

## ẢNH HƯỞNG CỦA SILIC ĐẾN SINH TRƯỞNG VÀ NĂNG SUẤT GIỐNG MÈ ĐEN ADB1 (*Sesamum indicum* L.) TRONG ĐIỀU KIỆN THIẾU NƯỚC

Nguyễn Thị Phương Trâm, Nguyễn Hồng Huế, Trần Thị Bích Vân, Lê Vinh Thúc\*

Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

\*Tác giả liên hệ: lvthuc@ctu.edu.vn

Nhận bài: 29/05/2023 Hoàn thành phản biện: 03/06/2023 Chấp nhận bài: 06/06/2023

### TÓM TẮT

Thiếu nước tưới làm ảnh hưởng đến năng suất trầm trọng cho nhiều cây trồng. Nghiên cứu được thực hiện nhằm tìm ra liều lượng phun silic giúp cây mè cho năng suất trong điều kiện thiếu nước. Thí nghiệm được bố trí theo khối hoàn toàn ngẫu nhiên 8 nghiệm thức với 6 lần lặp lại. Các nghiệm thức thí nghiệm bao gồm có tưới nước cho cây nhưng không phun silic (1), không tưới nước, không phun silic (2), không tưới nước và phun silic với nồng độ 25 mg/L (3), 50 mg/L (4), 75 mg/L (5), 100 mg/L (6), 125 mg/L (7) và 150 mg/L (8). Các nghiệm thức phun silic hai lần ở thời điểm mới bắt đầu và 01 tuần sau khi ngưng tưới nước. Kết quả thí nghiệm cho thấy trong điều kiện thiếu nước tưới cho cây được bổ sung silic với liều lượng 100 mg/L giúp duy trì gia tăng chiều cao cây, số lá, số quả, số hạt, chỉ số hàm lượng diệp lục (SPAD) và năng suất hạt. Cây mè trong điều kiện thiếu nước không phun silic sự phát triển và năng suất hạt bị ảnh hưởng đáng kể, giảm 34% năng suất so với nghiệm thức tưới nước đầy đủ.

**Từ khóa:** Silic, Khô hạn, Năng suất, Cây mè

## EFFECT OF SILICON ON GROWTH AND YIELD OF BLACK SESAME ADB1 (*Sesamum indicum* L.) LESS WATER IRRIGATION CONDITION

Nguyen Thi Phuong Tram, Nguyen Hong Hue, Tran Thi Bich Van, Le Vinh Thuc\*

College of Agriculture, Can Tho University

### ABSTRACT

Lack of irrigation water seriously affects the productivity of several crops. The study was carried out to determine the dose of silicon spray to help sesame plants to give high yield in the condition of water shortage. The experiment was arranged in a completely randomized block design with 8 treatments with 6 replications. Experimental treatments included watering with no silic spraying (1), no watering, no silic spraying (2), no watering and silic spraying at a concentration of 25 mg/L (3), 50 mg/L (4), 75 mg/L (5), 100 mg/L (6), 125 mg/L (7) and 150 mg/L (8). The silic was sprayed 2 times when stop watering and then one week after stop watering. Experimental results showed that in the condition of lack of water for sesame plant, spraying with 100 mg/L silicon helped maintain an increase in plant height, number of leaves, number of pods, number of seeds/pod, SPAD index and seed yield. Sesame plants under the condition of lack of water without silicon spraying were significantly affected growth and seed yield, reducing yield by 34% compared to the watering as recommendation treatment.

**Keywords:** Silic, Drought, Yield, Sesame

## 1. MỞ ĐẦU

Cây mè (*Sesamum indicum* L.) là một trong những loại cây lấy dầu quan trọng trên thế giới (Dossou và cs., 2023) và được mệnh danh là hoàng hậu của cây lấy dầu vì trong hạt có hàm lượng dầu cao (Myint và cs., 2020). Hạt mè rất giàu vitamin E và linoleic acid, chúng hạn chế hàm lượng cholesterol trong máu (Wei và cs., 2014). Có nhiều công bố cho rằng cây mè có thời gian sinh trưởng ngắn và chịu hạn tốt (Manaf và cs., 2020; Kouighat và cs., 2021). Tuy nhiên, hạn kéo dài làm ảnh hưởng lên cây mè về năng suất, số quả trên cây và chất lượng dầu (Kermani và cs., 2019; Dissanayake và cs., 2020). Theo Dossa và cs. (2019) ở thời điểm ra hoa cây mè dễ bị ảnh hưởng của hạn.

Ở Đồng bằng sông Cửu Long, cây mè thường được lựa chọn luân canh trên nền đất lúa vụ xuân - hè vì là cây dễ trồng ít chăm sóc. Ở thời điểm này là mùa khô nên việc chủ động nguồn nước không thuận lợi hay do quan điểm của người dân cây mè là cây chịu hạn nên ít quan tâm tưới nước. Điều này làm ảnh hưởng đến năng suất mè rất lớn. Silic là khoáng chất có hàm lượng rất cao trong tự nhiên và có vai trò rất quan trọng cho sự phát triển của cây trồng, chúng tích lũy trong cây lượng lớn (Agarie và cs., 1998). Silic được cây trồng lấy đi ở dạng silicic acid, là dinh dưỡng cho cây nhưng hấp thu ở hàm lượng cao thì gây ngộ độc (Kaur và Greger, 2019). Tuy nhiên, theo Ma (2004) trong canh tác việc bón phân hóa học liều lượng cao làm giảm lượng silic trong đất. Theo Wang và cs. (2021) silic giúp nhiều loại cây trồng kháng hạn kể cả nhóm cây một lá mầm và cây hai lá mầm. Cây trồng hấp thu được silic qua rễ và qua lá. Việc phun silic qua lá giúp cây trồng hấp thu thuận lợi hơn ở dạng khoáng bón vào đất (Flores và cs., 2019; Oliveira và cs., 2019; Hussain và cs., 2021; Junior và cs., 2021).

Phun bổ sung silic cho cây trồng giúp cây chống chịu với điều kiện bất lợi, ngay cả việc thiếu nước (Moraes và cs., 2020; Wang và cs., 2021). Ở điều kiện khô hạn, hô hấp của cây sẽ giảm khi được phun silic và duy trì cho cây phát triển và cho năng suất (Agarie và cs., 1998). Theo Wang và cs. (2021) hô hấp là một trong chỉ số quan trọng chỉ ra cây trồng chịu hạn. Hô hấp trên cây trồng được điều khiển thông qua quá trình đóng mở khí khổng (Wang và Jin, 2015). Theo Snyman và cs. (1997) trên cây *Eragrostis lehmanniana* khi bị thiếu nước thì trao đổi khí tăng lên sau đó giảm xuống thấp. Silic giúp cho cây trồng hạn chế hô hấp quá nhiều làm giảm mất nước trong điều kiện hạn (Raven, 1983). Có nhiều nghiên cứu cho thấy silic giúp cây trồng chống lại điều kiện bất lợi, sự tấn công của sâu bệnh trên cây trồng (Amira và cs., 2015; Dobermann, 2000; Matichenkov và Calvert, 2002). Để hạn chế sự ảnh hưởng của việc thiếu nước ở giai đoạn sau khi trở hoa nghiên cứu được thực hiện nhằm tìm ra liều lượng silic phù hợp giúp cây mè duy trì và cho năng suất tốt.

## 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện tại nhà lưới trong thời gian từ tháng 6 đến tháng 11 năm 2022 tại nhà màng của Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ. Đất thí nghiệm là lớp đất mặt ruộng trồng lúa - mè - lúa được thu từ 0-20 cm. Mẫu đất được phơi khô và trộn lại với nhau, rồi cho vào chậu, mỗi chậu 10 kg đất ( $pH_{H_2O}$  (1:2.5 đất-nước) = 4,81; N tổng số = 0,18%; P tổng số = 0,028%; K tổng số = 1,47%; CEC meq/100 g = 17,8). Chậu thí nghiệm màu đen có đường kính 33 cm, cao 27 cm. Giống mè đen ADB1 (thấp cây, phân nhánh, chịu hạn, ít đổ ngã, năng suất 1,2 - 2 tấn/ha) được Viện Khoa học kỹ thuật miền Nam tuyển chọn.

Hạt mè được phơi nhẹ và xử lý nước nóng 50°C trong thời gian 15 phút, sau đó gieo vào trong chậu 10 hạt. Khi cây mọc lên cao 2 cm thì tỉa lại chừa lại 2 cây khỏe mạnh trên chậu cho thí nghiệm.

Liều lượng phân bón cho thí nghiệm là 90 kg N, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> và 30 kg K<sub>2</sub>O bón cho một hecta (Nguyễn Thị Bích Thắm và cs., 2021). Silic sử dụng làm thí nghiệm là Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, có nguồn gốc từ Trung Quốc.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu khối hoàn toàn ngẫu nhiên, một nhân tố, 8 nghiệm thức với 6 lần lặp lại. Các nghiệm thức gồm (1) tưới nước đầy đủ không phun silic (đối chứng 1), (2) không tưới nước, không phun silic (đối chứng 2), (3) không tưới nước và phun silic 25 mg/L (3), không tưới nước và phun silic 50 mg/L (4), không tưới nước và phun silic 75 mg/L (5), không tưới nước và phun silic 100 mg/L (6), không tưới nước và phun silic 125 mg/L (7) và không tưới nước và phun silic 150 mg/L (8).

Sau khi cho đất, chậu thí nghiệm được tưới nước chậm hạn chế nước chảy ra chậu cho đến khi nước thấm đều vào đất, tiến hành gieo hạt mè, mỗi chậu gieo 10 hạt Tưới nước giữ ẩm vào buổi sáng và chiều hàng ngày. Sau 7 ngày thì tưới ngày một lần (0,5 lít nước/chậu), đến ngày 25 thì ngưng tưới nước và phun silic theo nghiệm thức thí nghiệm. Tiếp theo 7 ngày sau tiến hành phun lại silic theo nghiệm thức thí nghiệm. Ở ngày thứ 20 sau khi gieo có bổ sung thêm phân rom mục ẩm 0,4 kg/chậu cho tất cả các nghiệm thức để giữ ẩm.

Chỉ tiêu theo dõi gồm chiều cao cây (cm), số lá (lá trưởng thành), số nhánh (đếm nhánh khi có mang lá hoàn chỉnh) được thu thập ở thời điểm thu hoạch. Chỉ số hàm lượng diệp lục tố (SPAD) và trao đổi không khí bằng SC-1 Leaf Porometer (Decagon Devices, Pullman, WA, USA) ở lá thứ 05 từ ngọn (là lá trưởng thành) và được đo ở thời điểm 01 tuần sau khi ngưng tưới nước vào buổi sáng. Số quả

trên cây, số hạt trên quả được lấy trung bình của 03 quả trên cây. Khối lượng 1.000 hạt (g) và năng suất hạt trên cây (g) được tính quy về ở ẩm độ 10%.

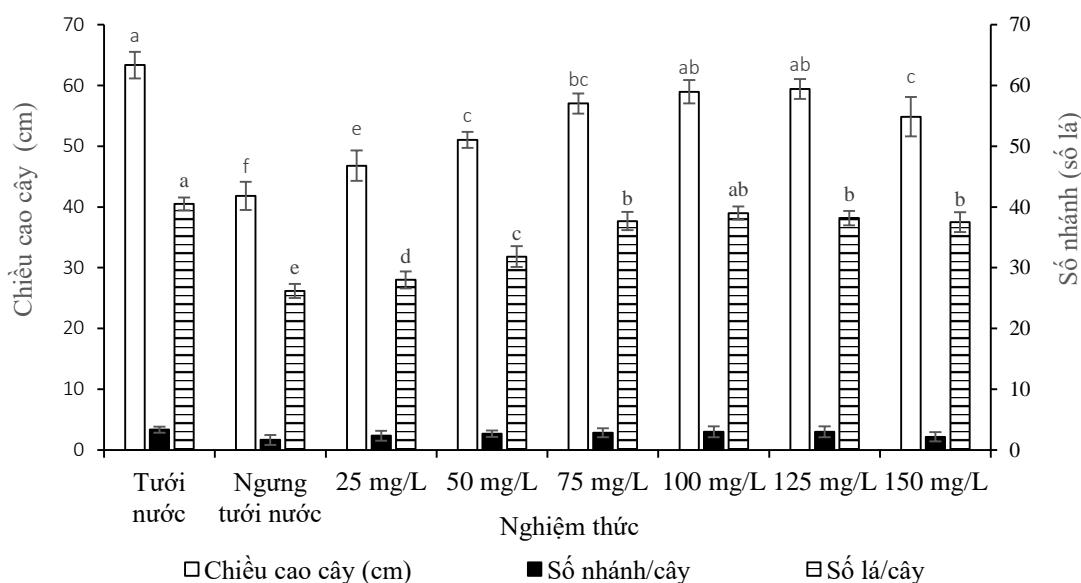
## 2.3. Phân tích số liệu

Số liệu thu thập được phân tích ANOVA bằng phần mềm SPSS 16.0. Các giá trị trung bình được so sánh sự khác biệt bằng phép thử DUNCAN ở mức ý nghĩa 5%.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của phun silic đến chiều cao cây mè đen

Ở thời điểm thu hoạch, chiều cao cây mè đen ở nghiệm thức không tưới nước và không phun bổ sung silic có chiều cao thấp nhất (41,8 cm), khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5% so với các nghiệm thức còn lại (Hình 1). Nghiệm thức phun bổ sung silic với nồng độ 100 mg/L và 125 mg/L cây mè đen có chiều cao lần lượt là 58,9 cm và 59,5 cm trong điều kiện thiếu nước tưới và tương đương chiều cao cây mè đen ở nghiệm thức được tưới nước đầy đủ. Khi phun silic ở nồng độ 25 mg/L đã giúp cây mè đen phát triển chiều cao tốt hơn so với không phun bổ sung silic trong điều kiện không tưới nước ở giai đoạn ra hoa. Tuy nhiên, khi phun bổ sung silic ở liều lượng cao 150 mg/L thì chiều cao cây thấp hơn so với chiều cao cây ở nghiệm thức phun 100 và 125 mg/L silic (54,9 cm). Tương tự, cây mè đen ở nghiệm thức không tưới nước và không phun silic có số lá thấp nhất 26,0 lá/cây và có khác biệt ý nghĩa thống kê so với tất cả các nghiệm thức còn lại (Hình 1). Nghiệm thức có số lá cao nhất khi cây mè đen được cung cấp nước đầy đủ (41 lá/cây). Khi cây mè đen được phun bổ sung 100 mg/L silic có số lá là 39,0 và không khác biệt ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức được tưới nước. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ phun bổ sung silic số lá trên cây có xu hướng giảm (ở nghiệm thức 150 mg/L silic) (Hình 1).



**Hình 1.** Ảnh hưởng của liều lượng phun silic đến chiều cao cây, số nhánh và số lá của cây ở thời điểm thu hoạch

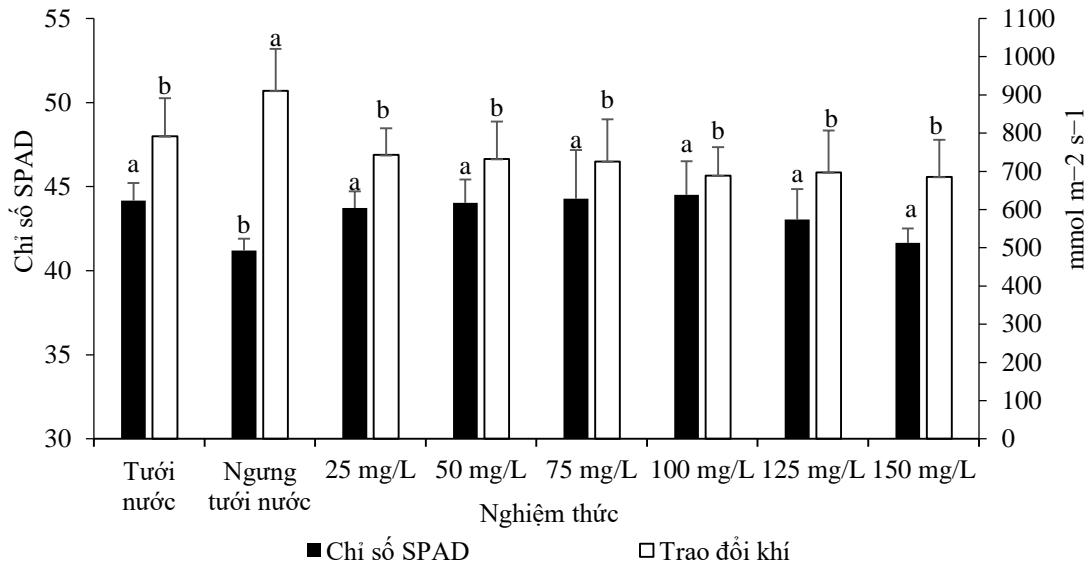
Hình 1 cho thấy số nhánh trên cây của các nghiệm thực là không có sự khác biệt nghĩa thống kê. Ở nghiệm thực không tưới nước và không phun bổ sung silic số nhánh trên cây có xu hướng thấp hơn so với các nghiệm thực còn lại. Trong điều kiện thí nghiệm ghi nhận chỉ có ở nghiệm thực được tưới nước thì trên nhánh có mang quả. Còn tất cả các nghiệm thực còn lại là không có quả trên nhánh.

Hình 1 cho thấy chiều cao cây, số lá và số nhánh cây mè đen ở các nghiệm thực xử lý không tưới nước có phun bổ sung silic giúp cây duy trì sinh trưởng tốt hơn so với nghiệm thực xử lý không tưới nước không phun bổ sung silic. Kết quả này tương tự như trên nhiều loại cây trồng trong điều kiện thiếu nước khi được bổ sung silic (Manaf và cs., 2020; Wang và cs., 2021; Johnson và cs., 2022). Silic có thể ảnh hưởng đến vận chuyển nước bằng cách điều chỉnh tiềm năng thẩm thấu của tế bào thông qua việc tăng nồng độ của các chất có khả năng tích tụ thẩm thấu như proline, đường hòa tan hay ion vô cơ (Ming và cs., 2012; Liu và cs., 2014). Từ đó giúp cây trồng có thể sinh

trưởng trong điều kiện khô hạn. Tuy nhiên, khi phun silic ở liều lượng cao thì gây ngộ độc cho cây như lá cây bị cháy (từ kết quả tiền thí nghiệm kiểm tra các nồng độ phun silic cho cây mè). Do vậy, khi phun cho cây mè ở nồng độ 150 mg/L là nồng độ cao có ảnh hưởng đến sự phát triển chiều cao, số lá của cây mè.

### 3.2. Ảnh hưởng của phun silic đến độ mở khí khổng và chỉ số SPAD cây mè đen

Sau khi ngưng tưới nước 1 tuần ở giai đoạn bắt đầu trở hoa, chỉ số diệp lục tố lá ở nghiệm thực không tưới nước và không phun silic là thấp nhất và có khác biệt ý nghĩa thống kê so với tất cả các nghiệm thực còn lại (Hình 2). Ở các nghiệm thực không tưới nước được bổ sung silic có chỉ số diệp lục tố ở lá không khác biệt ý nghĩa thống kê so với nghiệm thực được tưới nước. Tương tự nghiên cứu của Lobato và cs. (2009) trên cây ớt đỏ (*Capsicum annuum* L.) trong điều kiện thiếu nước silic giúp duy trì chất lượng diệp lục tố. Theo Verma và cs. (2022) thì silic giúp cho quá trình quang hợp và cải thiện giá trị SPAD trên cây trồng trong điều kiện khô hạn.



**Hình 2.** Ảnh hưởng của liều lượng silic đến chỉ số SPAD và trao đổi khí qua lá

Nhìn chung, chỉ số SPAD có xu hướng giảm khi cây mè đen được phun bổ sung silic ở nồng độ cao (Hình 2). Ngược lại, trao đổi không khí qua lá mè ở nghiệm thức không được tưới nước và không phun bổ sung silic lại cao hơn so với tất cả các nghiệm thức còn lại. Ở thời điểm sau 1 tuần ngưng tưới nước ghi nhận việc trao đổi không khí không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa nghiệm thức có bổ sung silic và được tưới nước. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc trao đổi khí qua lá của cây mè cao nhất ở nghiệm thức không tưới nước và không phun silic (Hình 2). Kết quả nghiên cứu của Snyman và cs. (1997) trên cây *Eragrostis lehmanniana* khi bị thiếu nước thì trao đổi khí tăng lên ở giai đoạn đầu sau đó lại giảm xuống. Có lẽ thời điểm lấy chỉ tiêu sau 1 tuần ngưng tưới nước là cây mè ở thời điểm cây biểu hiện thiếu nước.

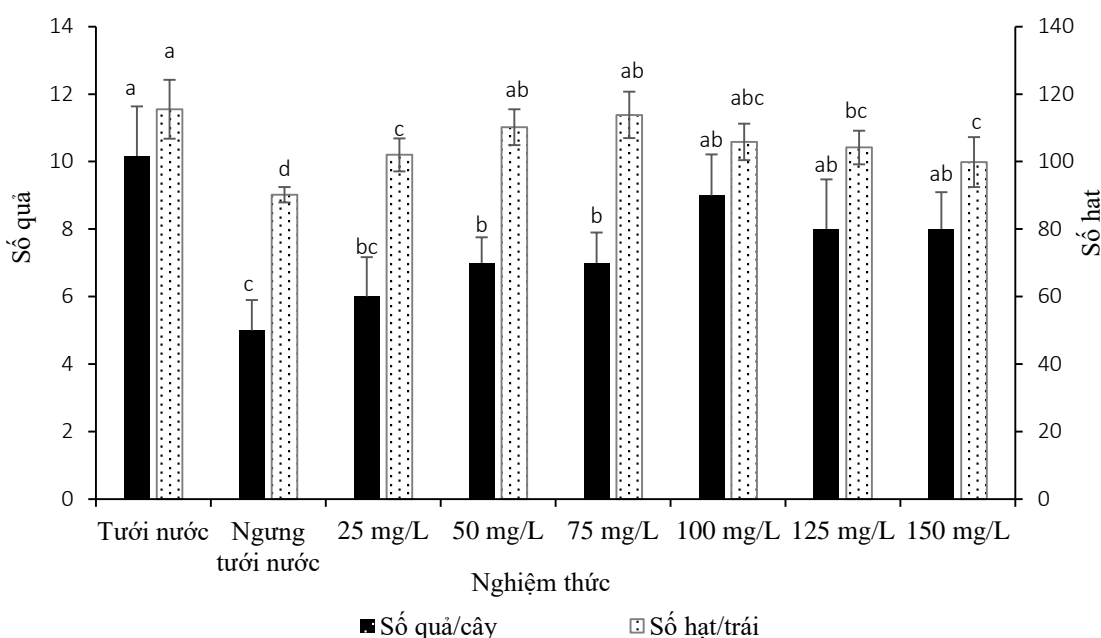
Bên cạnh đó, các nghiệm thức xử lý không tưới nước có phun bổ sung silic việc trao đổi khí ở lá mè đen thấp hơn so với nghiệm thức xử lý ngưng tưới và không phun bổ sung silic. Đồng thời, nghiệm thức đối chứng tưới nước cũng có độ mở khí khổng ở lá mè thấp hơn so với nghiệm thức ngưng tưới nước nhưng không phun bổ

sung (Hình 2). Theo Raven (1983) silic đóng vai trò ngăn chặn sự thoát hơi nước quá mức trong điều kiện khô hạn. Trong tế bào được cung cấp đầy đủ silic, sự hao hụt nước canh tác giảm đi nhờ vào sự tích lũy silica trong biểu bì. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của Chen và cs. (2011) là silic làm tăng sự thoát hơi nước của lúa trồng trong điều kiện hạn và mặn, nhưng lại giảm sự thoát hơi nước ở lúa không bị stress (Ma và Takahashi, 1993; Agarie và cs., 1998). Các quan sát tương tự cũng được tìm thấy ở lúa mì bị stress do hạn hán (Gong và cs., 2005) và lúa miến (Hattori và cs., 2005; Ahmed và cs., 2011), trong khi ngược lại, silic làm giảm sự thoát hơi nước ở ngô chịu hạn (Gao và cs., 2006), và không có tác dụng trên dưa chuột (Hattori và cs., 2008). Sự biến đổi như vậy cho thấy các chiến lược khác nhau giữa các loài, vì chúng cân bằng tỷ lệ hút nước và tỷ lệ mất nước ở lá. Ảnh hưởng của silic đến sự thoát hơi nước còn phụ thuộc vào loài và điều kiện môi trường. Riêng đối với cây mè đen trong điều kiện thiếu nước, phun silic giúp cây duy trì việc trao đổi khí qua lá.

### 3.3. Ảnh hưởng của phun silic đến thành phần năng suất và năng suất của cây mè đen

Hình 3 cho thấy số quả trên cây thấp nhất ở nghiệm thức không tưới nước và không phun bổ sung silic (đối chứng 2) là 5 quả trên thân chính, nghiệm thức ngưng tưới nước có phun bổ sung silic với nồng độ

từ 100 mg/L trở lên có số quả trên cây không khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% so với các nghiệm thức được tưới nước đầy đủ, nhưng khác biệt ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại. Ở điều kiện không tưới nước phun silic ở liều lượng 50 mg/L giúp cây có số quả trên cây có khác biệt ý nghĩa so với nghiệm thức không tưới nước và không phun bổ sung silic (đối chứng 2).

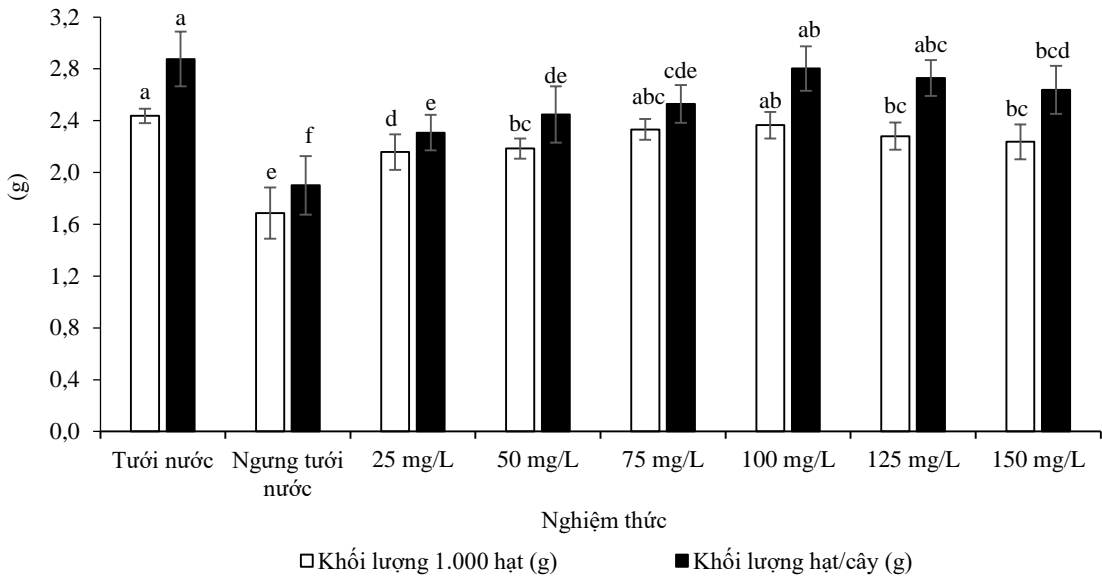


**Hình 3.** Ảnh hưởng của các liều lượng silic đến số quả và số hạt của cây mè đen

Số hạt trên quả cao nhất ở nghiệm thức được tưới nước đầy đủ (116 hạt/quả) nhưng không có khác biệt ý nghĩa thống kê so với những nghiệm thức không tưới nước có phun 50, 75 và 100 mg/L silic (Hình 3). Số hạt trên quả giảm khi cây mè đen được phun silic ở nồng độ cao hơn 125 mg/L silic. Phun silic ở nồng độ 25 mg/L có số hạt trên quả cao hơn so với nghiệm thức không phun silic trong điều kiện thiếu nước, có 90 hạt/quả.

Hình 4 cho thấy nghiệm thức xử lý hạn không phun bổ sung silic (đối chứng 2) có khối lượng 1.000 hạt thấp nhất có khác

biệt ý nghĩa thống kê so với tất cả các nghiệm thức còn lại. Tương tự năng suất hạt trên cây giảm xuống 34,5% so với nghiệm thức đối chứng có tưới nước. Năng suất hạt trên cây thấp nhất ở nghiệm thức không tưới nước và không phun bổ sung silic do số quả trên cây, số hạt trên quả thấp (Hình 3). Ở nghiệm thức phun bổ sung 100 mg/L và 125 mg/L silic cho cây mè đen có số hạt trên cây không khác biệt so với nghiệm thức đối chứng được cung cấp nước đầy đủ. Tuy nhiên, khi tăng liều lượng phun silic cho cây mè đen ở điều kiện không tưới nước năng suất lại giảm (nghiệm thức phun 150 mg/L silic).



**Hình 4.** Ảnh hưởng của các nồng độ silic đến khối lượng hạt và năng suất hạt trên cây

Trong điều kiện khô hạn, các nghiệm thức có phun bổ sung silic có thành phần năng suất và năng suất cây mẹ đen cao hơn so với nghiệm thức không phun bổ sung silic (Hình 3 và Hình 4). Theo nghiên cứu của Liang và cs. (2015) áp dụng silic đã nâng cao năng suất và chất lượng của nhiều loại cây trồng, bao gồm cả cây đơn tính như lúa, lúa mì, ngô, lúa mạch, kê, lúa miến và mía, và các loại rau có gai như bông và đậu tương. Tương tự vậy trong điều kiện khô hạn giúp năng suất được duy trì như trên lúa mì (Gong và cs., 2005), đậu nành (Shen và cs., 2010), lúa (Chen và cs., 2011). Như vậy, trên cây mẹ đen silic có vai trò giúp cây duy trì năng suất trong điều kiện thiếu nước tưới.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong điều kiện thiếu nước silic có vai trò giúp cho cây mẹ đen phát triển tốt hơn. Khi phun silic ở nồng độ 100 mg/L trong điều kiện thiếu nước giúp cây mẹ đen duy trì tăng chiều cao, số lá và số nhánh so với không phun silic. Phun bổ sung silic cho mẹ trồng trong điều kiện thiếu nước giúp cây mẹ đen duy trì số quả trên cây, số hạt trên quả cũng như năng suất hạt trên cây.

#### LỜI CẢM ƠN

Đề tài nghiên cứu khoa học do sinh viên thực hiện bằng nguồn kinh phí từ Trường Đại học Cần Thơ, mã số: TSV2022-109.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

##### 1. Tài liệu tiếng Việt

Nguyễn Thị Bích Thắm, Lê Vĩnh Thúc, Trần Ngọc Hữu, Nguyễn Quốc Khương, Trần Thị Bích Vân và Nguyễn Văn Chương. (2021). Nghiên cứu bổ sung boron (B) cho cây mẹ đen vụ Hè – Thu trồng trên đất phù sa tại huyện Châu Phú, tỉnh An Giang. *Tạp chí Khoa học đất*, 63, 34-39.

##### 2. Tài liệu tiếng nước ngoài

Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F., & Kaufman, P.B. (1998). Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, 1(2), 89-95.

Ahmed, M., Qadeer, U., & Aslam, M. A. (2011). Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), 594-607.

Amira, M. S., Qados, A., Ansary E. M. (2015). Influence of silicon and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) Under Salt Stress Conditions. *American Journal Experimental Agriculture*, 5(6), 509-24.

Chen, W., Yao, X., Cai, K., & Chen J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status,

- photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142, 67-76.
- Datnoff, E. L., Raid, R. N., Snyder, G. H., & Jones D. B. (1991). Effect of Calcium Silicate on Blast and Brown Spot Intensities and Yields of Rice. *The American Phytopathological Society, Plant Disease*, 75(7), 729-739.
- Dissanayake, I., Ranwala, S. M. W. & Perera, S. S. N. (2020). Germination and Seedling Growth Responses of Sri Lankan Grown Sesame/*Thala* (*Sesamum indicum* L.) for Simulated Drought Conditions. *Journal Natural Science Found Sri Lanka*. 47, 479-490. Doi: 10.4038/jnsfsr.v47i4.9686.
- Dobermann, A. (2000). *Rice: Nutrient disorders & nutrient management*. International Rice Research Institute.
- Dossa, K., Li, D., Zhou, R., Yu, J., Wang, L., Zhang, Y., You, J., Liu, A., Mmadi, M. A., Fonceka, D., Diouf, D., Cissé, N., Wei, X. & Zhang, X. (2019). The genetic basis of drought tolerance in the high oil crop *Sesamum indicum*. *Plant Biotechnology Journal*, 17, 1788 -1803.
- Dossou, S. S. K., Song, S., Liu, A., Li, D., Zhou, R., Berhe, M., Zhang, Y., Sheng, C., Wang, Z., You, J. & Wang, L. (2023). Resequencing of 410 sesame accessions identifies SINST1 as the major underlying gene for lignans variation. *International Journal Molecular Science*, 24, 1055. <https://doi.org/10.3390/ijms24021055>.
- Flores, R. A., Arruda, E. M., Junior, J. P., Prado, R. M., Santos, A. C. A., Aragão, A. S., Pedreira, N. G., & Costa, C. F. (2019). Nutrition and production of *Helianthus annuus* in a function of application of leaf silicon. *Journal Plant Nutrition*, 42(2), 137–144 (2019).
- Gao X., Zou C., Wang L. & Zhang F. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29(9), 1637-1647.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169, 313-321.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M. & Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 123(4), 459-466.
- Hattori, T., Sonobe, K., Araki, H., Inanaga, S., An, P. & Morita S. (2008). Silicon application by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. *Journal of Plant Nutrition*, 31(8), 1482-1495.
- Hussain, S., Shuxian, L., Mumtaz, M., Shafiq, I., Iqbal, N., Brestic, M., Shoaib, M., Sisi, Q., Li, W., Mei, X., Bing, C., Zivcak, M., Rastogi, A., Skalicky, M., Hejnak, V., Weiguo, L. & Wenyu, Y. (2021). Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal Hazard Mater*, 401, 123256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123256>.
- Johnson, S. N., Chen, Z. H., Rowe, R. C. & Tissue, D. T. (2022). Field application of silicon alleviates drought stress and improves water use efficiency in wheat. *Frontier Plant Science*, 13, 1030620. Doi: 10.3389/fpls.2022.1030620.
- Junior, J. P. S., Prado, R. M., Soares, M. B., Silva, J. L. F., Guedes, V. H. F., Sara, M. M. S. & Cazetta, J. O. (2021). Effect of different foliar silicon sources on cotton plants. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 21, 95-103.
- Kaur, H. & Greger, M. (2019). A review on silicon uptake and transport system. *Plants*, 8, 81. Doi:10.3390/plants8040081.
- Kermani, S. G., Saeidi, G., Sabzalian, M. R. & Gianinetti, A. (2019). Drought stress influenced sesamin and sesamol content and polyphenolic components in sesame (*Sesamum indicum* L.) populations with contrasting seed coat colors. *Food Chemical*, 289, 360-368. Doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.004.
- Kouighat, M., Hanine, H., Fechtali, M. E. & Nabloussi, A. (2021). First report of sesame mutants tolerant to severe drought stress during germination and early seedling growth stages. *Plants*, 10(6), 1166. <https://doi.org/10.3390/plants10061166>.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H. & Song A. (2015). Silicon in agriculture. Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H., Song, A. *Silicon-*



- mediated tolerance to salt stress. Springer Science*, 123-142.
- Liu, P., Yin, L., Deng, X., Wang, S., Tanaka, K. & Zhang S. 2014. Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum Bicolor* L. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4747-4756.
- Lobato, A. K. S, Coimbra, G. K., Neto M. A. M., Costa, R.C.L., Filho, B.G.S., Neto, C.F.O., Luz, L.M., Barreto, A.G.T., Pereira, B.W.F., Alves, G. A. R., Monteiro, B. S. & Marochio, C.A. (2009). Protective action of silicon on ater relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. *Reserach Journal Biological Science*, 4, 617-623.
- Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science Plant Nutrure*, 50, 11-18.
- Ma, J. F. & Takahashi, E. (1993). Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. *Plant and Soil*, 148(1), 107-113.
- Manaf, A., Shoukat, M., Sher A., Qayyum, A. & Nawaz, A. (2020). Seed yield and fatty acid composition in sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by silicon application under a semi-arid climate. *Agrociencia*, 54, 367-376.
- Matichenkov, V. V. & Calvert, D. V. (2002). Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*, 22(2), 21-30.
- Ming, D. F., Pei, Z. F., Naeem, M. S., Gong, H. J. & Zhou, W. J. (2012). Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(1), 14-26.
- Moraes, D. H. M., Mesquita, M., Bueno, A. M., Flores, R. A., Oliveira, H. F. E., Lima, F. S. R., Prado. R. D. M. & Battisti, R. (2020). Combined effects of induced water deficit and foliar application of silicon on the gas exchange of tomatoes for processing. *Agronomy*, 10,1715. DOI:10.3390/agronomy10111715.
- Myint, D., Gilani, S. A., Kawase, M., & Watanabe, K. N. (2020). Sustainable sesame (*Sesamum indicum* L.) production through improved technology: An Overview of production, challenges, and opportunities in Myanmar. *Sustainability*, 12, 3515. DOI:10.3390/su12093515.
- Oliveira, R. L. L., de Mello Prado, R., Felisberto, G., & Cruz, F.J.R. (2019). Different sources of silicon by foliar spraying on the growth and gas exchange in sorghum. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 19, 948-953 .
- Raven, J. A. (1983). The transport and function of silicon in plants. *Biological Reviews*, 58(2), 179-207.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E. & Jianmin, L. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal Plant Physiology*, 167, 1248-1252.
- Snyman, H. A., Venter, W. O. & van Rensburg, W. L. J. (1997). Transpiration and water-use efficiency in response to water stress in *Themeda triandra* and *Eragrostis lehmanniana*. *South African Journal of Botany*, 63(1), 5-59.
- Verma, K. K, Song, X. P., Lin, B., Guo, D. J., Singh, M., Rajput V. D., Singh, R. K., Singh, P., Sharma, A., Malviya, M. K., Chen, G. L. & Li, Y. R. (2021). Silicon induced drought tolerance in crop plants: Physiological adaptation strategies. *Silicon*, 14, 2473-2487. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01071-x>.
- Wang, M., Wang, R., Mur, L. A. J., Ruan, J., Shen, Q. & Guo S. (2021). Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, 8, 254. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>.
- Wang, Q. & Jin, J. (2015). Leaf transpiration of drought tolerant plant can be captured by hyperspectral reflectance using PLSR analysis. *iForest* (early view). Doi: 10.3832/ifer1634-008 [online 2015-10-05].
- Wei, X., Wang, L., Zhang, Y., Qi, X., Wang, X., Ding, X., Zhang, J. & Zhang, X. (2014). Development of simple sequence repeat (SSR) markers of sesame (*Sesamum indicum*) from a genome survey. *Molecules*, 19, 5150-5162. Doi:10.3390/molecules19045150.