

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN HẠN Ở GIAI ĐOẠN RA HOA TỚI SINH TRƯỞNG VÀ NĂNG SUẤT CÂY DIÊM MẠCH

Lưu Huệ Nhân^{1,2}, Nguyễn Văn Lộc¹, Nguyễn Việt Long^{1*}

¹*Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

²*Khoa Quân nhu, Học viện Hậu cần*

*Tác giả liên hệ: nvlong@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 16.04.2025

Ngày chấp nhận đăng: 20.05.2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của điều kiện hạn trong giai đoạn ra hoa đến sinh trưởng và năng suất của cây diêm mạch. Thí nghiệm hai nhân tố, gồm nhân tố giống (10 giống) và nhân tố hạn (hạn nhân tạo trong 2 tuần ở giai đoạn ra hoa), được bố trí theo khối ngẫu nhiên hoàn chỉnh (RCBD) với 5 lần lặp lại. Kết quả cho thấy, hạn trong giai đoạn ra hoa làm giảm rõ rệt chiều cao thân chính, số lá/thân chính, số cành cấp 1, diện tích lá, khối lượng chất khô tích lũy, khối lượng 1.000 hạt và năng suất cá thể của hầu hết các giống. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào giống. Giống G18, G23 và Atlas thể hiện khả năng thích nghi tốt, duy trì sinh trưởng và năng suất ổn định trong điều kiện hạn. Trong khi đó, giống Cahuil, Q4, Lucaboldo và Isluga có khả năng phục hồi sau hạn khá, nhờ tăng cường phát triển lá và tích lũy chất khô. Ngược lại, giống Q1 và Titicaca bị ảnh hưởng nặng, với mức giảm rõ rệt ở hầu hết các chỉ tiêu nghiên cứu. Các giống G18, G23 và Atlas được đề xuất là nguồn vật liệu tiềm năng cho các chương trình chọn giống và phát triển sản xuất diêm mạch trong điều kiện khô hạn.

Từ khóa: Chịu hạn, diêm mạch, giai đoạn ra hoa, chỉ số chịu hạn.

Effect of Drought on Growth and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at Flowering Stage

ABSTRACT

This study evaluated the effects of drought stress during the flowering stage on the growth and yield of 10 quinoa genotypes originating from different sources. A two-factor experiment, including genotypes (10 quinoa genotypes) and drought treatments (artificial drought for 2 weeks during the flowering stage), was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with five replications. The results showed that drought stress during the flowering stage significantly reduced main stem height, number of leaves per main stem, number of primary branches, leaf area, accumulated dry matter, 1000-seed weight, and individual plant yield in most genotypes. However, the degree of impact varied among them. Genotypes G18, G23, and Atlas maintained relatively stable growth and yield under drought conditions, indicating strong adaptability. Genotypes Cahuil, Q4, Lucaboldo, and Isluga exhibited good recovery capacity as evident by enhanced leaf development and dry matter accumulation after the drought period. Conversely, Q1 and Titicaca were the most severely affected, showing pronounced declines across all observed traits. Genotypes G18, G23, and Atlas are proposed as potential materials for breeding programs and for expanding quinoa production under drought-prone conditions.

Keywords: Drought tolerance, quinoa, flowering stage, drought tolerant index.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Diêm mạch (*Chenopodium quinoa* Willd.) là loài cây bản địa của khu vực Andes, nổi bật nhờ giá trị dinh dưỡng cao, sự đa dạng di truyền và

khả năng thích nghi với các điều kiện môi trường khắc nghiệt (Gonzalez & cs., 2015; Hinojosa & cs., 2018; Iqbal & cs., 2018; Jacobsen & cs., 2003). Chính những đặc tính này đã khiến diêm mạch trở thành cây trồng

chiến lược trong đảm bảo an ninh lương thực toàn cầu, đặc biệt là trong bối cảnh biến đổi khí hậu đang ngày càng ảnh hưởng tiêu cực đến sản xuất nông nghiệp.

Hạn hán là một trong những tác động rõ rệt nhất của biến đổi khí hậu đối với cây trồng. Tình trạng thiếu nước kéo dài gây rối loạn quá trình trao đổi khí qua khí khổng, làm giảm hấp thu CO₂ và ảnh hưởng đến cân bằng giữa quang hợp và hô hấp (Shiade & cs., 2022). Bên cạnh đó, hạn hán còn làm thay đổi hình thái các cơ quan sinh dưỡng như rễ và lá nhằm thích nghi với điều kiện khắc nghiệt (Babar & cs., 2023). Đồng thời, căng thẳng hạn hán thúc đẩy quá trình tích lũy bất thường các loài oxy phản ứng (Reactive Oxygen Species - ROS) trong tế bào, làm tăng nguy cơ tổn thương cấu trúc tế bào và giảm hiệu quả trao đổi chất (Ahmad & cs., 2022). Sự tác động tổng hợp của các biến đổi này dẫn đến sự suy giảm nghiêm trọng về sinh trưởng, năng suất và chất lượng nông sản, đe dọa an ninh lương thực toàn cầu (Munsif & cs., 2022).

Tuy nhiên, nhờ có sự đa dạng di truyền cao, diêm mạch cho thấy khả năng thích nghi nổi bật với điều kiện hạn hán thông qua nhiều cơ chế sinh lý và hình thái. Các phản ứng thích nghi này bao gồm việc điều chỉnh cấu trúc và sự phát triển của hệ rễ, rụng lá để giảm thoát hơi nước, cũng như đóng khí khổng nhằm hạn chế mất nước (Ain & cs., 2023). Đồng thời, những thay đổi này còn gắn liền với điều chỉnh biểu hiện gene liên quan đến đáp ứng với hạn (Hinojosa & cs., 2018). Những cơ chế này cũng mở ra triển vọng khai thác diêm mạch trong cải thiện giống cây trồng thông qua ứng dụng công nghệ sinh học (Alandia & cs., 2021).

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi biến đổi khí hậu và các hiện tượng thời tiết cực đoan, điều này làm gia tăng nhu cầu nghiên cứu và phát triển các giống cây trồng chịu hạn (Eckstein & cs., 2018). Với đặc điểm chống chịu ngoại cảnh bất thuận tốt, cây diêm mạch đã từng được đưa vào thử nghiệm từ năm 1986 đến 2000, cho năng suất từ 1,40 đến 2,06 tấn/ha tại nhiều tỉnh thành và thích nghi tốt với điều kiện khí hậu tại Việt Nam (Trịnh Ngọc Đức, 2001; Bertero & cs., 2013). Các nghiên cứu khảo nghiệm giống diêm

mạch tại nhiều vùng sinh thái như: Tây Bắc, Tây Nguyên, duyên hải miền Trung và Đồng bằng sông Cửu Long đã khẳng định tiềm năng của cây trồng này trong điều kiện bất lợi, đặc biệt là hạn hán và đất mặn (Nguyễn Văn Minh & Nguyễn Văn Lộc, 2021; Phan Thị Phương Nhi & cs., 2017). Từ những kết quả tích cực bước đầu và tiềm năng thích nghi của cây diêm mạch, việc nghiên cứu ảnh hưởng của hạn hán đặc biệt là trong giai đoạn ra hoa - giai đoạn nhạy cảm quyết định đến năng suất là rất cần thiết. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm chọn lọc ra các giống diêm mạch có khả năng chịu hạn cao, phục vụ mục tiêu mở rộng canh tác tại các vùng khô hạn, góp phần phát triển nông nghiệp bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng.

2. VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và địa điểm

Thí nghiệm được tiến hành trong vụ xuân 2023 tại nhà lưới có mái che, Bộ môn Cây lương thực, Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam. Vật liệu nghiên cứu bao gồm 10 giống diêm mạch nhập nội có nguồn gốc địa lý khác nhau (Bảng 1).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị thí nghiệm

Giá thể sử dụng trong thí nghiệm bao gồm hỗn hợp đất, trấu hun và gốm nung xốp (viên nhỏ 3-5mm), được phối trộn theo tỉ lệ 3:1:1 (theo thể tích). Đất được xử lý trước khi trộn bằng cách phơi khô, đập nhỏ, loại bỏ tạp chất như sỏi, đá, cỏ dại... bằng cách sàng thủ công và nhặt bằng tay. Sau khi trộn đều các thành phần, hỗn hợp giá thể được chia đều, mỗi chậu nhựa chứa 5kg giá thể. Chậu thí nghiệm có kích thước 20 × 20 × 30cm (tương ứng chiều cao × đường kính đáy × đường kính miệng chậu). Hạt giống được gieo trực tiếp vào chậu, với mật độ 10 hạt/chậu. Cây được chăm sóc theo quy trình thông thường cho đến khi đạt 3-4 lá thật. Sau đó, tiến hành tỉa bỏ các cây yếu, chỉ giữ lại 3 cây phát triển đồng đều nhất trong mỗi chậu để tiếp tục theo dõi và xử lý thí nghiệm.

Bảng 1. Danh sách các giống diêm mạch thí nghiệm

Tên giống	Nguồn gốc/vùng địa lý
Cahuil	Chile
Isluga	Chile
42 Test	Chile × Bolivia
Q1	Achentina
Q4	Achentina
Titicaca	Achentina
G18	Achentina
G23	Achentina
Lucaboldo	Achentina
Atlas	Achentina

2.2.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm hai nhân tố được bố trí theo kiểu khối hoàn toàn ngẫu nhiên (RCBD) với 5 lần nhắc lại. Nhân tố thứ nhất là 10 giống diêm mạch (G). Nhân tố thứ hai là hai mức độ ẩm (H): H0 (không hạn - đối chứng) và H1 (hạn giai đoạn ra hoa - xử lý thí nghiệm). Mỗi chậu được xem như một lần lặp lại.

2.2.3. Xử lý hạn

Đối với các chậu đối chứng (H0), cây được tưới nước đều đặn hàng ngày nhằm duy trì độ ẩm đất ổn định trong chậu khoảng 70-75%. Đối với các chậu xử lý hạn (H1) vào thời điểm ra hoa (45 ngày sau gieo), tiến hành ngừng tưới hoàn toàn cho đến khi độ ẩm đất giảm xuống mức 50-55%, sau đó duy trì độ ẩm trong khoảng này liên tục trong 14 ngày thí nghiệm. Để duy trì mức độ ẩm yêu cầu, lượng nước bổ sung được điều chỉnh dựa trên kết quả đo độ ẩm đất hai lần mỗi ngày (sáng và chiều) bằng máy đo độ ẩm TK100. Khi độ ẩm giảm xuống dưới 50%, tiến hành tưới bổ sung lượng nước vừa đủ để phục hồi về mức 50-55%, đảm bảo cây luôn ở trạng thái hạn ổn định trong suốt thời gian xử lý.

2.2.4. Các chỉ tiêu theo dõi

Các chỉ tiêu sinh trưởng và năng suất được theo dõi tại hai thời điểm: (1) ngay sau khi kết thúc xử lý hạn và (2) hai tuần sau xử lý hạn, tương ứng với giai đoạn phục hồi. Tại mỗi thời điểm, một cây được lấy từ mỗi chậu để tiến hành đánh giá các chỉ tiêu gồm: chiều cao thân chính

(cm) - đo từ gốc đến đỉnh sinh trưởng; số lá trên thân chính - đếm tổng số lá (không bao gồm lá trên cành); số cành cấp 1/cây là tổng số cành phát sinh từ thân chính; diện tích lá ($\text{cm}^2/\text{cây}$) được xác định bằng máy LI-3100C (LI-COR Biosciences, Mỹ); chỉ số SPAD được xác định bằng giá trị trung bình của ba lá ở ba vị trí (gốc, giữa và ngọn) bằng máy SPAD-502 (Konica Minolta, Nhật Bản). Khả năng tích lũy chất khô ($\text{g}/\text{cây}$) được xác định bằng cách thu riêng phần thân lá và rễ, rửa sạch, sấy khô ở 80°C trong 72 giờ đến khi khối lượng không đổi, sau đó cân để xác định khối lượng khô. Chỉ số chịu hạn (DTI) được tính theo công thức của Dinh & cs. (2013):

DTI = Giá trị đo trong điều kiện hạn/Giá trị đo trong điều kiện bình thường.

Ngoài các chỉ tiêu sinh trưởng và sinh lý, các yếu tố liên quan đến năng suất cũng được ghi nhận tại thời điểm thu hoạch, bao gồm: khối lượng 1.000 hạt (g) - xác định bằng cách đếm 1.000 hạt bằng máy đếm hạt tự động SLY-C (Trung Quốc), sau đó cân bằng cân phân tích điện tử Ohaus (Mỹ) với độ chính xác 0,001g và năng suất cá thể ($\text{g}/\text{cây}$) - được tính dựa trên khối lượng hạt sạch, khô thu được từ mỗi cây.

2.3. Phân tích số liệu

Số liệu được đo đếm và xử lý thống kê cơ bản bằng phần mềm Excel. Kiểm định sự sai khác về giá trị trung bình giữa các công thức thí nghiệm thông qua phân tích phương sai ANOVA bằng phần mềm IRRISTAT 5.0.

Bảng 2. Ảnh hưởng của hạn giai đoạn ra hoa đến chiều cao thân chính của các giống diêm mạch (Đơn vị tính: cm)

Tên giống	Giai đoạn hạn			Giai đoạn phục hồi		
	H0	H1	DTI ₁	H0	H1	DTI ₂
Cahuil	46,52	41,10	0,88	83,28	73,90	0,89
Isluga	49,02	40,82	0,83	80,54	77,84	0,97
42 Test	56,32	46,36	0,82	89,94	80,04	0,89
Q1	52,08	42,90	0,82	85,00	72,84	0,86
Q4	60,30	57,74	0,96	94,04	89,82	0,96
Titicaca	49,58	34,84	0,70	82,42	63,30	0,77
G18	60,60	52,52	0,87	83,88	78,32	0,93
G23	53,30	51,68	0,97	90,28	84,84	0,94
Lucaboldo	49,18	45,00	0,92	78,86	78,80	1,00
Atlas	51,80	46,62	0,90	78,24	71,12	0,91
<i>LSD_{0,05} (G)</i>	5,69			8,37		
<i>LSD_{0,05} (H)</i>	2,54			3,74		
<i>LSD_{0,05} (G*H)</i>	8,05			11,83		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI₁: Chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI₂: Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

Bảng 3. Ảnh hưởng của hạn giai đoạn ra hoa đến số lá/thân chính của các giống diêm mạch (Đơn vị tính: lá)

Tên giống	Giai đoạn hạn			Giai đoạn phục hồi		
	H0	H1	DTI ₁	H0	H1	DTI ₂
Cahuil	27,20	25,20	0,93	36,80	33,80	0,92
Isluga	26,60	24,80	0,93	33,20	33,60	1,01
42 Test	28,40	26,40	0,93	36,20	33,00	0,91
Q1	28,00	25,00	0,89	39,20	39,00	0,99
Q4	34,60	30,80	0,89	42,00	38,20	0,91
Titicaca	30,00	25,00	0,83	36,40	34,00	0,93
G18	32,00	31,20	0,98	37,40	38,40	1,03
G23	35,80	35,20	0,98	42,60	44,00	1,03
Lucaboldo	27,40	25,80	0,94	36,00	37,60	1,04
Atlas	27,00	25,80	0,95	36,40	35,60	0,98
<i>LSD_{0,05} (G)</i>	2,19			4,38		
<i>LSD_{0,05} (H)</i>	1,34			1,96		
<i>LSD_{0,05} (G*H)</i>	4,22			6,20		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI₁: chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI₂: Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

3.1.1. Ảnh hưởng của hạn đến chiều cao thân chính của các giống diêm mạch

Kết quả trình bày trong bảng 2 cho thấy chiều cao cây của các giống diêm mạch giảm đáng kể khi chịu ảnh hưởng của điều kiện hạn. Mức độ ảnh hưởng khác nhau giữa các giống, thể hiện qua chỉ số chịu hạn DTI_1 và khả năng phục hồi DTI_2 . Trong số đó, hai giống G23 và Q4 có chỉ số DTI_1 cao nhất ở giai đoạn xử lý hạn, phản ánh khả năng chịu hạn vượt trội. Đáng chú ý, giống Lucaboldo đạt chỉ số DTI_2 bằng 1,00 cho thấy khả năng khôi phục hoàn toàn sau giai đoạn hạn. Các giống Isluga, G23 và G18 cũng thể hiện tiềm năng phục hồi tốt, với chỉ số DTI_2 lần lượt là 0,97; 0,94 và 0,93. Ngược lại, giống Titicaca có chỉ số DTI thấp nhất trong cả hai giai đoạn chịu hạn và phục hồi, phản ánh khả năng chịu hạn kém và phục hồi hạn chế so với các giống còn lại.

3.1.2. Ảnh hưởng của hạn đến số lá trên thân chính của các giống diêm mạch

Kết quả trình bày ở bảng 3 cho thấy số lá trên thân chính của các giống diêm mạch giảm trong giai đoạn hạn, với mức giảm dao động từ 2% đến 17%. Giống Titicaca có tỉ lệ giảm số lá cao nhất (17%), tiếp theo là Q1 và Q4, đều có mức giảm trên 10%. Tuy nhiên, ở giai đoạn phục hồi, giống Isluga mặc dù giảm số lá khoảng 7% trong thời gian hạn, nhưng lại phục hồi rất tốt, với chỉ số DTI_2 vượt qua mức 1, phản ánh khả năng tái sinh lá hiệu quả sau hạn. Các giống G23, G18 và Lucaboldo chỉ giảm nhẹ số lá trong giai đoạn hạn (dưới 7%) và đều cho thấy khả năng phục hồi mạnh mẽ sau khi kết thúc xử lý hạn, thể hiện tiềm năng chịu hạn và phục hồi tốt.

3.1.3. Ảnh hưởng của hạn đến số cành cấp 1 của các giống diêm mạch

Số nhánh là một chỉ tiêu quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến số bông và các yếu tố cấu thành năng suất của cây. Kết quả ở bảng 4 cho thấy ở giai đoạn xử lý hạn, các giống Lucaboldo và G18 nổi bật với khả năng chịu hạn tốt với

DTI_1 lần lượt là 0,9 và 0,88. Titicaca là giống chịu hạn kém nhất với $DTI_1 = 0,23$ giảm hơn 75% số cành cấp 1. Ở giai đoạn phục hồi G18 gần như không có sự khác biệt sau hạn với $DTI_2 = 0,98$. Các giống Q4 (0,96), Lucaboldo (0,96), Isluga (0,95) được đánh giá là phục hồi rất tốt.

3.1.4. Ảnh hưởng của hạn đến diện tích lá của các giống diêm mạch

Kết quả thí nghiệm trình bày ở bảng 5 cho thấy, trong giai đoạn hạn, hầu hết các giống diêm mạch đều có xu hướng giảm diện tích lá. Tuy nhiên, một số giống như Isluga, 42 Test, G18, G23 và Lucaboldo thể hiện khả năng chịu hạn tốt với chỉ số DTI_1 cao ($> 0,88$), phản ánh khả năng duy trì diện tích lá trong điều kiện khô hạn. Đặc biệt, Lucaboldo và G18 đạt DTI_1 lần lượt là 0,91 và 0,98 - chứng tỏ khả năng chống chịu tốt, giúp cây giữ được diện tích lá tương đối ổn định. Ngược lại, các giống Titicaca và Q1 có chỉ số DTI_1 thấp nhất (0,59 và 0,55), cho thấy bị mất diện tích lá đáng kể dưới tác động của hạn. Trong giai đoạn phục hồi, các giống như Cahuil, Lucaboldo, Q4 và Atlas phục hồi diện tích lá rất tốt, với DTI_2 đạt từ 1,00 trở lên. Trong khi đó, giống Titicaca tiếp tục thể hiện sự yếu kém với DTI_2 chỉ đạt 0,59 - phản ánh khả năng phục hồi diện tích lá kém sau khi kết thúc giai đoạn hạn.

3.1.5. Ảnh hưởng của hạn đến khối lượng chất khô của các giống diêm mạch

Kết quả thí nghiệm ở bảng 6 thể hiện ảnh hưởng của điều kiện hạn đến khối lượng chất khô - một chỉ tiêu quan trọng phản ánh sinh trưởng tích lũy của cây diêm mạch. Trong điều kiện hạn, đa số giống đều có xu hướng giảm chất khô, song mức độ ảnh hưởng khác nhau giữa các giống. Cahuil, G23, Q1 và Atlas là những giống thể hiện khả năng chịu hạn tốt với chỉ số $DTI_1 > 0,85$; đặc biệt Cahuil đạt 0,92 và G23 đạt 0,90 - cho thấy khối lượng chất khô chỉ giảm nhẹ khi gặp hạn. Ngược lại, Titicaca và 42 Test là những giống chịu ảnh hưởng nặng nề, với DTI_1 thấp nhất lần lượt là 0,51 và 0,74 - chứng tỏ cây giảm mạnh về tích lũy chất khô dưới điều

kiện khô hạn. Trong thời kì phục hồi, Atlas, Q4 và Lucaboldo nổi bật với $DTI_2 > 1,00$, cho thấy sinh khối sau phục hồi thậm chí cao hơn so với

điều kiện không hạn, đặc biệt Atlas đạt DTI_2 lên đến 1,10. Các giống 42 Test và Q1 có DTI_2 thấp hơn (0,88), cho thấy mức phục hồi chậm.

Bảng 4. Ảnh hưởng của hạn ở giai đoạn ra hoa đến số cành cấp 1/thân chính của các giống diêm mạch (Đơn vị tính: cành)

Tên giống	Giai đoạn hạn			Giai đoạn phục hồi		
	H0	H1	DTI_1	H0	H1	DTI_2
Cahuil	15,60	12,20	0,78	25,60	23,80	0,93
Isluga	14,60	12,80	0,87	23,60	22,40	0,95
42 Test	9,40	6,00	0,64	20,80	17,00	0,82
Q1	7,00	4,60	0,66	16,60	12,20	0,73
Q4	11,20	7,40	0,66	26,80	25,80	0,96
Titicaca	16,00	3,60	0,23	29,20	18,40	0,63
G18	11,60	10,20	0,88	20,80	20,40	0,98
G23	8,60	5,20	0,60	21,80	17,60	0,81
Lucaboldo	11,80	10,60	0,90	23,00	22,00	0,96
Atlas	11,00	9,00	0,82	22,60	19,80	0,88
$LSD_{0,05} (G)$	3,87			4,81		
$LSD_{0,05} (H)$	1,73			2,15		
$LSD_{0,05} (G*H)$	5,47			6,80		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI_1 : Chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI_2 : Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

Bảng 5. Ảnh hưởng của hạn ở giai đoạn ra hoa đến diện tích lá của các giống diêm mạch (Đơn vị tính: $cm^2/cây$)

Tên giống	Giai đoạn Hạn			Giai đoạn Phục hồi		
	H0	H1	DTI_1	H0	H1	DTI_2
Cahuil	384,07	310,63	0,81	401,23	406,61	1,01
Isluga	338,07	320,00	0,95	337,41	292,67	0,87
42 Test	263,20	238,65	0,91	306,02	299,23	0,98
Q1	475,73	261,66	0,55	403,04	310,23	0,77
Q4	254,00	212,02	0,83	239,78	241,76	1,01
Titicaca	255,08	149,30	0,59	337,54	199,67	0,59
G18	161,20	157,75	0,98	515,87	369,93	0,72
G23	278,27	248,77	0,89	346,89	343,09	0,99
Lucaboldo	372,53	339,44	0,91	376,65	382,13	1,01
Atlas	355,53	254,72	0,72	515,63	550,71	1,07
$LSD_{0,05} (G)$	98,00			84,62		
$LSD_{0,05} (H)$	43,83			37,84		
$LSD_{0,05} (G*H)$	138,59			119,67		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI_1 : Chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI_2 : Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

Bảng 6. Ảnh hưởng của hạn ở giai đoạn ra hoa đến khối lượng chất khô của các giống diêm mạch (Đơn vị tính: g/cây)

Tên giống	Giai đoạn hạn			Giai đoạn phục hồi		
	H0	H1	DTI ₁	H0	H1	DTI ₂
Cahuil	1,90	1,75	0,92	3,48	3,29	0,95
Isluga	1,88	1,56	0,83	2,62	2,53	0,97
42 Test	1,90	1,41	0,74	2,74	2,40	0,88
Q1	2,62	2,28	0,87	3,56	3,12	0,88
Q4	1,56	1,27	0,81	1,95	2,10	1,08
Titicaca	1,25	0,64	0,51	2,23	2,09	0,94
G18	0,91	0,73	0,81	3,35	3,24	0,97
G23	1,91	1,72	0,90	2,57	2,57	1,00
Lucaboldo	1,86	1,50	0,81	2,84	2,93	1,03
Atlas	2,00	1,71	0,85	3,88	4,26	1,10
<i>LSD_{0,05} (G)</i>	0,57			0,71		
<i>LSD_{0,05} (H)</i>	0,25			0,32		
<i>LSD_{0,05} (G*H)</i>	0,80			1,01		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI₁: Chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI₂: Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

Bảng 7. Ảnh hưởng hạn giai đoạn ra hoa đến chỉ số SPAD của các giống diêm mạch

Tên giống	Giai đoạn hạn			Giai đoạn phục hồi		
	H0	H1	DTI ₁	H0	H1	DTI ₂
Cahuil	54,74	49,26	0,90	57,28	53,98	0,94
Isluga	59,00	48,84	0,83	54,56	57,12	1,05
42 Test	58,28	49,38	0,85	57,20	51,36	0,90
Q1	58,24	44,50	0,76	54,64	56,72	1,04
Q4	55,20	43,88	0,79	49,94	52,44	1,05
Titicaca	43,76	43,48	0,99	50,34	45,02	0,89
G18	50,84	47,44	0,93	50,42	50,68	1,01
G23	55,94	44,24	0,79	53,64	57,54	1,07
Lucaboldo	53,80	49,06	0,91	54,28	54,22	1,00
Atlas	48,50	45,22	0,93	48,94	55,62	1,14
<i>LSD_{0,05} (G)</i>	4,36			4,21		
<i>LSD_{0,05} (H)</i>	1,95			1,88		
<i>LSD_{0,05} (G*H)</i>	6,17			5,95		

Ghi chú: H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI₁: Chỉ số chịu hạn giai đoạn xử lý hạn; DTI₂: Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn phục hồi; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

3.1.6. Ảnh hưởng của hạn đến chỉ số SPAD của các giống diêm mạch

SPAD là một chỉ số có tương quan thuận với

hàm lượng diệp lục trong lá, sự biến đổi của chỉ số này cũng tương quan với biến đổi hàm lượng diệp lục trong các điều kiện khác nhau. Bảng 7 cho thấy chỉ số SPAD trong điều kiện hạn giảm,

khí được phục hồi, tất cả các giống đều tăng chỉ số SPAD trở lại. Đáng chú ý, Atlas, G23, Isluga và Q4 có chỉ số DTI₂ cao nhất, dao động từ 1,05 đến 1,14 - chứng tỏ khả năng phục hồi diệp lục mạnh mẽ sau khô hạn. Trong đó, Atlas dẫn đầu với DTI₂ đạt 1,14. Ngược lại, Titicaca có DTI₂ chỉ đạt 0,89 - thấp nhất bảng, cho thấy cây gặp khó khăn trong việc tái thiết lập hàm lượng diệp lục.

3.1.7. Ảnh hưởng của hạn đến năng suất cây diêm mạch ở giai đoạn ra hoa

Dưới điều kiện hạn, năng suất cá thể (NSCT) giảm ở tất cả các giống, tuy nhiên mức độ chịu ảnh hưởng khác nhau. Kết quả thí nghiệm ở bảng 8 cho thấy: các giống G18 và G23 nổi bật với NSCT cao nhất trong cả hai điều kiện H0 (10,20g và 11,05g) và H1 (9,36g và 10,52g) với DTI tương ứng là 0,92 và 0,95, cho thấy khả năng duy trì năng suất tốt dưới khô hạn. Các giống Cahuil, Isluga, 42-Test, Q4, G18, G23 và Atlas có DTI >0,9 đối với chỉ tiêu năng suất cá thể ở giai đoạn thu hoạch, chứng tỏ các giống này có khả năng chịu hạn/phục hồi tốt. Ngược lại, giống Titicaca (DTI = 0,78) và Lucaboldo (DTI = 0,70) thể hiện năng suất cá thể giảm mạnh nhất,

phản ánh khả năng chống chịu hạn kém.

3.2. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu này cho thấy, hạn hán ảnh hưởng đáng kể đến sinh trưởng và năng suất của cây diêm mạch, với các tác động tiêu cực đến chiều cao cây, số lá trên thân chính, số nhánh trên thân chính, diện tích lá, khối lượng chất khô và năng suất hạt. Những phát hiện này phù hợp với các nghiên cứu trước đó về ảnh hưởng của hạn hán đến cây diêm mạch. Kohan & cs. (2023) đã báo cáo rằng căng thẳng hạn hán dẫn đến giảm chiều cao cây và chỉ số diện tích lá, do sự gián đoạn trong quá trình phân chia và kéo dài tế bào. Ngoài ra, Mirsafi & cs. (2024). nhận thấy sự giảm đáng kể về tăng trưởng tổng thể, bao gồm chiều cao chồi, sinh khối và số lượng lá, trong điều kiện hạn hán, liên quan đến giảm áp suất trương nước, dẫn đến sự chậm phát triển của cây. Trong nghiên cứu của Jensen & cs. (2000) và Jacobsen & cs. (2009) chỉ ra rằng để thích nghi với hạn hán, cây diêm mạch có thể giảm diện tích lá thông qua việc rụng lá, giúp giảm diện tích bề mặt tiếp xúc và mất nước.

Bảng 8. Ảnh hưởng hạn giai đoạn ra hoa đến năng suất của các giống diêm mạch

Tên giống	P1000 (g)			NSCT (g/cây)		
	H0	H1	DTI	H0	H1	DTI
Cahuil	2,35	2,27	0,96	6,41	6,38	0,99
Isluga	2,35	2,28	0,97	8,88	8,75	0,99
42 Test	2,27	2,16	0,95	6,79	6,39	0,94
Q1	2,47	1,95	0,79	6,22	4,94	0,79
Q4	2,28	2,18	0,96	4,95	4,68	0,94
Titicaca	2,14	1,83	0,85	8,37	6,56	0,78
G18	2,57	2,40	0,94	10,20	9,36	0,92
G23	2,18	1,97	0,90	11,05	10,52	0,95
Lucaboldo	2,44	2,27	0,93	8,90	6,22	0,70
Atlas	2,32	2,12	0,91	7,27	6,95	0,96
LSD _{0,05 (G)}		0,22			1,85	
LSD _{0,05 (H)}		0,98			0,83	
LSD _{0,05 (G*H)}		0,31			2,61	

Ghi chú: P1000: Khối lượng 1.000 hạt; NSCT: Năng suất cá thể; H0, H1 lần lượt là các công thức hạn khác nhau; DTI: Chỉ số chịu hạn ở giai đoạn thu hoạch; (G): Các giống; (H): Mức hạn; (G*H): Tương tác giống và hạn.

Mặc dù hạn hán thường dẫn đến giảm các chỉ tiêu sinh trưởng, chỉ số SPAD không cho thấy sự thay đổi đáng kể khi cây bị hạn. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Jacobsen & cs. (2009), cho thấy diêm mạch có khả năng đặc biệt trong việc đối phó với hạn hán bằng cách duy trì mức độ quang hợp trong điều kiện thiếu nước. Ngoài ra, Manna & cs. (2021) cũng cho rằng diêm mạch có thể phục hồi khả năng quang hợp sau thời gian chịu hạn.

Đáng chú ý, khả năng phục hồi sau căng thẳng hạn hán là một yếu tố quan trọng trong đánh giá mức độ chịu hạn tổng thể của cây trồng (Glessler & cs., 2020), đặc biệt là đối với diêm mạch - loài cây được đánh giá là có khả năng thích nghi cao trong điều kiện khắc nghiệt. Trong nghiên cứu này, các giống Cahuil, Q4, Lucaboldo và Isluga đã thể hiện khả năng phục hồi mạnh mẽ sau khi ngừng xử lý hạn, đặc biệt là ở các chỉ tiêu như diện tích lá, số nhánh và khối lượng khô. Các giống này có thể tiếp tục tích lũy sinh khối và duy trì quang hợp hiệu quả sau khi điều kiện nước được phục hồi. Kết quả trên hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu của Bosque Sanchez & cs. (2003), trong đó các giống Isluga và Illpa được ghi nhận có khả năng ngừng sinh trưởng tạm thời để tiết kiệm nước, sau đó phục hồi nhanh chóng khi điều kiện thuận lợi trở lại. Các giống này cũng có mức tổn thương mô lá thấp và khả năng phục hồi quang hợp cao - những đặc điểm cũng được quan sát thấy ở giống Isluga trong nghiên cứu này. Các giống có khả năng kiểm soát thoát hơi nước, duy trì hoạt động quang hợp và cấu trúc mô lá ổn định thường có khả năng phục hồi tốt hơn. Những đặc điểm này cũng được tìm thấy ở các giống như Lucaboldo và Isluga trong nghiên cứu hiện tại, củng cố thêm tính nhất quán của các kết quả.

Các giống Cahuil, Isluga, 42-Test, Q4, G18, G23, Atlas được ghi nhận có chỉ số chịu hạn cao đối với năng suất cá thể. Trong khi đó, giống Titicaca thể hiện rõ sự mẫn cảm với điều kiện khô hạn, với mức suy giảm mạnh ở hầu hết các chỉ tiêu sinh trưởng, khối lượng khô và năng suất - kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết

luận của Glessler & cs. (2020). Trong nghiên cứu đó, Titicaca cũng được xác định là giống mẫn cảm nhất trong số các giống khảo sát, với sự giảm mạnh về diện tích lá, khối lượng chất khô và hoạt động quang hợp khi chịu hạn.

4. KẾT LUẬN

Hạn xảy ra trong giai đoạn ra hoa đã tác động rõ rệt đến quá trình sinh trưởng, khả năng tích lũy chất khô cũng như năng suất của cây diêm mạch trong thí nghiệm. Mức độ chịu hạn giữa các giống là khác nhau, thể hiện qua sự phân hóa rõ về các chỉ số sinh trưởng và năng suất dưới điều kiện bất lợi. Các giống Cahuil, Isluga, 42 Test, Q4, G18, G23, Atlas có khả năng chịu hạn/ phục hồi sau xử lý hạn, trong đó G18, G23 và Atlas vừa có khả năng chịu hạn và phục hồi tốt. Đây là các nguồn vật liệu tiềm năng cho các nghiên cứu chuyên sâu về sinh lý và phân tử nhằm làm sáng tỏ cơ chế chống chịu với điều kiện khô hạn. Ngược lại, Q1 và Titicaca là hai giống mẫn cảm, có khả năng chịu hạn kém, thể hiện qua sự suy giảm mạnh các chỉ tiêu sinh trưởng và phục hồi sau hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahmad H.M., Wang X., Fiaz S., Azeem F. & Shaheen T. (2022). Morphological and physiological response of *Helianthus annuus* L. to drought stress and correlation of wax contents for drought tolerance traits. *Arabian Journal of Science and Engineering*. 47: 6747-6761.
- Ain Q.T., Siddique K., Bawazeer S., Ali I., Mazhar M., Rasool R., Mubeen B., Ullah F., Unar A. & Jafar T.H. (2023). Adaptive mechanisms in Quinoa for coping in stressful environments: An update. *Peer J*. 11: e14832.
- Alandia G., Rodríguez J.P., Palmgren M., Condori B. & López-Marqués R.L. (2021). Advances of biotechnology in quinoa production: A global perspective. In A. Varma (Ed.): *Biology and Biotechnology of Quinoa: Super Grain for Food Security*. Springer Nature. pp. 79-111.
- Babar M., Khalid M.N., Haq M.W.U., Hanif M., Ali Z., Awais M., Rasheed Z., Ali M.F., Iftikhar I. & Saleem S. (2023). A comprehensive review on drought stress response in Cotton at physiological, biochemical and molecular level. *Pure and Applied Biology*. 12: 610-622.

- Bertero H.D., Vega A.J.D.L., Correa G., Jacobsen S.E. & Mujica A. (2013). Effect of drought stress on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 89: 299-318.
- Bosque Sanchez H., Lemeur R., Van Damme P. & Jacobsen S.-E. (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19(1-2): 111-119.
- Dinh T.H., Kaewpradit W., Jogloy S., Vorasoot N. & Patanothai A. (2013). Biological nitrogen fixation of peanut genotypes with different levels of drought tolerance under mid-season drought. *SABRAO Journal of Breeding and Genetic*. 45: 491-503.
- Eckstein D., Künzel V. & Schäfer L. (2018). Climate Risk Index: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Germanwatch.
- Glessler M.L., Müller F., Oberhuber W. & Loserth M. (2020). Drought-induced changes in morphology and photosynthesis in contrasting quinoa genotypes. *Agricultural Water Management*. 234: 106102.
- Gonzalez J.A., Konishi Y., Bruno M., Valoy M. & Prado F.E. (2015). Quinoa: An Incan crop to face global changes in agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 6: 1-10.
- Hinojosa L., González J.A., Barrios-Masias F.H., Fuentes F. & Murphy K.M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*. 7: 106.
- Iqbal N., Hussain S., Ahmed Z., Yang C.Q. & Wang X. (2018). Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H₂O₂ in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidant capacity. *Industrial Crops and Products*. 126: 139-151.
- Jacobsen S.E., Mujica A. & Jensen C.R. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19(1-2): 167-177.
- Jacobsen S.-E., Liu F. & Jensen C.R. (2009). Effect of drought stress on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 110(1): 107-113.
- Jensen C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Núñez N., Andersen S.D., Rasmussen L. & Mogensen V.O. (2000). Leaf gas exchange and water relations of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*. 13(1): 11-25.
- Kohan D., Razzaghi F. & Jensen C.R. (2023). Drought stress impacts on growth, physiology and yield of quinoa genotypes: A comparative study. *Agricultural Water Management*. 279: 108158.
- Manaa A., Goussi R., Derbali W., Cantamessa S., Essemine J. & Barbato R. (2021). Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*. 1862(5): 148383.
- Mirsafi S.M., Sepaskhah A.R. & Ahmadi S.H. (2024). Physiological traits, crop growth, and grain quality of quinoa in response to deficit irrigation and planting methods. *BMC Plant Biology*. 24: 809.
- Munsif F., Shah T., Arif M., Jehangir M., Afridi M.Z., Ahmad I., Jan B.L. & Alansi S. (2022). Combined effect of salicylic acid and potassium mitigates drought stress through the modulation of physio-biochemical attributes and key antioxidants in Wheat. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29: 103294.
- Nguyễn Văn Minh & Nguyễn Văn Lộc (2021). Khảo nghiệm một số giống diêm mạch (*Chenopodium quinoa* Willd.) nhập nội trong điều kiện mùa khô đất nâu đỏ bazan tỉnh Đắk Lắk. *Tạp chí Khoa học - Đại học Tây Nguyên*. 49: 40-47
- Phan Thị Phương Nhi, Trần Thị Hân, Dương Thị Hương Quế & Nguyễn Thị Phương Thảo (2017). Nghiên cứu thời gian gieo trồng thích hợp cho cây quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) tại huyện Cam Lộ, tỉnh Quảng Trị. *Tạp chí điện tử Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp*. 1(1): 93-102. doi.org/10.46826/huaf-jasat.v1n1y2017.19
- Shiade S.R.G., Fathi A., Taghavi Ghasemkheili F., Amiri E. & Pessarakli M. (2022). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches - A review. *Journal of Plant Nutrition*. 46: 2198-2230.
- Trịnh Ngọc Đức (2001). Nghiên cứu và phát triển giống hạt vàng (*Chenopodium quinoa* Willd) tại miền Bắc Việt Nam. *Luận án Tiến sĩ Nông nghiệp*, Trường Đại học Nông nghiệp I - Hà Nội.