Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Phần B: Nông nghiệp, Thủy sản và Công nghệ Sinh học
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2024.309

ẢNH HƯỞNG CỦA MAGNESIUM SILICATE VÀ CALCIUM SILICATE LÊN KHẢ NĂNG CHỊU HẠN TRÊN LÚA ST25 GIAI ĐOẠN MẠ

Phạm Huyền Linh* và Phạm Phước Nhẫn
Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): phamhuyenlinh1810@gmail.com*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 25/09/2023
Sửa bài (Revised): 12/10/2023
Duyệt đăng (Accepted): 29/03/2024

Title: *Effects of magnesium silicate and calcium silicate supplement on drought tolerance of ST25 rice seedlings*

Author(s): *Pham Huyen Linh* and Pham Phuoc Nhan*

Affiliation(s): *Can Tho University*

TÓM TẮT

*Silic giúp thực vật vượt qua bất lợi sinh học và phi sinh học. Ca_2+ hình thành các hợp chất vách tế bào, cây cứng cáp hơn. Mg_2+ có vai trò quan trọng trong quá trình quang hợp. Trong nghiên cứu $MgSiO_3$ và $CaSiO_3$ nồng độ 200mg/L được bổ sung cho lúa ST25 bằng cách tưới mỗi chậu 50 ml dung dịch tương ứng cho 10 chậu trong các nghiệm thức, nghiệm thức không xử lý hóa chất tưới 50 ml nước và để khô trong những ngày tiếp theo, nghiệm thức đối chứng vẫn được cung cấp đầy đủ nước. Kết quả sau 10 ngày xử lý hạn, các phân tích nông học cho thấy $MgSiO_3$ có ảnh hưởng tích cực hơn các nghiệm thức còn lại như chiều cao cây, chỉ số diệp lục tố lá, chiều dài rễ. Các phân tích sinh hóa cho kết quả hàm lượng chlorophyll a, b và carotenoid ở nghiệm thức bổ sung $MgSiO_3$ cao nhất, ngược lại hàm lượng đường tổng trong lá thấp nhất. Hàm lượng **malondialdehyde** ở nghiệm thức không xử lý hóa chất cao hơn các nghiệm thức còn lại chứng tỏ hợp chất silic có tác dụng giảm tổn thương màng tế bào khi bị hạn. Kết quả PCR với đoạn mồi RM257 cho thấy băng hình xuất hiện ở vị trí 150bp chứng tỏ có sự hiện diện của gen kiểm soát sự cuốn lá qLR9.1 và qRWC9.1 kiểm soát hàm lượng nước tương đối trên giống lúa ST25.*

Từ khoá: *$CaSiO_3$, $MgSiO_3$, qLR9.1, qRWC9.1, ST25*

ABSTRACT

*Silicon helps plants overcome biotic and abiotic stress. Ca2+ is a component of the cell wall, making plants more rigorous, whereas Mg2+ plays an important role in photosynthesis. In this study, $MgSiO_3$ và $CaSiO_3$ of 200 mg/L with a volume of 50 mL per pot was added to 10 replicates for each treatment. The free-chemical treatment was watered with 50 mL of tap water and the control was irrigated normally. After 10 days without continuous watering, agronomic analysis showed that plants treated with $MgSiO_3$ had better development in plant height, chlorophyll index values, and root elongation compared to those of other water cutoff treatments. $MgSiO_3$ supplementation improved photosynthetic pigments such as chlorophyll a, b, and total carotenoids but gave the lowest total soluble sugar content in leaves. The highest **malondialdehyde** level in free-chemical treatment prevailed the positive effects of silicon compounds in mitigating lipid peroxidation of cell membranes under drought conditions. PCR application with primer RM257 followed by electrophoresis resulted in the bands at 150bp, giving evidence of presentation qLR9.1 and qRWC9.1 in ST25 rice cultivar, relating to control leaf rolling and relative water content.*

Keywords: *$CaSiO_3$, $MgSiO_3$, qLR9.1, qRWC9.1, ST25*

1. GIỚI THIỆU

Hạn hán là một thách thức lớn hạn chế sản xuất lúa gạo, ảnh hưởng đến hình thái cây lúa (giảm khả năng nảy mầm, chiều cao cây, sinh khối cây, các tính trạng rễ và lá khác nhau), sinh lý (giảm quang hợp, thoát hơi nước, hàm lượng nước tương đối, hàm lượng diệp lục, tính ổn định của màng), sinh hóa (tích tụ chất bảo vệ thẩm thấu như proline, đường và chất chống oxy hóa) và phân tử (biểu hiện bị thay đổi của các gen mã hóa các yếu tố phiên mã) và do đó ảnh hưởng đến năng suất (Pandey et al., 2015). Đối với cây lúa, cả nguồn dinh dưỡng đa lượng và nguồn vi lượng đều tác động lên khả năng sinh trưởng của cây. Thực vật phản ứng với stress do thiếu Mg bằng cách tăng rõ rệt khả năng chống oxy hóa của lá, đặc biệt là dưới cường độ ánh sáng cao, cho thấy rằng quá trình tạo gốc oxy hóa được kích thích bởi sự thiếu hụt Mg trong lục lạp (Cakmak & Kirkby, 2008). Mg^{2+} là nguyên tử trung tâm của phân tử diệp lục và sự dao động mức độ của nó trong lục lạp điều chỉnh hoạt động của các enzym quang hợp quan trọng trong thực vật (Shaul, 2002). Mg cần thiết cho nhiều quá trình sinh học trong thực vật và cân bằng nội môi là rất quan trọng để duy trì sự phát triển và tăng trưởng tối ưu (De Melo et al., 2021). Sự tăng trưởng, phát triển của thực vật, stress sinh học và phi sinh học đều được điều chỉnh bởi các tín hiệu Ca^{2+} (Ketehouli et al., 2022). Ca cần thiết cho các vai trò cấu trúc trong thành tế bào và màng như một chất đối kháng đối với các anion vô cơ và hữu cơ trong không bào. Chúng được rễ hấp thụ từ dung dịch đất và chuyển đến chồi qua xylem (White & Broadley, 2001). Các nghiên cứu sâu hơn đã chỉ ra rằng calcium tham gia vào các chức năng khác của lục lạp mà không liên quan trực tiếp đến quá trình quang hợp và có một cơ chế điều hòa phụ thuộc calcium tương tự như quá trình truyền tín hiệu calcium qua tế bào chất (Rocha & Vothknecht, 2012). Silic (Si) nguyên tố dồi dào thứ hai trong vỏ trái đất sau oxy, giúp thực vật vượt qua các yếu tố bất lợi sinh học và phi sinh học khác nhau. Ban đầu nó được công nhận là yếu tố không cần thiết cho sự phát triển và dinh dưỡng của thực vật. Tuy nhiên, nghiên cứu gần đây đã phát hiện ra nó có chức năng trong việc giảm bớt stress sinh học và phi sinh học ở thực vật (Joshi & Pratima, 2022). Si tạo điều kiện thuận lợi cho việc hấp thụ các chất dinh dưỡng cần thiết, cung cấp độ bền cơ học cho thành tế bào thực vật và tăng cường khả năng chống lại các điều kiện môi trường không mong muốn, cải thiện các thuộc tính quang hợp và tăng hoạt động của các enzym chống oxy hóa (Khan et al., 2022). Ngoài ra, có một số gen có sẵn trong bộ gen thực vật liên quan đến các đặc điểm nông học khác nhau trong điều kiện hạn hán như gen kiểm soát sự cuốn lá (*qLR9.1*) được phát hiện trên nhiễm sắc thể 9, vị trí là 22,8 cm và gen kiểm soát hàm lượng nước tương đối (*qRWC9.1*) đã được quan sát thấy trên nhiễm sắc thể 9 ở mức 21,8 cm (Barik et al., 2019). Do đó, nghiên cứu này được thực hiện để khảo sát việc cung cấp $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ nhằm gia tăng khả năng chịu hạn trên giống lúa có chất lượng cao là ST25 ở giai đoạn mạ, giai đoạn nhạy cảm với các điều kiện bất lợi của môi trường và là tiền đề để đạt được một mùa vụ thành công.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thí nghiệm được thực hiện trong nhà lưới khoa Sinh lý-Sinh hóa và phòng thí nghiệm sinh hóa, Trường Nông Nghiệp trong thời gian từ ngày tháng 2 năm 2023 đến ngày tháng 5 năm 2023. Giống lúa thí nghiệm là ST25 cấp xác nhận.

Thí nghiệm được tiến hành bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 4 nghiệm thức và 10 lần lặp lại (40 chậu), mỗi chậu gieo 15 hạt lúa đã nảy mầm được giữ nguyên trong suốt quá trình thí nghiệm (Chậu trồng lúa: chiều cao 15 cm; đường kính miệng 11 cm; đường kính đáy 7 cm. Đất trồng lúa là đất thịt được lấy trong khu vực nhà lưới Trường Nông nghiệp), lúa không được bón phân. Chậu được đặt ở nơi có ánh sáng đồng đều, sau đó tiến hành chăm sóc lúa non bằng cách tưới nước 1 lần/ngày. Calcium silicate và magnesium silicate được pha ở nồng độ 200 mg/L, sau đó tiến hành tưới thấm với thể tích 50 mL $CaSiO_3$/chậu, 50 mL $MgSiO_3$/chậu và 50 mL nước/chậu đối với nghiệm thức không xử lý hóa chất từ 5 ngày sau khi gieo hạt vào chậu. Kể từ khi tưới $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ cho lúa thì các ngày sau sẽ không tưới đối với nghiệm thức không xử lý hóa chất, xử lý $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$, còn nghiệm thức đối chứng được tưới nước xuyên suốt quá trình thí nghiệm. Thí nghiệm được kết thúc vào ngày thứ 10 sau khi xử lý hạn, mẫu cây được trữ trong tủ đông -20^{o}C cho đến khi phân tích các chỉ tiêu sinh lý, sinh hóa.

Các chỉ tiêu theo dõi:

– Chiều cao cây: Lấy chỉ tiêu 2 ngày 1 lần bằng thước đo có chia vạch mm, mỗi chậu đo chiều cao 3 cây.

– Chỉ số diệp lục tố lá (sau 2 ngày xử lý hạn): Máy SPAD-502 được sử dụng để đo 2 ngày 1 lần và đo mỗi chậu 3 cây.

– Đếm số lá: Lá được đếm ở các chậu tất cả các nghiệm thức 2 ngày 1 lần và đếm mỗi chậu 3 cây.

– Đánh giá mức độ chịu hạn: Quan sát thân cây có biểu hiện khô héo không còn khả năng chống lại điều kiện hạn thì tiến hành đánh giá mức độ chịu hạn theo IRRI (1986).

– Chiều dài rễ: tiến hành ngâm đất cho mềm để dễ dàng cho việc lấy rễ, tránh làm đứt rễ; chọn ngẫu nhiên 3 cây mỗi chậu của tất cả các chậu, tiến hành đo chiều dài ở rễ dài nhất.

– Khối lượng tươi (15 cây trong chậu): Mẫu sau khi thu hoạch được rửa sạch rễ để loại bỏ đất và cân trên cân phân tích.

– Khối lượng khô (15 cây trong chậu): Khi mẫu vừa cân lấy khối lượng tươi và sấy trong tủ sấy ở nhiệt độ 60^{o}C đến khối lượng không đổi.

– Phân tích hàm lượng đường tổng: Quy trình phân tích đường tổng số theo phương pháp anthrone của Hansen and Møller (1975).

– Phân tích hàm lượng chlorophyll: Hàm lượng chlorophyll trong thân lúa được tính bằng công thức (Wellburn, 1994).

– Quan sát hình thái của rễ trong môi trường hạn: Thuốc nhuộm Fuchsin (Yamamoto et al., 2001) được sử dụng để nhuộm.

– Hàm lượng malondialdehyde (MDA): Phương pháp dựa theo Heath and Packer (1968).

– Đo EC, pH đất: Cân 50 g đất và đong 125 ml nước cất (tỉ lệ 1: 2,5 (đất/nước)), sau đó hòa đất vào nước cho đến khi đất mềm và đo bằng EC, pH kế.

– Ẩm độ đất: Chọn ngẫu nhiên 3 chậu trong cùng một nghiệm thức để khảo sát sơ bộ hàm lượng nước còn lại trong đất lúc thu hoạch, cân 50 g đất lúc thu hoạch ở mỗi chậu của các nghiệm thức, sau đó tiến hành sấy ở 60^{o}C đến khối lượng không đổi và tính ẩm độ đất.

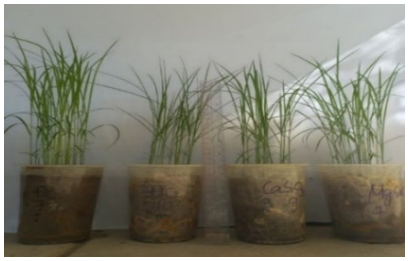
– Áp dụng kỹ thuật PCR kiểm tra gen chịu hạn: Ly trích DNA từ lá: Lá được nghiền với nitơ lỏng và cho vào trong ống ly tâm 2ml; thêm 750µl dung dịch đệm chiết DNA vào mẫu, tiếp theo là 750µl chloroform; sau đó ủ 65^{o}C trong 60 phút rồi đem đi ly tâm 7.500 vòng/phút trong 10 phút sẽ xuất hiện 2 lớp dung dịch, lấy lớp phía trên cho vào Eppendorf mới và cho thêm 750µl Isopropanol rồi đem đi vortex và tiếp tục ly tâm 12.000 vòng/phút trong 10 phút, loại bỏ phần dung dịch phía trên giữ lại tủa phía dưới; rửa phần tủa bằng cách cho vào 1 ml ethanol 75%, ly tâm 12.000 vòng/phút trong 10 phút, đổ bỏ phần dịch phía trên và giữ lại phần tủa, quy trình rửa được lặp lại 2 lần, sau đó để khô nhiệt độ phòng. Xác định độ tinh khiết của DNA bằng cách đo độ hấp thụ ở bước sóng 260 nm và 280 nm, bảo quản DNA ở -20^{o}C.

– Trình tự primer RM257 (phải) gồm Mồi xuôi: 5’ CAGTTCCGAGCAAGAGTACTC 3’ và Mồi ngược: 5’ GGATCGGACGTGGCATATG 3’.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Chiều cao của cây lúa ST25 sau khi xử lý hạn

Qua Hình 1 cho thấy sau 10 ngày xử lý hạn cho thấy ở nghiệm thức không xử lý hóa chất lá đã cuốn lại hoàn toàn và màu xanh của lá nhạt đi, nghiệm thức xử lý $CaSiO_3$ có lá có phần xanh hơn và tỉ lệ lá cuốn ít hơn nghiệm thức không xử lý, còn đối với nghiệm thức xử lý $MgSiO_3$ lá xanh nhất và vẫn còn tươi chỉ có một số ít lá bị cuốn lại.



Hình 1. Lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn

Chú thích (*từ trái qua phải): đối chứng, không xử lý, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$*

Chiều cao của cây lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn ở các khoảng thời gian trong Bảng 1 cho thấy, sau 2 ngày đầu ở nghiệm thức có xử lý $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ có chiều cao lần lượt là 13,1 cm và 13,5 cm cao hơn so với nghiệm thức đối chứng có chiều cao 12,1 cm và nghiệm thức không xử lý chiều cao cây 11,8 cm. Đến ngày thứ 4 chiều cao của nghiệm thức có xử lý $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ tiếp tục cao hơn nghiệm thức đối chứng và nghiệm thức không xử lý hóa chất. Ngày thứ 6 ở các nghiệm thức không khác biệt thống kê, cho đến ngày thứ 8 và 10 chiều cao của nghiệm thức xử lý $MgSiO_3$ là cao nhất với 25,8 cm ở ngày 8 và 26,3 cm ở ngày 10. Chiều cao của cây lúa khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% đối với ngày 2, 4, 8, 10, đối với ngày 6 không có khác biệt thống kê. $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ có ảnh hưởng đáng kể đến chiều cao của lúa ST 25 sau 10 ngày xử lý hạn trong đó $MgSiO_3$ có ảnh hưởng rõ rệt hơn $CaSiO_3$ qua kết quả Bảng 1.

Hạn hán ảnh hưởng đến cả sự kéo dài cũng như sự phát triển mở rộng và ức chế mở rộng của tế bào hơn là sự phân chia tế bào (Shao et al., 2008). Lúa có thể bị thiếu nước khi sinh dưỡng hoặc ở giai đoạn sinh sản. Trong giai đoạn sinh dưỡng, hiện tượng cuốn lá có thể xảy ra trên cây lúa (Ji et al., 2012).

Bảng 1. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên chiều cao cây lúa ST25

Nghiệm thức	Chiều cao cây lúa (cm) theo thời gian (ngày)				
	2	4	6	8	10
Đối chứng	12,1[b]	15,5[b]	20,9	25,6[a]	26,9[a]
Không xử lý	11,8[b]	15,1[b]	20,0	23,7[b]	24,4[b]
$CaSiO_3$	13,1[a]	16,3[a]	20,8	24,5[b]	25,3[b]
$MgSiO_3$	13,5[a]	16,9[a]	21,6	25,8[a]	26,3[a]
F	**	**	ns	**	**
CV (%)	6,2	5,5	6,2	4,8	4,1

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%; ns: không khác biệt.*

3.2. Chỉ số diệp lục lá của cây lúa ST25 sau khi xử lý hạn

Chỉ số diệp lục lá của lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn ở các khoảng thời gian trong Bảng 2 cho thấy, sau 2 ngày đầu tiên chỉ số diệp lục lá ở cả 4 nghiệm thức thức không có khác biệt thống kê. Ngày thứ 4 chỉ số diệp lục của đối chứng, $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ lần lượt là 27,5 cm, 27,5 cm và 27,8 cm cao hơn so với nghiệm thức không xử lý với chỉ số diệp lục là 26,5 cm. Tiếp theo các ngày 6, 8 ở nghiệm thức bổ sung $MgSiO_3$ ghi nhận được chỉ số SPAD cao nhất, còn nghiệm thức không xử lý thấp nhất. Riêng đến ngày 10 do lúa đã đến điểm héo và lá đã bị cuốn nên chỉ số giảm xuống ở các nghiệm thức tuy nhiên $MgSiO_3$ vẫn có chỉ số diệp lục cao nhất. Khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% đối với ngày 4, 6, 8 và 10 còn đối với ngày 2 không có khác biệt thống kê.

$CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ có ảnh hưởng đáng kể đến chỉ số diệp lục của các giống lúa sau 10 ngày xử lý hạn. Bảng 2 cho thấy $MgSiO_3$ giúp lá xanh hơn, quá trình quang hợp diễn ra giúp cây hấp thụ carbohydrate góp phần cho cây phát triển khi gặp khô hạn so với nghiệm thức không bổ sung hóa chất trong điều kện stress hạn, từ đó giúp cây chống đỡ và thích nghi tốt hơn trong điều kiện hạn hán ngắn hoặc thiếu nước. Trong đó, $MgSiO_3$ có ảnh hưởng rõ rệt hơn $CaSiO_3$ qua số liệu bảng thống kê. Theo Pandey and Shukla (2015), stress liên quan đến nước gây ra mối đe dọa nghiêm trọng đối với sản xuất lúa, ảnh hưởng đến sinh lý (giảm quang hợp, thoát hơi nước, độ dẫn của khí khổng, hàm lượng diệp lục).

Bảng 2. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên chỉ số SPAD trên lúa ST25

Nghiệm thức	Chỉ số SPAD theo thời gian (ngày)				
	2	4	6	8	10
Đối chứng	27,3	27,5[a]	28,0[b]	28,2[b]	27,1[b]
Không xử lý	26,3	26,5[b]	27,1[c]	27,6[c]	26,6[c]
$CaSiO_3$	26,8	27,5[a]	28,2[ab]	28,3[b]	27,6[b]
$MgSiO_3$	26,8	27,8[a]	28,5[a]	29,0[a]	28,3[a]
F	ns	**	**	**	**
CV (%)	3,2	2,9	2,0	1,9	1,9

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%; ns: không khác biệt.*

3.3. Số lá của cây lúa ST25 sau khi xử lý hạn

Số lá của cây lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn được ghi nhận cho thấy: Sau 2 ngày, số lá ở các nghiệm thức là 2, qua ngày 4 và 6 số lá đạt 3 lá đến ngày 8, 10 số lá tăng lên 4 lá. Khi môi trường hạn đến cạn kiệt nước ảnh hưởng đến chồi ngọn của thân lúa không có nước nuôi thân cây nên không thể ra thêm lá duy trì khả năng sống của cây. Số lá trên cây trong điều kiện thí nghiệm không khác biệt giữa các nghiệm thức ở tất cả các thời điểm ghi nhận.

Lá lúa được hình thành từ các mầm lá ở mắt thân. Lá đầu tiên khi hạt nảy mầm hình thành là lá không hoàn toàn (không có phiến lá) còn gọi là bao mầm, người ta không tính lá này, lá mọc tiếp theo đó được tính là lá thật đầu tiên. Màu sắc lá, kích thước lá, độ dày của lá, góc độ ra lá có ảnh hưởng lớn tới năng suất sinh vật học và năng suất kinh tế sau này.

Tốc độ ra lá của các giống lúa thay đổi theo thời gian sinh trưởng và điều kiện ngoại cảnh. Tốc độ ra lá thay đổi theo thời gian sinh trưởng và điều kiện ngoại cảnh: thời kỳ mạ non trung bình 1-3 ngày ra 1

lá; thời kỳ mạ khoảng 7-10 ngày ra 1 lá; sau cấy lúa bén rễ hồi xanh, tốc độ ra lá nhanh hơn, trung bình 5-7 ngày ra 1 lá (Ngọc, 2016).

3.4. Đánh giá mức độ chịu hạn cây lúa ST25

Đối với nghiệm thức đối chứng, do cung cấp đủ nước trong suốt quá trình thí nghiệm nên cấp độ chịu hạn cuốn lá của lúa không xảy ra.

Kết quả Bảng 3 cho thấy đối với cấp 0 nghiệm thức đối chứng chiếm tỉ lệ thấp nhất chỉ 2,5% và $MgSiO_3$ chiếm tỉ lệ cao nhất với 53,3%. Với cấp 1 tiếp tục nghiệm thức $MgSiO_3$ lại chiếm tỉ lệ cao nhất là 21,7%. Ngược lại, cấp 7 và 9 thì nghiệm thức không xử lý lại chiếm tỉ lệ cao nhất lần lượt là 16,7% và 52,5%. Chứng tỏ lá của các cây lúa ở nghiệm thức không xử lý đã bị cuốn tròn phiến lá lại và một số lá đã xuất hiện vàng, khô thậm chí bị chết và không còn khả năng quang hợp để duy trì dinh dưỡng cho cây phát triển tiếp được. Nghiệm thức xử lý $CaSiO_3$ tỉ lệ cấp 0 và 1 cao so với các cấp còn lại, ở nghiệm thức này lá lúa có cải thiện như lá chỉ cuốn ½ đến ¼ vẫn còn khả năng quang hợp tốt và giữ màu tương đối xanh hơn so với đối chứng. Ở nghiệm thức xử lý $MgSiO_3$ tỉ lệ cấp 0 chiếm rất cao và đa số các cấp còn lại chiếm tỉ lệ thấp, chứng tỏ lá vẫn còn xanh, cây còn khỏe mạnh và quang hợp vẫn tiếp tục diễn ra duy trì khả năng sống của cây.

Bảng 3. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên mức độ chịu hạn trên lúa ST25

Nghiệm thức	Cấp độ chịu hạn (%)					
	Cấp 0	Cấp 1	Cấp 3	Cấp 5	Cấp 7	Cấp 9
Đối chứng	100	0	0	0	0	0
Không xử lý	2,5	10,8	3,3	5,0	16,7	52,5
$CaSiO_3$	25,9	8,3	5,0	10,8	16,6	30,0
$MgSiO_3$	53,3	21,7	7,5	13,4	3,3	9,1

Khả năng chịu hạn của một dòng/giống lúa được đánh giá dựa trên nhiều chỉ tiêu, trong đó mức độ khô đầu lá và mức độ cuốn lá là hai chỉ tiêu hình thái thể hiện rõ ràng và phản ánh trực tiếp tác động của hạn cũng như khả năng chịu hạn của dòng/giống lúa. Khi lúa bị tác động bởi hạn thì đầu lá lúa có các vệt đốm màu trắng, bị khô đầu lá, lá có xu hướng cuộn lại và giảm góc độ lá. Điều này có tác dụng giảm cường độ bức xạ trên bề mặt lá, tăng cường ánh sáng đi xuống phía dưới và giúp duy trì trạng thái thoát hơi nước bề mặt lá ở mức độ tối thiểu (Sen và ctv., 2017).

3.5. Chiều dài rễ của cây lúa ST25 sau khi xử lý hạn

Bảng 4 cho thấy chiều dài rễ của nghiệm thức không xử lý thấp nhất là 7,9 cm, nghiệm thức đối chứng và $CaSiO_3$ có chiều dài tương đương nhau và nghiệm thức có chiều dài rễ cao nhất là $MgSiO_3$ với 12,4 cm, chỉ tiêu này khác biệt ở mức ý nghĩa 5%. Điều này cho thấy rằng trong điều kiện khô hạn khi xử lý hóa chất tác động lên bộ rễ có chiều dài giống như trong điều kiện có nước đầy đủ giúp cây lúa vươn xa tìm nguồn nước duy trì sự sống lâu hơn.

Theo nghiên cứu của Anh và ctv. (2015), nhiệt độ không khí tăng, sự thiếu hụt lượng mưa và hàm lượng nước trong đất giảm là nguyên nhân tác động xấu đến sinh trưởng và phát triển của cây lúa. Để duy trì sự phát triển và cho năng suất ổn định, giống lúa chịu hạn có những biểu hiện về đặc trưng hình thái như: kích thước bộ lá nhỏ, bộ rễ ăn sâu và rút ngắn thời gian sinh trưởng nhằm giảm mức độ tổn thương do thiếu hụt nước gây nên;. "Hệ thống rễ sâu, lan rộng, nhiều nhánh" là một mốc quan trọng của khả năng chịu hạn. Độ sâu và sự lan rộng của hệ thống rễ được công nhận là những thành phần quan trọng cho phép thực vật tiếp cận nguồn nước sẵn có trong đất (Siddiqui et al., 2021).

Bảng 4. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên chiều dài rễ trên lúa ST25

Nghiệm thức	Chiều dài rễ trung bình (cm)
Đối chứng	11,7[a]
Không xử lý	7,9[b]
$CaSiO_3$	11,8[a]
$MgSiO_3$	12,4[a]
F	**
CV (%)	8,3

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%.*

3.6. Khối lượng tươi và khô

Khối lượng tươi sau 10 ngày xử lý hạn nhận thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% giữa các nghiệm thức với nhau (Bảng 5). Trong đó, nghiệm thức đối chứng có khối lượng tươi trung bình cao nhất với 5,4 g/chậu, các nghiệm thức còn lại có khối lượng tươi tương đương nhau lần lượt là 2,6 g/chậu của nghiệm thức không xử lý, 2,8 g/chậu đối với $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ là 2,8 g/chậu. Ở điều kiện khô hạn, nghiệm thức không xử lý hóa chất cho kết quả

khối lượng tươi thấp hơn so với có xử lý $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$. Khối lượng khô ở nghiệm thức đối chứng là cao nhất với 0,9 g/chậu và nghiệm thức xử lý $MgSiO_3$ có khối lượng thấp nhất với 0,5 g/chậu. Ở nghiệm thức có xử lý $CaSiO_3$ với 0,6 g/chậu cho khối lượng khô cao hơn so với nghiệm thức xử lý $MgSiO_3$.

Theo Pandey et al. (2015), cây bị stress do hạn hán rễ hút nước trở nên khó khăn hoặc khi tốc độ thoát hơi nước trở nên rất cao. Nó làm suy yếu nghiêm trọng sự tăng trưởng, phát triển và cuối cùng ảnh hưởng sinh khối lúa gạo. Khi bổ sung $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ ở nồng độ 200 mg/L thì sự tích lũy vật chất làm khối lượng khô cây cao hơn nghiệm thức không bổ sung $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$, và cho kết quả tương đương với đối chứng, từ đó cây có thể duy trì nhịp độ phát triển và ít bị ảnh hưởng nghiêm trọng trong điều kiện stress hạn tác động.

Bảng 5. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên khối lượng tươi trên lúa ST25

Nghiệm thức	Khối lượng tươi trung bình (g/chậu)	Khối lượng khô trung bình (g/chậu)
Đối chứng	5,4[a]	0,9[a]
Không xử lý	2,6[b]	0,7[b]
$CaSiO_3$	2,8[b]	0,6[c]
$MgSiO_3$	2,8[b]	0,5[d]
F	**	**
CV (%)	9,7	8,0

Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%.

3.7. Hàm lượng chlorophyll a, b và carotenoid trong thân lá

Kết quả ghi nhận trong Bảng 6 về hàm lượng chlorophyll a của lá trong cây lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn cho thấy có khác biệt thống kê giữa các nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%. Nghiệm thức $MgSiO_3$ có hàm lượng cao nhất với 233,7 µg/g KLT, các nghiệm thức còn lại có hàm lượng tương đương nhau. Hàm lượng chlorophyll b của giống lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn cho thấy có khác biệt thống kê giữa các nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%. Nghiệm thức $MgSiO_3$ có hàm lượng cao nhất với 383,1 µg/g KLT, các nghiệm thức còn lại có hàm lượng tương đương nhau. Hàm lượng carotenoid của giống lúa ST25 sau 10 ngày xử lý hạn cho thấy có khác biệt thống kê giữa các nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%. Nghiệm thức $MgSiO_3$ có hàm lượng cao nhất với 356,1 µg/g KLT, các nghiệm thức còn lại có hàm lượng tương đương nhau.

Hạn hán gây ra nhiều thay đổi liên quan đến chức năng trao đổi chất bị thay đổi và một trong số đó là làm mất hoặc giảm sự tổng hợp các sắc tố quang hợp. Điều này dẫn đến giảm khả năng thu nhận ánh sáng và tạo ra năng lượng khử, đây là nguồn năng lượng cho các phản ứng tối của quá trình quang hợp. Những thay đổi về lượng sắc tố quang hợp này có liên quan chặt chẽ đến sinh khối và năng suất thực vật. Chất diệp lục là một trong những sắc tố quan trọng của bộ máy quang hợp, nó hấp thụ ánh sáng và truyền năng lượng ánh sáng đến trung tâm phản ứng của hệ thống quang hợp. Cả diệp lục a, b và các carotenoid khác có các vai trò bổ sung trong cấu trúc hệ thống quang lục lạp, thu nhận ánh sáng, bảo vệ quang và một phần giúp cây chống chọi với các tác nhân hạn hán (Pandey et al., 2015).

Bảng 6. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên hàm lượng các sắc tố quang hợp trên lúa ST25

Nghiệm thức	Chlorophyll a (µg/g KLT)	Chlorophyll b (µg/g KLT)	Carotenoid (µg/g KLT)
Đối chứng	145,5[ab]	238,2[ab]	189,4[b]
Không xử lý	116,9[b]	192,5[b]	175,6[b]
$CaSiO_3$	166,4[ab]	272,6[ab]	229,5[ab]
$MgSiO_3$	233,7[a]	383,1[a]	356,1[a]
F	*	*	*
CV (%)	30,3	30,2	29,5

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. *: khác biệt ở mức 5%.*

3.8. Hàm lượng đường tổng trong lá

Theo kết quả ghi nhận về hàm lượng đường tổng số trên lá của lúa ST25 ở Bảng 7 cho thấy có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5% giữa các nghiệm thức. Điều này cho thấy khi cây lúa ở điều kiện khô hạn có xử lý $MgSiO_3$ có hàm lượng đường tổng thấp nhất với 15,7 µg/g KLT. Sự điều chỉnh thẩm thấu đạt được nhờ sự tích tụ của proline, sucrose, glycinebetaine và các chất hòa tan khác trong tế bào chất, cải thiện sự hút nước từ đất khô. Hạn hán cũng gây ra sự tích tụ các loại đường hòa tan (Pandey et al., 2015).

Bảng 7. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên hàm lượng đường tổng trên cây lúa ST25

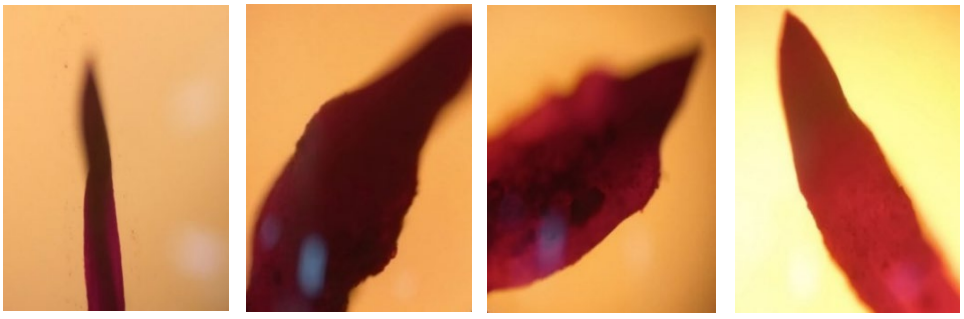
Nghiệm thức	Đường tổng trong lá (µg/g KLT)
Đối chứng	22,7[a]
Không xử lý	17,5[ab]
$CaSiO_3$	22,6[a]
$MgSiO_3$	15,7[b]
F	*
CV (%)	15,1

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan *: khác biệt ở mức 5%.*

3.9. Sự peroxy hóa lipid

Qua Hình 2, nhận thấy có sự bắt màu thuốc nhuộm nhiều ở nghiệm thức không xử lý hóa chất và ít hơn ở các nghiệm thức đối chứng, xử lý $MgSiO_3$ và $CaSiO_3$. Điều này chứng tỏ rằng với sự hỗ trợ của hợp chất calcium silicate và magnesium silicate, sự peroxy hóa lipid ở rễ giảm khi chịu tác động của stress hạn vì thuốc thử của Fuchsin ít phản ứng với các nhóm chức aldehyd của MDA (sản phẩm phụ của quá trình peroxy hóa lipid) tạo màu nhạt hơn.

ROS bao gồm gốc superoxide, gốc tự do hydroxyl, hydrogen peroxide và oxy đơn, và gây ra quá trình peroxy hóa lipid, biến tính protein, đột biến DNA, phá vỡ cân bằng ổn định của tế bào và các loại tổn thương oxy hóa tế bào khác nhau (Pandey et al., 2015). Nhuộm Fuchsin để phát hiện sự peroxy hóa lipid trên bề mặt rễ. Kỹ thuật này dựa trên việc sử dụng thuốc thử của Fuchsin để phát hiện các chức năng của aldehyd có nguồn gốc từ quá trình peroxy hóa lipid màng và gắn vào protein màng, cụ thể là thuốc thử của Fuchsin phản ứng với các nhóm chức aldehyd của MDA (sản phẩm phụ của quá trình peroxy hóa lipid) tạo màu đỏ tươi (Yamamoto et al., 2001).



Hình 2. Rễ lúa nhuộm bằng thuốc nhuộm Fuchsin

Chú thích (từ trái qua phải): đối chứng, không xử lý, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$

3.10. Hàm lượng malondialdehyde (MDA)

Kết quả ghi nhận về hàm lượng MDA trong Bảng 8 cho thấy, có sự khác biệt thống kê giữa các nghiệm thức ở mức 1%. Số liệu cho thấy nghiệm thức không xử lý hóa chất có hàm lượng MDA cao nhất (389,7 ng/g KLT) làm cho rễ bị oxy hóa nhiều hơn so với nghiệm thức có xử lý hóa chất. Qua kết quả thí nghiệm này, $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ có tác động làm giảm sự peroxid hóa lipid trong điều kiện hạn so với nghiệm thức đối chứng và không xử lý.

Hạn hán thường dẫn đến tích tụ các loại gốc tự do có oxy phản ứng (ROS) do khí khổng đóng lại. Sản xuất ROS quá mức có thể gây ra stress oxy hóa, gây hại cho thực vật bằng cách oxy hóa các sắc tố quang hợp, lipid màng, protein và axit nucleic. Sự hiện diện của ROS dư thừa có thể oxy hóa nhiều thành phần tế bào như protein và lipid, cuối cùng sẽ gây ra chết tế bào (Cruz de Carvalho, 2008). Sản xuất malondialdehyde (MDA) là một chỉ số của quá trình peroxy hóa lipid màng không bảo hòa. Sự hình thành gốc MDA cũng cho thấy sự hiện diện của ROS trong rễ trong điều kiện khô hạn.

Bảng 8. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên hàm lượng MDA trên cây lúa ST25

Nghiệm thức	Hàm lượng MDA (ng/g KLT)
Đối chứng	237,4[b]
Không xử lý	389,7[a]
$CaSiO_3$	175,9[b]
$MgSiO_3$	187,2[b]
F	**
CV (%)	24,5

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%.*

MDA (Malonyl dialdehyd) là sản phẩm cuối cùng của quá trình peroxy hóa lipid màng tế bào. Sử dụng acid thiobarbituric (TBA) để xác định hàm lượng MDA trong tổ chức tế bào, từ đó đánh giá khả năng chống oxy hóa của chất nghiên cứu thể hiện qua việc giảm hàm lượng MDA.

3.11. EC và pH đất sau khi thu hoạch lúa

Kết quả ghi nhận về chỉ số EC đất trồng các nghiệm thức được thu vào ngày thứ 10 sau khi xử lý hạn ở Bảng 9 cho thấy, có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1%, trong đó nghiệm thức xử lý CaSiO3 có chỉ số EC cao nhất với 80,5 µS/cm, nghiệm thức đối chứng có chỉ số EC thấp nhất với 41,9 µS/cm. Chỉ số pH đất trồng các nghiệm thức cho thấy có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1%, trong đó nghiệm thức đối chứng có chỉ số pH cao nhất với 6,2 và các nghiệm thức còn lại có chỉ số pH tương đương nhau. Điều này cho thấy ở cùng điều kiện hạn có hoặc không xử lý hóa chất đều có chỉ số pH tương đương nhau.

Bảng 9. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên EC đất trồng trên cây lúa ST25

Nghiệm thức	EC (µS/cm)	pH
Đối chứng	41,9[c]	6,2[a]
Không xử lý	76,7[b]	5,3[b]
$CaSiO_3$	80,5[a]	5,2[b]
$MgSiO_3$	81,5[b]	5,3[b]
F	**	**
CV (%)	2,1	1,4

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%.*

Chỉ số EC đất (Electrical Conductivity) là chỉ số diễn tả tổng nồng độ ion hòa tan trong dung dịch có trong đất. Độ dẫn điện có thể được thể hiện bằng một số đơn vị khác nhau nhưng đơn vị tiêu biểu được dùng để đo lường EC là millisiemens trên centimet (mS/cm). Chỉ số EC không diễn tả nồng độ của từng chất trong đất đồng thời cũng không thể hiện mức độ cân bằng của các chất dinh dưỡng trong đất. Chỉ số EC thể hiện tổng số ion hiện đang có trong đất, một phần nào đó EC được xem là thể hiện mức dinh dưỡng hiện đang có trong đất trồng. Độ pH của đất được coi là một biến số chính trong đất vì nó ảnh hưởng đến nhiều quá trình hóa học. Nó đặc biệt ảnh hưởng đến lượng dinh dưỡng thực vật bằng cách kiểm soát các dạng hóa học của các chất dinh dưỡng khác nhau và ảnh hưởng đến các phản ứng hóa học mà chúng trải qua. Phạm vi pH tối ưu cho hầu hết các cây trồng là từ 5,5 đến 7,5.

3.12. Ẩm độ đất

Theo kết quả ghi nhận về chỉ số độ ẩm đất trồng các nghiệm thức ở Bảng 10 cho thấy, có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1%, trong đó nghiệm thức đối chứng có độ ẩm cao nhất với 37,3 % và các nghiệm thức còn lại có độ ẩm tương đương nhau. Điều này cho thấy ở cùng điện kiện hạn có hoặc không xử lý hóa chất đều tương đương nhau.

Bảng 10. Ảnh hưởng của calcium silicate và magnesium silicate lên độ ẩm đất trồng lúc thu mẫu

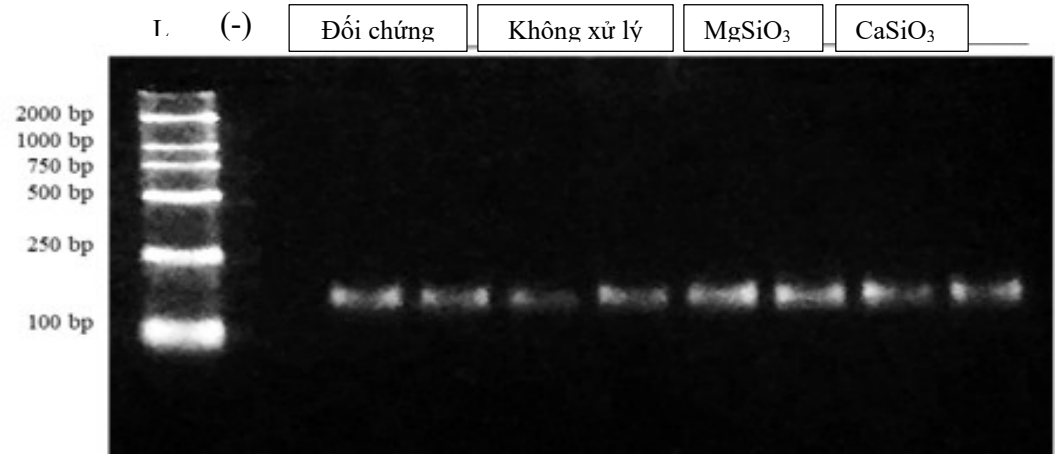
Nghiệm thức	Độ ẩm (%)
Đối chứng	37,3[a]
Không xử lý	14,2[b]
$CaSiO_3$	15,3[b]
$MgSiO_3$	15,1[b]
F	**
CV (%)	4,0

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các số có chữ theo sau giống nhau thì không khác biệt qua phép thử Duncan. **: khác biệt ở mức 1%.*

Theo Sơn và ctv. (2020), khi độ ẩm đất đạt 15% những giống lúa rẫy bắt đầu cuốn lá, đạt 10% lá héo khô và lá tổn thương nặng khi độ ẩm đất đạt 5%. Độ ẩm đất có vai trò quan trọng trong việc kiểm soát hạn hán, khi độ ẩm đất thấp hơn một giới hạn nào đó, thực vật không hút đủ nước thì sẽ bị hạn. Giới hạn này phụ thuộc vào khả năng giữ nước của đất và khả năng lấy nước của cây.

3.13. Gen chịu hạn

Sau khi sử dụng kĩ thuật PCR kiểm tra gen kiểm soát sự cuốn lá *qLR9.1* và kiểm soát hàm lượng nước tương đối *qRWC9.1* trên lúa ST25 cho kết quả như sau:



Hình 4. Sản phẩm PCR với đoạn mồi RM257

Sử dụng phần lá sau khi thu hoạch đem phân tích bằng kĩ thuật PCR. Kết quả kiểm tra (Hình 4) cho chúng ta thấy cả 4 nghiệm thức có dãy băng hình xuất hiện ở vị trí 150bp với sự kiểm tra của gen *qLR9.1* bên trái và *qRWC9.1* bên phải. Điều này thể hiện cả 4 nghiệm thức điều có sự hiện diện của gen *qLR9.1* và *qRWC9.1* (với đoạn mồi RM257 kích thước băng hình xuất hiện ở vị trí từ 150bp đến 250bp). Theo nghiên cứu của Được và ctv. (2017), đoạn mồi RM257 dùng để đánh dấu trên cá thể mẹ (OM6976) và giống OM6976 thể hiện băng ở kích thước 150bp và giống Jasmine 85 ở kích thước 250bp.

qLR9.1 kiểm soát đặc tính cuốn lá nằm trên nhiễm sắc thể số 9 và được quan sát với khả năng chịu hạn. *qRWC9.1* có thể được coi là một QTL mới từ thử nghiệm "Lập bản đồ di truyền các đặc điểm hình thái-sinh lý liên quan đến khả năng chịu hạn ở giai đoạn sinh sản của cây lúa". Do đó, QTL được phát hiện trong thí nghiệm này để kiểm soát hàm lượng nước tương đối dưới áp lực hạn hán có thể là một QTL mới và được đặt tên là qRWC9.1. Các QTL cụ thể là *qLR9.1* và *qRWC9.1* đã được quan sát thấy trong khoảng đánh dấu RM316 và RM257 ở vị trí lần lượt là 25,8 và 18,8 trên nhiễm sắc thể số 9 (Barik et al., 2019).

4. KẾT LUẬN

Thí nghiệm khảo sát về ảnh hưởng của $CaSiO_3$ và MgSiO3 lên khả năng chịu hạn trên lúa ST25 ở giai đoạn mạ cho thấy ảnh hưởng tích cực của 2 loại hóa chất trên cây lúa bị stress hạn, cũng như giúp gia tăng sự thích nghi đồng thời cải thiện sinh trưởng và biến dưỡng của cây lúa ST25 giai đoạn mạ. Có thể thấy, việc bổ sung $CaSiO_3$ và $MgSiO_3$ có ảnh hưởng tích cực trên cây lúa bị stress hạn. Trong đó, $MgSiO_3$ có hiệu quả hơn trong sự sinh trưởng so với hợp chất còn lại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Barik, S. R., Pandit, E., Pradhan, S. K., Mohanty, S. P., & Mohapatra, T. (2019). Genetic mapping of morpho-physiological traits involved during reproductive stage drought tolerance in rice. *Plos One, 14*(12), e0214979. https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0214979.

Cakmak, I., & Kirkby, E. A. (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, *133*(4), 692-704. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x

Cruz de Carvalho, M. H. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant Signaling and Behavior*, *3*(3), 156-165. https://doi.org/10.4161/psb.3.3.5536

De Melo, F. R. J., Gutsch, A., De Caluwe´, T., Leloup, J. C., Gonze, D., Hermans, C., Webb, A, A. R ., & Verbruggen, N. (2021). Magnesium maintains the length of the circadian period in Arabidopsis. *Plant Physiology*, *185*(2), 519–532. https://doi.org/10.1093/plphys/kiaa042

Anh, Đ. V., Dũng, N. A., Tứ, T. V., & Chinh, N. D. (2015). Khả năng chịu hạn của các giống lúa ngắn ngày, năng suất cao cho vùng đất cạn và vùng đất khó khăn về nước. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, *1*(55), 21-29.

Hansen, J., & Møller, I. B. (1975). Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative

determination with anthrone. *Analytical Biochemistry*, *68*(1), 87-94.

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*(1), 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90523-7

Hitomi, K., & Getzoff, E. D. (2013). Going Green: Phytohormone Mimetics for Drought Rescue. Department of Integrative Structural and Computational Biology and Skaggs Institute for Chemical Biology. *Plant Physiol, 163*(3), 1087–1088. https://doi.org/10.1104/pp.113.227660

Hostettler, C., K., Santelia, K. D., Streb, S., Kötting, O., & Zeeman, S. C. (2011). Analysis of starch metabolism in chloroplasts. *Chloroplast Research in Arabidopsis*. 10.1007/978-1-61779-237-3_21.

Được, H. V., Lang, N. T. Tầm, B. T., & Tư, P. T. B. (2017). Ứng dụng chỉ phị phân tử chọn giống lúa có hàm lượng amylose thấp trên quần thể lai hồi OM6976/Jasmine 85//OM6976. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, *7*(80), 3-8.

Ji, K., Wang, Y., Sun, W., Lou, Q., Mei, H., Shen, S., & Chen, H. (2012). Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. *Journal of Plant Physiology, 169*(4), 336-344. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.10.010

Joshi, R., & Pratima, S. B (2022). Role of Silicon in Abiotic Stress Management in Crops. *Vigyan Varta*, *3*(8), 131-133. https://doi.org/10.22271/ed.book.1881

Ketehouli, T., Quoc, V. H. N., Dong, J., Do, H. T., Li, X., & Wang, F. (2022). Overview of the roles of calcium sensors in plants' response to osmotic stress signalling. *Functional Plant Biology*, *49*(7), 589-599. https://doi.org/10.1071/FP22012

Khan, I., Awan, S. A., Rizwan, M., Brestic, M., & Xie, W. (2022). Silicon: an essential element for plant nutrition and phytohormones signaling mechanism under stressful conditions. *Plant Growth Regulation*, *100(1)*, 301-319. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00872-3

Pandey, V., & Shukla, A. (2015). Acclimation and Tolerance Strategies of Rice under Drought Stress. *Rice Science, 22*(4)*,* 147-161. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.04.001

Rocha, G. A., & Vothknecht, U. C. (2012). The role of calcium in chloroplasts—an intriguing and unresolved puzzle. *Protoplasma*, *249*(4), 957–966. https://doi.org/10.1007/s00709-011-0373-3ontiers in Plant Science

Shao, HB., Chu, LY., Jaleel, C. A., & Zhao, CX. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Science Direct*, *331*(2008), 215–225. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002

Shaul, O. (2002). Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*, *15*(3): 307–321. https://doi.org/10.1023/A:1016091118585

Siddiqui, M.N., Léon, J., Naz. A. A., & Ballvora, A. (2021). Genetics and genomics of root system variation in adaptation to drought stress in cereal crops. *Journal of Experimental Botany*, *72*(4), 1007-1019. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa487

Sơn, T. N., Thành, V. C., Hương, V. L., Nhi, Đ. T. Y., Dương, T. T. T., Đình, N. T., & My, T. T. D. (2020). Nghiên cứu khả năng chịu hạn liên quan đến hình thái rễ và cấu trúc khí khổng của 12 giống lúa mùa (*Oryza sativa* L.) trong điều kiện hạn nhân tạo. Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, *63*(2), 27-32.

Sen, T. T. H., Đông, T. T. H., Nhi, P. T. P., Sen, T. T., & Quang, T. M. (2017). Khả Năng Chịu Hạn Của Một Số Dòng/Giống Lúa Trong Điều Kiện Nhà Lưới. Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế. *Tạp chí Khoa học-Đại học Huế, 126(3)*, 85-96.

Ngọc, T. T. (2016). *Đánh giá một số đặc điểm sinh trưởng và phát triển của dòng lúa thuần mới chọn tạo (CD 56 nâu) trong vụ xuân 2011 tại trường Đại Học Nông Nghiệp Hà Nội*. Chuyền đề tốt nghiệp ngành Khoa học cây trồng. Đại học nông nghiệp Hà Nội.

Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, *144*(3), 307-313.

White, J. P., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in Plants. *Annals of Botany*, *92*(4), 487–511. https://doi.org/10.1093/aob/mcg164

Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., & Matsumoto, H. (2001). Lipid peroxidation is an early symptom triggered by aluminum, but not the primary cause of elongation inhibition in pea roots. *Plant Physiology*, *125*(1), 199-208.