

CÔNG NGHỆ SINH HỌC

## Xác định hàm lượng capsaicin và độ cay của 10 giống ớt (*Capsicum* spp.) bằng phương pháp HPLC

Lê Thị Phương Thảo<sup>1</sup>, Trịnh Ngọc Ái<sup>\*,2</sup>, Thạch Thị Bô Pha<sup>3</sup>, Nghị Khắc Nhu<sup>2</sup>, Trần Thị Thùy Dương<sup>2</sup>, Quan Ngọc Giàu<sup>2</sup>, Trần Hữu Hậu<sup>1</sup> và Huỳnh Hải Long<sup>1</sup><sup>1</sup>Trung tâm Sinh học Ứng dụng, Khoa Nông nghiệp - Thủy sản, Đại học Trà Vinh<sup>2</sup>Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, Việt Nam<sup>3</sup>Trường Y-Dược, Đại học Trà Vinh, Việt Nam

\*Corresponding author:

Trịnh Ngọc Ái - Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, Việt Nam.

Email: ngocai@tvu.edu.vn

Received: 05/04/2026. Revised: 04/05/2026. Accepted: 15/05/2026. DOI: 10.53901/tjs.2026.v01.issue02.art06

### Tóm tắt

Ớt (*Capsicum* spp.) là một loại gia vị và rau củ có giá trị cao, được sử dụng cho mục đích thương mại và công nghiệp. Quả ớt là một nguồn nguyên liệu giàu dinh dưỡng. Bên trong quả ớt có chứa hàm lượng capsaicin khác nhau ở các giai đoạn chín của quả. Mục tiêu nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của giai đoạn chín của quả lên hàm lượng capsaicin và độ cay của mười giống ớt. Kết quả cho thấy hàm lượng capsaicin dao động từ 38,55 đến 91 778,27 mg.g<sup>-1</sup> và giá trị độ cay từ 693,95 SHU đến 1 652 008,91 SHU, phản ánh sự khác biệt lớn giữa các giống. Hàm lượng capsaicin và độ cay có xu hướng tăng dần từ giai đoạn đầu đến giai đoạn quả trưởng thành và đạt cực đại ở khoảng 50 NSTP, sau đó giảm nhẹ ở giai đoạn chín hoàn toàn (60 NSTP). Các giống ớt siêu cay như Trinidad Moruga Scorpion (BC) và Bhut Jolokia (MG) thể hiện khả năng tích lũy capsaicin và độ cay vượt trội, trong khi giống Biquinho pepper (TT) gần như không tích lũy hợp chất này. Kết quả nghiên cứu khẳng định mối quan hệ chặt chẽ giữa hàm lượng capsaicin và độ cay, đồng thời nhấn mạnh vai trò của yếu tố di truyền và giai đoạn phát triển quả trong quá trình tích lũy capsaicinoid. Những phát hiện này có ý nghĩa quan trọng trong việc xác định thời điểm thu hoạch tối ưu và định hướng sử dụng giống phù hợp trong sản xuất và chế biến ớt.

**Từ khóa:** Capsaicin; capsaicinoids; chili pepper (*Capsicum* spp.); độ cay (SHU); giai đoạn phát triển của quả.

### Giới thiệu

Ớt (*Capsicum* sp.) thuộc họ Solanaceae, bao gồm 35 loài trong đó có 5 loài được trồng phổ biến *C. annuum*, *C. chinense*, *C. baccatum*, *C. frutescens* và *C. pubescens* [1]. Ớt là một trong những cây gia vị quan trọng, được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới với nhiều mục đích khác nhau, từ tiêu dùng tươi, chế biến (dạng khô, bột ớt) đến làm nguyên liệu trong công nghiệp thực phẩm [2]. Ngoài ra, một số loài ớt còn được khai thác làm cây cảnh nhờ đặc điểm hình thái và màu sắc đa dạng [3].

Độ cay là một trong những đặc tính quan trọng nhất quyết định giá trị thương mại của quả ớt. Đặc tính này chủ yếu do sự tích lũy của nhóm hợp chất capsaicinoid, được tổng hợp và tích lũy chủ yếu trong các tế bào biểu bì của mô nhau (placenta) của quả [4]. Độ cay liên quan đến sự hiện diện của sáu hợp chất hoá học (capsaicin, dihydrocapsaicin, norcapsaicin, nordihydrocapsaicin, homocapsaicin and homodihydrocapsaicin) tạo thành nhóm capsaicinoids [5]. Trong đó, capsaicin và dihydrocapsaicin là hai

thành phần chính, chiếm khoảng 90-97% tổng hàm lượng capsaicinoid [6].

Hàm lượng capsaicinoids khác nhau ở các giống ớt, đồng thời chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố ngoại cảnh và sinh lý như cường độ ánh sáng, nhiệt độ và thành phần khoáng có trong phân bón, đặc biệt là giai đoạn phát triển của quả [6, 7]. Ngoài vai trò tạo vị cay, các hợp chất capsaicinoid còn có ý nghĩa sinh học và dược lý quan trọng. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh capsaicin có thể hoạt động như các tác nhân phòng ngừa ung thư, ngăn chặn sự phát triển của ung thư bằng cách ức chế sự tăng sinh của các tế bào ác tính và tăng cường quá trình tế bào chết có lập trình [8]. Một vai trò khác là thúc đẩy sức khỏe mạch máu, ngăn ngừa các rối loạn tim mạch và giảm phản ứng viêm [9, 10], đồng thời đã được chứng minh là bảo vệ gan bằng cách giảm stress oxy hóa [11] và thể hiện đặc tính giảm đau trong y học [12].

Trong số các capsaicinoid, capsaicin chiếm khoảng 71% tổng lượng capsaicinoid trong hầu hết các giống ớt cay và được xem là chỉ tiêu quan trọng phản ánh

**Bảng 1:** Danh sách các giống ớt được dùng trong nghiên cứu.

STT	Tên địa phương	Ký hiệu	Nơi thu mẫu	Nguồn gốc
1	Ớt Bò Cạp (Trinidad Moruga Scorpion)	BC	Vĩnh Long	Moruga, Trinidad và Tobago
2	Ớt Hơi Thở Của Rồng (Habanero)	HTCR	Đà Lạt	Brasil
3	Ớt Ma Ghost (Bhut Jolokia)	MG	Đà Lạt	Ấn Độ
4	Ớt Sừng (Goat Horn Chilli)	OS	Trà Vinh	Caribbean
5	Ớt Chỉ Thiên Đỏ (Bird's eye)	CTĐ	Trà Vinh	Amazon
6	Ớt Chỉ Thiên Tím (Purple Bird's eye)	CTT	Phú Nông	Amazon
7	Ớt Bình Định Tím (Purple chilli)	BĐT	Bình Định	Amazon
8	Ớt Xiêm Xanh (Siling labuyo)	XX	Phú Nông	
9	Ớt Chuông Nhỏ (Baby Bell Chilli)	CN	Đà Lạt	Dutch
10	Ớt Trái Tim (Biquinho pepper)	TT	Vĩnh Long	Brasil

chất lượng thương mại của ớt [13]. Capsaicin được tìm thấy ở các bộ phận khác nhau của quả ớt như vỏ, hạt. Một số nghiên cứu cũng ghi nhận sự hiện diện với hàm lượng rất thấp của capsaicinoid ở các cơ quan sinh dưỡng như lá và thân.

Quá trình sinh tổng hợp và tích lũy capsaicinoid có mối liên hệ chặt chẽ với quá trình phát triển và chín của quả. Trong suốt quá trình này, quả ớt trải qua hàng loạt biến đổi sinh hóa, sinh lý và cấu trúc, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và thành phần hóa học của quả [14, 15]. Các nghiên cứu trước đây cho thấy sự tích lũy capsaicin không diễn ra đồng đều mà thay đổi theo từng giai đoạn phát triển, với xu hướng tăng dần trong giai đoạn phát triển quả, đạt cực đại ở giai đoạn trưởng thành sinh lý và sau đó có thể giảm do quá trình phân hủy [16]. Nghiên cứu của Yaldiz và ctv. [17] cũng chỉ ra hàm lượng capsaicin tăng theo độ chín cho đến khi đạt mức tối đa, sau đó giảm dần qua quá trình chuyển hóa và phân hủy nhanh chóng lên đến 60%, do quá trình quang oxy hóa hoặc enzyme oxy hóa.

Theo số liệu thống kê của Hiệp hội Hồ tiêu Việt Nam (VPSA), xuất khẩu ớt của Việt Nam trong tháng 10 đạt 435 tấn, kim ngạch đạt 1 triệu USD. Ớt được trồng nhiều nhất tại các tỉnh Đồng Tháp, An Giang, Tiền Giang, Sóc Trăng, Trà Vinh, Vĩnh Long với tổng diện tích trên 7000 ha, sản lượng khoảng 100000 tấn/năm. Tại Tây Nguyên, diện tích trồng ớt đạt khoảng 4000 - 5000 ha với sản lượng khoảng 60000 tấn/năm.

Do ớt được thu hoạch và tiêu thụ ở các giai đoạn khác nhau, từ quả non đến quả chín hoàn toàn, việc nghiên cứu sự tích lũy các hợp chất có hoạt tính sinh học này trong quá trình phát triển của quả là rất cần thiết. Tuy nhiên, các nghiên cứu về sự biến động hàm lượng capsaicin theo giai đoạn phát triển của quả ớt tại Việt Nam vẫn còn hạn chế. Việc làm rõ quá trình

tích lũy capsaicin không chỉ góp phần xác định thời điểm thu hoạch tối ưu mà còn cung cấp cơ sở cho công tác chọn giống, lai tạo và khai thác hiệu quả nguồn gen ớt.

Xuất phát từ những cơ sở trên, nghiên cứu “Đánh giá hàm lượng capsaicin và độ cay của 10 giống ớt (*Capsicum* spp.) thu thập tại Việt Nam bằng phương pháp HPLC” được thực hiện nhằm xác định sự biến động hàm lượng capsaicin theo các giai đoạn phát triển của quả. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần xác định giai đoạn thu hoạch phù hợp, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác chọn tạo giống và bảo tồn nguồn gen ớt có giá trị.

## Vật liệu và Phương pháp

### Vật liệu

Mười giống ớt trong nghiên cứu được thu thập và trồng tại trại thực nghiệm Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh (Bảng 1, Hình 1).

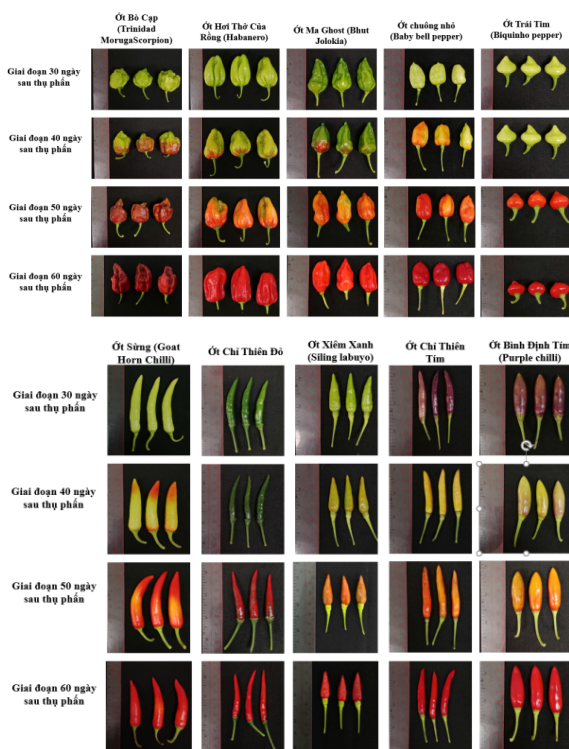


**Hình 1:** Hình ảnh 10 giống ớt được dùng trong nghiên cứu.

Hạt của mười giống ớt được gieo trên khay xốp, mỗi khay có 84 lỗ, kích thước khay 60 cm x 45 cm.

Giá thể gồm xơ dừa, tro trấu và phân bò ủ hoai theo tỷ lệ 1:1:1. Trộn đều các thành phần giá thể và cho vào khay ươm. Mỗi khay gieo một hạt, tưới nước, giữ ẩm. Khi cây đạt 5-6 lá thật được trồng xuống luống tại trại thực nghiệm Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, khoảng cách giữa 2 hàng là 70 cm, cây cách cây 50 cm.

Cây được chăm sóc và bón phân theo tiêu chuẩn TCVN\_QCVN 01 64:2011/BNNPTNT. Lượng phân bón cho 1 ha bao gồm 15-20 tấn phân chuồng, 110-130 kg phân nitơ, 80-100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 140-160 kg K<sub>2</sub>O. Cây được bón lót toàn bộ phân hữu cơ +1/3 đạm + lân + 1/3 kali. Số lượng phân còn lại chia đều cho 4 lần bón thúc. Bón thúc lần 1 sau khi trồng từ 25-30 ngày; bón thúc lần 2 sau khi trồng từ 45-50 ngày; bón thúc lần 3 sau khi trồng từ 70-80 ngày, và lần 4 sau khi trồng từ 100-115 ngày. Quả ớt được thu ở giai đoạn 30, 40, 50 và 60 ngày sau khi thụ phấn (Hình 2). Quả được chọn ngẫu nhiên từ nhiều vị trí khác nhau trên cây, loại bỏ những quả bị sâu bệnh hoặc tổn thương để đảm bảo tính đại diện và độ đồng đều của mẫu. Mẫu sau khi thu hoạch được rửa sạch, để ráo nước, và được bảo quản ở điều kiện 20 °C tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh để phục vụ cho các phân tích.



Hình 2: Bốn giai đoạn của 10 giống ớt được sử dụng trong nghiên cứu.

## Phương pháp

### Lý trích hàm lượng capsaicin của 10 giống ớt

Quá trình ly trích capsaicin được thực hiện theo Thạch Thị Bô Pha và ctv. [18]. 1 g mẫu ớt tươi ở các giai đoạn được cắt nhỏ cho vào ống nghiệm, bổ sung

5 mL ethanol 90%, hỗn hợp sau khi chuẩn bị được đặt trong hệ thống siêu âm (Bransonic® 5800, Branson Ultrasonics), mẫu được tiến hành đánh siêu âm trong 30 phút ở nhiệt độ 45 °C, tần số 60 Hz. Mẫu sau khi đánh siêu âm để yên 5 phút, và thu dịch chiết. Quá trình ly trích được lặp lại 3 lần. Dung môi được loại bỏ trên bếp cách thủy ở 60 °C đến khi thể tích dịch chiết đạt 2 mL. Sau đó, dịch chiết được hòa tan trong acetonitrile (ACN), để đạt thể tích 20 mL.

2 mL dịch chiết được pha loãng trong 8 mL acetonitrile (ACN). Sau đó dịch chiết được lọc qua màng lọc 0,45 μm, dịch chiết được đựng trong ống vial và bảo quản 4 °C cho đến khi tiến hành phân tích tiếp theo.

### Xây dựng đường chuẩn capsaicin

Dung dịch chuẩn capsaicin được pha loãng ở các dãy nồng độ 5,0; 10; 15; 20; 25 và 30 μg.mL<sup>-1</sup>. Dung dịch chuẩn được phân tích bằng HPLC trong cùng điều kiện sắc ký với mẫu. Đường chuẩn được dựa trên mối quan hệ tuyến tính giữa nồng độ capsaicin và diện tích đỉnh, với hệ số tương quan R<sup>2</sup> ≥ 0,999 làm cơ sở định lượng capsaicin trong mẫu ớt [18].

### Xác định hàm lượng capsaicin và độ cay bằng phương pháp sắc ký HPLC

Hệ thống sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC) được thiết lập với các điều kiện sau: cột sắc ký: Phenomenex C8 (150,0 × 4,6 mm; 5 μm); pha động: Acetonitril (ACN): nước (40:60); tốc độ dòng chảy: 1,5 mL/phút; áp suất hệ thống: 203 bar ; nhiệt độ cột 25 °C; thể tích tiêm: 10 μL; bước sóng hấp thụ: 205-270 nm [18].

Dung dịch chuẩn và dung dịch mẫu được tiêm lần lượt vào hệ thống sắc ký HPLC. Sắc ký đồ được ghi nhận, trong đó đỉnh capsaicin được xác định dựa trên thời gian lưu so sánh với dung dịch chuẩn. Hàm lượng capsaicin được ghi nhận dưới dạng mg.g<sup>-1</sup>.

Hàm lượng Capsaicin (CAP) trong quả ớt tính theo công thức:

$$HL \text{ (mg.g}^{-1}\text{)} = \frac{(y - b) \times D}{a \times m \times 1000}$$

Trong đó:

- HL: hàm lượng capsaicin (mg.g<sup>-1</sup>)
- y: diện tích pic của mẫu thử (mAU.min)
- a: hệ số góc
- b: độ lệch
- D: độ pha loãng dung dịch mẫu thử
- m: khối lượng ớt cân được (g)

### Xác định độ cay

Theo phương pháp thử nghiệm cảm quan Scoville được chấp nhận rộng rãi, độ cay của các mẫu nghiên cứu được tính toán bằng cách chuyển đổi hàm lượng

capsaicin biểu thị bằng gam capsaicin trên mỗi gam ớt. Độ cay của mẫu được xác định theo công thức:

$$\text{SHU} = 18 \times C \text{ (mg.g}^{-1}\text{)}$$

Trong đó: C là hàm lượng capsaicin [15].

Độ cay của ớt phân loại theo đơn vị Scoville Heat Units (SHU), với 5 cấp độ: không cay (0–700 SHU), hơi cay (700–3000 SHU), cay vừa (3000–25000 SHU), rất cay (25000–70000 SHU) và siêu cay (> 80000 SHU) [19].

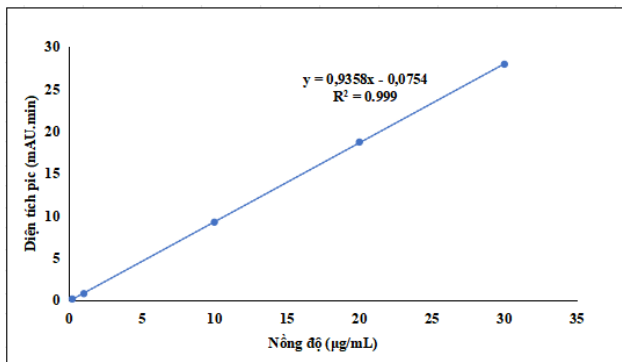
### Phân tích số liệu

Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần, kết quả được trình bày dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  độ lệch chuẩn (Mean  $\pm$  SD).

## Kết quả

### Xây dựng đường chuẩn capsaicin

Đường chuẩn capsaicin được xây dựng nhằm thiết lập mối quan hệ tuyến tính giữa tín hiệu sắc ký và nồng độ capsaicin. Từ kết quả phân tích, phương trình hồi quy đã được xây dựng  $y = 0,9358x - 0,0754$  ( $R^2 = 0,999$ ). Hệ số  $R^2$  càng cao (càng sát giá trị 1) thì độ tuyến tính giữa hai biến càng tốt, điều này cho thấy đường chuẩn đạt yêu cầu, đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy của phương trình đường chuẩn để xác định hàm lượng capsaicin trong mẫu 10 giống ớt (**Hình 3**).



**Hình 3:** Đường biểu diễn mối liên hệ giữa nồng độ và diện tích pic Capsaicin.

### Hàm lượng capsaicin của 10 giống ớt

Hàm lượng capsaicin là chỉ tiêu quan trọng phản ánh độ cay và giá trị dược liệu. Các yếu tố như giống, điều kiện sinh thái, giai đoạn phát triển và kỹ thuật canh tác có ảnh hưởng lớn đến sự tích lũy capsaicin trong quả. Hàm lượng capsaicin trong mẫu quả ớt tươi ở 4 giai đoạn (30, 40, 50 và 60 ngày sau thụ phấn) được xác định dựa trên sự phù hợp với đường chuẩn capsaicin bằng phương pháp HPLC.

Kết quả phân tích hàm lượng capsaicin ở các giống ớt khác nhau có sự khác biệt rõ rệt và biến động mạnh theo giai đoạn phát triển quả. Hàm lượng capsaicin

dao động từ 38,55 mg.g<sup>-1</sup> đến 91 778,27 mg.g<sup>-1</sup> ở giai đoạn 30 ngày đến 60 ngày sau khi thụ phấn. Điều này chứng minh các giống ớt có sự khác biệt lớn về hàm lượng capsaicin. Hai giống ớt Bò Cạp (BC) và ớt Ma Ghost (MG) có hàm lượng capsaicin trung bình cao nhất, lần lượt là 91 778,27 mg.g<sup>-1</sup> và 87 147,39 mg.g<sup>-1</sup>. Ngược lại, ớt Trái Tim (TT) có hàm lượng capsaicin thấp nhất (38,55 mg.g<sup>-1</sup>).

Quá trình tích lũy hàm lượng capsaicin theo từng giai đoạn phát triển của ớt cũng được nghiên cứu. Kết quả **Bảng 1** chỉ ra hàm lượng capsaicin ở các giống ớt đều tăng từ giai đoạn 30 NSTP đến giai đoạn 50 NSTP, sau đó giảm nhẹ hoặc ổn định ở giai đoạn 60 NSTP. Cụ thể, giống ớt BC có hàm lượng capsaicin cao nhất (101 060,00 mg.g<sup>-1</sup>) ở giai đoạn 50 NSTP, sau đó giảm xuống 91 443,33 mg.g<sup>-1</sup> ở giai đoạn 60 NSTP. Kết quả tương tự cũng được tìm thấy ở MG (104 873,33 mg.g<sup>-1</sup>) giai đoạn 50 NSTP và giảm xuống 87 147,39 mg.g<sup>-1</sup> ở giai đoạn 60 NSTP. Xu hướng này cũng được ghi nhận ở các giống ớt còn lại. Điều này chứng minh giai đoạn 50 NSTP là thời điểm tích lũy capsaicin cao nhất trong quá trình phát triển quả.

### Độ cay của 10 giống ớt

Độ cay của 10 giống ớt trong nghiên cứu có giá trị trung bình 445 436,17 SHU, dao động từ 693,95 (ớt TT) SHU đến 1 652 008,91 SHU (ớt BC), điều này phản ánh sự khác biệt lớn về độ cay của các giống ớt (**Bảng 2**).

Hai giống ớt BC (1 652 008,91 SHU) và MG (1 568 652,98 SHU) có độ cay vượt trội so với các giống ớt còn lại. Mức độ này được xếp vào nhóm siêu cay được ghi nhận rộng rãi trên thế giới. Các giống ớt còn lại như HTCR, CN, CTĐ, và OS có độ cay thấp hơn nhưng vẫn nằm trong nhóm cay đến siêu cay (154 752,79 SHU đến 316 263,85 SHU). Ngược lại, ớt trái tim có độ cay thấp (693,95 SHU) được xếp vào nhóm không cay. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với đặc điểm cảm quan và các nghiên cứu trước, cho thấy giống này gần như không tích lũy capsaicin do hạn chế trong con đường sinh tổng hợp capsaicinoid.

Trong suốt quá trình chín của quả, nhìn chung độ cay tăng mạnh ở giai đoạn 30 NSTP đến 40 NSTP, cụ thể 10-30% ở giống BC và XX; 30% - 60% ở giống MG, OS, CTĐ, CTT, BĐT, TT; > 60% ở giống CN và HTCR. Giai đoạn 40 NSTP đến 50 NSTP, độ cay tăng nhẹ từ 13,37% đến 46,6% ở các giống ớt, tuy nhiên, giống ớt OS có độ cay tăng thấp nhất (6,61%). Giai đoạn 50 NSTP đến 60 NSTP, quan sát có sự giảm nhẹ độ cay, dao động trung bình từ 12,81% đến 31,66%, một số giống như BC, CTĐ và OS tỷ lệ độ cay giảm <10%. Kết quả **Bảng 2** cũng cho thấy quá trình giảm độ cay liên quan đến giảm hàm lượng capsaicin. Kết quả nghiên cứu cho thấy giai đoạn 50 NSTP là giai đoạn tối ưu cho quá trình tích lũy capsaicin trong giai đoạn quả trưởng thành trước khi chín hoàn toàn.

**Bảng 2:** Hàm lượng capsaicin của 10 giống ớt.

Tên giống	Ký hiệu	Hàm lượng capsaicin (mg.g <sup>-1</sup> )				
		30 NSTP	40 NSTP	50 NSTP	60 NSTP	Trung bình
Ớt Bò Cạp (Trinidad Moruga Scorpion)	BC	84 133,09 ± 1 229,27 <sup>a</sup>	87 546,67 ± 807,48 <sup>a</sup>	101 060,00 ± 72,11 <sup>a</sup>	94 373,33 ± 5 669,30 <sup>a</sup>	91 778,27
Ớt Ma Ghost (Bhut Jolokia)	MG	70 599,55 ± 444,38 <sup>b</sup>	81 673,33 ± 9 732,80 <sup>a</sup>	104 873,33 ± 6 206,71 <sup>a</sup>	91 443,33 ± 7 199,48 <sup>a</sup>	87 147,39
Ớt Hơi Thở Của Rồng (Habanero)	HTCR	9 334,19 ± 97,41 <sup>c</sup>	17 813,33 ± 1 968,81 <sup>b</sup>	25 623,33 ± 595,00 <sup>b</sup>	17 510,00 ± 1 482,93 <sup>bc</sup>	17 570,21
Ớt Chuông Nhỏ (Baby Bell Pepper)	CN	8 702,93 ± 361,84 <sup>c</sup>	18 593,33 ± 256,97 <sup>b</sup>	22 016,67 ± 753,41 <sup>b</sup>	18 823,33 ± 1 189,30 <sup>b</sup>	17 034,07
Ớt Chi Thiên Đò (Bird's eye)	CTĐ	6 366,71 ± 53,07 <sup>d</sup>	8 199,00 ± 549,51 <sup>d</sup>	11 432,67 ± 621,78 <sup>c</sup>	11 273,33 ± 931,79 <sup>bcd</sup>	9 317,93
Ớt Sừng (Goat Horn Chilli)	OS	6 109,51 ± 26,89 <sup>d</sup>	9 086,67 ± 11,54 <sup>cd</sup>	9 730,00 ± 160,93 <sup>c</sup>	9 463,33 ± 227,45 <sup>cd</sup>	8 597,38
Ớt Xiêm Xanh (Siling labuyo)	XX	5 981,26 ± 16,32 <sup>d</sup>	6 713,33 ± 851,60 <sup>d</sup>	8 326,67 ± 895,78 <sup>c</sup>	6 923,33 ± 886,36 <sup>de</sup>	6 986,15
Ớt Bình Định Tím (Purple chilli)	BDT	3 273,84 ± 78,77 <sup>e</sup>	4 403,33 ± 626,92 <sup>d</sup>	6 313,33 ± 235,86 <sup>c</sup>	4 613,33 ± 735,00 <sup>de</sup>	4 650,96
Ớt Chi Thiên Tím (Purple bird's eye chilli)	CTT	3 284,53 ± 303,09 <sup>e</sup>	3 376,67 ± 500,13 <sup>d</sup>	6 323,33 ± 110,15 <sup>c</sup>	4 390,00 ± 468,72 <sup>de</sup>	4 343,63
Ớt Trái Tím (Biquinho pepper)	TT	27,64 ± 6,17 <sup>f</sup>	30,13 ± 1,62 <sup>d</sup>	53,10 ± 2,39 <sup>d</sup>	43,33 ± 0,15 <sup>e</sup>	38,55

Các giá trị trong bảng được trình bày dưới dạng Giá trị trung bình ± Độ lệch chuẩn. Các chữ cái đi kèm sau giá trị trung bình thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ) giữa các nghiệm thức trong cùng một cột; NSTP: ngày sau thụ phấn.

**Bảng 3:** Độ cay của 10 giống ớt.

Tên giống	Ký hiệu	Độ cay (SHU)				
		30 NSTP	40 NSTP	50 NSTP	60 NSTP	Trung bình
Ớt Bò Cạp (Trinidad Moruga Scorpion)	BC	1 514 395,64 ± 22 126,93 <sup>a</sup>	1 575 840,00 ± 14 534,74 <sup>a</sup>	1 819 080,00 ± 1 297,99 <sup>a</sup>	1 698 720,00 ± 102 047,51 <sup>a</sup>	1 652 008,91
Ớt Ma Ghost (Bhut Jolokia)	MG	1 270 791,92 ± 7 998,95 <sup>b</sup>	1 470 120,00 ± 175 190,43 <sup>a</sup>	1 887 720,00 ± 111 720,90 <sup>a</sup>	1 645 980,00 ± 129 590,79 <sup>a</sup>	1 568 652,98
Ớt Hơi Thở Của Rồng (Habanero)	HTCR	168 015,39 ± 1 753,41 <sup>c</sup>	320 640,00 ± 35 438,67 <sup>bc</sup>	461 220,00 ± 10 710,12 <sup>b</sup>	315 180,00 ± 26 692,85 <sup>bc</sup>	316 263,85
Ớt Chuông Nhỏ (Baby Bell Pepper)	CN	156 652,77 ± 6 513,15 <sup>c</sup>	334 680,00 ± 4 625,45 <sup>b</sup>	396 300,00 ± 13 561,46 <sup>b</sup>	338 820,00 ± 21 407,39 <sup>b</sup>	306 613,19
Ớt Chi Thiên Đò (Bird's eye)	CTĐ	114 600,83 ± 955,34 <sup>d</sup>	147 582,00 ± 9 891,30 <sup>d</sup>	205 788,00 ± 11 192,03 <sup>c</sup>	202 920,00 ± 16 772,22 <sup>bcd</sup>	167 722,71
Ớt Sừng (Goat Horn Chilli)	OS	109 971,14 ± 484,11 <sup>d</sup>	163 560,00 ± 207,84 <sup>cd</sup>	175 140,00 ± 2 896,82 <sup>c</sup>	170 340,00 ± 4 094,09 <sup>cd</sup>	154 752,79
Ớt Xiêm Xanh (Siling labuyo)	XX	107 662,71 ± 293,84 <sup>d</sup>	120 840,00 ± 15 328,91 <sup>d</sup>	149 880,00 ± 16 124,15 <sup>c</sup>	124 620,00 ± 15 954,47 <sup>de</sup>	125 750,68
Ớt Bình Định Tím (Purple chilli)	BDT	58 929,14 ± 1 417,97 <sup>e</sup>	79 260,00 ± 11 284,62 <sup>d</sup>	113 640,00 ± 4 245,60 <sup>c</sup>	83 040,00 ± 13 230,10 <sup>de</sup>	83 717,29
Ớt Chi Thiên Tím (Purple bird's eye chilli)	CTT	59 121,51 ± 5 455,74 <sup>e</sup>	60 780,00 ± 9 002,40 <sup>d</sup>	113 820,00 ± 1 982,72 <sup>c</sup>	79 020,00 ± 8 436,99 <sup>de</sup>	78 185,38
Ớt Trái Tím (Biquinho pepper)	TT	497,60 ± 111,13 <sup>f</sup>	542,40 ± 29,32 <sup>d</sup>	955,80 ± 43,01 <sup>d</sup>	780 ± 2,75 <sup>e</sup>	693,95

Các giá trị trong bảng được trình bày dưới dạng Giá trị trung bình ± Độ lệch chuẩn. Các chữ cái đi kèm sau giá trị trung bình thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ) giữa các nghiệm thức trong cùng một cột; NSTP: ngày sau thụ phấn.

## Thảo luận

Sự thay đổi về hàm lượng capsaicin đã được nghiên cứu ở các giai đoạn phát triển khác nhau trong chu kỳ sinh trưởng của quả ớt. Kết quả cho thấy hàm lượng capsaicin trong ớt thay đổi đáng kể trong suốt quá trình phát triển của quả, tăng dần và đạt giá trị tối đa khi quả đạt trạng thái chín sinh lý, sau đó có thể giảm nhẹ nếu quả vẫn còn trên cây [20]. Sự biến động này chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố di truyền và môi trường, bao gồm nhiệt độ, ánh sáng và dinh dưỡng của đất, từ đó cung cấp cơ sở quan trọng để tối ưu

hóa điều kiện canh tác và xác định được thời gian thu hoạch nhằm đạt độ cay mong muốn.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra quá trình tích lũy capsaicin (capsaicinoid) trong quả ớt đạt hàm lượng cao nhất ở giai đoạn đầu của quả chín [20, 21]. Kết quả trong nghiên cứu này cũng cho thấy xu hướng tương tự, khi hàm lượng capsaicin tăng mạnh trong khoảng từ 30 đến 50 ngày sau trở phân (NSTP), và giảm xuống ở giai đoạn 60 NSTP. Điều này cho thấy giai đoạn 50 NSTP có thể được xem là thời điểm tích lũy capsaicin tối ưu.

Trong hợp chất capsaicinoids, capsaicin và dihydrocapsaicin là hai hợp chất chiếm ưu thế và tỷ lệ của chúng thay đổi theo từng giai đoạn phát triển của quả. Trong nghiên cứu này chúng minh hàm lượng capsaicin thay đổi theo từng giai đoạn chín của quả, hàm lượng capsaicin gia tăng từ giai đoạn 30 NSTP đến 50 NSTP, và giảm vào giai đoạn 60 NSTP. Kết quả nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu của Mecichini và ctv. [22] đã chứng minh hàm lượng capsaicin cao hơn dihydrocapsaicin ở giai đoạn quả xanh trưởng thành hoặc quả đỏ. Ngoài ra, xu hướng giảm hàm lượng capsaicin ở giai đoạn 60 ngày cũng đã được ghi nhận trong nghiên cứu của Samia [23] và Barbero và ctv. [24] về giai đoạn chín của giống ớt cayenne.

Về cơ chế sinh hóa, sự gia tăng capsaicin trong giai đoạn đầu và giữa của quá trình phát triển quả có liên quan đến hoạt động mạnh của con đường phenylpropanoid kết hợp với chuyển hóa acid béo mạch nhánh. Enzyme capsaicin synthase đóng vai trò trung tâm trong việc xúc tác phản ứng tạo capsaicin từ vanillylamine và acid béo [25]. Khi quả bước sang giai đoạn chín, hoạt động enzyme giảm dần, đồng thời các quá trình phân giải thứ cấp tăng lên, dẫn đến xu hướng giảm nhẹ hàm lượng capsaicin [26]. Sự suy giảm ở giai đoạn chín có thể liên quan đến quá trình phân hủy enzyme, oxy hóa hoặc sự thay đổi cấu trúc mô quả làm giảm nồng độ capsaicin [27].

Kết quả nghiên cứu trước chỉ ra các mối quan hệ định lượng khác nhau giữa capsaicinoid được xác định cụ thể trong các giống ớt cay và bằng chứng cho thấy sự tích lũy capsaicinoid và các thành phần riêng lẻ của chúng chủ yếu được xác định bởi kiểu gen của từng giống [28–31]. Kết quả của nghiên cứu này tiếp tục khẳng định sự khác biệt về khả năng tích lũy độ cay giữa các giống, đồng thời cho thấy sự biến động rõ rệt theo từng giai đoạn phát triển quả. Cụ thể, giai đoạn 50 NSTP là thời điểm tối ưu cho quá trình tích lũy capsaicin, sau đó giảm nhẹ độ cay ở giai đoạn 60 NSTP. Điều này liên quan đến hoạt tính peroxidase gia tăng khi hàm lượng capsaicinoid bắt đầu giảm. Có mối quan hệ nghịch giữa sự tiến hoá của capsaicin, dihydrocapsaicin và hoạt tính peroxidase, điều này có thể cho thấy enzyme này tham gia vào quá trình phân hủy capsaicinoids. Biles và ctv. [32, 33] và Bernal và ctv. [33] đã báo cáo rằng các peroxidase trong ớt đã được chứng minh là có liên quan đến quá trình oxy hóa capsaicin và dihydrocapsaicin, do đó ảnh hưởng đến độ cay. Estrada và ctv. [20] đã đề xuất capsaicin là chất tốt cho isoenzyme vì hàm lượng lignin không tăng trong quả ớt trong suốt quá trình chín, điều này cho thấy rằng, mặc dù tỷ lệ acid peroxidase tăng lên trong quá trình sinh trưởng, nhưng sự gia tăng của các isoenzyme này không liên quan đến quá trình hoá gổ như một số nhà nghiên cứu trước đã đề xuất [34].

## Kết luận

Kết quả cho thấy hàm lượng capsaicin và giá trị độ cay có sự khác biệt rõ rệt giữa các giống, và các giai

đoạn phát triển của quả. Hàm lượng capsaicin ở tất cả các giống đều có xu hướng tăng từ giai đoạn 30 NSTP đến giai đoạn 50 NSTP và giảm nhẹ ở giai đoạn 60 NSTP. Hàm lượng capsaicin và độ cay đạt giá trị cao nhất vào giai đoạn 50 NSTP ở tất cả các giống ớt. Các giống ớt được phân thành các nhóm rõ rệt dựa trên độ cay, bao gồm nhóm siêu cay (Trinidad Moruga Scorpion, Bhut Jolokia), nhóm rất cay, nhóm cay vừa và nhóm không cay (Biquinho pepper). Kết quả cũng chỉ ra giai đoạn 50 NSTP được xác định là thời điểm tối ưu để thu hoạch nhằm đạt hàm lượng capsaicin và độ cay cao nhất. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác chọn giống, canh tác và khai thác nguyên liệu ớt phục vụ chế biến thực phẩm và sản xuất hợp chất sinh học.

## Nguồn tài trợ

Kết quả nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Trà Vinh thông qua hợp đồng số 13/2026/HĐ.HĐKH & ĐT - ĐHTV.

## Xung đột lợi ích

Không có xung đột lợi ích nào được công bố

## Tài liệu

- [1] M. Pérez-Grajales, M. T. Martínez-Damian, O. Cruz-Alvarez, S. M. Potrero-Andrade, A. Peña-Lomelí, V. A. González-Hernández, and A. Villegas-Monter, "Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of manzano hot pepper grown in greenhouse," *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, vol. 47, no. 1, pp. 119–127, 2018, doi: [10.15835/nbha47111241](https://doi.org/10.15835/nbha47111241).
- [2] A. Carolina, F. Soldan, S. Arvelos, E. O. Watanabe, and C. E. Hori, "Supercritical fluid extraction of oleoresin from *Capsicum annuum* industrial waste," *J. Clean. Prod.*, vol. 297, p. 126593, 2021, doi: [10.1016/j.jclepro.2021.126593](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126593).
- [3] Z. D. Sahid, M. Syukur, A. Maharijaya, and W. Nurcholli, "Total phenolic and flavonoid contents, antioxidant, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of several big chili (*Capsicum annuum* L.) genotypes," *Cienc. Rural*, vol. 53, no. 7, pp. 1–8, 2023, doi: [10.1590/0103-8478cr20210913](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210913).
- [4] H. Kollmannsberger, A. Rodríguez-Burruezo, S. Nitz, and F. Nuez, "Volatile and capsaicinoid composition of ají (*Capsicum baccatum*) and rocoto (*C. pubescens*), two andean species of chile peppers," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 91, no. 9, pp. 1598–1611, 2011, doi: [10.1002/jsfa.4354](https://doi.org/10.1002/jsfa.4354).
- [5] M. Materska, S. Piacente, A. Stochmal, C. Pizza, W. Oleszek, and I. Perucka, "Isolation and structure elucidation of flavonoid and phenolic acid glycosides from pericarp of hot pepper fruit *Capsicum annuum* L." *Phytochemistry*, vol. 63,

- no. 8, pp. 893–898, 2003, doi: [10.1016/s0031-9422\(03\)00282-6](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(03)00282-6).
- [6] O. Marıncaş, I. Feher, D. A. Magdas, and R. Puşcaş, “Optimized and validated method for simultaneous extraction, identification and quantification of flavonoids and capsaicin, along with isotopic composition in hot peppers from different regions,” *Food Chem.*, vol. 267, pp. 255–262, 2018, doi: [10.1016/j.foodchem.2017.10.031](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.031).
- [7] S. Mali, S. Naik, B. Jha, A. Singh, and B. Bhatt, “Planting geometry and growth stage linked fertigation patterns: Impact on yield, nutrient uptake and water productivity of Chilli pepper in hot and sub-humid climate,” *Sci. Hortic.*, vol. 249, pp. 289–298, 2019, doi: [10.1016/j.scienta.2019.02.003](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.003).
- [8] Z. Q. Xie, H. X. Li, X. J. Hou, M. Y. Huang, Z. M. Zhu, L. X. Wei, and C. X. Tang, “Capsaicin suppresses hepatocarcinogenesis by inhibiting the stemness of hepatic progenitor cells via SIRT1/SOX2 Signaling pathway,” *Cancer Med.*, vol. 11, no. 22, pp. 4283–4296, 2022, doi: [10.1002/cam4.47777](https://doi.org/10.1002/cam4.47777).
- [9] S. Thongin, T. Denudom, K. Uppakara, T. Sriwantana, N. Sibmooh, T. Laolob *et al.*, “Beneficial effects of capsaicin and dihydrocapsaicin on endothelial inflammation, nitric oxide production and antioxidant activity,” *Biomed. Pharmacother.*, vol. 154, p. 113521, 2022, doi: [10.1016/j.biopha.2022.113521](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113521).
- [10] H. E. Cortes-Ferre, M. Antunes-Ricardo, and J. A. Gutiérrez-Urbe, “Enzyme-assisted extraction of anti-inflammatory compounds from habanero chili pepper (*Capsicum chinense*) seeds,” *Front. Nutr.*, vol. 9, p. 942805, 2022, doi: [10.3389/fnut.2022.942805](https://doi.org/10.3389/fnut.2022.942805).
- [11] R. Das, S. Mitra, M. J. Tareq, T. B. Emran, M. J. Hossain, A. M. Alqahtani, Y. Alghazwani, K. Dhama, and J. Simal-Gandara, “Medicinal plants used against hepatic disorders in Bangladesh: A comprehensive review,” *J. Ethnopharmacol.*, vol. 282, p. 114588, 2022, doi: [10.1016/j.jep.2021.114588](https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114588).
- [12] A. E. Nava-Ochoa, M. Antunes-Ricardo, and D. Guajardo-Flores, “Nano-sized carriers for capsaicinoids with topic analgesic and anti-inflammatory effects,” *J. Biotechnol.*, vol. 333, pp. 77–85, 2021, doi: [10.1016/j.jbiotec.2021.04.009](https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.04.009).
- [13] S. Kosuge and M. Furuta, “Studies on the pungent principle of Capsicum: Part XIV chemical constitution of the pungent principle,” *Agric. Biol. Chem.*, vol. 34, no. 2, pp. 248–256, 1970, doi: [10.1080/00021369.1970.10859594](https://doi.org/10.1080/00021369.1970.10859594).
- [14] P. Chiaiese, G. Corrado, M. Minutolo, A. Barone, and A. Errico, “Transcriptional regulation of ascorbic acid during fruit ripening in pepper (*Capsicum annuum*),” *Plants*, vol. 8, no. 7, p. 206, 2019, doi: [10.3390/plants8070206](https://doi.org/10.3390/plants8070206).
- [15] P. Popelka, P. Jevinová, K. Šmejkal, and P. Roba, “Determination of capsaicin content and pungency level of different fresh and dried chilli peppers,” *Folia Vet.*, vol. 61, no. 2, pp. 11–16, 2017, doi: [10.1515/fv-2017-0012](https://doi.org/10.1515/fv-2017-0012).
- [16] M. F. Lima, S. I. C. Carvalho, C. F. Ragassi, L. B. Bianchetti, F. G. Faleiro, and F. J. B. Reifschneider, “Characterization of a pepper collection (*Capsicum frutescens* L.) from Brazil,” *Genet. Mol. Res.*, vol. 16, no. 3, pp. 1–18, 2017, doi: [10.4238/gmr16039704](https://doi.org/10.4238/gmr16039704).
- [17] G. Yaldiz, M. Ozguven, and N. Sekeroglu, “Variation in capsaicin contents of different Capsicum species and lines by varying drying parameters,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 32, no. 3, pp. 434–438, 2010, doi: [10.1016/j.indcrop.2010.06.013](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.013).
- [18] T. T. B. Pha, N. N. A. Đào, N. T. T. Huỳnh, and N. C. Binh, “Khảo sát điều kiện sắc ký xây dựng quy trình định lượng capsaicin trong quả ớt (*Capsicum annuum* L.) được thu hái tại tỉnh trà vinh bằng phương pháp hplc – pda,” *Tạp Chí Công thương*, vol. 19, pp. 335–341, 2025.
- [19] E. A. Weiss, *Spice Crops*. New York, NY, USA: CABI Publishing International, 2002.
- [20] B. Estrada, M. A. Bernal, J. Díaz, F. Pomar, and F. Merino, “Fruit development in *Capsicum annuum*: Changes in capsaicin, lignin, free phenolics, and peroxidase patterns,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 48, no. 12, pp. 6234–6239, 2000, doi: [10.1021/jf000190x](https://doi.org/10.1021/jf000190x).
- [21] E. Mueller-Seitz, C. Hiepler, and M. Petz, “Chili pepper fruits: Content and pattern of capsaicinoids in single fruits of different ages,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, no. 24, pp. 12114–12121, 2008, doi: [10.1021/jf802385v](https://doi.org/10.1021/jf802385v).
- [22] F. Menichini, R. Tundis, M. Bonesi, and M. Loizzo, “The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq cv. Habanero,” *Food Chem.*, vol. 114, no. 2, pp. 553–560, 2009, doi: [10.1016/j.foodchem.2008.09.086](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086).
- [23] K. Sanatombi and G. J. Sharma, “Capsaicin content and pungency of different *Capsicum spp.* cultivars,” *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, vol. 36, no. 2, pp. 89–90, 2008, doi: [10.15835/nbha362345](https://doi.org/10.15835/nbha362345).
- [24] G. F. Barbero, A. G. Ruiz, A. L. M. Palm, J. C. Vera, and C. G. Barroso, “Evolution of total and individual capsaicinoids in peppers during ripening of the Cayenne pepper plant (*Capsicum annuum* L.),” *Food Chem.*, vol. 153, pp. 200–206, 2014, doi: [10.1016/j.foodchem.2013.12.068](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.068).
- [25] S. L. Zhu, M. L. Wang, Y. T. He, S. W. Guo, T. T. Li, W. J. Peng, and D. Luo, “Capsaicin ameliorates intermittent high glucose-mediated endothelial senescence via the TRPV1/SIRT1 pathway,” *Phytomedicine*, vol. 100, p. 154081, 2022, doi: [10.1016/j.phymed.2022.154081](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154081).

- [26] H. N. Jang and T. J. Oh, "Pharmacological and nonpharmacological treatments for painful diabetic peripheral neuropathy," *Diabetes Metab. J.*, vol. 47, no. 6, pp. 743–756, 2023, doi: [10.4093/dmj.2023.0018](https://doi.org/10.4093/dmj.2023.0018).
- [27] A. M. Sánchez, S. Malagarie-Cazenave, N. Olea, D. Vara, A. Chiloeches, and I. Díaz-Laviada, "Apoptosis induced by capsaicin in prostate PC-3 cells involves ceramide accumulation, neutral sphingomyelinase, and JNK activation," *Apoptosis*, vol. 12, no. 11, pp. 2013–2024, 2007, doi: [10.1007/s10495-007-0119-z](https://doi.org/10.1007/s10495-007-0119-z).
- [28] Y. Zewdie and P. W. Bosland, "Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L." *Euphytica*, vol. 111, pp. 185–190, 2000, doi: [10.1023/A:1003837314929](https://doi.org/10.1023/A:1003837314929).
- [29] H. A. Gibbs and L. W. O'Garro, "Capsaicin content of West Indies hot pepper cultivars using colorimetric and chromatographic techniques," *HortScience*, vol. 39, no. 1, pp. 132–135, 2004, doi: [10.21273/HORTSCI.39.1.132](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.1.132).
- [30] D. Wang and P. W. Bosland, "The genes of *Capsicum*," *HortScience*, vol. 41, no. 5, pp. 1169–1187, 2006, doi: [10.21273/HORTSCI.41.5.1169](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1169).
- [31] A. Wesołowska, D. Jadczak, and M. Grzeszczuk, "Chemical composition of the pepper fruit extracts of hot cultivars *Capsicum annuum* L." *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, vol. 10, no. 1, pp. 171–184, 2011.
- [32] C. L. Biles, G. D. Kuehn, M. M. Wall, B. D. Bruton, and E. V. Wann, "Characterisation of chile pepper fruit peroxidases during ripening," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 35, no. 4, pp. 273–280, 1997.
- [33] M. A. Bernal, A. A. Calderon, M. A. Pedreno, R. Munoz, A. R. Barceló, and F. M. de Caceres, "Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (variety *annuum*) fruits," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 41, no. 7, pp. 1041–1044, 1993, doi: [10.1021/jf00031a004](https://doi.org/10.1021/jf00031a004).
- [34] F. B. Abeles and C. L. Biles, "Characterization of peroxidases in lignifying Peach fruit endocarp," *Plant Physiol.*, vol. 95, no. 1, pp. 269–273, 1991, doi: [10.1104/pp.95.1.269](https://doi.org/10.1104/pp.95.1.269).