



DOI:10.22144/ctujos.2023.222

KHẢ NĂNG CHỊU HẠN CỦA CAM ĐƯỜNG (*Limnocitrus littoralis* (Miq.) Sw.)

Nguyễn Văn Cường^{1*}, Nguyễn Quốc Sĩ² và Nguyễn Bá Phú²

¹Học viên cao học ngành Khoa học Cây trồng khóa 28, Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

²Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): cuongm0121002@gstudent.ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 09/06/2023

Sửa bài (Revised): 14/07/2023

Duyệt đăng (Accepted): 17/08/2023

Title: Drought tolerance of Duong oranges (*Limnocitrus littoralis* (Miq.) Sw.)

Author(s): Nguyen Van Cuong*,
Nguyen Quoc Si and Nguyen Ba Phu

Affiliation(s): Can Tho University

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định khả năng chống chịu hạn của cam đường; thực hiện từ 10/2022-12/2022 trong nhà màng với nhiệt độ và ẩm độ không khí trung bình tương ứng là 33,8°C và 64,9%. Thí nghiệm bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên, thừa số 2 nhân tố là môi trường (không và có xử lý hạn) và giống cam (đường, ba lá và mật), thí nghiệm có 30 lặp lại, 1 lặp lại là 1 cây/chậu. Kết quả cho thấy: cây cam đường duy trì màu sắc lá (ΔE^*ab) sau 25 ngày xử lý hạn. Điều kiện hạn có ảnh hưởng ít đến chỉ số diệp lục tố của cam đường. Hàm lượng proline trong lá cũng như khả năng tích lũy proline trong điều kiện hạn của cây cam đường rất thấp, cho thấy cam đường ít nhạy cảm với hạn. Cây cam đường có biểu hiện héo sau 23,8 ngày xử lý hạn và tỷ lệ cây chết (thân lá khô) sau 30 ngày xử lý hạn thấp (30%) khi ẩm độ cát còn 1,53%. Cây cam đường có sự sinh trưởng tương đương với điều kiện không xử lý hạn và có bộ rễ phát triển tốt. Sinh khối của cây cam đường cao hơn so với các giống trong cùng điều kiện hạn. Do đó, cây cam đường có khả năng chống chịu tốt với điều kiện hạn.

Từ khóa: Chống chịu, *Limnocitrus littoralis*, khô hạn, proline

ABSTRACT

The study was carried out to determine the drought tolerance of duong orange. It was implemented from 10/2022-12/2022 in a greenhouse, the average air temperature and humidity of 33,8°C and 64,9%, respectively. The experiment was arranged in a completely randomized design, with 2 factors: the environment (without and with drought treatment) and the orange varieties (duong, ba la, and mat). The experiment had 30 repeats, 1 repeat was 1 plant/pot. The results showed that duong orange trees maintained their leaf color (ΔE^*ab) after 25 drought days. Drought condition had less effect on the chlorophyll index of duong orange. The proline content in leaves and the ability to accumulate proline under drought condition of duong orange were both very low which indicated that duong orange were less sensitive to drought. Duong oranges trees showed signs of wilting after 23,8 drought days and the percentage of dead plants after 30 drought days was low (30%) when the sand moisture was 1,53%. Duong orange tree in drought condition was equivalent to normal conditions, the roots developed well. The plant biomass of duong orange was higher than that the others varieties under the same drought condition. Therefore, duong orange trees have good tolerance to drought conditions.

Keywords: Drought, *Limnocitrus littoralis*, proline, tolerant

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, khí hậu toàn cầu thay đổi, điều kiện môi trường bất lợi ảnh hưởng đến hệ thống canh tác

cam quýt (Vincent et al., 2020). Cam quýt khá nhạy cảm với tình trạng thiếu nước (Aparicio-Durán et al., 2021). Ở những vùng khô hạn và bán khô hạn, “stress” về nước đã hạn chế năng suất cây trồng, thiếu nước ở cam quýt làm giảm sinh trưởng và năng suất, làm giảm kích thước trái đôi khi là chất lượng trái dẫn đến thiệt hại kinh tế (Wu & Xia, 2006; Manner et al., 2006; Rodríguez-Gamir et al., 2010). Vì vậy, đã có một số nghiên cứu về giống cam quýt chịu hạn: theo García-Sánchez et al. (2007) đã chứng minh rằng Cleopatra (*Citrus resnhi* Hort. ex Tanaka chịu hạn cao hơn Carrizo citrange (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* L.). Trong nghiên cứu của Tuyết và ctv. (2016) tìm ra được giống cam 3 lá có khả năng chịu hạn tốt nhất so với các giống và có khả năng phục hồi sau 35 ngày xử lý hạn. Tuy nhiên, để duy trì và phát triển sản xuất cam quýt hiện nay cần có những gốc ghép cam quýt mới với khả năng chống chịu tốt với bất lợi phi sinh học và sinh học (Shafqat et al., 2019).

Cam đường là loài duy nhất trong chi *Limnocitrus* (họ Rutaceae) phân bố tự nhiên ở vùng ven biển Indonesia, Trung và Nam Việt Nam (Le et al., 2020). Cam đường có tên khoa học là (*Limnocitrus littoralis* (Miq.) Swingle), còn có tên gọi khác là đa từ biển. Theo Sauvan et al. (2009), các loài *Limnocitrus littoralis* (Miq.) Sw. có môi trường sống ở các vùng khô hạn và nóng. Ở Việt Nam, cam đường tập trung chủ yếu ven biển ở hai tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận (Hộ, 2003; Nguyen et al., 2022). Cây dạng bụi cao 1-2 m, cành không có lông, gai mọc thẳng to. Lá dai cứng và không có lông, hoa trắng thơm có 4-5 cánh và có 8-10 tiểu

nhụy, trái nhỏ màu cam to 3-4 cm ít múi và chứa từ 1 đến 3 hạt có từ diệp màu xanh, thịt trái rất ngọt (Hộ, 2003).

Để làm cơ sở cho việc sử dụng cam đường làm gốc ghép trên cam quýt trong điều kiện bất lợi thì việc đầu tiên cần xác định khả năng chống chịu hạn là hết sức cần thiết. Bài viết này đánh giá khả năng chống chịu hạn của cam đường (*Limnocitrus littoralis* (Miq.) Sw.) được thực hiện.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thí nghiệm được thực hiện từ 10/2022 đến 12/2022 tại Trại Nghiên cứu và Thực nghiệm Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ.

Thí nghiệm bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên 2 nhân tố: Nhân tố 1 là môi trường gồm 2 mức độ: xử lý hạn và không xử lý hạn, nhân tố 2 là giống, gồm 3 giống: cam đường, cam ba lá (đối chứng dương, giống có khả năng chống chịu hạn tốt, theo Tuyết và ctv., 2016) và cam mật (đối chứng âm, theo Wu and Zou (2013) loài *Citrus sinensis* L. nhạy cảm với hạn), thí nghiệm có 30 lặp lại, mỗi lặp lại là 1 cây/chậu.

Cây con 4 tháng tuổi của các giống được gieo từ hạt đồng đều về kích thước, khỏe mạnh và không sâu bệnh. Cây được trồng vào chậu nhựa thể tích 0,5 L cát trắng, tưới 20 mL nước, 2 ngày/lần, vừa đủ để nước không thoát ra khỏi đáy chậu với ẩm độ 60-70% (được đo bằng máy ẩm độ Takemura DM-15 Nhật Bản), sau 10 ngày tưới dung dịch dinh dưỡng Hoagland cải tiến theo Zhou et al. (2019) thành phần dinh dưỡng được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Công thức dinh dưỡng Hoagland cải tiến theo Zhou et al. (2019)

Dinh dưỡng	Tên chất	Khối lượng phân tử	Lượng sử dụng (mg/L)
Đa lượng	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236,1	945
	KNO ₃	101,1	607
	MgSO ₄ .7H ₂ O	246,5	493
	NH ₄ H ₂ PO ₄	115	115
Vi lượng	Na ₂ Fe-EDTA	390	19,5
	H ₃ BO ₃	61,8	1,43
	MnCl ₂ .4H ₂ O	197,9	1,81
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	287,5	0,22
	CuSO ₄ .5H ₂ O	249,7	0,08
	H ₂ MoO ₄	180	0,02

Ngày tiến hành xử lý hạn: Sau 30 ngày cây được trồng vào chậu (khi tất cả cây đã ổn định). Nhóm cây xử lý hạn và nhóm cây không hạn được tưới nước như mô tả ở trên. Các ngày sau đó, nhóm cây hạn không được tưới, nhóm cây không hạn được tưới 20 mL dung dịch dinh dưỡng 2 ngày/lần.

Chỉ tiêu theo dõi

Ẩm độ giá thể (%) được đo bằng máy ẩm độ Takemura DM-15 Nhật Bản, 5 ngày/lần.

Màu sắc lá (ΔE^*ab) được đo bằng máy Konica Minolta CR-20 Nhật Bản và chỉ số diệp lục tố (SPAD) được đo bằng máy Chlorophyll meter

SPAD-502 Plus Nhật Bản, 5 ngày/lần ở lá thứ 2 từ trên xuống và còn biểu hiện màu xanh.

Tốc độ thoát hơi nước ở lá ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) được đo bằng máy SC-1 Leaf Porometer Nhật Bản sau 20 ngày xử lý hạn.

Hàm lượng proline trong lá ($\mu\text{mol}/\text{g}$) được phân tích theo phương pháp của Bates et al. (1973) sau 20 ngày xử lý hạn.

Tỷ lệ cây sống (%), tỷ lệ cây héo (%) và tỷ lệ cây chết (%): (số cây tương ứng/tổng số cây) x 100: Cây còn sống khi biểu hiện lá tươi, có thể xuất hiện chồi; cây héo khi lá có biểu hiện xếp, cuộn lại, cây chết khi khô phần lá, khô toàn cây (Shafqat et al., 2019).

Ngày cây héo (ngày) được ghi nhận khi cây bắt đầu có biểu hiện lá héo.

Khi 90% số cây héo hoặc khô phần lá, khô toàn cây (chết) ở nghiệm thức đối chứng âm (Hạn-cam mật) kết thúc thí nghiệm, các chỉ tiêu được tiến hành ghi nhận, bao gồm: chiều cao cây (cm), đường kính thân (mm), chiều dài chồi mới (cm), số lá/chồi, chiều dài rễ (cm), chiều dài rễ tăng sau khi xử lý (cm), biểu hiện về hình thái lá/rễ, khối lượng (g) tươi và khô (thân lá, rễ và toàn cây), hàm lượng nước (%) (thân lá, rễ và toàn cây): (khối lượng tươi – khối lượng khô tương ứng)/khối lượng tươi x 100.

Phương pháp phân tích số liệu

Số liệu thu thập được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel. Kiểm định Chi bình phương (χ^2). Phân tích phương sai (ANOVA), kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa 5% để so sánh sự khác biệt giữa các nghiệm thức bằng phần mềm SPSS 20.0.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Màu sắc lá (ΔE^*ab)

Bảng 2 cho thấy ở thời điểm 0 ngày sau khi xử lý (NSKXL) và 5 NSKXL màu sắc lá (ΔE^*ab) trong điều kiện hạn và không hạn tương đương nhau ($P>0,05$) (58,2-58,4 và 59,1-58,4). Tuy nhiên, từ thời điểm 10, 15, 20, 25 và 30 NSKXL hạn, độ lệch màu sắc lá (ΔE^*ab) trong điều kiện hạn thấp hơn không hạn ($P<0,05$).

Thời điểm 15, 20, 25 và 30 NSKXL có tương tác giữa giống và môi trường hạn lên độ lệch màu lá. Từ thời điểm 15 đến 25 NSKXL hạn cam đường ở điều kiện hạn và không hạn tương đương nhau ($P>0,05$) (tại thời điểm 25 NSKXL hạn lần lượt 52,1 và 57,4). Theo Việt (2002), trong điều kiện cây thiếu nước hoặc “stress” do muối khi đến ngưỡng chịu đựng có dấu hiệu mất màu lá, giảm tăng trưởng. Có thể thấy, cam đường có khả năng duy trì tốt màu sắc lá trong 25 ngày gây hạn.

Bảng 2. Màu sắc lá (ΔE^*ab) của các giống theo thời gian xử lý khô hạn

Nghiệm thức	Ngày sau khi xử lý						
	0	5	10	15	20	25	30
Không hạn-cam đường	57,2	57,2	57,2	57,2 ^c	57,2 ^b	57,4 ^{cd}	58,5 ^b
Không hạn-cam ba lá	59,3	59,8	60,8	60,9 ^a	61,5 ^a	61,9 ^a	62,4 ^a
Không hạn-cam mật	58,8	60,3	61,8	61,6 ^a	61,5 ^a	60,9 ^a	60,4 ^{ab}
Hạn-cam đường	56,0	56,2	56,4	56,8 ^c	56,7 ^b	52,1 ^d	48,3 ^c
Hạn-cam ba lá	58,3	58,4	58,5	57,5 ^b	56,9 ^b	54,9 ^c	50,8 ^d
Hạn-cam mật	60,5	60,8	61,1	61,6 ^a	61,2 ^a	58,3 ^{bc}	53,8 ^c
TB môi trường (A)							
Không hạn	58,4	59,1	59,9	59,9	60,1	60,0	60,4
Hạn	58,2	58,4	58,7	58,6	58,3	55,1	51,0
TB giống (B)							
Cam đường	56,6 ^B	56,7 ^C	56,8 ^C	57,0 ^C	56,9 ^C	54,7 ^B	53,4 ^B
Cam ba lá	58,8 ^A	59,1 ^B	59,6 ^B	59,2 ^B	59,2 ^B	58,4 ^A	56,6 ^A
Cam mật	59,6 ^A	60,5 ^A	61,5 ^A	61,6 ^A	61,4 ^A	59,6 ^A	57,1 ^A
Mức ý nghĩa (A)	ns	ns	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	*	*	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (AxB)	ns	ns	ns	*	*	*	*
CV (%)	6,32	5,00	3,65	3,01	3,36	7,16	7,59

Ghi chú: ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; Trong cùng một cột, các số có chữ cái (viết thường hoặc viết hoa) theo sau giống nhau khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

3.2. Chỉ số diệp lục tố (chỉ số SPAD)

Kết quả Bảng 3 cho thấy ở thời điểm 0 và 5 NSKXL hạn, chỉ số diệp lục tố giữa hạn và không hạn tương đương nhau ($P>0,05$) (52,1-49,7 và 53,9-51,4). Bắt đầu từ 10 NSKXL hạn trở đi chỉ số diệp lục tố trong điều kiện hạn thấp hơn không hạn, tại 30 NSKXL hạn chỉ số diệp lục tố ở điều kiện hạn (46,6) thấp hơn không hạn (58,7) ($P<0,05$). Thiếu nước gây ảnh hưởng rõ rệt đến hàm lượng diệp lục, làm tổn thương lục lạp của lá, hạn chế quá trình quang hợp trong cơ thể cây trồng (Shafqat et al., 2019). Giảm hàm lượng diệp lục tố là triệu chứng chung của stress oxy hóa trong điều kiện khô hạn,

có thể xảy ra do sự thoái hóa của chlorophyll và quá trình oxy hóa quang học (Hussain et al., 2018).

Trong thời gian xử lý hạn không có sự tương tác giữa môi trường hạn và giống lên chỉ số diệp lục tố. Từ 10-30 NSKXL hạn cây cam đường có chỉ số diệp lục tố tương đương với 2 giống còn lại ($P>0,05$). Tuy nhiên, ở thời điểm 30 NSKXL hạn, cam đường ở điều kiện hạn có chỉ số diệp lục tố (46,3) giảm 16,7% so với điều kiện không hạn (55,6), trong khi đó ở cam ba lá là 20,5% (hạn: 47,8 và không hạn: 60,1) và cam mật là 24,2% (hạn: 45,7 và không hạn: 60,3). Điều đó có thể cho thấy ảnh hưởng của hạn đến chỉ số diệp lục tố của cam đường ít hơn cam ba lá và cam mật.

Bảng 3. Chỉ số diệp lục tố (chỉ số SPAD) của các giống theo thời gian xử lý khô hạn

Thí nghiệm thứ	Ngày sau khi xử lý						
	0	5	10	15	20	25	30
Không hạn-cam đường	53,9	54,1	54,4	54,9	55,4	55,7	55,6
Không hạn-cam ba lá	54,9	56,5	57,4	58,1	58,7	59,4	60,1
Không hạn-cam mật	47,4	51,0	54,4	57,7	59,8	61,0	60,3
Hạn-cam đường	50,9	50,5	51,1	50,9	51,7	50,5	46,3
Hạn-cam ba lá	52,2	53,8	53,8	53,7	52,9	49,9	47,8
Hạn-cam mật	46,1	50,0	52,9	54,1	53,3	51,8	45,7
TB môi trường (A)							
Không hạn	52,1	53,9	55,4	56,9	58,0	58,7	58,7
Hạn	49,7	51,4	52,6	52,9	52,6	50,7	46,6
TB giống (B)							
Cam đường	52,4 ^A	52,3 ^A	52,8	52,9	53,5	53,1	51,0
Cam ba lá	53,5 ^A	55,1 ^A	55,6	55,9	55,8	54,7	53,9
Cam mật	46,7 ^B	50,5 ^B	53,6	56,1	56,6	56,5	53,0
Mức ý nghĩa (A)	ns	ns	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Mức ý nghĩa (Ax B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18,9	17,8	16,3	15,4	15,0	15,5	20,9

Ghi chú: ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; Trong cùng một cột, các số có chữ cái (viết thường hoặc viết hoa) theo sau giống nhau khác biệt không có ý nghĩa thống kê

3.3. Tốc độ thoát hơi nước qua lá và hàm lượng proline

Bảng 4 cho thấy tốc độ thoát hơi nước qua lá (20 NSKXL) trong môi trường hạn (30,3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) thấp hơn không hạn (94,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ($P<0,05$). Trung bình tốc độ thoát hơi nước qua lá các giống tương đương nhau ($P>0,05$) (dao động 56,4-65,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Có sự tương tác giữa giống và môi trường hạn lên tốc độ thoát hơi nước qua lá. Cụ thể, trong điều kiện không hạn, tốc độ thoát hơi nước qua lá cam đường (77,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) thấp hơn 2 giống còn lại ($P<0,05$). Tuy nhiên, trong điều kiện hạn, tốc độ thoát hơi nước qua lá cam đường (35,0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) tương đương cam mật ($P>0,05$) (37,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) cao hơn cam ba lá ($P<0,05$) (18,6

$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Theo Germana et al. (2020), trong điều kiện khô hạn sự thiếu nước làm tăng nồng độ axit abscisic trong lá gây đóng khí khổng. Chính vì vậy, hạn làm giảm tốc độ thoát hơi nước của lá ở cam quýt (García-Sánchez et al., 2007; Zandalinas et al., 2016). Tuy nhiên, sau 30 ngày xử lý hạn, tốc độ thoát hơi nước qua lá cam đường (từ 77,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ xuống 35,0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ít bị ảnh hưởng hơn cam ba lá (từ 111,9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ xuống 18,6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) và cam mật (từ 93,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ xuống 37,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Như vậy, sau 20 NSKXL hạn, cam đường vẫn có khả năng hút nước tốt dẫn đến tốc độ thoát hơi nước qua lá ít bị ảnh hưởng hơn hai giống còn lại.

Bảng 4. Tốc độ thoát hơi nước qua lá ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) và hàm lượng proline ($\mu\text{mol}/\text{g}$) trong lá của các giống sau 20 ngày xử lý khô hạn

Nghiệm thức	Tốc độ bốc thoát hơi nước qua lá ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Hàm lượng proline trong lá ($\mu\text{mol}/\text{g}$)
Không hạn-cam đường	77,7 ^c	10,4 ^f
Không hạn-cam ba lá	111,9 ^a	52,6 ^d
Không hạn-cam mật	93,7 ^b	67,2 ^c
Hạn-cam đường	35,0 ^d	14,9 ^e
Hạn-cam ba lá	18,6 ^e	80,3 ^b
Hạn-cam mật	37,2 ^d	101,1 ^a
TB môi trường (A)		
Không hạn	94,5	43,4
Hạn	30,3	65,4
TB giống (B)		
Cam đường	56,4	12,6 ^C
Cam ba lá	65,3	66,5 ^B
Cam mật	65,4	84,2 ^A
Mức ý nghĩa (A)	*	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	*
Mức ý nghĩa (AxB)	*	*
CV (%)	45,8	7,39

Ghi chú: ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; Trong cùng một cột, các số có chữ cái (viết thường hoặc viết hoa) theo sau giống nhau khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

Bảng 4 cho thấy trong điều kiện hạn hàm lượng proline trong lá ($65,4 \mu\text{mol}/\text{g}$) cao hơn không hạn ($43,4 \mu\text{mol}/\text{g}$) ($P < 0,05$). Trung bình hàm lượng proline ở cam đường thấp nhất ($12,6 \mu\text{mol}/\text{g}$) kể đến là cam ba lá ($66,5 \mu\text{mol}/\text{g}$) và cao nhất ở cam mật ($84,2 \mu\text{mol}/\text{g}$) ($P < 0,05$). Ngoài ra, có sự tương tác giữa giống và môi trường lên hàm lượng proline trong lá. Trong điều kiện hạn và không hạn cam đường có hàm lượng proline trong lá (lần lượt là $14,9 \mu\text{mol}/\text{g}$ và $10,4 \mu\text{mol}/\text{g}$) thấp hơn 2 giống còn lại ($P < 0,05$). Theo Molinari et al. (2004), thiếu nước gây ra những thay đổi sinh hóa và sinh lý, giảm tiềm năng thẩm thấu tế bào. Nhiều loài thực vật phản ứng khi thiếu nước bằng cách tích lũy các hợp chất hữu cơ chẳng hạn như acid amin proline. Proline là một trong những chất hòa tan tương thích được phân bố rộng rãi nhất, tích tụ trong thực vật khi gặp những hạn chế bất lợi về môi trường và đóng vai trò quan trọng trong khả năng chống chịu “stress” của thực vật. Do đó, proline giúp cây trồng chống chịu trong điều kiện khô hạn (Việt, 2002; Manivannan et al., 2007; Parida et al., 2008). Tuy nhiên, theo Signorelli et al. (2013), những nghiên cứu gần đây đã đề cập đến việc proline không có khả năng giúp cây chống chịu với điều kiện thiếu nước. Điều này dẫn đến việc xem xét lại vai trò của proline đối với thực vật đang bị “stress”. Có thể thấy, hàm lượng proline trong lá của cam mật cao nhất (giống nhạy cảm khô hạn), kể đến cam ba lá (giống chống chịu hạn tốt), thấp nhất

là cam đường phải chăng những giống càng nhạy cảm thì sản sinh proline càng nhiều để chống lại khô hạn. Ngoài ra, kết quả trên phù hợp với nghiên cứu của Kaur and Asthir (2015), Zandalinas et al. (2017), mô tả rằng sự tích lũy proline tăng lên nhiều đối với những kiểu gen nhạy cảm với khô hạn so với các kiểu gen chống chịu tốt. Điều này có thể là do vai trò tự bảo vệ của nó có khả năng loại bỏ, duy trì cân bằng oxy hóa khử và giảm chết tế bào ở cây (Shao et al., 2008; Szabados & Savouré, 2010). Chính vì vậy, có thể cam đường ít nhạy cảm với điều kiện khô hạn nên khả năng tích lũy proline trong lá thấp hơn hai giống còn lại.

3.4. Ẩm độ cát

Bảng 5 cho thấy ẩm độ cát ở ngày bắt đầu (0 NSKXL) giữa hạn và không hạn tương đương nhau ($P > 0,05$) (lần lượt $62,7\%$ và $62,8\%$). Từ 5 NSKXL đến khi kết thúc thí nghiệm (30 NSKXL) ẩm độ cát ở môi trường hạn giảm liên tục từ $43,4\%$ còn $1,46\%$. Từ 20 NSKXL, ẩm độ cát rất thấp (dưới 5%). Trong khi ở điều kiện không hạn, ẩm độ cát được duy trì từ $61,2\%$ - $68,3\%$. Từ 0 NSKXL đến 30 NSKXL hạn, trung bình ẩm độ cát ở các giống tương đương nhau ($P > 0,05$) và không có sự tương tác giữa môi trường và giống.

Bảng 5. Ẩm độ cát theo thời gian xử lý khô hạn

Nghiem thức	Ngày sau khi xử lý						
	0	5	10	15	20	25	30
Không hạn-cam đường	61,7	64,6	66,4	63,6	63,6	61,2	68,3
Không hạn-cam ba lá	63,1	61,5	62,9	65,5	62,5	66,1	64,3
Không hạn-cam mật	63,8	61,9	61,6	63,8	64,4	64,6	63,1
Hạn-cam đường	64,5	43,5	27,3	13,3	3,00	2,30	1,53
Hạn-cam ba lá	61,9	47,6	33,6	15,8	4,22	2,07	1,67
Hạn-cam mật	61,6	39,0	26,8	10,4	2,22	1,56	1,18
TB môi trường (A)							
Không hạn	62,8	62,7	63,6	64,3	63,5	64,0	65,3
Hạn	62,7	43,4	29,2	13,2	3,26	1,98	1,46
TB giống (B)							
Cam đường	63,1	54,1	46,9	38,5	33,3	31,7	34,9
Cam ba lá	62,5	54,6	48,2	40,6	33,3	34,1	33,0
Cam mật	62,7	50,4	44,2	37,4	33,5	33,1	32,2
Mức ý nghĩa (A)	ns	*	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mức ý nghĩa (AxB)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1,69	3,14	3,45	2,12	3,00	4,72	3,71

Ghi chú: ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%.

3.5. Ngày cây biểu hiện héo lá và tỷ lệ cây sống, cây héo, cây chết

Trong điều kiện có xử lý khô hạn trung bình giống cam đường có biểu hiện héo lá sau 23,8 ngày kể từ thời điểm ngưng tưới nước và khác biệt không ý nghĩa ($P>0,05$) với cam ba lá (22,7 ngày), đồng thời lớn hơn cam mật ($P<0,05$) (21,2 ngày). Sau 20 ngày gây hạn, tỷ lệ cây sống (thân lá tươi) ở cam đường là 100%, cam ba lá và cam mật đều 93,3%. Thời điểm 25 NSKXL hạn tỷ lệ cây sống (thân lá tươi) ở cam đường là 70,0%, trong khi cam ba lá 43,3% và cam mật 30,0%. Tại thời điểm 30 NSKXL hạn tỷ lệ cây còn sống (thân lá tươi) ở cam đường và cam ba lá là 13,3% ở cam Mật (0,0%). Bên cạnh đó, tại thời điểm 30 NSKXL hạn, tỷ lệ cây héo ở

cam đường là 56,7%, cam ba lá (40,0%) và cam mật (30,0%), tỷ lệ cây chết (thân lá khô) ở cây cam đường thấp (30%) trong khi cam mật (70%) và cam ba lá (46,7%).

Theo Romero et al. (2006) sự thiếu hụt nước tăng dần làm tế bào khí không đóng do giảm sức căng của tế bào biểu bì, hậu quả là quang hợp giảm, đôi khi hô hấp giảm, làm lá héo nếu mức độ thiếu hụt nghiêm trọng cây sẽ chết. Từ các kết quả ở Bảng 5 và Bảng 6 cho thấy, cam đường có khả năng sống (thân lá tươi) (70%) cao khi ẩm độ cát xuống thấp 2,30% ở 25 NSKXL hạn hay có tỷ lệ cây chết (thân lá khô) (30%) thấp ở 30 NSKXL hạn (kết thúc thí nghiệm) khi ẩm độ cát còn 1,53%, điều này cho thấy cam đường có khả năng chịu hạn tốt.

Bảng 6. Ngày cây héo (ngày) và tỷ lệ (%) cây sống, cây héo và cây chết của các giống tại các thời điểm sau khi xử lý khô hạn

Giống	Ngày cây héo (ngày)	Tỷ lệ (%) cây sống [#] theo NSKXL			Tỷ lệ (%) cây héo theo NSKXL			Tỷ lệ (%) cây chết [#] theo NSKXL		
		20	25	30	20	25	30	20	25	30
		Cam đường	23,8 ^a	100	70,0	13,3	0,00	23,3	56,7	0,00
Cam ba lá	22,7 ^{ab}	93,3	43,3	13,3	6,70	50,0	40,0	0,00	6,70	46,7
Cam mật	21,2 ^b	93,3	30,0	0,0	6,70	63,3	30,0	0,00	6,70	70,0
Mức ý nghĩa	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
χ^2 (cam đường-cam ba lá)	-	ns	*	-	*	*	ns	-	-	ns
χ^2 (cam đường-cam mật)	-	ns	*	*	*	*	*	-	-	*
χ^2 (cam ba lá-cam mật)	-	-	ns	*	ns	ns	ns	-	-	ns

Ghi chú: [#]: Cây sống lá còn tươi, phát triển bình thường, cây chết khô phần lá, khô toàn thân; -: Không thống kê; ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%.

3.6. Sự sinh trưởng

Các chỉ tiêu sinh trưởng (chiều cao cây, đường kính thân, chiều dài chồi, số lá/chồi, chiều dài rễ tăng sau khi xử lý) các giống trong điều kiện hạn thấp hơn so với không hạn ($P < 0,05$) (Bảng 7 và Hình 1). Giữa các giống, cây cam đường có chiều cao cây (12,5 cm), đường kính thân (1,53 mm) tương đương với cam ba lá và cam mật; tuy nhiên, cây cam đường có chiều dài chồi (0,83 cm) và số lá/chồi (0,93 lá) rất thấp so với cam ba lá và cam mật. Theo Santana-Vieira et al. (2016), để giảm diện tích tiếp xúc với môi trường, số lá trên cây giảm hoặc lá nhỏ hơn trong điều kiện hạn cũng có thể được xem là một cơ chế khác của cây để giảm việc mất nước qua lá. Mặt khác, cây cam đường lại có bộ rễ phát triển mạnh hơn cam ba lá và cam mật được thể hiện thông qua chỉ tiêu: chiều dài rễ (21,6 cm) và chiều dài rễ tăng sau khi xử lý (14,1 cm). Theo Việt (2002), Farooq et al. (2012), Manavalan and Nguyen (2017), để tăng khả năng chống chịu khô hạn thực vật sẽ phát triển hệ thống rễ ăn sâu và khỏe để có thể hấp thụ nước, độ sâu và mật số rễ tăng lên được cho là một cơ chế chính để cải thiện khả năng hút nước trong điều kiện khô hạn. Sự phát triển của chồi và rễ rất quan trọng đối với cây trồng trong môi trường hạn và nhiệt độ cao (Goufo et al., 2017; Huang et al., 2018). Với đặc điểm ra chồi ít (ít tổn dinh dưỡng và nước) và bộ rễ phát triển mạnh (tăng khả năng hút

nước) có phải chăng đây là đặc điểm giúp cây cam đường có khả năng chịu hạn tốt.

Bảng 7 cho thấy có sự tương tác giữa giống với môi trường. Cây cam đường giữa điều kiện hạn và không hạn có chiều cao cây, chiều dài chồi, số lá/chồi tương đương nhau ($P > 0,05$) hay nói cách khác là không có sự chênh lệch lớn. Các chỉ tiêu về rễ của cây cam đường (chiều dài rễ, chiều dài rễ tăng sau khi xử lý) trong điều kiện hạn tuy có thấp hơn so với điều kiện không hạn, nhưng các đặc điểm này tương đương hay lớn hơn so với các giống còn lại trong cả 2 điều kiện hạn và không hạn. Theo Việt (2002), Germana et al. (2020), khô hạn hay thiếu nước sẽ làm giảm khả năng tăng trưởng và phát triển của thực vật do quá trình đóng khí khổng để hạn chế mất nước ảnh hưởng đến sự quang hợp của cây và sự phát triển của chồi. Mặt khác, khô hạn và nắng nóng làm hạn chế tăng trưởng chiều cao của cây so với điều kiện đủ nước và dinh dưỡng (Shafqat et al., 2019). Ngoài ra, theo Patade et al. (2011), sự phát triển chiều dài của rễ khi cây bị khô hạn là một cơ chế thích nghi tạo điều kiện cho sự hấp thụ nước ở nơi sâu hơn. Có thể thấy, sự sinh trưởng của cây cam đường trong điều kiện hạn tương đương với khi trong điều kiện bình thường. Điều này có thể cho thấy cây cam đường có khả năng chống chịu tốt hay nói cách khác ít nhạy cảm trong điều kiện hạn so với cam ba lá và cam mật.

Bảng 7. Sự sinh trưởng của các giống khi kết thúc thí nghiệm (sau 30 ngày xử lý hạn)

Nghiem thuc	Chiều cao cây (cm)	Đường kính thân (mm)	Chiều dài chồi (cm)	Số lá/chồi ⁺⁺	Chiều dài rễ (cm)	Chiều dài rễ tăng sau khi xử lý (cm)
Không hạn-cam đường	12,4 ^b	1,76 ^a	0,85 ^d	0,95 ^d	25,4 ^a	17,4 ^a
Không hạn-cam ba lá	14,1 ^a	1,20 ^{bc}	5,22 ^a	4,48 ^a	16,2 ^b	10,0 ^{bc}
Không hạn-cam mật	14,5 ^a	1,85 ^a	3,36 ^b	3,50 ^b	15,7 ^b	9,6 ^c
Hạn-cam đường	12,7 ^b	1,29 ^b	0,80 ^d	0,90 ^d	17,9 ^b	10,9 ^b
Hạn-cam ba lá	10,7 ^c	1,81 ^a	2,54 ^c	2,82 ^c	15,0 ^b	9,4 ^c
Hạn-cam mật	10,6 ^c	1,08 ^c	2,57 ^c	2,81 ^c	18,6 ^b	7,0 ^d
TB môi trường (A)						
Không hạn	13,7	1,61	3,14	2,98	19,1	12,3
Hạn	11,3	1,40	1,97	2,18	17,1	9,1
TB giống (B)						
Cam đường	12,5	1,53	0,83 ^C	0,93 ^B	21,6 ^A	14,1 ^A
Cam ba lá	12,4	1,51	3,88 ^A	3,65 ^A	15,6 ^B	9,7 ^B
Cam mật	12,5	1,47	2,97 ^B	3,16 ^A	17,1 ^B	8,3 ^C
Mức ý nghĩa (A)	*	*	*	*	ns	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	ns	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (AxB)	*	*	*	*	*	*
CV (%)	14,9	21,3	45,5	37,5	60,8	21,8

Ghi chú: ++: Số liệu chuyển đổi theo dạng $\log(x+1)$; ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; Trong cùng một cột, các số liệu có chữ cái theo sau giống nhau khác biệt không có ý nghĩa thống kê



Hình 1. Biểu hiện của các giống khi kết thúc thí nghiệm (sau 30 ngày xử lý hạn)

Ghi chú: (A) Không hạn-cam đường, (B) Không hạn-cam ba lá, (C) Không hạn-cam mật, (A') Hạn-cam đường, (B') Hạn-cam ba lá, (C') Hạn-cam mật

3.7. Sinh khối cây

Các đặc điểm về khối lượng thân lá tươi, khối lượng thân lá khô, hàm lượng nước trong thân lá của các giống trong điều kiện hạn thấp hơn so với không hạn ($P < 0,05$) (Bảng 8). Giữa các giống, khối lượng thân lá tươi cây cam đường tương đương 2 giống còn lại ($P > 0,05$) (dao động 0,87-0,96 g). Khối lượng thân lá khô cam đường (0,50 g) cao hơn cam mật (0,41 g) và hàm lượng nước trong thân lá cam đường (38,3% thấp hơn 2 giống còn lại. Có sự tương tác giữa giống và môi trường lên sinh khối thân lá. Khối lượng tươi của thân lá cam đường khi xử lý hạn (0,59 g) tương đương ($P > 0,05$) cam ba lá (0,53 g) và lớn hơn ($P < 0,05$) cam mật (0,39 g). Có thể thấy hạn làm cản trở sự phát triển và sinh trưởng của cây, làm giảm tổng thể khối lượng tươi và khô của cây (Shafqat et al., 2019). Trong điều kiện hạn cam đường có khối lượng thân lá khô (0,48 g) tương đương với các giống trong điều kiện không xử lý hạn ($P > 0,05$) (0,50-0,53 g). Sự phát triển của cây hoặc năng suất cây trồng phụ thuộc chất khô do quang hợp và lượng sắc tố quang hợp (Zheng et al., 2009). Kết quả trên cho thấy cây cam đường có khả năng tăng trưởng sinh khối tốt trong điều kiện hạn.

Bảng 8. Sinh khối của các giống khi kết thúc thí nghiệm (sau 30 ngày xử lý hạn)

Thí nghiệm	Thân lá			Rễ			Toàn cây		
	Khối lượng (g)		Hàm lượng nước (%)	Khối lượng (g)		Hàm lượng nước (%)	Khối lượng (g)		Hàm lượng nước (%)
	Tươi	Khô		Tươi	Khô		Tươi	Khô	
Không hạn-cam đường	1,24 ^b	0,52 ^a	58,2 ^b	0,63 ^{bc}	0,29	52,5 ^d	1,86 ^b	0,80	56,5 ^c
Không hạn-cam ba lá	1,20 ^b	0,53 ^a	55,4 ^b	1,10 ^a	0,37	66,9 ^{ab}	2,30 ^a	0,89	61,2 ^b
Không hạn-cam mật	1,52 ^a	0,50 ^a	66,7 ^a	0,68 ^b	0,18	72,4 ^a	2,20 ^a	0,68	68,6 ^a
Hạn-cam đường	0,59 ^c	0,48 ^a	18,4 ^d	0,56 ^{cd}	0,24	56,9 ^{cd}	1,16 ^c	0,70	37,9 ^e
Hạn-cam ba lá	0,53 ^c	0,39 ^b	26,5 ^c	0,53 ^{de}	0,39	26,4 ^c	1,06 ^c	0,79	26,5 ^f
Hạn-cam mật	0,39 ^d	0,31 ^c	20,4 ^d	0,44 ^e	0,17	61,4 ^{bc}	0,84 ^d	0,48	42,6 ^d
TB môi trường (A)									
Không hạn	1,32	0,51	60,1	0,80	0,28	63,9	2,12	0,79	62,1
Hạn	0,51	0,40	21,8	0,51	0,27	48,3	1,01	0,66	35,7
TB giống (B)									
Cam đường	0,91	0,50 ^A	38,3 ^B	0,60 ^B	0,26 ^B	54,7 ^B	1,51 ^B	0,76 ^B	47,2 ^B
Cam ba lá	0,87	0,46 ^A	40,9 ^{AB}	0,82 ^A	0,38 ^A	46,8 ^C	1,68 ^A	0,84 ^A	43,9 ^C
Cam mật	0,96	0,41 ^B	43,5 ^A	0,56 ^B	0,18 ^B	66,9 ^A	1,52 ^B	0,58 ^C	55,6 ^A
Mức ý nghĩa (A)	*	*	*	*	ns	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (AxB)	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*
CV (%)	25,0	27,8	20,7	27,2	36,8	19,3	24,1	30,2	17,5

Ghi chú: ns: Khác biệt không ý nghĩa thống kê; *: Khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; Trong cùng một cột, các số có chữ cái (viết thường hoặc viết hoa) theo sau giống nhau khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

Các đặc điểm khối lượng rễ tươi, hàm lượng nước trong rễ ở điều kiện hạn thấp hơn không hạn (Bảng 7). Tuy nhiên, khối lượng rễ khô ở điều kiện hạn (0,27 g) và không hạn (0,28 g) tương đương nhau ($P>0,05$). Các chỉ tiêu khối lượng rễ tươi, khối lượng rễ khô, hàm lượng nước trong rễ các giống có sự chênh lệch. Cụ thể, khối lượng rễ tươi, khối lượng rễ khô cam đường tương đương với cam mật ($P>0,05$). Tuy nhiên, hàm lượng nước trong rễ cam đường (54,7%) và lớn hơn cam ba lá (46,8%) ($P<0,05$). Theo Habben et al. (2014), sự gia tăng khối lượng và cấu trúc của rễ và chồi giúp cải thiện tốc độ quang hợp, giúp tăng cường khả năng chống chịu của cây đối với các điều kiện khắc nghiệt. Trong điều kiện khô hạn, cam đường có khả năng duy trì lượng nước trong rễ hơn 2 giống còn lại có thể thấy cam đường chống chịu tốt trong điều kiện hạn.

Bảng 7 cho thấy khối lượng tươi, khối lượng khô và hàm lượng nước trong toàn cây ở điều kiện hạn thấp hơn không hạn. Khối lượng khô cây cam đường (0,76 g) cao hơn cam mật (0,58 g). Không có sự tương tác giữa giống và môi trường lên khối lượng khô toàn cây. Theo Shafqat et al. (2019) khả năng chống chịu hạn và nhiệt độ của cây càng tốt thì hàm lượng chất khô càng cao. Ngoài ra, hàm lượng nước trong cây ở cam đường (47,2%) và cao hơn cam ba lá (43,2%) ($P<0,05$). Có sự tương tác giữa giống và môi trường lên khối lượng cây tươi và hàm lượng

nước trong thân. Cụ thể, trong điều kiện hạn cây cam đường có khối lượng cây tươi, hàm lượng nước trong cây (lần lượt là 1,16 g và 37,9%) tương đương ($P>0,05$) hoặc lớn hơn ($P<0,05$) khối lượng cây tươi, hàm lượng nước trong cây cam ba lá (lần lượt 1,06 g và 26,5%). Theo Khanh và Bằng (2016), lượng nước trong cây là môi trường để các phản ứng sinh lý, hóa sinh xảy ra, vừa là sản phẩm của các quá trình trao đổi chất diễn ra trong cơ thể thực vật. Trong điều kiện hạn, cam cho sinh khối khô và hàm lượng nước cao chứng tỏ có khả năng sinh trưởng tốt trong điều kiện hạn.

4. KẾT LUẬN

Cây cam có màu sắc lá (ΔE^*ab) duy trì tốt trong 25 ngày xử lý hạn. Điều kiện hạn có ảnh hưởng ít đến chỉ số diện lục tố của cam đường. Hàm lượng proline trong lá cũng như khả năng tích lũy proline trong điều kiện hạn của cây cam đường rất thấp, cho thấy cam đường ít nhạy cảm với hạn. Cây cam đường có biểu hiện héo sau 23,8 ngày xử lý hạn và tỷ lệ cây chết (thân lá khô) sau 30 ngày xử lý hạn thấp (30%) khi ẩm độ đất còn 1,53%. Cây cam đường có sự sinh trưởng (chiều cao cây, đường kính thân, chiều dài chồi) tương đương với điều kiện không xử lý hạn và có bộ rễ phát triển tốt. Sinh khối của cây cam đường cao hơn so với các giống trong cùng điều kiện hạn. Do đó, cây cam đường có khả năng chống chịu tốt với điều kiện hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aparicio-Durán, L., Gmitter Jr, F. G., Arjona-López, J. M., Calero-Velázquez, R., Hervalejo, Á., & Arenas-Arenas, F. J. (2021). Water-stress influences on three new promising HLB-tolerant Citrus rootstocks. *Horticulturae*, 7(10), 336. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100336>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free Proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*, 1-33. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
- García-Sánchez, F., Syvertsen, J. P., Gimeno, V., Botía, P., & Perez-Perez, J. G. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532-542. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00925.x>
- Germana, M. A., Aleza, P., Grosser, J. W., Dutt, M., Wang, N., Cuenca, J., & Kaur, P. (2020). *Citrus biotechnology. In The Genus Citrus* (pp. 171-192). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00009-7>
- Goufo, P., Moutinho-Pereira, J. M., Jorge, T. F., Correia, C. M., Oliveira, M. R., Rosa, E. A., & Trindade, H. (2017). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. *Frontiers in Plant Science*, 8, 586. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00586>
- Habben, J. E., Bao, X., Bate, N. J., DeBruin, J. L., Dolan, D., Hasegawa, D., & Schussler, J. R. (2014). Transgenic alteration of ethylene biosynthesis increases grain yield in maize under field drought-stress conditions. *Plant Biotechnology Journal*, 12(6), 685-693. <https://doi.org/10.1111/pbi.12172>
- Hộ, P. H. (2003). *Cây cỏ Việt Nam*. Nhà xuất bản Trẻ, Thành phố Hồ Chí Minh.

- Huang, H., Yang, Z., Zhang, M., Li, Y., Zhang, J., & Hou, M. (2018). Effects of water stress on growth, photosynthesis, root activity and endogenous hormones of *Cucumis sativus*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(11), 2579-2589.
- Hussain, S., Khalid, M. F., Saqib, M., Ahmad, S., Zafar, W., Rao, M. J., & Anjum, M. A. (2018). Drought tolerance in citrus rootstocks is associated with better antioxidant defense mechanism. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s11738-018-2710-z>
- Kaur, G., & Asthir, B. J. B. P. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59, 609-619.
<https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>
- Manavalan, L. P., & Nguyen, H. T. (2017). Drought tolerance in crops: physiology to genomics. In *Plant Stress Physiology* (pp. 1-23). Wallingford UK: CABI.
<https://doi.org/10.1079/9781780647296.0001>
- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. A., & Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(2), 141-149.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.002>
- Manner, H. I., Buker, R. S., Smith, V. E., Ward, D., & Elevitch, C. R. (2006). Citrus (citrus) and Fortunella (kumquat). *Species Profile for Pacific Island Agroforestry*, 2, 1-35.
- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Bessalho Filho, J. C., Kobayashi, A. K., Pileggi, M., Júnior, R. P. L., & Vieira, L. G. E. (2004). Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. *Plant Science*, 167(6), 1375-1381.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.007>
- Khanh, N. N., & Bằng, C. P. (2016). Sinh lý học thực vật. *Nhà xuất bản Giáo dục Hà Nội*, 367.
- Nguyen, T. T. T., Nguyen, A. V., Diep, T. T., Doan, N. N., & Thi Nguyen, T. T. (2022). Essential oil profiles of seeds, peels, and leaves obtained from *Limnocitrus littoralis* (Miq.) Swingle species, in the Southcentral coast of Vietnam. *All Life*, 15(1), 908-920.
<https://doi.org/10.1080/26895293.2022.2112766>
- Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., & Aurangabadkar, L. P. (2008). Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), 619-627.
<https://doi.org/10.1007/s11738-008-0157-3>
- Patade, V. Y., Bhargava, S., & Suprasanna, P. (2011). Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions*, 6(4), 275-282.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2011.557513>
- Rodríguez-Gamir, J., Primo-Millo, E., Forner, J. B., & Forner-Giner, M. A. (2010). Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 95-102.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.015>
- Romero, P., Navarro, J. M., Pérez-Pérez, J. G., García-Sánchez, F., Gómez-Gómez, A., Porras, I., & Botía, P. (2006). Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of *Clemenules mandarin*. *Tree Physiology*, 26(12), 1537-1548.
<https://doi.org/10.1093/treephys/26.12.1537>
- Santana-Vieira, D. D. S., Freschi, L., Almeida, L. A. D. H., Moraes, D. H. S. D., Neves, D. M., Santos, L. M. D., & Gesteira, A. D. S. (2016). Survival strategies of citrus rootstocks subjected to drought. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1038/srep38775>
- Sauvan, N., Renimel, I., Lamy, C., & Dupont, D. (2009). *U.S. Patent No. 7,527,813*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Shafqat, W., Jaskani, M. J., Maqbool, R., Khan, A. S., & Ali, Z. (2019). Evaluation of citrus rootstocks against drought, heat and their combined stress based on growth and photosynthetic pigments. *Int J Agri Biol*, 22(5), 1001-1009.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Shao, M. A., Jaleel, C. A., & Hong-mei, M. (2008). Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *Comptes Rendus Biologies*, 331(6), 433-441.
<https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.03.011>
- Signorelli, S., Corpas, F. J., Borsani, O., Barroso, J., B., & Monza, J. (2013). Water stress induces a differential and spatially distributed nitro-oxidative stress response in roots and leaves of *Lotus japonicus*. *Plant Science*, 201, 137-146.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.12.004>
- Szabados, L., & Savouré, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89-97.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Le, N. T., Ho, D. V., Doan, T. Q., Le, A. T., Raal, A., Usai, D., & Donadu, M. G. (2020). Biological activities of essential oils from leaves of *Paramignya trimera* (Oliv.) Guillaum and

- Limnocitrus littoralis* (Miq.) Swingle. *Antibiotics*, 9(4), 207. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9040207>
- Tuyết, V. T., Hung, V. V., Hùng, N. Q., Lin, P. N., Hương, N. T. T., & Hạnh, N. T. H. (2016). Nghiên cứu đánh giá khả năng chống chịu hạn của một số loại gốc ghép cam quýt. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. Kỳ 1. 12/2016. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2016.094>
- Việt, B. T. (2002). Sinh lý thực vật vật đại cương. Thành phố Hồ Chí Minh. *Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh*, 349.
- Vincent, C., Morillon, R., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2020). Citrus in changing environments. In *The Genus Citrus* (pp. 271-289). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00013-9>
- Wu, Q. S., & Xia, R. X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163(4), 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024>
- Wu, Q. S., & Zou, Y. N. (2013). Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Plant, Soil and Environment*, 55(10), 436-442. <https://doi.org/10.17221/61/2009-PSE>
- Zandalinas, S. I., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2017). Modulation of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat stress tolerance in citrus. *Frontiers in Plant Science*, 8, 953. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00953>
- Zandalinas, S. I., Rivero, R. M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 16, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>
- Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Jing, Q., & Cao, W. (2009). Effects of salt and waterlogging stresses and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat. *Plant Science*, 176(4), 575-582. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.01.015>
- Zhou, G., Wei, Q., Li, B., Zeng, X., & Liu, G. (2019). Establishment and optimization of a hydroponic system for root morphological and nutritional analysis of citrus. *Scientia Agricola*, 77. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0261>