



Original Article

Evaluation of the Ability to Treat Saline and Acid Sulfate Soils of Biochar from Rice Husks in Greenhouse Conditions

Tran Thi Thu Huong¹, Nguyen Xuan Tong², Nguyen Phuc Thuy Duong²,
Nguyen Van Nghia², Vu Hai³, Nguyen Thanh Binh^{2,*}

¹*Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Street, Duc Thang, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam*

²*Industrial University of Ho Chi Minh City, 12 Nguyen Van Bao, Go Vap, Ho Chi Minh City, Vietnam*

³*Branch of the South Center for Planning and Soil Management,
200 Ly Chinh Thang, Ward 09, District 3, Ho Chi Minh City, Vietnam*

Received 25 April 2022

Revised 18 May 2022; Accepted 18 May 2022

Abstract: The purposes of this study were to i) Examine the dynamics of physicochemical parameters of saline acid sulfate soil as influenced by biochar made from rice husk; and ii) Evaluate the influence of biochar on the soil quality index. A greenhouse experiment was carried out by mixing biochar with the tested soil at ratios of 0; 0.7; 1.5; 3, and 6% (w/w) and incubating for 100 days. Experimental soil samples were taken on days 5, 15, 30, 60, and 100 to analyze for 11 physicochemical parameters. The soil quality index (SQI) was calculated based on the principal component/factor analysis (PCA/FA). The results showed that biochar increased the exchangeable concentration of K, Mg, Ca, and pH value while reducing the exchangeable concentration of Fe, and Al, as well as the values of Cl⁻, H⁺, and exchange acidity in the soil. Biochar changed the electrical conductivity (EC) and Na parameters, increasing them in the first few measurements while decreasing them in the last measurements. Biochar increased the SQI of the tested soil, even with a low biochar application rate of 0.7% after 100 days of the experiment. The study suggests that biochar made from rice husk could be a potential amendment for ameliorating saline acid sulfate soil.

Keywords: Acidic-salt soil; biochar; rice husk; acidity; SQI index.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenbinh@iuh.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4871>

Đánh giá khả năng xử lý đất phèn nhiễm mặn của than sinh học từ vỏ trấu trong điều kiện nhà kính

Trần Thị Thu Hương¹, Nguyễn Xuân Tòng², Nguyễn Phúc Thùy Dương², Nguyễn Văn Nghĩa², Vũ Hai³, Nguyễn Thanh Bình^{2,*}

¹Trường Đại học Mỏ Địa chất, 18 phố Viên, Đức Thắng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh,

12 Nguyễn Văn Bảo, Quận Gò Vấp, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Chi nhánh Trung tâm Điều tra và Quy hoạch Đất đai phía Nam,

200 Lý Chính Thắng, Phường 9, Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Nhận ngày 25 tháng 4 năm 2022

Chỉnh sửa ngày 18 tháng 5 năm 2022; Chấp nhận đăng ngày 18 tháng 5 năm 2022

Tóm tắt: Nghiên cứu này có mục đích: i) Khảo sát diễn biến các thông số hóa lý đất mặn phèn dưới ảnh hưởng của than sinh học từ vỏ trấu; và ii) Đánh giá ảnh hưởng của than sinh học đến chỉ số chất lượng đất mặn phèn. Một thí nghiệm trong nhà kính được thực hiện bằng cách trộn than sinh học tổng hợp từ vỏ trấu với đất mặn phèn ở các tỷ lệ 0; 0,7; 1,5; 3 và 6% trong thời gian 100 ngày. Các mẫu đất thí nghiệm được lấy ở các thời điểm 5, 15, 30, 60, và 100 ngày để phân tích 11 thông số hóa lý đất. Chỉ số chất lượng đất (SQI) được tính toán dựa trên phương pháp phân tích thành phần chính/nhân tố (PCA/FA). Kết quả nghiên cứu cho thấy than sinh học làm tăng hàm lượng trao đổi của các nguyên tố K, Mg, Ca, giá trị pH và làm giảm hàm lượng trao đổi của các nguyên tố Fe, Al, cũng như các giá trị Cl⁻, H⁺ và độ chua trao đổi. Than sinh học làm thay đổi các thông số EC và Na, tăng lên ở các thời điểm quan trắc đầu và giảm xuống ở các thời điểm quan trắc cuối. Than sinh học làm tăng giá trị chỉ số SQI của đất mặn phèn, ngay cả khi tỷ lệ bổ sung than sinh học thấp (0,7%) sau 100 ngày thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy than sinh học từ vỏ trấu là vật liệu tiềm năng trong ứng dụng cải tạo đất mặn phèn.

Từ khóa: Đất mặn phèn; than sinh học; vỏ trấu; độ chua; chỉ số SQI.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, biến đổi khí hậu đã và đang diễn ra ngày càng gay gắt ở nhiều nơi trên toàn cầu. Thời tiết khô hạn và thiếu nước ngọt đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến ngành nông nghiệp của nhiều nước [1]. Trong đó, xâm nhập mặn là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự tích tụ muối trong vùng rẫy, gia tăng áp lực

thâm thấu, nhiễm độc ion, thiếu hụt dinh dưỡng trong thực vật và do đó làm suy giảm sản lượng cũng như chất lượng sản phẩm của ngành nông nghiệp [1]. Đất nhiễm mặn phèn là những nhóm đất chứa nhiều cation natri hấp phụ trên bề mặt keo đất và chứa nhiều gốc sunfat, cũng như có độ pH thấp khiến cho môi trường đất bị ô nhiễm nặng, hạn chế phát triển của thực vật [2]. Loại đất này thường được hình thành tại các vùng

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenvinh@iuh.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4871>

đồng bằng ven biển, nơi có địa hình thấp và tiếp giáp trực tiếp với môi trường nước biển. Việt Nam lại là một trong những nước nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng lớn về biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn, nhiễm phèn. Tỷ lệ đất nhiễm mặn phèn ở nước ta đã tăng dần theo từng năm gây ra nhiều bất lợi trong sinh hoạt và sản xuất. Vì vậy, việc cải tạo đất nhiễm mặn phèn đã nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học và quản lý.

Có nhiều biện pháp cải thiện đất nhiễm mặn, phèn như: biện pháp thủy lợi (thau chua rửa mặn, cày sâu không lật, xới đất nhiều lần, cắt đứt mao quản làm cho muối không thể bốc lên mặt đất); biện pháp luân canh (trồng và nuôi kết hợp các loại cây con chịu mặn); biện pháp sinh học (nghiên cứu tạo ra nhiều giống cây chịu mặn); biện pháp hóa học (dùng vật liệu cải tạo độ pH của đất như vôi bột,...) hoặc kết hợp các biện pháp trên [3, 4]. Tuy nhiên, các biện pháp này vẫn chưa xử lý được triệt để độ mặn phèn của đất. Mặt khác, hoạt động canh tác quá mức gây ra hàng loạt hậu quả đối với suy thoái chức năng của đất và gây áp lực to lớn lên môi trường sinh thái. Việc tìm ra phương pháp mới có khả năng xử lý hữu hiệu vấn đề này đang là mối quan tâm hàng đầu của người dân cũng như các cấp ngành quản lý. Trong đó, than sinh học được sản xuất từ nhiều loại vật liệu hữu cơ được xem như loại vật liệu có tiềm năng cao với nhiều ưu điểm vượt trội, đã được sử dụng rộng rãi và đặc biệt để cải tạo đất kém chất lượng [3, 5].

Than sinh học là một vật liệu có dạng hạt mịn, xốp và giàu cacbon được sản xuất từ nhiều phụ phẩm trong nông nghiệp nhờ quá trình nhiệt phân sinh khối trong điều kiện nhiệt độ cao và oxy thấp, có khả năng cải tạo đất hiệu quả [6]. Những lợi ích đáng kể của việc sử dụng than sinh học trong cải tạo đất như làm chất điều hòa, cải thiện độ phì nhiêu của đất [7], tăng cường khả năng giữ nước [3], giảm rửa trôi chất dinh dưỡng [8], kích thích hoạt động enzym trong đất [9] và thúc đẩy tăng trưởng và năng suất cây trồng [10] được đề cập trong nhiều nghiên cứu. Nhiều bằng chứng cho thấy việc sử dụng than sinh học có thể áp dụng rộng rãi để cải tạo đất bị ảnh hưởng bởi độ mặn bằng cách cải thiện các đặc tính vật lý, hóa học và sinh học của đất [3, 6]. Ví dụ, việc sử

dụng than sinh học cho đất mặn phèn có thể làm giảm đáng kể độ mặn của đất, đồng thời tăng độ pH (giảm độ chua), khả năng trao đổi cation (CEC), cacbon hữu cơ (SOM) và thành phần dinh dưỡng trong đất [3, 8, 11]. Tuy nhiên, tác động của than sinh học trên đất mặn còn phụ thuộc vào loại đất và liều lượng than sinh học bổ sung [12]. Do đó, nhu cầu ngày càng tăng về sử dụng than sinh học thích hợp để cải tạo đất mặn phèn nhằm cải thiện chất lượng đất. Vì vậy, nghiên cứu này được tiến hành với mục tiêu: i) Khảo sát diễn biến các thông số hóa lý đất mặn phèn dưới ảnh hưởng của than sinh học; và ii) Đánh giá ảnh hưởng của than sinh học đến chỉ số chất lượng đất mặn phèn qui mô nhà kính.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Vỏ trấu được mua từ nhà máy xay xát lúa, rửa sạch bằng nước cấp, phơi khô nơi không có ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp để sử dụng sản xuất than sinh học. Than sinh học được sản xuất theo phương pháp của Nguyễn và cộng sự (cs) (2018) [13] có điều chỉnh để phù hợp với điều kiện ứng dụng thực tế. Cụ thể, lò phản ứng (lò nung) bằng gạch được thay thế bằng lò phản ứng bằng thép để dễ dàng di chuyển. Thời gian nhiệt phân để sản xuất than sinh học là 4 giờ liên tục và nhiệt độ trong lò phản ứng được ước tính khoảng 350 °C [14]. Phương pháp này được lựa chọn vì nó có thể được dễ dàng sử dụng bởi các hộ nông dân quy mô nhỏ. Sau khi được sản xuất, than sinh được nghiền, rây qua rây có $\varnothing = 2$ mm và bảo quản trong lọ thủy tinh tối màu để sử dụng cho thí nghiệm.

Đất dùng cho nghiên cứu là loại đất mặn phèn được lấy ở ruộng luân canh lúa và tôm tại Huyện Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh, được phân loại thuộc nhóm đất Sali Thionic Fluvisols [1]. Mẫu đất đầu vụ được lấy vào tháng 8 năm 2020 từ ruộng lúa có EC1:5 = 3,8 dS/m ở tọa độ địa lý 10°37'29"N, 106°46'35"E. Trên ruộng được chọn, đất được lấy từ 10 điểm phân bố đều trên ruộng ở độ sâu tầng mặt 0-15 cm [16] vì đây là tầng đất tập trung nhiều rễ lúa nhất do đó các

tính chất đất của tầng này có ảnh hưởng mạnh nhất đến sinh trưởng lúa. Đất thu từ 10 điểm được gộp lại thành 1 mẫu tổng hợp khoảng 200 kg đất tươi. Mẫu đất sau khi lấy được chuyển về phòng thí nghiệm, phơi khô trong không khí, tránh ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp, nghiền qua rây $\varnothing = 2$ mm và chuẩn bị cho các nghiên cứu tiếp theo.

2.2. Bố trí thí nghiệm

Một thí nghiệm trong nhà kính được bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên với 5 nghiệm thức và 4 lần lặp lại cho mỗi nghiệm thức tương ứng với 4 chậu thí nghiệm. Năm nghiệm thức thí nghiệm là 5 tỷ lệ than sinh học sử dụng gồm 0; 0,7; 1,5; 3 và 6% than về trọng lượng. Khoảng 3,5 kg đất phối trộn với các tỷ lệ than như trên với 4 lần lặp lại tạo thành 20 chậu nhựa thí nghiệm ($4 \times 5 = 20$ chậu), chậu nhựa có đường kính 16 cm và chiều cao 25 cm (thể tích 5 lít). Hỗn hợp đất và than (3,5 kg đất + than theo tỷ lệ) sau khi trộn đều được tưới ngập bằng nước cất (nước ngập khoảng 5 cm trên bề mặt đất) và được duy trì mực nước liên tục trong 100 ngày thí nghiệm. Theo tài liệu tham khảo cho thấy các nghiên cứu khác nhau áp dụng các tỷ lệ than khác nhau và thường nằm trong khoảng 2 đến 10% theo khối lượng [17 - 19]. Do đó, trong nghiên cứu này tỷ lệ than sinh học cao nhất là 6% được chọn để khảo sát ảnh hưởng của than sinh học đến đặc tính và chất lượng đất phèn nhiễm mặn.

2.3. Các chỉ tiêu đất được thu thập

Ở các thời điểm 5, 15, 30, 60 và 100 ngày sau khi bắt đầu thí nghiệm, khoảng 300 - 400 g đất trong từng chậu sẽ được lấy để phân tích các thông số lý và hóa học. Đất sẽ được phơi khô trong phòng thí nghiệm, nghiền qua rây $\varnothing = 2$ mm và dùng để phân tích hàm lượng trao đổi của các nguyên tố bazơ gồm Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^{2+} và các kim loại Al, Fe bằng phương pháp ammonium acetate [20]. Nồng độ Cl^- [21], các thông số số EC, pH nước ở tỷ lệ 1:5; độ chua trao đổi và hàm lượng H^+ trao đổi (phương pháp chuẩn độ) [22] cũng được xác định. Đất trước thí nghiệm cũng được phân tích 11 chỉ tiêu hóa lý

như đất sau thí nghiệm. Lượng carbon hữu cơ tổng số và đạm tổng số của đất và than trước thí nghiệm được xác định bằng máy phân tích nguyên tố (elemental analyser) [20].

2.4. Tính toán và xử lý số liệu

Phân tích phương sai và tương quan

Tất cả cả số liệu sau thí nghiệm đều được phân tích phương sai theo kiểu bố trí thí nghiệm hoàn toàn ngẫu nhiên một nhân tố, quan trắc lặp lại. Kết quả phân tích phương sai nếu có ý nghĩa thống kê thì giá trị LSD (Least Significant Difference) sẽ được tính và dùng để so sánh giữa các nghiệm thức khác nhau. Phân tích tương quan giữa các giá trị thông số hóa lý đất và tỷ lệ than sinh học sử dụng cũng được thực hiện để khảo sát xu hướng ảnh hưởng của than sinh học đến tính chất đất.

Phân tích thành phần chính/nhân tố (PCA/FA)

Phân tích này được sử dụng để xác định trọng số (w_i) của các thông số đất riêng lẻ theo quy trình được mô tả bởi Nguyễn và cs (2021) [23]. Các nhân tố có giá trị riêng lớn hơn 1 được giữ lại để ước tính trọng số của các thông số đất có tải trọng cao ($> 0,5$) với hệ số tương ứng.

Tính chỉ số chất lượng đất (SQI)

Chỉ số Chất lượng Đất (SQI) được tính toán theo phương pháp phân tích thành phần/nhân tố chính [24] sử dụng công thức 1 như sau:

$$SQI = \sum_{i=1}^n w_i s_i \quad (1)$$

Trong đó n là số lượng các thông số đất; w_i là trọng số của tham số thứ i và s_i là giá trị của tham số thứ i. w_i được xác định bằng cách sử dụng phân tích thành phần/nhân tố chính và s_i được xác định thông qua phương trình 2 và 3. Mười một chỉ tiêu đất đã phân tích được chia thành hai nhóm là “cao tốt hơn” và “thấp tốt hơn”. Các chỉ tiêu trong nhóm “cao tốt hơn” bao gồm pH, Ca, K, Mg; các chỉ tiêu trong nhóm “thấp tốt hơn” gồm phần còn lại. Đối với nhóm “cao tốt hơn”, s_i được xác định theo phương trình 2 như sau:

$$\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

Với các chỉ tiêu trong nhóm “ít tốt hơn”, s_i được xác định theo phương trình 3 dưới đây:

$$\frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

Trong đó x_i , x_{\min} , và x_{\max} lần lượt là giá trị được phân tích, giá trị nhỏ nhất và giá trị lớn nhất của tham số i .

Trọng số của nhân tố (FW) được tính dưới dạng $\frac{e_i}{\text{sum}}$, trong đó e_i là giá trị riêng của chỉ tiêu i và Sum là tổng giá trị riêng của tất cả các nhân tố còn lại sau PCA/FA. Trọng số của các thông

số được tính dưới dạng $\frac{FW_i}{\sum_{i=1}^n FW_i}$; trong đó FW_i là trọng số của nhân tố của tham số thứ i ; n là tổng số các chỉ tiêu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc tính hóa học của vật liệu than sinh học và của đất trước thí nghiệm

Đặc tính hóa học của than sinh học từ vỏ trấu và đất phèn nhiễm mặn sử dụng cho nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính hóa học đất và than sinh học trước thí nghiệm. Ghi chú: $n = 4$; SE = sai số chuẩn. Hàm lượng tro trong than là 49,2%; hàm lượng sét, limon và cát trong đất tương ứng là 46,2, 30,5 và 23,3 %

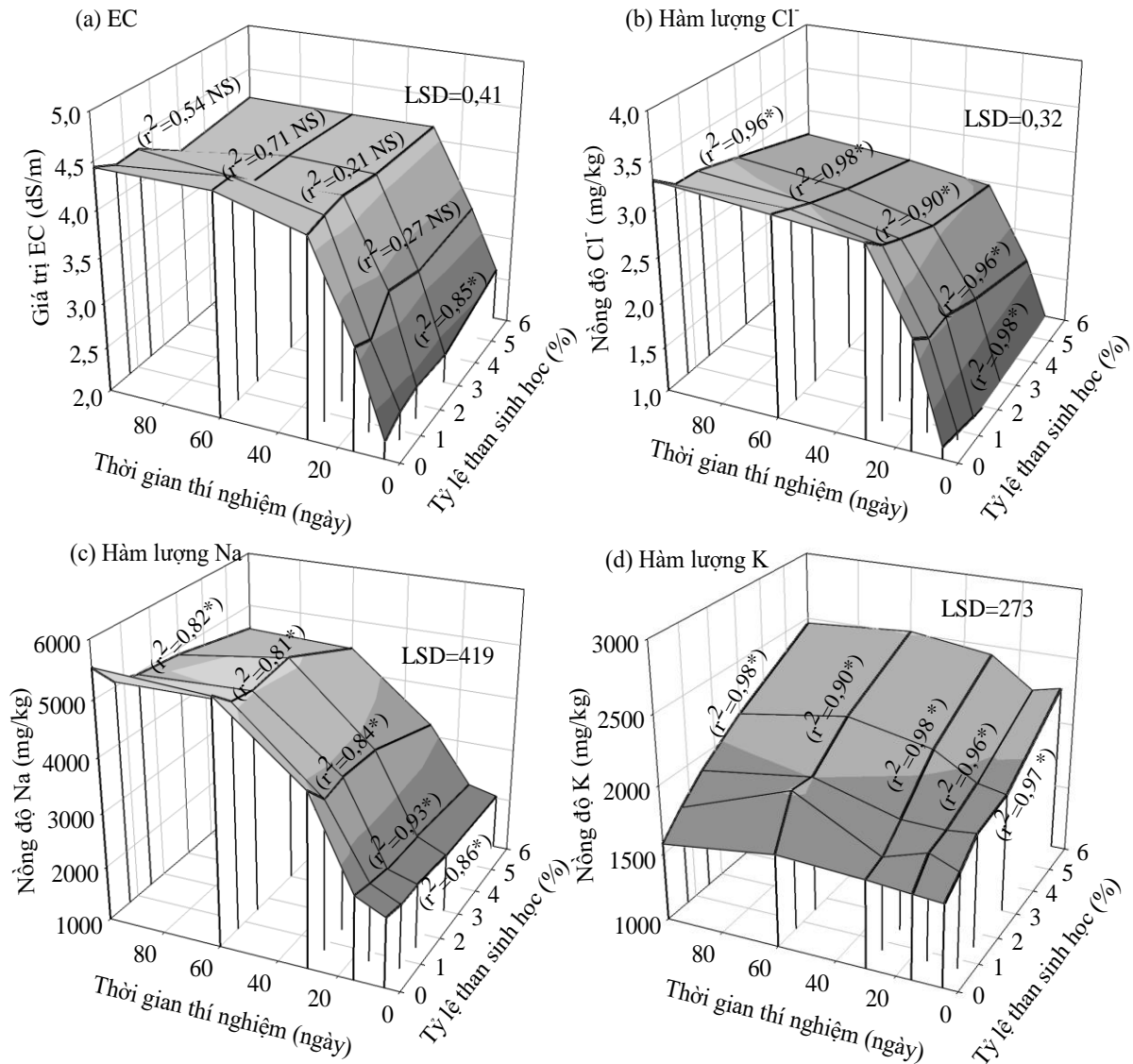
Các chỉ tiêu khảo sát	Than sinh học		Đất thí nghiệm	
	Trung bình	SE	Trung bình	SE
pH	8,5	0,05	3,8	0,11
EC (dS/m)	0,3	0,00	3,9	0,33
Cl ⁻ (mg/kg)	1,9	0,09	2,1	0,04
Độ chua trao đổi (cmol(+)/kg)	4,1	0,29	7,0	0,08
H ⁺ trao đổi (cmol(+)/kg)	2,7	0,06	3,5	0,03
Hàm lượng Al trao đổi (mg/kg)	23,9	3,97	3,8	0,05
Hàm lượng Fe trao đổi (mg/kg)	54,4	5,03	21,7	0,25
Hàm lượng Na trao đổi (mg/kg)	2281	80	1893	17,0
Hàm lượng K trao đổi (mg/kg)	10882	114	889	30,4
Hàm lượng Mg trao đổi (mg/kg)	495	24	703	37,9
Hàm lượng Ca trao đổi (mg/kg)	2855	220	1574	115,4
Carbon hữu cơ tổng số (%)	34,1	0,61	0,55	0,047
Đạm tổng số (%)	3,3	0,08	0,22	0,002

Kết quả phân tích cho thấy than sinh học từ vỏ trấu có tính kiềm cao (pH 8,5), giá trị EC và Cl⁻ lần lượt là 0,3 dS/m và 1,9 mg/kg. Bên cạnh đó, độ chua và H⁺ trao đổi đã phân tích có kết quả là 4,4 và 6,6 cmol(+)/kg. Ngoài ra, hàm lượng cation trao đổi và kim loại nặng trong than sinh học cũng được xác định với các giá trị lần lượt là Na (2281 mg/kg), K (10882 mg/kg), Mg (495 mg/kg), Ca (2855 mg/kg), Al (23,9 mg/kg) và Fe (54,4 mg/kg). Đây là đất phèn nhiễm mặn

nên có tính acid mạnh (pH 3,8), giá trị EC và Cl⁻ ghi nhận tương ứng là 3,9 dS/m và 2,1 mg/kg. Tương tự than sinh học, các thông số cation trao đổi trong đất cũng được xác định với Na đạt 1893 (mg/kg), K (889 mg/kg), Mg (703 mg/kg), Ca (1574 mg/kg), Al (3,8 mg/kg) và Fe (21,7 mg/kg) (Bảng 1). Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, than sinh học có tính kiềm và thành phần dinh dưỡng cao được sử dụng rộng rãi trong cải tạo chất lượng đất ô nhiễm [3, 8, 24]. Kết quả của

nghiên cứu này tương đồng với những nhận định trên và chỉ ra rằng than sinh học có tính kiềm và

có khả năng ứng dụng trong việc cải tạo đất phèn nhiễm mặn.



Hình 1. Biến thiên giá trị EC (a), và hàm lượng Cl⁻ (b), Na (c) và K (d) trong đất theo thời gian thí nghiệm dưới tác động của than sinh học.

Ghi chú r² = hệ số quyết định mối tương quan giữa giá trị thông số quan sát và tỷ lệ than sinh học sử dụng;

* mỗi tương quan có ý nghĩa thống kê; NS = mỗi tương quan không có ý nghĩa thống kê;

LSD = khác biệt thấp nhất có ý nghĩa thống kê.

3.2. Ảnh hưởng của than sinh học đến tính mặn

Hình 1a cho thấy giá trị EC của đất tăng theo thời gian thí nghiệm từ 5, 15, 30, 60 đến 100

ngày, và tăng mạnh nhất trong khoảng 40 ngày đầu. Trong đợt quan trắc đầu, việc tăng tỷ lệ than sinh học đã làm tăng giá trị EC của đất, từ 2,2 đến 2,6 (dS/m) và khác biệt có ý nghĩa thống kê

($p < 0,05$). Tuy nhiên, trong các đợt quan trắc còn lại giá trị EC của các nghiệm thức thí nghiệm không có sự thay đổi có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Trong đợt quan trắc cuối, giá trị EC giảm nhẹ theo tỷ lệ than sinh học, giảm từ 4,4 ở nghiệm thức đối chứng xuống 4,2 dS/m ở nghiệm thức sử dụng than 6%. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị EC trong đất cân thời gian để đạt đến trạng thái cân bằng (sau 40 ngày). Sự gia tăng giá trị EC của đất theo thời gian thí nghiệm liên quan đến quá trình giải phóng chậm các muối vô cơ từ than sinh học [25].

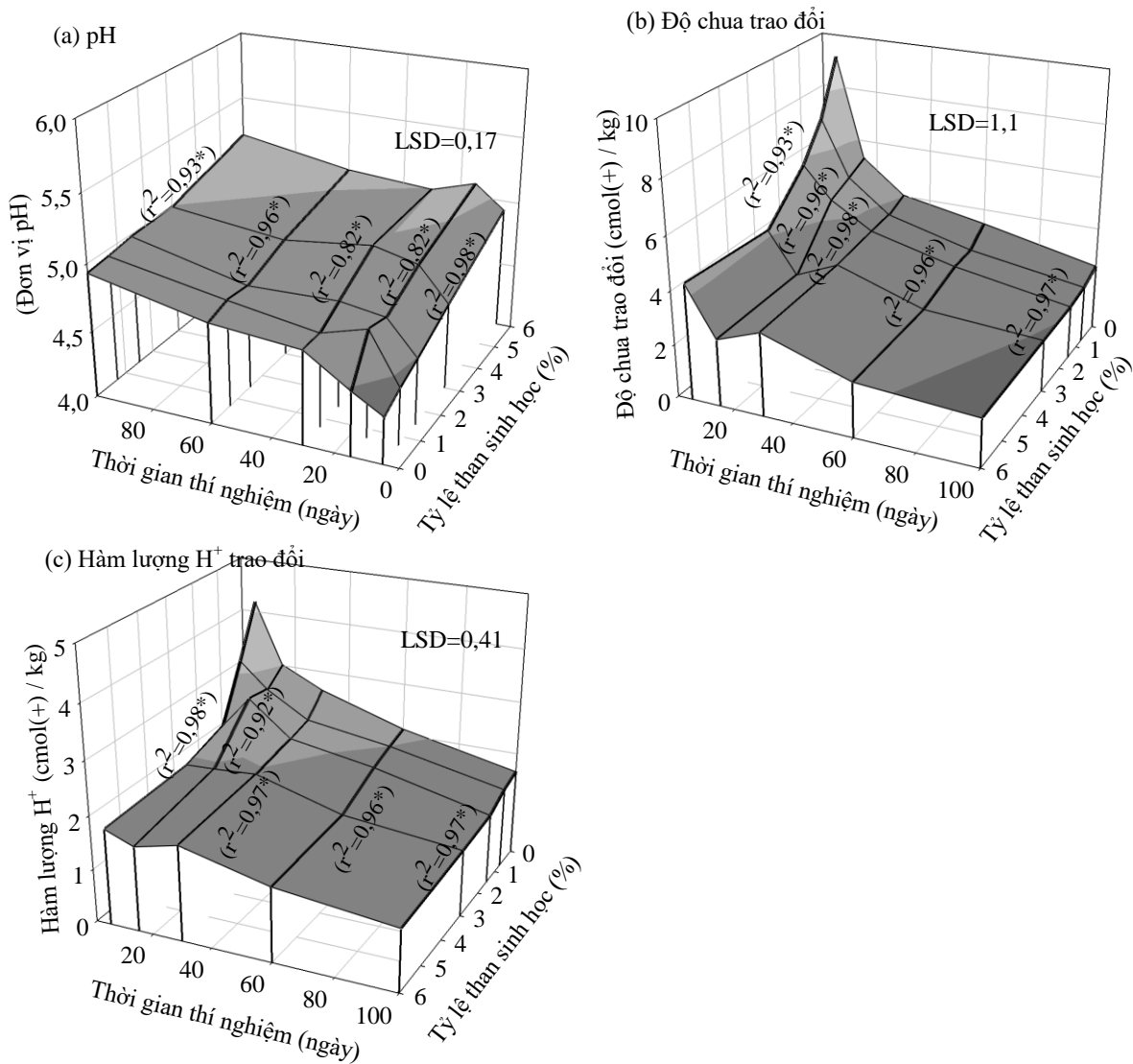
Than sinh học có thể đóng vai trò là nguồn cung cấp hoặc hút các chất dinh dưỡng sẵn có như Cl⁻, Na, K trong đất [26]. Tương tự giá trị EC hàm lượng Cl⁻ và Na trao đổi tăng theo thời gian thí nghiệm. Hàm lượng Cl⁻ thay đổi tỷ lệ nghịch với lượng than sinh học bổ sung. Khi lượng than sinh học bổ sung ở các mẫu tăng dần (0 - 6%) thì hàm lượng Cl⁻ giảm từ 1,13 xuống còn 0,82 mg/kg ở đợt quan trắc đầu tiên và từ 3,3 xuống còn 2,72 mg/kg ở đợt quan trắc cuối cùng. Trong hai đợt quan trắc đầu, nồng độ Na tăng theo tỷ lệ than sinh học, trong lúc đó ở đợt quan trắc cuối, nồng độ Na trao đổi giảm theo thời gian thí nghiệm (Hình 1c). Việc giá trị Cl⁻ và Na trao đổi tăng theo thời gian thí nghiệm có thể được giải thích là đất cân thời gian để giải phóng các chất ở dạng tổng số sang dạng trao đổi đến khi đạt đến trạng thái cân bằng. Việc giảm nồng độ của hai thông số này ở các đợt quan trắc cuối cho thấy rằng than sinh học đã hấp phụ cả cation và anion lên bề mặt hạt than. Trong lúc đó, hàm lượng K trao đổi lại tăng mạnh theo tỷ lệ than sinh học bổ sung với các giá trị trung bình qua 5 đợt quan trắc là từ 1663 (nghiệm thức đối chứng) đến 2361 mg/kg (nghiệm thức áp dụng 6% than sinh học). Lượng K tăng này có thể đến từ than sinh học; nồng độ K trao đổi trong than sinh học là 10882 mg/kg, cao hơn rất nhiều so với đất trong nghiên cứu (889 mg/kg). Điều này cho thấy than sinh học đã cung cấp cho đất một lượng K đáng kể. Kết quả này phù hợp với một số nghiên cứu đã công bố trước đây [27, 28]. Ghi nhận của El-Naggar và cs (2019) [6] chỉ ra rằng hàm lượng K trao đổi có mức tăng cao nhất trong

đất với tất cả tỷ lệ than sinh học bổ sung. Zhang và cs (2016) cũng chứng minh rằng việc bổ sung than sinh học có nguồn gốc từ rơm lúa mì đã làm tăng các chất dinh dưỡng hòa tan trong nước của sinh khối ủ trộn [29].

3.3. Ảnh hưởng của than sinh học đến tính chua và kiềm của đất

Tác động của than sinh học đến độ chua của đất được thể hiện trong Hình 2. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi bổ sung than sinh học với các tỷ lệ khác nhau đã làm tăng pH của đất so với nghiệm thức đối chứng (Hình 2a). Với lượng than sinh học được bổ sung cao (3 và 6%), giá trị pH tăng rõ rệt hơn so với các nghiệm thức có lượng bổ sung thấp hơn (0,7 và 1,5%). Do đó, đất được bổ sung 6% than sinh học có giá trị pH cao nhất (pH 5,2) sau 100 ngày. Giá trị pH của các nghiệm thức còn lại tăng dần theo tỷ lệ bổ sung than (0 - 6%), tương ứng với thời gian thí nghiệm 5, 15, 30, 60 và 100 ngày là 11,76; 12,16; 6,0; 5,94 và 5,19%. Một số nghiên cứu trước đây cũng ghi nhận kết quả tương tự khi chứng minh rằng độ pH của đất tăng lên khi sử dụng than sinh học [30-32]. Sự gia tăng này có ý nghĩa rất quan trọng đối với đất vì nó có thể trung hòa độ chua và cải thiện chất lượng đất [33]. Do đó, việc áp dụng than sinh học vô trấu có khả năng hữu ích cho việc cải tạo đất chua.

Đồng thời, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy độ chua trao đổi của đất giảm theo tỷ lệ hàm lượng than sinh học được bổ sung (0 - 6%) với thời gian thí nghiệm 5, 15, 30, 60 và 100 ngày lần lượt là 50,24; 52,08; 21,78; 39,07 và 26,40% (Hình 2b). Sự thay đổi của hàm lượng H⁺ trao đổi trong đất cho thấy xu hướng giảm dần tương tự như độ chua trao đổi. So với nghiệm thức đối chứng, giá trị H⁺ trao đổi của các nghiệm thức có bổ sung than sinh học giảm dần theo thời gian lần lượt là 56,80; 47,02; 31,56; 33,18 và 28,05% (Hình 2.c). Điều này cho thấy do có tính chất kiềm và khả năng đệm cao nên than sinh học có hiệu quả trong việc làm giảm độ chua của đất [34-36].



Hình 2. Biến thiên giá trị pH (a), độ chua trao đổi (b) và hàm lượng H^+ trao đổi (c) trong đất theo thời gian thí nghiệm dưới tác động của than sinh học.

Ghi chú r^2 = hệ số quyết định mối tương quan giữa giá trị thông số quan sát và tỷ lệ than sinh học sử dụng; * mối tương quan có ý nghĩa thống kê; NS = mối tương quan không có ý nghĩa thống kê; LSD = khác biệt thấp nhất có ý nghĩa thống kê Ca và Mg là những chất dinh dưỡng cần thiết đối với chất lượng của đất. Sự thay đổi của các bazơ kiềm trao đổi (Ca, Mg) trong đất cũng phụ thuộc vào tỷ lệ bổ sung than sinh học. Hình 3 cho thấy hàm lượng Ca, Mg trao đổi ở các nghiệm thức có bổ sung than sinh học cao hơn so với nghiệm thức đối chứng (không thêm than sinh học).

Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng Ca tăng dần theo tỷ lệ bổ sung than sinh học từ 0 - 6% sau 5, 15, 30, 60 và 100 ngày lần lượt là 12,03; 12,43; 12,22; 18,15 và 15,57% so với

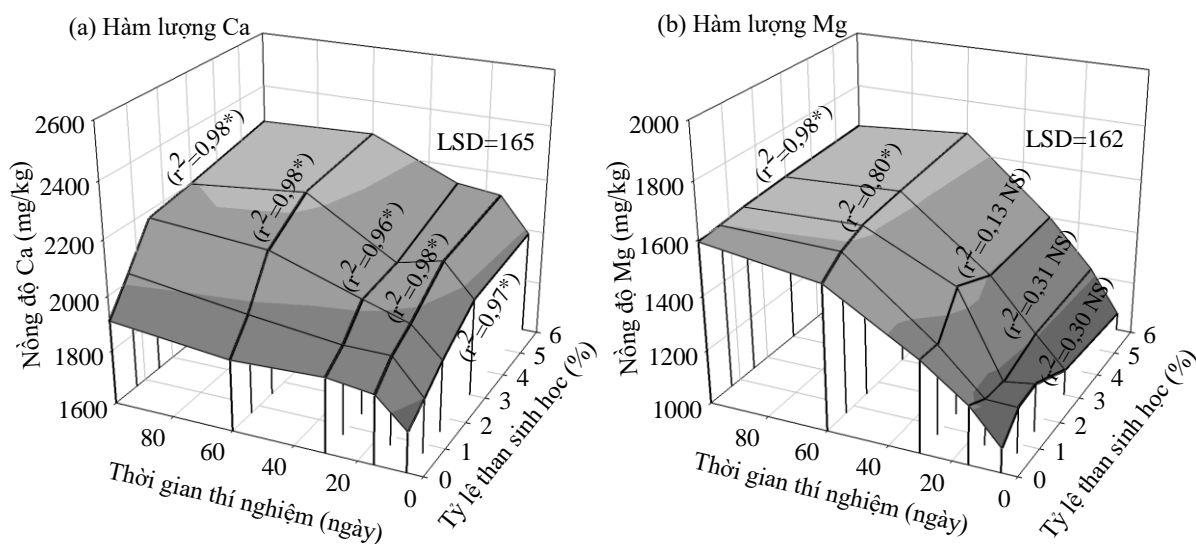
nghiệm thức đối chứng không bổ sung than sinh học (Hình 3a). Tuy nhiên, hàm lượng Mg có sự biến động không đều theo tỷ lệ than nhưng vẫn tăng dần theo thời gian thử nghiệm (Hình 3b). Vì

vậy, bổ sung than sinh học vỏ trấu không chỉ cải tạo độ chua, độ mặn mà còn giữ được sự cân bằng của các chất dinh dưỡng Ca và Mg trong đất phèn nhiễm mặn. Do đó, việc áp dụng than sinh học là phù hợp để cải tạo chất lượng đất ở các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới, vì đất phèn nhiễm mặn thường thiếu Ca và Mg do rửa trôi. Kết quả này cũng tương đồng với một số ghi nhận của một số công bố trước đây. Ca trao đổi được ghi nhận trong đất đã bổ sung than sinh học sản xuất từ vỏ quả óc chó [28]. Than sinh học từ gỗ làm thay đổi độ pH của đất nhằm tăng khả năng lưu giữ Ca, Mg có lợi cho sự phát triển của ngô và đậu tương [37]. Rõ ràng, việc bổ sung than sinh học vào đất là một phương pháp hiệu quả để tăng cường dinh dưỡng trong đất.

Kết quả trong Hình 4a cho thấy than sinh học vỏ trấu đã làm giảm đáng kể tổng hàm lượng Al trong đất. Ở đợt quan trắc đầu tiên, hàm lượng Al trao đổi giảm từ 63,6 mg/kg ở nghiệm thức đối chứng xuống còn 45,0 mg/kg ở nghiệm thức có sử dụng than sinh học cao nhất. Ở lần quan trắc cuối hàm lượng Al trao đổi giảm từ 5,5 mg/kg ở nghiệm thức đối chứng xuống còn 4,0 mg/kg ở nghiệm thức bổ sung 6% than sinh học.

Kết quả này cho thấy rằng than sinh học có khả năng làm giảm tổng hàm lượng Al trao đổi trong đất. Tương tự, hàm lượng Fe trong các mẫu đất cũng có xu hướng giảm dần theo tỷ lệ bổ sung than sinh học (Hình 4b). So với nghiệm thức đối chứng, hàm lượng Fe trong nghiệm thức bổ sung 6% than sinh học sau 5, 15, 30, 60 và 100 ngày giảm lần lượt 17,33; 27,68, 12,49, 17,12 và 11,57%.

Hình 2 cho thấy than sinh học làm giảm độ chua (làm tăng giá trị pH) của đất. Đây là nguyên nhân chính để than sinh học làm giảm hàm lượng trao đổi của Al và Fe trong đất như được trình bày ở Hình 4. Theo Dai và cs. (2017), than sinh học có thể cải thiện độ chua của đất một cách hiệu quả và giảm độc tố Al đối với cây trồng do tính chất kiềm của than [38]. Độc tính Al được giảm bớt bằng than sinh học chủ yếu là do Al hòa tan giảm và các cation bazơ hòa tan tăng lên [39]. Tương tự nghiên cứu của Lin và cs. (2018) ghi nhận với than sinh học từ vỏ đậu phộng [40], Raboin và cs (2016) đối với than củi [41] cùng với Jia và cs (2021) đối với than sinh học từ rom rạ [42] đều có khả năng làm giảm độc tính kim loại trong đất.

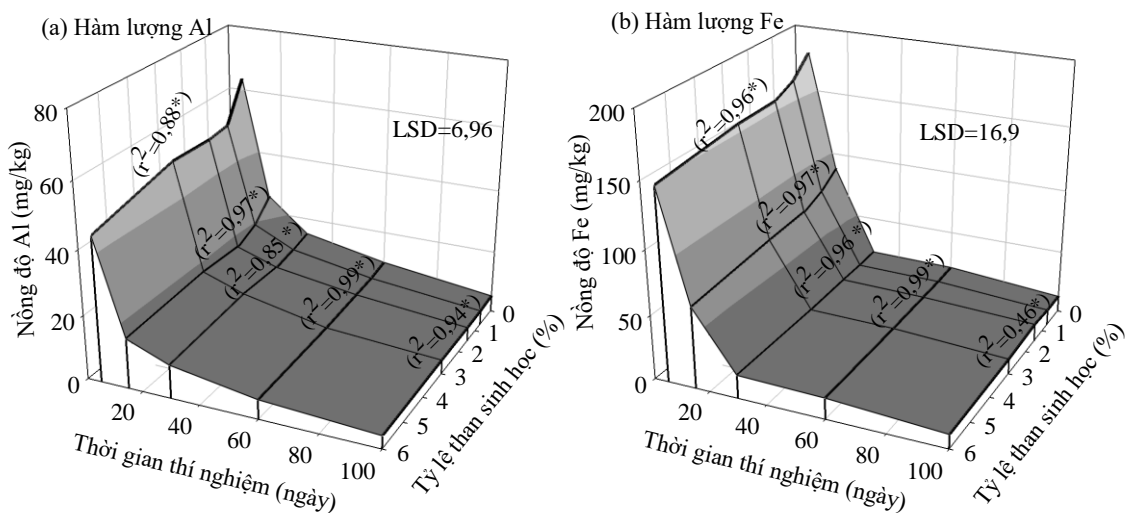


Hình 3. Biến thiên hàm lượng Ca và Mg trao đổi theo thời gian thí nghiệm dưới tác động của than sinh học.

Ghi chú r^2 = hệ số quyết định mối tương quan giữa giá trị thông số quan sát và tỷ lệ than sinh học sử dụng;

* mỗi tương quan có ý nghĩa thống kê; NS = mỗi tương quan không có ý nghĩa thống kê;

LSD = khác biệt thấp nhất có ý nghĩa thống kê.



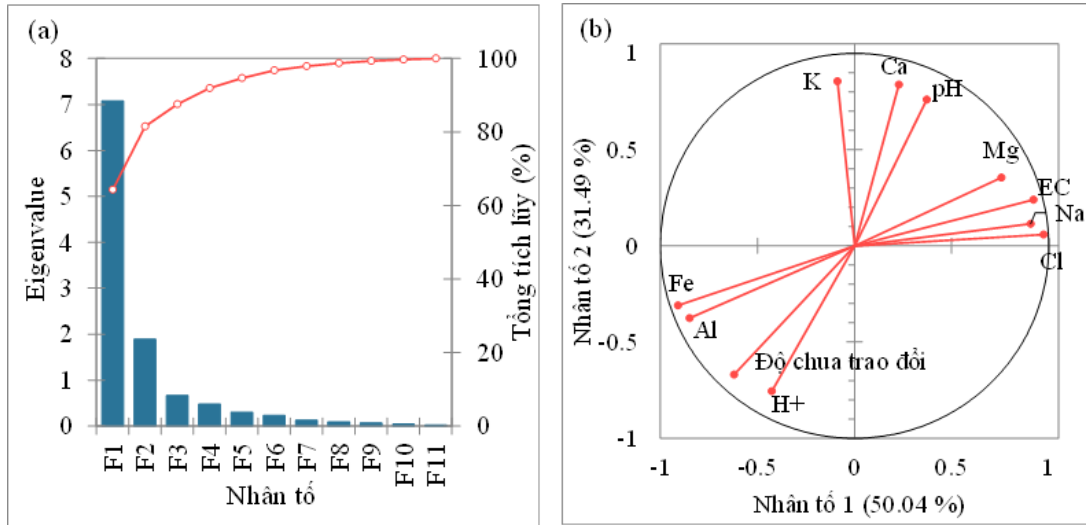
Hình 4. Biến thiên hàm lượng Al và Fe trao đổi theo thời gian thí nghiệm dưới tác động của than sinh học. Ghi chú r^2 = hệ số quyết định mối tương quan giữa giá trị thông số quan sát và tỷ lệ than sinh học sử dụng; * mối tương quan có ý nghĩa thống kê; LSD = khác biệt thấp nhất có ý nghĩa thống kê.

3.4. Ảnh hưởng của than sinh học đến chất lượng đất

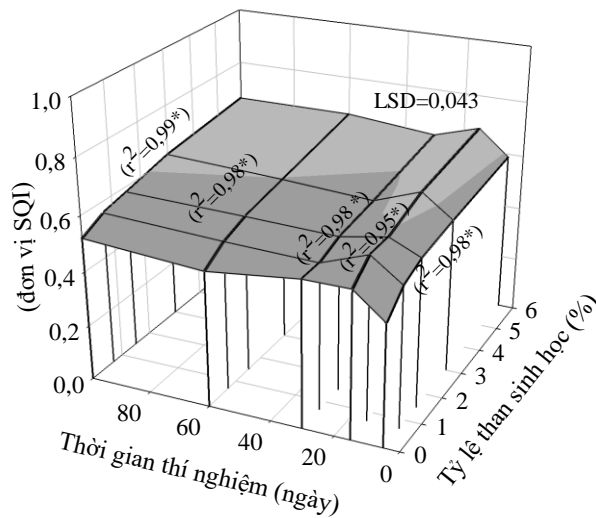
Từ các kết quả phân tích về tác động của than sinh học đến các biến số thành phần trong đất cho thấy rằng, than sinh học từ vỏ trấu có khả năng cải thiện chất lượng đất phèn nhiễm mặn. Để khẳng định kết quả này, phân tích thành phần chính PCA/FA và chỉ số chất lượng đất (SQI) đã được tính toán. Trong phân tích PCA/FA, 2 nhân tố chính được xác định giải thích đến 81,5% tổng phần trăm tích lũy phương sai, bao gồm 11 biến số đo được trong nghiên cứu này (Hình 5). Tất cả các thông số đất từ nhân tố 1 và nhân tố 2 có tải lượng lớn hơn 0,5 được sử dụng để tính SQI. Cụ thể, thông số EC, Cl⁻, Al, Fe, Mn và Na lấy giá trị từ nhân tố 1; pH, độ chua trao đổi, H⁺ trao đổi, Ca và K từ nhân tố 2 (Hình 5). Nhân tố 1 phản ánh tính mặn của đất và nhân tố 2 phản ánh tính phèn axit của đất. Để tính SQI dựa trên phương pháp PCA/FA, phương trình 1 đã được sử dụng để tính toán trong nghiên cứu này.

SQI được tính toán dựa vào các tính chất của đất thường được sử dụng để đánh giá chất lượng đất [43]. Ảnh hưởng của than sinh học sau 100 ngày bổ sung vào đất đối với SQI ước tính được trình bày trong Hình 6.

Nghiên cứu này đã tính toán chỉ số SQI tích hợp 11 đặc tính hóa lý của đất đo được thành một chỉ số duy nhất, được sử dụng để đánh giá xu hướng chất lượng đất và thiết lập mức cơ bản cho đất sau 100 ngày bổ sung than sinh học với tỷ lệ khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong tất cả 5 đợt quan trắc, chỉ số SQI tăng có ý nghĩa thống kê theo tỷ lệ than sinh học sử dụng, trung bình tăng từ 0,5 đến 0,64 đơn vị SQI (Hình 6). So với nghiệm thức đối chứng, mức tăng là 4,2% (công thức áp dụng 0,7% than), 6,7% (công thức áp dụng 1,5% than), 9,8% (công thức áp dụng 3% than) và 14,3% (công thức áp dụng 6% than). Mức độ tăng chỉ số SQI so với đối chứng ở cả 5 lần quan trắc đều có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Ngay cả khi tỷ lệ bổ sung than thấp (0,7%) vẫn cho thấy có sự gia tăng đáng kể SQI trong các mẫu đất (Hình 6). Giá trị SQI thấp nhất (0,44) ở nghiệm thức đối chứng là do các đặc tính hóa lý đất ở các Hình 1, 2, 3 và 4 cùng quyết định. Điều này cho thấy than sinh học có khả năng cải thiện chất lượng đất phèn nhiễm mặn và từ đó làm tăng năng suất sinh học trên loại đất có vấn đề này. Những nghiên cứu tương tự cũng cho thấy giá trị SQI đối với mẫu đất có bổ sung than sinh học cao hơn so với không bổ sung [44 - 46].



Hình 5. Đồ thị giá trị Eigenvalue và tổng phần trăm tích lũy (a) và giá trị tương quan của các biến số đối với hai nhân tố (b) trong phân tích thành phần chính/nhân tố (PCA/FA).



Hình 6. Biến thiên chất lượng đất dưới tác động của than sinh học.

Ghi chú r^2 = hệ số quyết định mối tương quan giữa chỉ số chất lượng đất và tỷ lệ than sinh học sử dụng;
 * mối tương quan có ý nghĩa thống kê; LSD = khác biệt thấp nhất có ý nghĩa thống kê.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã phân tích các đặc tính của than sinh học tổng hợp từ vỏ trấu và đánh giá ảnh hưởng của than sinh học đối với chất lượng đất phèn nhiễm mặn ở Huyện Cần Giờ, Thành

phố Hồ Chí Minh. Kết quả chứng minh rằng việc bổ sung than sinh học đã cải thiện độ chua, độ mặn, tình trạng dinh dưỡng và giảm lượng độc tố Al, Fe sẵn có trong đất. Thông qua việc tính toán chỉ số SQI đã cho thấy, chất lượng đất tăng dần theo tỷ lệ bổ sung than sinh học vỏ trấu. Kết quả

nghiên cứu cũng chỉ ra rằng than sinh học từ vỏ trấu là vật liệu tiềm năng trong xử lý đất phèn nhiễm mặn. Tuy nhiên, nghiên cứu cần tiến hành sâu hơn để có thể đưa ra được quy trình xử lý, đặc biệt đánh giá được những thay đổi về môi trường và sự phát triển của thực vật khi sinh trưởng trên đất phèn nhiễm mặn có bổ sung than sinh học.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là một phần trong đề tài nghiên cứu khoa học “Nghiên cứu cơ chế và tiềm năng cải tạo mặn của đất nông nghiệp bằng than sinh học sản xuất từ các phụ phẩm nông nghiệp” do Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh tài trợ kinh phí theo hợp đồng số 36/2020/HĐ-QPTKHCN. Tập thể tác giả chân thành gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh (IUH) và Viện Khoa học, Kỹ thuật và Quản lý Môi trường (IESEM) - IUH và Trường Đại học Mỏ Địa chất. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến các thầy cô và sinh viên của IESEM đã hỗ trợ trong quá trình đi thực địa, lấy mẫu, và thực hiện nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Arora, A. K. Singh, Y. P. Singh, Diagnostic Properties and Constraints of Salt-affected Soils, in Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective, Springer International Publishing, 2017, pp. 41-52.
- [2] J. Shamshuddin, A. E. Azura, M. A. R. S. Shazana, C. I. Fauziah, Q. A. Panhwar, U. A. Naher, Properties and Management of Acid Sulfate Soils in Southeast Asia for Sustainable Cultivation of Rice, Oil Palm, and Cocoa, *Advances in Agronomy: Academic Press*, 2014, pp. 91-142.
- [3] Saifullah, S. Dahlawi, A. Naeem, Z. Rengel, R. Naidu, Biochar Application for the Remediation of Salt-affected Soils: Challenges and Opportunities, *Sci Total Environ*, Vol. 625, 2018, pp. 320-335.
- [4] S. Amini, H. Ghadiri, C. Chen, P. Marschner, Salt-affected Soils, Reclamation, Carbon Dynamics, and Biochar: a Review, *Journal of Soils and Sediments*, 2016, Vol. 16, No. 3, 2016, pp. 939-953.
- [5] V. Gunarathne, A. Senadeera, U. Gunarathne, J. K. Biswas, A. A. Yaser, V. Meththika, Potential of Biochar and Organic Amendments for Reclamation of Coastal Acidic-salt Affected Soil, *Biochar*, Vol. 2, No. 1, 2020, pp. 107-120.
- [6] A. E. Nagggar, S. S. Lee, J. Rinklebe, F. Muhammad, H. Song, A. K. Sarmahh, A. R. Zimmerman, M. Ahmad, S. M. Shaheen, Y. S. Ok, Biochar Application to Low Fertility Soils: a Review of Current Status, and Future Prospects. *Geoderma*, Vol. 337, pp. 536-554.
- [7] E. Martí, J. Sierra, X. Domene, M. Mumbrú, C. Robert, A. G. María, One-year Monitoring of Nitrogen Forms after the Application of Various Types of Biochar on Different Soils. *Geoderma*, Vol. 402, No. 4, 2021, pp. 115178.
- [8] Q. Q. Zhao, J. H. Bai, Y. C. Gao, H. X. Zhao, G. L. Zhang, B. H. Cui, Shifts of Soil Bacterial Community along a Salinity Gradient in the Yellow River Delta, *Land Degradation and Development*, Vol. 31, No. 16, 2020, pp. 2255-2267.
- [9] P. Pokharel, Z. Ma, S. X. Chang, Biochar Increases Soil Microbial Bio Mass with Changes in Extra- and Intracellular Enzyme Activities: a Global Meta-Analysis. *Biochar*, Vol. 2, 2020, pp. 65-79.
- [10] Y. Wang, M. B. Villamil, P. C. Davidson, N. Akdeniz, A Quantitative Understanding of the Role of Co-composted Biochar in Plant Growth Using Meta-analysis, *Science of the Total Environment*, Vol. 685, 2019, pp. 741-752.
- [11] X. X. Luo, G. C. Liu, Y. Xia, L. Chen, Z. X. Jiang, H. Zheng, Z. Wang, Use of Biocharcompost to Improve Properties and Productivity of the Degraded Coastal Soil in the Yellow River Delta, China, *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 17, 2017, pp. 780-789.
- [12] S. Jeffery, F. G. A. Verheijen, M. van der Velde, A. C. Bastos, A Quantitative Review of the Effects of Biochar Application to Soils on Crop Productivity Using Meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 144, 2011, pp. 175-187.
- [13] T. Q. H. Nguyen, K. T. Le, M. K. Nguyen, T. N. H. Le, Potential of Biochar Production from Agriculture Residues at Household Scale: a Case Study in Go Cong Tay District, Tien Giang Province, Vietnam, *Environment and Natural Resources Journal*, Vol. 16, No. 2, pp. 68-78.
- [14] B. T. Nguyen, N. N. Trinh, C. M. T. Le, T. T. Nguyen, T. V. Tran, B. V. Thai, T. V. Le, The Interactive Effects of Biochar and Cow Manure on Rice Growth and Selected Properties of Salt-

- affected Soil, Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 64, No. 12, 2018, pp. 1744-1758.
- [15] Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, World Soil Resources Reports, FAO - Rome, No. 106, 2015.
- [16] Z. Liu, W. Zhou, J. Long, P. He, G. Liang, H. Jin, A Simple Evaluation of Soil Quality of Waterlogged Purple Paddy Soils with Different Productivities, PLoS One, Vol. 10, No. 5, 2015, pp. e0127690.
- [17] E. P. A. Pratiwi, Y. Shinogi, Rice Husk Biochar Application to Paddy Soil and Its Effects on Soil Physical Properties, Plant Growth, and Methane Emission, Paddy and Water Environment, Vol. 14, No. 4, 2016, pp. 521-532.
- [18] A. Singla, K. Inubushi, Effect of Biochar on CH₄ and N₂O Emission from Soils Vegetated with Paddy, Paddy and Water Environment, Vol. 12, No.1, 2014, pp. 239-243.
- [19] C. Knoblauch, A. A. Maarifat, E. M. Pfeiffer, M. H. Stephan, Degradability of Black Carbon and its Impact on Trace Gas Fluxes and Carbon Turnover in Paddy Soils, Soil Biology and Biochemistry, Vol. 43, No. 9, 2011, pp. 1768-1778.
- [20] B. T. Nguyen, J. Lehmann, Black Carbon Decomposition under Varying Water Regimes. Organic Geochemistry, Vol. 40, No. 8, 2009, pp. 846-853.
- [21] S. Hajrasuliha, D. K. Cassel, Y. Rezaiejad, Estimation of Chloride Ion Concentration in Saline Soils from Measurement of Electrical Conductivity of Saturated Soil Extracts, Geoderma, Vol. 49, No. 1, 1991, pp. 117-127.
- [22] M. R. Carter, E. G. Gregorich, Soil Sampling and Methods of Analysis, 2nd Edition, Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.
- [23] B. T. Nguyen, L. B. Le, L. P. Pham, H. T. Nguyen, T. D. Tran, N. V. Thai, The Effects of Biochar on the Biomass Yield of Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schumacher) and Properties of Acidic Soils, Industrial Crops and Products, Vol. 161, 2021, pp. 113224.
- [24] E. Farkas, V. Feigl, K. Gruiz, E. Vaszita, I. F. Kertész, M. Tolner, I. Kerekes, É. Pusztai, A. Kari, N. Uzinger, M. Rékási, C. Kirchkeszner, M. Molnár, Long-term Effects of Grain Husk and Paper Fibre Sludge Biochar on Acidic and Calcareous Sandy Soils – A Scale-up Field Experiment Applying a Complex Monitoring Toolkit, Science of the Total Environment, Vol. 731, 2020, pp. 138988.
- [25] X. Peng, L. L. Ye, C. H. Wang, H. Zhou, B. Sun, Temperature - and Duration-dependent Rice Straw-derived Biochar: Characteristics and Its Effects on Soil Properties of an Ultisol in Southern China. Soil and Tillage Research, Vol. 112, No. 2, 2011, pp. 159-166.
- [26] K. Chan, Z. Xu, Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement, In: Lehmann, J. and Joseph, S., Eds., Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London, UK, 2009, pp. 67-84.
- [27] A. E. Nagggar, M. H. Lee, J. Hur, Y. H. Lee, A. D. Igalavithana, S. M. Shaheen, C. Ryu, J. Rinklebe, D. C. W. Tsang, Y. S. Ok, Biochar-induced Metal Immobilization and Soil Biogeochemical Process: An Integrated Mechanistic Approach, Science of the Total Environment, Vol. 698, 2019, pp. 134112.
- [28] E. C. Suddick, J. Six, An Estimation of Annual Nitrous Oxide Emissions and Soil Quality Following the Amendment of High Temperature Walnut Shell Biochar and Compost to a Small-Scale Vegetable Crop Rotation, Science of the Total Environment, Vol. 465, 2013, pp. 298-307.
- [29] J. Zhang, G. Chen, H. Sun, S. Zhou, G. Zou, Straw Biochar Hastens Organic Matter Degradation and Produces Nutrient-rich Compost, Bioresource Technology, Vol. 200, 2016, pp. 876-883.
- [30] F. Jing, X. Chen, X. Wen, W. Liu, S. Hu, Z. Yang, B. Guo, Y. Luo, Q. Yu, Y. Xu, Biochar Effects on Soil Chemical Properties and Mobilization of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in Paddy Soil, Soil Use and Management, Vol. 36, No. 2, 2019, pp. 320-327.
- [31] B. Yousaf, G. Liu, R. Wang, M. Zia-ur-Rehman, M. S. Rizwan, M. Imtiaz, G. Murtaza, A. Shakoor, Investigating the Potential Influence of Biochar and Traditional Organic Amendments on the Bioavailability and Transfer of Cd in the Soil-plant System, Environmental Earth Sciences, Vol. 75, 2016, pp. 1-10.
- [32] A. Ali, D. Guo, Y. Zhang, X. Sun, S. Jiang, Z. Guo, H. Huang, W. Liang, R. Li, Z. Zhang, Using Bamboo Biochar with Compost for the Stabilization and Phytotoxicity Reduction of Heavy Metals in Mine-contaminated Soils of China, Scientific Reports, Vol. 7, 2017, pp. 2690.
- [33] J. H. Yuan, R. K. Xu, The Amelioration Effects of Low Temperature Biochar Generated from Nine Crop Residues on an Acidic Ultisol, Soil Use and Management, Vol. 27, 2011, pp. 110-115.
- [34] G. Cornelissen, Jubaedah, N. L. Nurida, S. E. Hale, V. Martinsen, L. Silvani, J. Mulder, Fading

- Positive Effect of Biochar on Crop Yield and Soil Acidity during Five Growth Seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of The Total Environment*, Vol. 634, 2018, pp. 561-568.
- [35] H. Yu, W. Zou, J. Chen, H. Chen, Z. Yu, J. Huang, H. Tang, X. Wei, B. Gao, Biochar Amendment Improves Crop Production in Problem Soils: A Review, *Journal of Environmental Management*, Vol. 232, 2019, pp. 8-21.
- [36] M. M. Masud, M. A. AlBaquy, S. Akhter, R. Sen, A. Barman, M. R. Khatun, Liming Effects of Poultry Litter Derived Biochar on Soil Acidity Amelioration and Maize Growth, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 202, 2020, pp. 110865.
- [37] J. Major, M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha, J. Lehmann, Maize Yield and Nutrition During 4 Years after Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol, *Plant Soil*, Vol. 333, No. 1-2, 2010, pp. 117-128.
- [38] Z. Dai, X. Zhang, C. Tang, N. Muhammad, J. Wu, P. C. Brookes, J. Xu, Potential Role of Biochars in Decreasing Soil Acidification-a Critical Review, *Science of the Total Environment*, Vol. 581-582, 2017, pp. 60-611.
- [39] R.Y. Shi, Z. N. Hong, J. Y. Li, J. Jiang, M. A. Kamran, R. K. Xu, W. Qian, Peanut Straw Biochar Increases the Resistance of two Ultisols Derived from Different Parent Materials to Acidification: a Mechanism Study, *Journal of Environmental Management*, Vol. 210, 2018, pp. 171-179.
- [40] Q. Lin, L. Zhang, M. Riaz, M. Zhang, H. Xia, L. Bo, C. Jiang, Assessing the Potential of Biochar and Aged Biochar to Alleviate Aluminum Toxicity in an Acid Soil for Achieving Cabbage Productivity, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 161, 2018, pp. 290-295.
- [41] L. M. Raboin, A. H. D. Razafimahafaly, M. B. Rabenjarisoa, B. Rabary, J. Dusserre, T. B. Raboin, Improving the Fertility of Tropical Acid Soils: Liming Versus Biochar Application? A Long-term Comparison in the Highlands of Madagascar, *Field Crops Research*, Vol. 199, 2016, pp. 99-108.
- [42] M. Jia, J. Yu, Z. Li, L. Wu, P. Christie, Effects of Biochar on the Migration and Transformation of Metal Species in a Highly Acid Soil Contaminated with Multiple Metals and Leached with Solutions of Different pH. *Chemosphere*, Vol. 278, 2021, pp. 130344.
- [43] X. Zhang, J. Qua, H. Li, S. La, Y. Tian, L. Gao, Biochar Addition Combined with Daily Fertigation Improves Overall Soil Quality and Enhances Water-fertilizer Productivity of Cucumber in Alkaline Soils of a Semi-arid Region, *Geoderma*, Vol. 363, 2020, pp. 114170.
- [44] T. Bera, H. P. Collins, A. K. Alva, T. J. Purakayastha, A. K. Patra, Biochar and Manure Effluent Effects on Soil Biochemical Properties under Corn Production, *Applied Soil Ecology*, Vol. 107, 2016, pp. 360-367.
- [45] N. Li, S. Wen, S. Wei, H. Li, Y. Feng, G. Ren, G. Yang, X. Han, X. Wang, C. Ren, Straw Incorporation plus Biochar Addition Improved the Soil Quality index Focused on Enhancing Crop Yield and Alleviating Global Warming Potential, *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 21, 2021, pp. 101316.
- [46] D. J. Kim, B. K. Ahn, J. H. Lee, Soil Quality Assessment Based on Different Properties of Remediated Soil Affected by Various Organic Amendments, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, Vol. 52, No. 2, 2019, pp. 114-132.