidayat và ctv. [16], liều chiếu xạ 200 Gy đến 300 Gy làm gia tăng đáng kể tỷ lệ nảy mầm của hạt cà chua Bareto, một giống cà chua quả lớn được trồng phổ biến tại Indonesia. Ngược lại, nghiên cứu của Armando và ctv. [6] cho thấy liều chiếu xạ 300 Gy làm giảm tỷ lệ nảy mầm ở giống cà chua bi vàng. Kết quả nghiên cứu trên giống cà chua bi nâu của chúng tôi cho thấy khả năng nảy mầm của hạt giảm dần khi liều chiếu xạ tia gamma tăng dần từ 30 Gy đến 70 Gy. Tuy nhiên, nếu xét thêm chỉ số chiều cao thân mầm thì liều chiếu xạ 30 Gy được xem là phù hợp cho giống cà chua bi nâu. Kết quả cũng xác định được liều gây chết 50% (LD_{50}) là 45,27 Gy, kết quả này khác với liều gây chết 132,49 Gy trên giống cà chua F1 Timothy trong nghiên cứu của Indrayanti và ctv. [15].

Kích thước thân và lá là những chỉ tiêu quan trọng được dùng trong đánh giá tiềm năng sinh trưởng và phát triển của cây trồng. Cây cao, khỏe kết hợp với bộ lá tốt sẽ giúp cho việc cải thiện năng suất của cây. Trong nghiên cứu này, chúng tôi nhận thấy việc chiếu xạ ở mức từ 30 Gy đến 50 Gy đã kích thích sự tăng

trưởng chiều cao cây và kích thước lá. Chiều cao cây ở 2 mức chiếu xạ này tăng rõ rệt so với đối chứng (178,8 cm và 187 cm so với 154,1 cm) và các nghiệm thức còn lại, dù kích thước lá không có sự thay đổi (**Bảng 2**). Kết quả này khá tương đồng với nghiên cứu của Trịnh Ngọc Ái và ctv. [27] trên giống ớt Thanh Phong vốn cùng họ với cây cà chua. Nghiên cứu của Huỳnh Lâm Anh Kiệt và ctv. [28] cũng cho thấy liều chiếu xạ 30 Gy giúp cải thiện đáng kể chiều cao cây ở loài hoa tử la lan. Việc chiếu xạ tia gamma sẽ tạo ra các gốc tự do gây tổn thương đến thành phần lipid màng, protein và DNA qua đó ảnh hưởng lên cấu trúc và sự toàn vẹn của tế bào thực vật và các bào quan bên trong [29]. Trong khi tia gamma liều thấp kích thích sự tăng trưởng bằng cách gia tăng khả năng chống oxy hóa của tế bào, tia gamma liều cao sẽ làm gia tăng việc hình thành các gốc tự do trong tế bào, gây tổn thương màng và ức chế sự phát triển bình thường của tế bào cũng như sự tăng trưởng của thực vật [29].

Khả năng hình thành bông và quả sẽ quyết định trực tiếp đến năng suất của cây trồng, tuy nhiên kích thước quả lại phụ thuộc rất lớn vào giống cà chua cũng như sự tác động của các nhân tố xung quanh [30]. Kết quả của chúng tôi cho việc chiếu xạ tia gamma không ảnh hưởng đến trọng lượng quả cũng như vẫn duy trì hàm lượng nước trong quả, nhưng liều chiếu xạ từ 30 Gy đã kích thích tốt cho quá trình hình thành bông và trái trên cây cà chua. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Pagliarello và ctv. [31], theo đó liều chiếu xạ 30 Gy đã giúp cải thiện quá trình hình thành cũng như kích thước của các giống cà chua biến đổi gen. Nhiều nhận định cũng cho thấy liều chiếu xạ thấp có ảnh hưởng tích cực đến việc cải thiện đặc điểm của quả cà chua [32].

Hàm lượng chlorophyll trong lá có vai trò quyết định đến hiệu suất quang hợp của thực vật, qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình tích lũy chất khô cũng như năng suất cây trồng [33]. Trong nghiên cứu của Tokhmechi và ctv. [34] trên giống cà chua thương mại quả lớn cho thấy liều chiếu xạ 15 Gy làm gia tăng đáng kể hàm lượng chlorophyll trong lá so với đối chứng. Kết quả nghiên cứu của nhóm Trịnh Ngọc Ái và ctv. [23] lại cho thấy liều 300 Gy là tốt nhất cho việc gia tăng hàm lượng chlorophyll trên cây lúa. Nghiên cứu của chúng tôi lại cho thấy, hàm lượng chlorophyll có xu hướng giảm khi tăng liều chiếu xạ tia gamma (cả hàm lượng chlorophyll tổng số và từng phần), trong đó liều 70 Gy gây suy giảm hàm lượng chlorophyll trong lá cà chua bi nâu rõ rệt nhất so với đối chứng. Theo Wi và ctv., tia gamma liều cao sẽ gây tổn hại đến cấu trúc của tế bào và các bào quan bên trong với do nó kích thích tạo ra nhiều gốc tự do có tác dụng phá hủy màng sinh chất [29]. Nghiên cứu cũng cho thấy, lục lạp là bào quan dễ tổn thương nhất dưới tác dụng của tia gamma liều cao do nó làm biến dạng màng thylakoid và gia tăng tích tụ hạt tinh bột bên trong [29]. Điều này ảnh hưởng nghiêm trọng đến hàm lượng chlorophyll trong lá.

Nếu như kích thước quả quyết định năng suất các

giống cà chua, thì hàm lượng các khoáng chất trong quả lại quyết định giá trị dinh dưỡng của chúng. Trong nghiên cứu này, nhóm đã tiến hành đánh giá hàm lượng các chất dinh dưỡng trong quả cà chua như đạm (Nitrogen), K^+ , Mg^{2+} và Ca^{2+} . Đây là các nguyên tố tham gia vào cấu trúc pectin trong vỏ quả. Việc chiếu xạ tia gamma liều thấp giúp duy trì các nhân tố này qua đó ổn định cấu trúc cũng như kéo dài thời gian bảo quản của quả [32, 35, 36]. Kết quả của chúng tôi cho thấy, việc chiếu xạ làm giảm lượng N và K^+ (khi liều chiếu xạ ở mức 40 Gy trở lên) nhưng không ảnh hưởng đến lượng Mg^{2+} trong quả. Kết quả cũng xác định liều 30 Gy là tốt nhất cho việc cải thiện các chỉ tiêu trên. Ở liều chiếu xạ này, hàm lượng Ca^{2+} tăng nhẹ so với đối chứng trong khi các chỉ tiêu còn lại không có khác biệt lớn (Hình 2). Mặc dù liều 50 Gy làm gia tăng mạnh hàm lượng Ca^{2+} so với liều 30 Gy, nhưng nó dẫn đến sự suy giảm rõ rệt của hàm lượng K^+ cũng như Nitrogen trong quả so với đối chứng (Hình 2 và 3). Trong nghiên cứu trên giống cà chua lùn MicroTom, nhóm của Pagliarello và ctv. [31] cũng xác nhận việc chiếu xạ có ảnh hưởng đến hàm lượng N trong quả cà chua, trong đó liều 30 Gy làm tăng đáng kể lượng N trong quả so với đối chứng.

Kết luận

Tia gamma có tác động đáng kể đến tỷ lệ nảy mầm, đặc điểm sinh trưởng và phát triển cũng như hàm lượng chlorophyll và khoáng chất trong quả của giống cà chua bi nâu. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy việc chiếu xạ tia gamma đều làm giảm tỷ lệ nảy mầm của hạt, trong đó liều 30 Gy giúp gia tăng chiều dài thân mầm, cũng như xác định được liều gây chết 50% của tia gamma đối với giống cà chua bi nâu là 45,27 Gy. Liều chiếu xạ 30 Gy cũng giúp gia tăng chiều cao cây, sự hình thành bông trên cây, và không ảnh hưởng đến hàm lượng chlorophyll trong lá của cây cà chua trưởng thành. Tuy nhiên, việc thay đổi liều chiếu xạ không ảnh hưởng nhiều đến kích thước quả và hàm lượng nước trong quả. Kết quả phân tích hàm lượng khoáng chất thiết yếu trong quả cà chua chín cũng cho thấy sự ổn định của Mg^{2+} trong các nghiệm thức chiếu xạ so với đối chứng. Hàm lượng K^+ có xu hướng tỷ lệ nghịch với liều lượng chiếu xạ và Ca^{2+} tăng rõ rệt ở nghiệm thức 50 Gy so với đối chứng. Phân tích sâu hơn từ kết quả từ các thí nghiệm đều cho thấy liều 30 Gy và 50 Gy cho kết quả khác biệt so với các liều còn lại. Nếu như ở các chỉ số chiều cao cây, dài lá (Bảng 2), số nhánh bông (Bảng 3) của liều 50 Gy cao hơn liều 30 Gy, thì chỉ số hàm lượng chlorophyll (Bảng 5) cho thấy sự ngược lại. Tuy nhiên sự khác biệt giữa các chỉ số này không có ý nghĩa về mặt thống kê. Ở liều chiếu xạ 50 Gy, hàm lượng Ca^{2+} cao vượt trội so với liều 30 Gy và đối chứng (0 Gy) (Hình 3), tuy nhiên hàm lượng K^+ và Nitrogen lại thấp hơn rất nhiều so với đối chứng (Hình 2 và 3). Liều chiếu xạ 30 Gy giúp duy trì hàm lượng các chất khoáng ổn định hơn so với đối chứng (0 Gy). Liều chiếu xạ này cho tỷ lệ nảy mầm tốt hơn và không vượt qua ngưỡng gây chết LD₅₀. Nhìn

chung, liều chiếu xạ 30 Gy của tia gamma là tốt nhất cho việc gây đột biến ở giống cà chua bi nâu.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Đại học Trà Vinh đã tạo điều kiện cho nhóm hoàn thành nghiên cứu này. Nhóm cũng xin cảm ơn Viện Nghiên Cứu Hạt Nhân Đà Lạt đã hỗ trợ chiếu xạ nguồn nguyên liệu trong nghiên cứu này.

Nguồn tài trợ

Kết quả nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Trà Vinh thông qua hợp đồng số 11/2026/HĐ.HĐKH & ĐT – ĐHTV.

Xung đột lợi ích

Không có xung đột lợi ích nào được công bố

Tài liệu

- [1] N. M. Hai and V. Q. Hoa, "Tomato production of farming households in Thai Binh province: Current status and solutions," *J. Vietnam Agric. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 5, pp. 618–628, 2025, doi: [10.31817/tckhnnvn.2025.23.5.07](https://doi.org/10.31817/tckhnnvn.2025.23.5.07).
- [2] D. Liu, L. Yang, J. Z. Zhang, G. T. Zhu, H. J. Lü, Y. Q. Lü, Y. L. Wang, X. Cao, T. S. Sun, S. W. Huang, and Y. Y. Wu, "Domestication and breeding changed tomato fruit transcriptome," *J. Integrative Agric.*, vol. 19, no. 1, pp. 120–132, 2020, doi: [10.1016/S2095-3119\(19\)62824-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62824-8).
- [3] M. Du, C. Sun, L. Deng, M. Zhou, J. Li, Y. Du, Z. Ye, S. Huang, T. Li, J. Yu *et al.*, "Molecular breeding of tomato: Advances and challenges," *J. Integr. Plant Biol.*, vol. 67, no. 3, pp. 669–721, 2025, doi: [10.1111/jipb.13879](https://doi.org/10.1111/jipb.13879).
- [4] FAOSTAT, "Crops and livestock products: Tomato production," 2025, [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. [Accessed: Dec. 15, 2025].
- [5] T. Giang, "Chocolate tomatoes reach a yield of 40 tons per hectare," 2026, [Online]. Available: <https://vnexpress.net/thoi-su/ca-chua-chocolate-dat-nang-suat-40-tan-moi-ha-3595139.html>. [Accessed: Mar. 05, 2026].
- [6] N. Armando, S. H. Y. Saragih, W. Lestari, and D. H. Adam, "Effects of gamma radiation on cherry golden tomato variety (*Solanum lycopersicum*) growth and production," *J. Agron. Tanaman Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 462–470, 2024, doi: [10.36378/juatika.v6i2.3625](https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3625).
- [7] Y. Chang, X. Zhang, C. Wang, N. Ma, J. Xie, and J. Zhang, "Fruit quality analysis and flavor comprehensive evaluation of cherry tomatoes of

- different colors," *Foods*, vol. 13, no. 12, p. 1898, 2024, doi: [10.3390/foods13121898](https://doi.org/10.3390/foods13121898).
- [8] Y. M. Hsu, C. H. Lai, C. Y. Chang, C. T. Fan, C. T. Chen, and H. H. Wu, "Characterizing the lipid-lowering effects and antioxidant mechanisms of tomato paste," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 72, no. 3, pp. 677–685, 2008, doi: [10.1271/bbb.70402](https://doi.org/10.1271/bbb.70402).
- [9] R. Sliemstad and M. Verheul, "Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 89, pp. 1255–1270, 2009, doi: [10.1002/jsfa.3605](https://doi.org/10.1002/jsfa.3605).
- [10] D. Erba, M. C. Casiraghi, R. Ribas, R. Cáceres, O. Marfà *et al.*, "Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 31, no. 2, pp. 245–251, 2013, doi: [10.1016/j.jfca.2013.05.014](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.05.014).
- [11] L. K. B. de Oliveira, R. S. R. da Costa, J. L. G. dos Santos, F. E. de Oliveira Lima, A. V. Amorim, A. B. Marinho, and R. O. Mesquita, "Growth and physiology of cherry tomatoes under organic fertilization in different environments," *J. Agric. Sci.*, vol. 10, no. 10, pp. 349–359, 2018, doi: [10.5539/jas.v10n10p349](https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p349).
- [12] M. D. L. L. Riviello-Flores, J. Cadena-Iñiguez, L. D. M. Ruiz-Posadas, M. D. L. Arévalo-Galarza, I. Castillo-Juárez, M. S. Hernández, and C. R. Castillo-Martínez, "Use of Gamma Radiation for the genetic improvement of underutilized plant varieties," *Plants*, vol. 11, no. 9, p. 1161, 2022, doi: [10.3390/plants11091161](https://doi.org/10.3390/plants11091161).
- [13] D. Kiani, A. Borzouei, S. Ramezani *et al.*, "Application of gamma irradiation on morphological, biochemical, and molecular aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different seed moisture contents," *Sci. Rep.*, vol. 12, p. 11082, 2022, doi: [10.1038/s41598-022-14949-6](https://doi.org/10.1038/s41598-022-14949-6).
- [14] I. Saibari, S. Barrijal, M. Mouhib, N. Belkadi, and A. Hamim, "Gamma irradiation-induced genetic variability and its effects on the phenotypic and agronomic traits of groundnut (*Arachis hypogaea* L.)," *Front. Genet.*, vol. 14, p. 1124632, 2023, doi: [10.3389/fgene.2023.1124632](https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1124632).
- [15] R. Indrayanti, H. Zahratunnisa, N. Destyana, D. Adisyahputra, D. Sukmawati, and R. Desnurvia, "Induced variability of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum*) by gamma irradiation and early detection of tomato variants resistance to anthracnose," *Pakistan J. Phytopathol.*, vol. 36, no. 2, pp. 267–280, 2024, doi: [10.32608/phytopathol.036.02.1047](https://doi.org/10.32608/phytopathol.036.02.1047).
- [16] R. Hidayat, S. H. Y. Saragih, D. H. Adam, and Y. Triyanto, "Optimizing tomato bareto (*Lycopersicum esculentum* MILL) varieties growth and production using gamma ray radiation technology," *J. Agron. Tanaman Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 562–570, 2024, doi: [10.36378/juatika.v6i2.3639](https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3639).
- [17] V. Anggriansyah, S. H. Y. Saragih, H. Walida, and D. H. Adam, "Mutation strategy of gamma ray irradiation for increasing the growth of rose tomato plants (*Solanum lycopersicum* var. Rose)," *J. Agron. Tanaman Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 512–518, 2024, doi: [10.36378/juatika.v6i2.3626](https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3626).
- [18] IAEA, "Mutant variety details search," 2025, [Online]. Available: <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Search.aspx>. [Accessed: Oct. 21, 2025].
- [19] K. Y. Kantoğlu, "Influence of gamma irradiation on pollen viability, pollen tube growth, and fruit development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.)," *Horticulture J.*, vol. 93, no. 2, pp. 169–175, 2024, doi: [10.2503/hortj.QH-113](https://doi.org/10.2503/hortj.QH-113).
- [20] M. A. Randhawa, "Calculation of LD50 values from the method of Miller and Tainter, 1944," *J. Ayub Med. Coll. Abbottabad*, vol. 21, no. 3, pp. 184–185, 2009.
- [21] M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster, and L. Jankuloski, *Manual on Mutation Breeding*, 3rd ed. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- [22] S. Saeedipour, "Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and ion accumulation in two indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity tolerance," *Int. J. Biosci.*, vol. 4, no. 4, pp. 33–40, 2014, doi: [10.12692/IJB/4.4.33-40](https://doi.org/10.12692/IJB/4.4.33-40).
- [23] T. N. Ai, N. K. Nhu, T. T. K. Nhu, T. T. T. Duong, N. T. B. Tram, and V. N. N. Nhu, "Effects of gamma irradiation doses on the salinity purification process of ST24 rice variety," in *Proceedings of the 3rd National Conference on Plant Physiology*, Apr. 12–13, 2025, Dalat, Vietnam. Hanoi: Publishing House for Science and Technology, 2025, pp. 169–180.
- [24] P. Spoelstra, "Germination and dormancy of single tomato seeds," Ph.D. dissertation, Wageningen University, Wageningen, Netherlands, 2002.
- [25] M. A. Gavassi, G. C. Fernandes, C. C. Monteiro, L. E. P. Peres, and R. F. Carvalho, "Seed germination in tomato: A focus on interaction between phytochromes and gibberellins or abscisic acid," *Am. J. Plant Sci.*, vol. 5, no. 14, pp. 2163–2169, 2014, doi: [10.4236/ajps.2014.514229](https://doi.org/10.4236/ajps.2014.514229).
- [26] F. Fatima and M. U. Javed, "Seedling and germination stages of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) in Pakistan under home remedies, packing and transported to other countries with the proper identification of pest and diseases," *Acta Sci. Agric.*, vol. 3, no. 9, pp. 57–66, 2019, doi: [10.31080/ASAG.2019.03.0608](https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0608).
- [27] T. N. Ai, N. T. Dung, N. K. Nhu, N. M. Hiep, and L. V. Thuc, "Effects of gamma irradiation dose and phosphorus fertilizer on growth and development of Thanh Phong chili variety

- (*Capsicum annum* L.)," *TNU J. Sci. Technol.*, vol. 229, no. 05, pp. 105–113, 2024, doi: [10.34238/tnu-jst.9351](https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9351).
- [28] H. L. A. Kiet, T. N. Ai, N. K. Nhu, T. T. T. Dang, and L. V. Thuc, "Effects of gamma rays on morphological variations in gloxinia lineages (*Sinningia speciosa*)," *Can Tho Univ. J. Sci.*, vol. 62, no. 1, pp. 170–177, 2026, doi: [10.22144/ctujos.2026.017](https://doi.org/10.22144/ctujos.2026.017).
- [29] S. G. Wi, B. Y. Chung, J. H. Kim, M. H. Baek, D. H. Yang, w. w. Lee, and J. S. Kim, "Ultrastructural changes of cell organelles in *Arabidopsis* stems after gamma irradiation," *J. Plant Biol.*, vol. 48, pp. 195–200, 2005, doi: [10.1007/BF03030408](https://doi.org/10.1007/BF03030408).
- [30] N. T. T. Tra and N. T. Le, "Study on growth, development, yield and quality of some small-fruit tomato varieties (*Lycopersicum esculentum* var. *cerasiforme*) cultivated in Cam Le, Da Nang," *UD J. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 78, pp. 164–168, 2014.
- [31] R. Pagliarello, E. Bennici, I. Di Sarcina, M. E. Villani, A. Desiderio, L. Lardi, E. Benvenuto, A. Cemmi, and S. Massa, "Effects of gamma radiation on engineered tomato biofortified for space agriculture by morphometry and fluorescence-based indices," *Front. Plant Sci.*, vol. 14, p. 1266199, 2023, doi: [10.3389/fpls.2023.1266199](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1266199).
- [32] M. N. Mazumder and A. B. Misran, "Potential of gamma irradiation on postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): A review," *Food Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 47–58, 2022, doi: [10.26656/fr.2017.6\(4\).464](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(4).464).
- [33] M. Nazari, M. Kordrostami, A. A. Ghasemi-Soloklui, J. J. Eaton-Rye, P. Pashkovskiy, V. Kuznetsov, and S. I. Allakhverdiev, "Enhancing photosynthesis and plant productivity through genetic modification," *Cells*, vol. 13, no. 16, p. 1319, 2024, doi: [10.3390/cells13161319](https://doi.org/10.3390/cells13161319).
- [34] K. Tokhmechi, A. Ghorbani, D. Koolivand, M. Rostami, and N. Hajiloo, "Effect of low-dose gamma irradiation on seed-borne transmission of tomato brown rugose fruit virus in tomato," *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, vol. 24, no. 1, p. 100644, 2026, doi: [10.1016/j.jgeb.2025.100644](https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2025.100644).
- [35] M. Y. Adam, H. A. Elbashir, and A. H. R. Ahmed, "Effect of gamma radiation on tomato quality during storage and processing," *Curr. Res. J. Biol. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 20–25, 2014, doi: [10.19026/crjbs.6.5493](https://doi.org/10.19026/crjbs.6.5493).
- [36] K. F. Mendes, S. F. Guedes, L. C. A. S. Silva, and V. Arthur, "Evaluation of physicochemical characteristics in cherry tomatoes irradiated with ^{60}Co gamma-rays on post-harvest conservation," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 177, p. 109139, 2020, doi: [10.1016/j.radphyschem.2020.109139](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109139).