BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

NGUYỄN TÂN XUÂN TÙNG

CẢI TẠO CÁC THÀNH PHẦN HÓA HỌC CỦA ĐẤT PHÈN NHIỄM MẶN BẰNG VẬT LIỆU THÂN THIỆN MÔI TRƯỜNG TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

NGÀNH: QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
MÃ NGÀNH: 9850101

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, NĂM 2025

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA NGHIÊN CỨU SINH

Tạp chí quốc tế:

1. **Tung Xuan Tan Nguyen**, Binh Thanh Nguyen, Binh Vu Thai, and Minh Quang Vo*, "Soil quality assessment on different land use types in the coastal saline acid sulfate soils of Can Gio District, Vietnam," *Ecological Engineering & Environmental Technology*, vol. 26, no. 8, pp. 115-129, 2025, https://doi.org/10.12912/27197050/207331.

2. **Tung Xuan Tan Nguyen**, Binh Thanh Nguyen*, and Binh Vu Thai, "Amelioration of salt-affected soil using combined amendments for synergistic effects: Impacts and management implications," *Soil Use and Management*, vol. 40, no. 3, pp. e13104, 2024, https://doi.org/10.1111/sum.13104.

3. **Tung Xuan Tan Nguyen** and Binh Thanh Nguyen*, "The effects of two different biochars on the characteristics of saline acid sulfate soil," *Land Degradation and Development*, vol. 34, no. 12, pp. 3744-3754, 2023, http://doi.org/10.1002/ldr.4717.

Tạp chí trong nước:

Nguyễn Tân Xuân Tùng, Nguyễn Thanh Bình*, và Thái Vũ Bình, "Đặc tính đất phèn nhiễm mặn và các giải pháp cải tạo trong bối cảnh biến đổi khí hậu," *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn,* số 16, trang: 43-52. 30/8/2023.

Hội nghị quốc tế:

Tung Xuan Tan Nguyen, Binh Thanh Nguyen*, and Binh Vu Thai. Fractionation and remediation of quality components of saline acid-sulfate soil for improved Pak Choy with combined eco-friendly amendments," presented at the *International Conference of Agricultural Science "Climate-Smart and Resilient Agriculture for Sustainable Development" in Session: Soil health for climate resilient and sustainable development*, Can Tho University, Vietnam, 28-29/08/2024.

CHƯƠNG 1 MỞ ĐẦU

1.1 Đặt vấn đề

Hiện nay, biến đổi khí hậu và an ninh lương thực là hai vấn đề toàn cầu được quan tâm hàng đầu. Biến đổi khí hậu làm gia tăng xâm nhập mặn, gây mặn hóa đất nông nghiệp và ảnh hưởng nghiêm trọng đến năng suất cây trồng. Đất phèn nhiễm mặn là loại đất vừa chua (pH thấp) vừa mặn (EC cao), chứa nhiều sulfide và các nguyên tố gây độc như Al và Fe. Loại đất này thường gặp ở vùng ven biển, với bốn hạn chế chính: độ chua cao, độ mặn lớn, độc tính kim loại và mất cân bằng dinh dưỡng. Vôi, phân chuồng và than sinh học là những vật liệu thân thiện môi trường đã được sử dụng để cải thiện đất phèn nhiễm mặn. Vôi giúp nâng pH và giảm độc tính Al, Fe nhưng có thể gây mất dinh dưỡng và giảm hiệu quả phân bón. Phân chuồng cải thiện dinh dưỡng và hoạt động sinh học trong đất nhưng khó khắc phục độ chua và có thể làm tăng độ mặn khi bón liên tục. Than sinh học giúp cải thiện cấu trúc đất, tăng CEC, giảm độc tính Al và hỗ trợ giảm EC bằng hấp phụ Na+, nhưng hiệu quả cao hơn khi kết hợp với phân hữu cơ hoặc đạm. Tại đồng bằng sông Cửu Long, diện tích đất phèn khoảng 1,6 triệu ha, trong đó đất phèn nhiễm mặn chiếm khoảng 0,74 triệu ha và đang gia tăng dưới tác động biến đổi khí hậu. Các tỉnh ven biển như Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu và Cà Mau chịu ảnh hưởng mạnh từ mặn và phèn theo mùa hoặc quanh năm, gây áp lực lớn lên sản xuất nông nghiệp. Mỗi biện pháp cải tạo đều có ưu và nhược điểm riêng, do đó sự kết hợp vật liệu (than sinh học - vôi - phân chuồng) được kỳ vọng mang lại hiệu quả tổng hợp, khắc phục đồng thời độ chua, độ mặn, độc tính kim loại và thiếu dinh dưỡng. Từ cơ sở đó, đề tài "**Cải tạo các thành phần hóa học của đất phèn nhiễm mặn bằng vật liệu thân thiện môi trường trong bối cảnh biến đổi khí hậu**" được thực hiện nhằm đánh giá khả năng cải tạo đất và đề xuất hướng sử dụng bền vững loại đất này.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

2.1 Mục tiêu tổng quát

Đánh giá các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn và tác động tổng hợp của các vật liệu thân thiện môi trường (than trấu, vôi, phân bò) ở quy mô nhà lưới và thực địa nhằm cải thiện chất lượng đất, sinh trưởng và năng suất cây trồng, từ đó đề xuất các giải pháp cải tạo và sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

2.2 Mục tiêu cụ thể

Đánh giá đặc tính hóa học đất phèn mặn theo khoảng cách biển; khảo sát tác động than sinh học, vôi, phân bò dưới hai chế độ nước; xác định hiệu quả cải thiện đất và năng suất lúa, cải thìa ở thực địa; từ đó đề xuất giải pháp cải tạo và sử dụng đất phèn nhiễm mặn.

1.3 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1 Đối tượng nghiên cứu

- Các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn.
- Vật liệu thân thiện môi trường (than sinh học, vôi và phân bò).
- Cây trồng: Lúa (Ba Bụi) và cải thìa (F1 Green Sun No 1).

3.2 Phạm vi nghiên cứu

- Phạm vi không gian: Huyện Cần Giờ (cũ), TP. HCM và xã Kiểng Phước, huyện Gò Công Đông, tỉnh Tiền Giang (cũ) trong thời gian từ năm 2022 đến năm 2025.
- Quy mô nghiên cứu: Nhà lưới và thực địa.

1.4 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

4.1 Ý nghĩa khoa học

Bổ sung dữ liệu xây dựng SQI cho đất phèn mặn, hoàn thiện lý thuyết canh tác phù hợp nông hộ, đề xuất biện pháp cải tạo xanh bằng vật liệu thân thiện môi trường cho nghiên cứu tiếp theo.

4.2 Ý nghĩa thực tiễn

Nghiên cứu cung cấp bằng chứng định lượng và khuyến nghị cải tạo tầng canh tác giúp giảm chua, mặn, độc tố, nâng dinh dưỡng đất, cải thiện sức khỏe cây trồng, tăng năng suất và thu nhập cho nông hộ.

1.5 Tính mới của đề tài

Đề tài nghiên cứu đặc tính hóa học đất phèn mặn và thử nghiệm hai chế độ nước, kết hợp than trấu, phân bò và vôi để cải thiện chua, mặn, độc tố và dinh dưỡng. Đồng thời phân tích chi tiết các dạng Al bằng phương pháp hiện đại, đề xuất giải pháp cải tạo bền vững.

1.6 Các giả thuyết khoa học cần kiểm tra

Giả thuyết 1: Than trấu giúp cải thiện một số hạn chế chính của đất phèn nhiễm mặn bằng cách tăng pH, giảm mặn, giảm độc tính Al–Fe và tăng P dễ tiêu, nhưng khả năng nâng pH kém hơn vôi và hiệu quả cải thiện dinh dưỡng thấp hơn chất hữu cơ.

Giả thuyết 2: Vôi làm tăng pH nhanh và mạnh, từ đó giảm Al/Fe trao đổi, nhưng không bổ sung dinh dưỡng N–P–K và ít tác động đến độ mặn.

Giả thuyết 3: Chất hữu cơ cải thiện dinh dưỡng nhờ khoáng hóa và tạo phức với Al/Fe, nhưng khả năng nâng pH và giảm độc chua yếu hơn vôi hoặc than trấu, đồng thời tác động hạn chế đến độ mặn.

Giả thuyết 4: Kết hợp vật liệu tạo hiệu ứng cộng hưởng: than trấu + vôi giúp giảm chua, mặn và độc tính Al/Fe hiệu quả hơn từng vật liệu riêng lẻ; than trấu + chất hữu cơ vừa cải thiện pH, tăng dinh dưỡng và CEC, phục hồi độ phì kết hợp kiểm soát chua mặn.

CHƯƠNG 2 NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Nội dung nghiên cứu

* Nội dung 1: Khảo sát hiện trạng và hiệu quả sử dụng các loại hình sử dụng đất phèn nhiễm mặn phục vụ cho mục đích sản xuất nông nghiệp tại Cần Giờ (cũ) và Gò Công Đông (cũ) và đánh giá các đặc tính hóa học của chúng

* Nội dung 2: Khảo sát và đánh giá tác động của than sinh học (than trấu, than nhãn, than dừa), vôi và phân bò đến các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn trong điều kiện nhà lưới

* Nội dung 3: Đánh giá hiệu quả cải tạo của than trấu, vôi và phân bò đến các đặc tính hóa học và sinh trưởng, năng suất lúa và cải thìa trên đất phèn nhiễm mặn

* Nội dung 4: Đề xuất các giải pháp cải tạo và sử dụng đất phèn nhiễm mặn

2.2 Phương pháp nghiên cứu

* Nội dung 1:

Nghiên cứu khảo sát hiện trạng sử dụng đất phèn nhiễm mặn thông qua tổng hợp tài liệu và điều tra nông hộ: 135 phiếu tại Cần Giờ (cũ) và 150 phiếu tại Kiểng Phước (cũ). Tổng cộng 136 mẫu đất (0–30 và 30–60 cm) từ năm loại hình được lấy theo TCVN 7538. Mười bảy chỉ tiêu hóa học (pH, SO_4^{2-}, độ chua, EC, Cl^-, Na^+ trao đổi, Al, Fe, Mn, CEC, P dễ tiêu, OC, NH_4^+, K, Ca, Mg...) được phân tích để đánh giá chua, mặn, độc tố và dinh dưỡng. Các chỉ tiêu ít ý nghĩa (NO_3^-, Zn, Cu, kim loại nặng, P tổng) không phân tích. Dữ liệu xử lý bằng Excel, thống kê mô tả, tương quan và ANOVA nhằm đánh giá hiệu quả cải tạo và điều kiện canh tác.

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.

Tính chỉ số chất lượng đất (SQI)

Chỉ số Chất lượng đất (SQI):

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} w_i \, s_i$$

Tính chỉ số chất lượng đất thành phần:

$$SQI_{thành\ phần} = \sum_{j=1}^{z} w_j \, s_j$$

Phân tích phương sai và tương quan.

* Nội dung 2:

Thí nghiệm 1 (01–04/2022) nhằm chọn loại và tỷ lệ than sinh học phù hợp cải tạo đất phèn mặn. Đất lấy tại Bình Khánh (Cần Giờ), EC 3–4 dS/m, tổng 250 kg. Ba loại than: trấu, dừa, nhãn; bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 loại × 5 tỷ lệ (0–6%) × 4 lặp, tổng 60 chậu. Đất và than được trộn đều, tưới ngập 5 cm và ủ 100 ngày. Sau ủ, thu 500 g/chậu để phân tích 17 chỉ tiêu hóa học. Dữ liệu xử lý bằng ANOVA, PCA/FA và xây dựng SQI.

Thí nghiệm 2 (04–07/2022) đánh giá ảnh hưởng của than trấu, vôi và phân bò lên đất phèn nhiễm mặn dưới hai chế độ nước: ngập 5 cm (đất lúa) và 60% ẩm (đất cây cạn). Đất lấy tại Bình Khánh (EC

5–6 dS/m). Ba vật liệu: than trấu (10 t/ha), vôi (1 t/ha), phân bò (10 t/ha). Bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên 12 nghiệm thức × 4 lặp, tổng 48 chậu, mỗi chậu 1.145 g đất. Thí nghiệm kéo dài 100 ngày, mẫu đất phân tích các chỉ tiêu hóa học và 5 dạng Al bằng ICP-OES. Dữ liệu xử lý bằng ANOVA, PCA/FA và SQI.

* Nội dung 3:

Thí nghiệm 3 (07–12/2022) tại ruộng lúa 500 m² ở Bình Khánh (Cần Giờ) trên đất phèn nhiễm mặn (EC 1–2 dS/m) khảo sát hiệu quả than trấu, vôi và phân bò với giống Ba Bụi. Bố trí RCBD 6 nghiệm thức × 4 lặp (24 ô, 12 m²/ô) với mương cách ly 1 m. Vật liệu rải, vùi 0–10 cm trước khi cấy, mật độ 25 cây/m². Quản lý nước và kỹ thuật đồng nhất. Cuối vụ, đo năng suất hạt, sinh khối rơm và rễ, thu mẫu đất 0–10 cm, phân tích hóa học. Mẫu rễ, rơm, hạt xác định Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, N, P.

Thí nghiệm 4 (06–09/2023) tại ruộng cải thìa 268,55 m², Kiểng Phước (Gò Công Đông, Tiền Giang) trên đất phèn nhiễm mặn (EC 1–2 dS/m) khảo sát hiệu quả than trấu (15 tấn/ha), vôi (1,5 tấn/ha) và phân bò (15 tấn/ha) với giống F1 Green Sun No.1. Bố trí RCBD 6 nghiệm thức × 4 lặp (24 ô, 9 m²/ô). Vật liệu bón trộn lớp đất 0–10 cm, gieo 20 cây/m², chăm sóc đồng nhất, ưu tiên sinh học, không phun thuốc. Cuối vụ, đo sinh khối thân lá (1 m²) và rễ (0,04 m²), mẫu đất 0–10 cm phân tích hóa học, xử lý dữ liệu ANOVA, PCA/FA, SQI, tương quan và mô hình đa biến.

* Nội dung 4:

Phân tích SWOT đánh giá tiềm năng cải tạo đất phèn nhiễm mặn bằng vật liệu thân thiện môi trường, xác định điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức, từ đó đề xuất chiến lược tối ưu, giảm rủi ro và giải pháp cải tạo, sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Khảo sát hiện trạng và hiệu quả sử dụng các loại hình sử dụng đất phèn nhiễm mặn phục vụ cho mục đích sản xuất nông nghiệp tại Cần Giờ (cũ) và Gò Công Đông (cũ) và đánh giá các đặc tính hóa học của chúng

3.1.1 Hiện trạng và hiệu quả sử dụng các loại hình sử dụng đất phèn nhiễm mặn phục vụ cho mục đích sản xuất nông nghiệp tại Cần Giờ (cũ) và Gò Công Đông (cũ)

Bảng 3.1 Hiện trạng và hiệu quả của các loại hình sử dụng đất canh tác phổ biến trên đất phèn nhiễm mặn tại Cần Giờ và Gò Công Đông (cũ)

Huyện Cần Giờ (cũ), Thành phố Hồ Chí Minh					
		Lúa mùa	Lúa-tôm	Tôm	Xoài
Thông tin chung	Tổng diện tích *(ha)*	61,39	20,59	20	20
	Tổng sản lượng *(tấn/tổng diện tích)*	285	Lúa: 101 Tôm: 16	16	15
	Năng suất *(tấn/ha/năm)*	4,64	Lúa: 4,91 Tôm: 0,78	0,78	0,75
Chi phí vật chất	Giống *(VNĐ/ha/năm)*	4.330.667	Lúa: 7.901.894 Tôm: 9.883.439	69.500.000	9.245.000
	Phân hữu cơ/Vôi *(VNĐ/ha/năm)*	3.608.889	7.684.080		
Chi phí thuê công lao động *(VNĐ/ha/năm)*		1.909.753	41.408.451	1.728.000	11.160.000
Giá tổng sản phẩm thu được *(VNĐ/ha/năm)*		31.502.642	Lúa: 26.827.052 Tôm: 139.742.108	152.747.500	27.225.000
Hiệu quả kinh tế *(VNĐ/ha/năm)*		21.653.333	99.691.297	65.967.500	6.820.000
Huyện Gò Công Đông, Tỉnh Tiền Giang (cũ)					
			Lúa	Rau màu	Cây trồng khác
Thông tin chung	Tổng diện tích *(ha)*		58,91	21,36	5,66
	Tổng sản lượng *(tấn/tổng diện tích)*		372	256	176
	Năng suất *(tấn/ha)*		6,31	11,99	31,09
Chi phí vật chất	Giống *(VNĐ/ha/năm)*		7.577.661	10.173.689	27.756.184
	Phân hữu cơ/Vôi *(VNĐ/ha/năm)*		6.314.717	5.359.176	18.139.576
Chi phí thuê công lao động *(VNĐ/ha/năm)*			5.051.774	17.869.850	15.547.703
Giá tổng sản phẩm thu được *(VNĐ/ha/năm)*			56.832.456	88.503.277	546.355.300
Hiệu quả kinh tế *(VNĐ/ha/năm)*			37.888.304	55.100.562	484.911.837

Sự khác biệt mô hình canh tác phản ánh áp lực mặn–phèn và quản lý nước khác nhau giữa vùng. Cần Giờ (cũ) muốn duy trì lúa cần cải thiện chất lượng đất, trong khi Gò Công Đông (cũ) phù hợp hơn với cây ăn trái và rau màu. Kết hợp than trấu, vôi, phân bò và quản lý nước giúp tăng chất lượng đất và năng suất.

3.1.2 Đánh giá các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn tại Cần Giờ (cũ)

3.1.2.1 Các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn tại Cần Giờ

Bảng 3.2 Đặc tính đất phèn nhiễm mặn thể hiện tính axit trên các loại hình sử dụng đất khác nhau - Cần Giờ cũ

Loại hình sử dụng	Tính axit			
	pH	SO_4^{2-} (g/kg)	Độ chua trao đổi (cmol(+)/kg)	H^+ trao đổi (cmol(+)/kg)
Tầng đất 0-30 cm				
HNK	4,50^{a} ± 0,27	0,98^{b} ± 0,13	3,73^{ab} ± 0,43	2,29^{b} ± 0,29
CLN	4,69^{a} ± 0,23	0,96^{b} ± 0,20	3,75^{ab} ± 0,40	1,91^{b} ± 0,23
LUA	4,05^{b} ± 0,33	0,94^{b} ± 0,14	3,60^{ab} ± 0,45	2,25^{b} ± 0,33
NTS	4,95^{a} ± 0,35	1,25^{a} ± 0,20	3,37^{b} ± 0,35	2,26^{b} ± 0,21
TN	4,68^{a} ± 0,34	1,27^{a} ± 0,20	4,33^{a} ± 0,71	2,99^{a} ± 0,44
Tầng đất 30-60 cm				
HNK	4,79^{ab} ± 0,29	1,25^{a} ± 0,18	3,14^{b} ± 0,29	2,11^{ab} ± 0,30
CLN	4,96^{a} ± 0,26	1,27^{a} ± 0,25	3,23^{b} ± 0,41	1,64^{b} ± 0,23
LUA	4,63^{ab} ± 0,25	1,11^{a} ± 0,13	3,26^{b} ± 0,46	1,84^{ab} ± 0,22
NTS	4,81^{ab} ± 0,34	1,26^{a} ± 0,20	3,45^{b} ± 0,31	2,65^{a} ± 0,80
TN	4,77^{b} ± 0,46	1,30^{a} ± 0,21	4,21^{a} ± 0,71	2,72^{a} ± 0,49

Bảng 3.3 Đặc tính đất phèn nhiễm mặn thể hiện tính mặn và tính độc trên các loại hình sử dụng đất khác nhau - Cần Giờ cũ

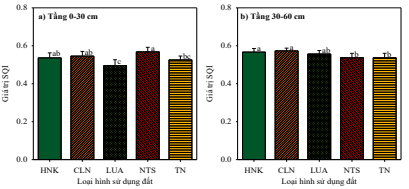
Loại hình sử dụng	Tính mặn			Tính độc		
	EC (dS/m)	Cl (g/kg)	Na trao đổi (mg/kg)	Al trao đổi (mg/kg)	Fe trao đổi (mg/kg)	Mn trao đổi (mg/kg)
Tầng đất 0-30 cm						
HNK	5,10^{bc}±1,26	1,83^{ab}±0,19	2.649,27^{c}±814,57	228,24^{bc}±87,88	304,69^{bc}±189,87	32,19^{ab}±7,96
CLN	5,27^{bc}±1,15	1,84^{ab}±0,14	3.670^{bc}±984,51	143,81^{ab}±53,34	366,60^{bc}±200,36	41,60^{a}±9,65
LUA	6,35^{ab}±1,75	1,96^{a}±0,23	3.808^{bc}±552,99	341,82^{c}±121,39	578,48^{a}±232,44	32,02^{ab}±3,23
NTS	7,12^{a}±1,29	1,87^{ab}±0,33	4.060^{b}±886,38	164,32^{b}±39,24	265,56^{b}±138,12	27,38^{b}±3,67
TN	7,02^{a}±1,18	1,68^{b}±0,18	5.368^{a}±1.174	181,93^{b}±42,33	377,78^{ab}±185,91	29,77^{b}±5,74
Tầng đất 30-60 cm						
HNK	5,82^{bc}±1,46	2,20^{a}±0,23	3.116^{bc}±1.296	157,57^{ab}±64,00	304,19^{ab}±120,06	27,77^{b}±3,49
CLN	6,12^{bc}±1,44	2,17^{a}±0,18	2.794^{bc}±652,61	86,16^{a}±28,19	189,31^{b}±78,85	38,51^{a}±9,19
LUA	5,56^{bc}±1,43	1,64^{b}±0,20	4.519^{ab}±1.466	142,54^{ab}±52,05	349,81^{a}±137,73	30,67^{b}±3,64
NTS	7,12^{a}±1,27	1,78^{b}±0,19	5.226^{a}±1.367	153,81^{ab}±52,85	326,13^{a}±92,08	28,72^{ab}±4,16
TN	7,26^{a}±1,40	1,82^{b}±0,22	6.403^{a}±1.410	175,98^{ab}±57,50	319,23^{a}±94,98	28,42^{b}±4,53

Bảng 3.4 Đặc tính đất phèn nhiễm mặn thể hiện tính dinh dưỡng trên các loại hình sử dụng đất khác nhau - Cần Giờ cũ

Loại hình sử dụng	Tính dinh dưỡng						
	CEC (cmol(+)/kg)	NH_4^+ (mg/kg)	Mehlich-1 P (mg/kg)	OC (%)	K trao đổi (mg/kg)	Ca trao đổi (mg/kg)	Mg trao đổi (mg/kg)
Tầng đất 0-30 cm							
HNK	12,42^{bc}±0,44	103,34^{bc}±7,63	8,28^{bc}±0,98	5,07^{bc}±0,13	613,62^{ab}±131,52	522,27^{bc}±102,20	891,32^{ab}±183,80
CLN	13,43^{bc}±0,76	114,18^{bc}±8,80	9,16^{ab}±1,11	4,87^{cd}±0,22	588,85^{ab}±136,71	570,37^{bc}±147,34	930,72^{ab}±200,59
LUA	13,00^{bc}±0,57	123,63^{bc}±11,11	8,35^{bc}±1,44	4,62^{d}±0,29	625,37^{ab}±152,24	458,02^{bc}±51,25	859,49^{ab}±148,62
NTS	12,97^{bc}±1,58	140,71^{ab} ±10,06	10,17^{ab}±1,55	5,85^{a}±0,15	616,24^{ab}±122,13	484,81^{bc}±68,64	790,59^{ab}±148,64
TN	12,80^{bc}±1,83	124,87^{bc}±4,78	10,20^{ab}±1,54	5,27^{b}±0,10	579,49^{ab}±144,91	489,56^{bc}±123,11	858,13^{ab}±148,78
Tầng đất 30-60 cm							
HNK	13,82^{bc}±0,66	139,14^{ab}±13,88	7,22^{bc}±1,00	5,43^{ab}±0,21	597,93^{ab}±170,72	545,93^{bc}±118,99	932,15^{ab}±143,64
CLN	15,50^{ab}±0,68	137,78^{ab}±7,75	7,53^{bc}±1,11	5,33^{ab}±0,26	563,90^{ab}±149,60	486,50^{bc}±41,20	796,61^{ab}±116,38
LUA	14,54^{ab}±0,66	105,75^{b}±7,82	6,96^{c}±1,30	5,21^{ab}±0,23	676,65^{ab}±166,71	489,04^{bc}±48,70	915,65^{ab}±150,00
NTS	12,68^{bc}±1,52	134,19^{ab}±13,69	9,53^{bc}±1,10	5,34^{ab}±0,22	581,95^{ab}±134,74	457,36^{bc}±48,30	783,73^{ab}±106,14
TN	13,56^{abc}±1,09	124,52^{ab}±8,60	10,95^{ab}±1,99	5,35^{a}±0,14	516,96^{ab}±186,95	469,27^{bc}±57,66	889,30^{ab}±92,66

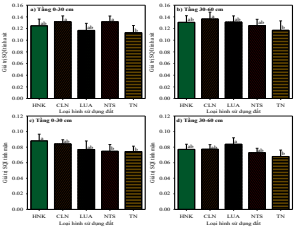
3.1.2.2 Các chỉ số chất lượng đất theo tầng ứng với loại hình sử dụng đất

* Chỉ số chất lượng đất (SQI) tổng thể

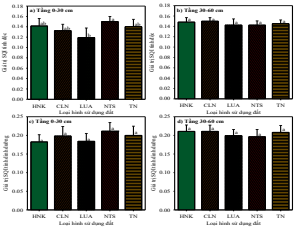


Hình 3.1 SQI tổng thể tầng 0-30 cm (a) và 30-60 cm (b) của 5 loại hình sử dụng đất - Cần Giờ cũ

* Các chỉ số chất lượng đất thành phần

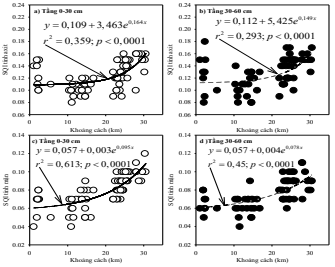


Hình 3.2 SQI tính axit tầng 0-30 cm (a) và 30-60 cm (b), tính mặn tầng 0-30 cm (c) và 30-60 cm (d) của 5 loại hình sử dụng đất - Cần Giờ cũ

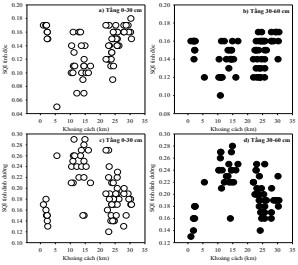


Hình 3.3 SQI tính độc tầng 0-30 cm (a) và 30-60 cm (b), dinh dưỡng tầng 0-30 cm (c) và 30-60 cm (d) của 5 loại hình sử dụng đất - Cần Giờ cũ

3.1.3 SQI thành phần theo không gian xâm nhập mặn



Hình 3.4 Mối tương quan giữa SQI tính axit tầng 0-30 cm (a) và 30-60 cm (b), tính mặn tầng 0-30 cm (c) và 30-60 cm (d) với khoảng cách



Hình 3.5 Mối tương quan giữa SQI tính độc tầng 0-30 cm (a), 30-60 cm (b) và dinh dưỡng tầng 0-30 cm (c), 30-60 cm (d) với khoảng cách

Bảng 3.5 Kết quả phân tích tương quan đa biến và phần trăm giải thích tổng biến thiên của khoảng cách với các SQI thành phần ở 2 tầng đất

Khoảng cách	**< 20 km (Nhóm I)**			**> 20 km (Nhóm II)**		
Tầng đất	**Tầng 0-30 cm**			**Tầng 0-30 cm**		
Biến số	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)
SQI tính axit	0,02	688,55	26,54*	0,02	399,45	15,24*
SQI tính mặn	0,00	46,13	1,78*	0,00	42,24	1,61*
SQI tính độc	0,01	197,23	7,60	0,01	127,46	4,86
SQI tính dinh dưỡng	0,05	1534,72	59,17	0,03	791,55	30,20
Sai số	0,00	-	0,96	0,00	-	1,26
Tổng biến thiên	0.08	-	-	0,11	-	-
	Tầng 30-60 cm			**Tầng 30-60 cm**		
SQI tính axit	0,02	641,72	27,31*	0,022	625,64	28,67*
SQI tính mặn	0,00	29,90	1,27*	0,001	34,28	1,57*
SQI tính độc	0,00	60,61	2,58	0,003	76,58	3,51
SQI tính dinh dưỡng	0,05	1247,73	53,10	0,019	538,53	24,68
Sai số	0,00	-	1,06	0,001	-	1,51
Tổng biến thiên	0,09	-	-	0,077	-	-

3.1.4 Thảo luận chung

Đất phèn nhiễm mặn chịu ảnh hưởng mạnh của tính axit, mặn, độc và dinh dưỡng theo tầng, loại hình sử dụng và vị trí ven biển. Tầng mặt axit cao do oxy hóa pyrite và thủy triều; mặn tích tụ lan sâu; Al^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+} tăng. Dinh dưỡng giảm gần biển do axit hóa và rửa trôi. Các loại hình sử dụng đất chịu tác động khác nhau: lúa giảm pH, tăng độc tính; cây hằng năm và lâu năm bị ảnh hưởng ở tầng sâu; lúa-tôm năng suất không ổn định; đất tự nhiên suy thoái. Giải pháp cải tạo cần ứng dụng than trấu, vôi, phân bò để nâng chất lượng đất và phát triển bền vững.

3.2 Khảo sát và đánh giá tác động của than sinh học (than trấu, than nhãn, than dừa), vôi và phân bò đến các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn trong điều kiện nhà lưới

3.2.1 Khảo sát đặc tính, xác định loại than sinh học và tỷ lệ sử dụng phù hợp cho cải tạo đất phèn nhiễm mặn

3.2.1.1 Đặc tính hóa học của các loại than sinh học và đất trước TN

Bảng 3.6 Tính chất của than trấu, nhãn, dừa và đất trước thí nghiệm

Đặc tính vật liệu	**Đơn vị**	**Than trấu**	**Than nhãn**	**Than dừa**	**Đất**
pH	-	8,46 ± 0,05	7,23 ± 0,05	9,39 ± 0,05	3,80 ± 0,11
EC	dS/m	0,31 ± 0,00	0,19 ± 0,01	3,64 ± 0,02	3,87 ± 0,33
Cl^-	g/kg	1,87 ± 0,07	1,81 ± 0,07	27,54 ± 0,12	2,09 ± 0,04
SO_4^{2-}	g/kg	7,57 ± 0,31	0,66 ± 0,05	0,65 ± 0,10	13,15 ± 0,33
Độ chua trao đổi	cmol(+)/kg	4,08 ± 0,29	2,80 ± 0,46	3,84 ± 0,02	7,01 ± 0,08
H^+ trao đổi	cmol(+)/kg	2,72 ± 0,06	2,10 ± 0,26	1,90 ± 0,11	3,48 ± 0,33
Mehlich-1 P	mg/kg	2.286 ± 52,72	580,90 ± 28,17	2.656 ± 164,97	25,04 ± 0,58
CEC	cmol(+)/kg	23,88 ± 0,71	20,27 ± 0,77	41,28 ± 1,59	21,77 ± 0,70
Al trao đổi	mg/kg	27,52 ± 2,01	32,45 ± 2,60	16,59 ± 0,54	3,83 ± 0,05
Ca trao đổi	mg/kg	2.980 ± 158,86	3.117 ± 229,32	3.412 ± 342,53	1.574 ± 115,36
Fe trao đổi	mg/kg	54,40 ± 5,03	67,87 ± 10,35	79,96 ± 6,90	21,67 ± 0,25
K trao đổi	mg/kg	10.882 ± 114,11	965,97 ± 29,22	64.336 ± 1.955,56	889,18 ± 30,35
Mg trao đổi	mg/kg	495,25 ± 24,18	283,24 ± 13,28	1.346 ± 127,91	703,24 ± 37,92
Mn trao đổi	mg/kg	69,39 ± 0,97	48,43 ± 1,31	98,05 ± 0,34	20,49 ± 0,12
Na trao đổi	mg/kg	2.481 ± 142,96	1.382 ± 98,61	23.849 ± 528,73	1.893 ± 16,98

3.2.1.2 Đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn sau thí nghiệm

Bảng 3.7 Ảnh hưởng của ba loại than sinh học lên tính axit của đất phèn nhiễm mặn ở thí nghiệm trong nhà lưới

Đặc tính đất		Đơn vị	Tỷ lệ than (%)				
			0	0,7	1,5	3	6
Than trấu							
pH	Tính axit	-	4,51^{f}±0,04	4,64^{def}±0,02	4,68^{def}±0,02	4,84^{bcd}±0,03	5,01^{ab}±0,03
SO_4^{2-}		g/kg	9,51^{a}±0,19	9,11^{ab}±0,17	8,51^{abcd}±0,19	7,86^{abcd}±0,31	7,69^{bcd}±0,37
ĐC trđ		cmol(+)/kg	6,17^{a}±0,09	5,25^{ab}±0,07	4,63^{bcde}±0,45	3,37^{def}±0,27	3,36^{def}±0,33
H^+ trđ		cmol(+)/kg	3,28^{a}±0,09	2,73^{bc}±0,07	2,37^{cd}±0,10	1,93^{de}±0,07	1,74^{ef}±0,04
Than nhãn							
pH	Tính axit	-	4,52^{f}±0,04	4,67^{def}±0,02	4,75^{cde}±0,03	4,68^{def}±0,05	4,83^{bcd}±0,02
SO_4^{2-}		g/kg	9,47^{a}±0,13	8,81^{abcd}±0,20	8,74^{abcd}±0,18	8,61^{abcd}±0,15	7,97^{bcd}±0,28
ĐCtrđ		cmol(+)/kg	6,15^{a}±0,10	5,39^{ab}±0,14	4,72^{bcd}±0,24	3,44^{def}±0,29	3,23^{fg}±0,21
H^+ trđ		cmol(+)/kg	3,28^{a}±0,10	2,72^{bc}±0,05	2,64^{bc}±0,02	2,02^{de}±0,15	2,05^{de}±0,20
Than dừa							
pH	Tính axit	-	4,55^{ef}±0,08	4,74^{cde}±0,07	4,72^{def}±0,04	4,93^{abc}±0,01	5,10^{a}±0,04
SO_4^{2-}		g/kg	9,48^{a}±0,23	8,96^{abc}±0,34	8,62^{abcd}±0,21	8,39^{abcd}±0,28	8,08^{bcd}±0,20
ĐC trđ		cmol(+)/kg	6,09^{a}±0,23	4,75^{bc}±0,19	3,59^{cdef}±0,25	2,71^{fg}±0,39	2,06^{g}±0,15
H^+ trđ		cmol(+)/kg	3,28^{a}±0,04	2,95^{ab}±0,09	2,38^{cd}±0,13	1,75^{ef}±0,13	1,40^{f}±0,12

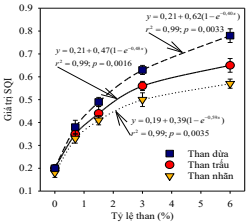
Bảng 3.8 Ảnh hưởng của ba loại than sinh học lên tính mặn và tính độc của đất phèn nhiễm mặn ở thí nghiệm trong nhà lưới

Đặc tính đất		Đơn vị	Tỷ lệ than (%)				
			0	0,7	1,5	3	6
Than trấu							
EC	Tính mặn	dS/m	3,16^{c} ±0,05	3,18^{c}±0,07	3,32^{bc}±0,13	3,24^{c}±0,07	3,34^{bc}±0,05
Cl^-		g/kg	2,14^{bcd}±0,10	2,01^{cde}±0,05	1,96^{de}±0,05	1,82^{de}±0,04	1,64^{e}±0,07
Na trđ		mg/kg	2.981^{bcde}±37,91	2.783^{cdefg}±96,95	2.784^{cdefg}±84,25	2.718^{defg}±77,17	2.471^{g}± 41,43
Al trđ	Tính độc	mg/kg	34,68^{a}±1,56	28,14^{abc}±2,50	26,42^{abcd}±2,18	27,01^{abcd}±2,70	23,70^{abcd}±1,34
Fe trđ		mg/kg	96,13^{ab}±4,48	87,37^{ab}±5,29	82,49^{abc}±5,02	81,22^{abc}±3,80	76,77^{abc}±6,58
Mn trđ		mg/kg	52,80^{a}±0,71	50,76^{a}±1,51	50,86^{a}±1,53	51,06^{a}±0,62	52,91^{a}±0,98
Than nhãn							
EC	Tính mặn	dS/m	3,24^{c}±0,13	3,46^{abc}±0,10	3,31^{bc}±0,23	3,29^{bc}±0,05	3,26^{bc}±0,09
Cl^-		g/kg	2,15^{bcd}±0,07	2,13^{bcd}±0,10	2,28^{bcd}±0,11	2,19^{bcd}±0,08	2,02^{cde}±0,08
Na trđ		mg/kg	2.921^{bcdef}±33,49	2.861^{cdef}±102,52	2.764^{defg}±67,60	2.657^{efg}±99,70	2.576^{fg}±99,93
Al trđ	Tính độc	mg/kg	34,61^{a}±2,39	27,40^{abcd}±0,88	24,44^{abcd}±3,41	22,26^{bcde}±2,45	21,52^{cde}±2,23
Fe trđ		mg/kg	98,56^{a}±2,85	84,82^{ab}±5,37	78,62^{abc}±7,88	73,85^{abc}±6,36	74,90^{abc}±5,18
Mn trđ		mg/kg	52,85^{a}±0,24	49,57^{a}±0,48	49,24^{a}±0,81	48,81^{a}±1,55	47,01^{a}±1,69
Than dừa							
EC	Tính mặn	dS/m	3,15^{c}± 0,06	3,41^{bc}± 0,10	3,39^{bc}± 0,06	3,78^{ab}± 0,14	3,97^{a}± 0,09
Cl^-		g/kg	2,11^{cd}±0,06	2,25^{bcd}±0,08	2,46^{bc}±0,08	2,58^{ab}±0,09	2,93^{a}± 0,19
Na trđ		mg/kg	2.905^{cdef}±29,98	3.069^{abcd}±75,90	3.125^{abc}±33,96	3.276^{ab}±51,68	3.421^{a}±55,42
Al trđ	Tính độc	mg/kg	33,24^{ab}±2,23	22,53^{bcde}±3,03	19,07^{cde}±2,56	16,02^{de}±1,80	11,91^{e}±1,75
Fe trđ		mg/kg	95,04^{ab}±1,73	80,15^{abc}±8,74	75,05^{abc}±5,82	68,53^{bc}±4,69	55,64^{c}±5,32
Mn trđ		mg/kg	51,69^{a}±0,62	49,32^{a}±1,28	49,46^{a}±0,71	48,33^{a}±2,07	47,88^{a}±2,24

Bảng 3.9 Ảnh hưởng của ba loại than sinh học lên tính dinh dưỡng của đất phèn nhiễm mặn ở thí nghiệm trong nhà lưới

Đặc tính đất		Đơn vị	Tỷ lệ than (%)				
			0	0,7	1,5	3	6
Than trấu							
Mehlich-1 P	Tính dinh dưỡng	mg/kg	23,83^{hi}±0,33	26,84^{gh}±0,66	31,73^{f}±0,46	38,25^{d}±0,20	44,62^{b}±0,48
CEC		cmol(+)/kg	25,23^{fg}±0,38	26,94^{defg}±0,48	27,71^{bcdef}±0,62	28,71^{bcd}±0,26	29,80^{abc}±0,31
Ca trđ		mg/kg	1.825^{efg}±19,71	1.886^{cdefg}±27,62	1.955^{abcde}±42,03	2.028^{ab}±25,90	2.079^{a}±21,69
K trđ		mg/kg	1.625^{e}±31,58	1.727^{de}±40,87	1.828^{bcde}±40,81	1.973^{bcd}±30,42	2.301^{abc}±75,48
Mg trđ		mg/kg	1.213^{ghi}±21,79	1.223^{ghi}±33,75	1.270^{ghi}±54,78	1.234^{ghi}±35,74	1.232^{ghi}±24,66
Than nhãn							
Mehlich-1 P	Tính dinh dưỡng	mg/kg	23,01^{hi}±0,35	24,39^{hi}±0,65	25,81^{ghi}±0,46	28,33^{gh}±0,54	33,36^{ef}±0,54
CEC		cmol(+)/kg	25,13^{gh}±0,14	25,70^{efgh}±0,49	26,46^{defgh}±0,55	27,31^{bcdefg}±0,75	28,07^{bcdef}±0,71
Ca trđ		mg/kg	1.806^{fg}±22,86	1.866^{cdefg}±24,11	1.933^{bcdef}±20,45	1.994^{abc}±28,48	2.045^{ab}±5,86
K trđ		mg/kg	1.653^{e}±28,44	1.681^{e}±47,58	1.671^{e}±45,30	1.709^{de}±111,81	1.714^{de}±48,49
Mg trđ		mg/kg	1.185^{hi}±21,66	1.270^{ghi}±45,71	1.285^{ghi}±33,66	1.263^{ghi}±41,79	1.232^{ghi}±41,01
Than dừa							
Mehlich-1 P	Tính dinh dưỡng	mg/kg	22,92^{i}±0,46	28,32^{gh}±0,26	34,48^{e}±0,49	41,01^{c}±1,12	49,58^{a}±0,32
CEC		cmol(+)/kg	25,30^{fgh}±0,81	27,03^{cdefg}±0,47	28,45^{bcde}±0,67	29,94^{ab}±0,45	32,01^{a}±0,79
Ca trđ		mg/kg	1.772^{g}±24,34	1.840^{defg}±30,52	1.893^{cdefg}±12,64	1.959^{abcd}±27,75	2.028^{ab}±34,18
K trđ		mg/kg	1.565^{e}±40,80	2.465^{a}±130,83	3.257^{a}±218,59	4.455^{b}±287,05	6.179^{a}±398,61
Mg trđ		mg/kg	1.202^{hi}±24,75	1.260^{ghi}±25,89	1.308^{ghi}±24,96	1.319^{ghi}±46,88	1.380^{g}±33,79

3.2.1.3 Chỉ số chất lượng đất sau thí nghiệm



Hình 3.6 Biến động chỉ số chất lượng đất bị ảnh hưởng bởi các loại và tỷ lệ than sinh học ở thí nghiệm trong nhà lưới

3.2.1.4 Kết quả lựa chọn loại than sinh học và tỷ lệ sử dụng phù hợp

Than trấu với tỷ lệ áp dụng phù hợp (10 tấn/ha cho lúa và 15 tấn/ha cho rau màu) là phương án cải tạo đất hiệu quả, khả thi và có tiềm năng ứng dụng cao.

3.2.2 Ảnh hưởng của than trấu, vôi và phân bò lên các đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn ở hai chế độ quản lý nước khác nhau ở điều kiện nhà lưới

3.2.2.1 Đặc tính hóa học của đất và vật liệu trước thí nghiệm

Bảng 3.10 Tính chất của than trấu, phân bò và đất trước thí nghiệm

Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Than trấu	Phân bò	Đất
pH	-	8,03 ± 0,08	6,81 ± 0,02	5,83 ± 0,08
SO_4^{2-}	g/kg	5,01 ± 0,14	583,10 ± 61,44	1,27 ± 0,38
Độ chua trao đổi	cmol(+)/kg	1,38 ± 0,30	4,66 ± 0,20	3,49 ± 0,20
H^+ trao đổi	cmol(+)/kg	1,17 ± 0,29	3,08 ± 0,18	1,48 ± 0,10
EC	dS/m	0,38 ± 0,01	1,21 ± 0,10	5,52 ± 0,21
Cl^-	g/kg	1,35 ± 0,13	2.747,88 ± 294,17	11,87 ± 0,83
Mehlich-1 P	mg/kg	226,46 ± 11,20	657,10 ± 41,03	6,18 ± 0,60
OC	%	32,45 ± 2,30	32,58 ± 1,32	2,68 ± 0,08
NH_4^+	g/kg	3,29 ± 0,23	130,59 ± 10,74	90,09 ± 27,34
CEC	cmol(+)/kg	19,56 ± 1,57	33,45 ± 0,88	9,58 ± 0,24
Al trao đổi	mg/kg	19,37 ± 1,66	301,69 ± 8,54	204,09 ± 7,92
Fe trao đổi	mg/kg	38,80 ± 0,43	56,76 ± 1,99	52,72 ± 2,76
Mn trao đổi	mg/kg	53,97 ± 4,08	8.513,59 ± 614,65	194,69 ± 2,80
Ca trao đổi	mg/kg	2.493 ± 109,16	573,97 ± 17,51	7.443 ± 194,20
K trao đổi	mg/kg	10.073 ± 333,40	9.195 ± 327,44	1.846 ± 37,87
Mg trao đổi	mg/kg	380,19 ± 30,86	20,84 ± 3,45	2.922,55 ± 109,98
Na trao đổi	mg/kg	1.924 ± 41,80	814,97 ± 64,10	4.439 ± 519,27

3.2.2.2 Đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn sau thí nghiệm

* Chế độ nước tưới ngập

Bảng 3.11 Ảnh hưởng của các vật liệu lên đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn với chế độ nước tưới ngập ở điều kiện nhà lưới

Đặc tính đất	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu + vôi	Than trấu + phân bò
Tính axit						
pH	$5,99^{cd}$±0,04	$6,20^{ab}$±0,05	$6,02^{c}$±0,09	$6,10^{bc}$±0,07	$6,24^{a}$±0,05	$6,16^{ab}$±0,05
SO_4^{2-} (g/kg)	$0,66^{c}$±0,04	$0,57^{c}$±0,03	$1,06^{b}$±0,03	$1,02^{b}$±0,04	$0,56^{c}$±0,03	$1,59^{a}$±0,14
Độ chua trđ (cmol(+)/kg)	$4,22^{a}$±0,13	$3,79^{b}$±0,13	$4,24^{a}$±0,10	$3,25^{c}$±0,07	$2,66^{d}$±0,12	$4,60^{a}$±0,12
H^+ trđ (cmol(+)/kg)	$1,05^{b}$±0,01	$0,84^{c}$±0,05	$1,35^{a}$±0,06	$1,07^{b}$±0,05	$1,15^{b}$±0,02	$1,35^{a}$±0,14
Tính mặn						
EC (dS/m)	$1,21^{a}$±0,03	$1,23^{a}$±0,03	$1,22^{a}$±0,03	$1,26^{a}$±0,03	$1,29^{a}$±0,03	$1,23^{a}$±0,03
Cl^- (g/kg)	$10,73^{bc}$±0,43	$10,79^{bc}$±0,26	$16,41^{a}$±0,26	$9,76^{c}$±0,35	$11,23^{b}$±0,32	$15,35^{a}$±1,26
Na trđ (mg/kg)	5.615^{a}±342,34	4.933^{ab}±360,35	5.059^{ab}±314,81	4.972^{b}±354,62	4.267^{c}±185,21	5.626^{a}±185,67

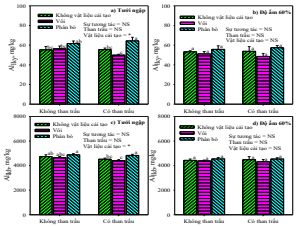
Tính độc						
Al trđ (mg/kg)	421,12^{b}±16,14	396,44^{b}±20,64	532,80^{a}±30,29	394,15^{b}±34,68	366,91^{b}±30,13	507,52^{a}±51,42
Fe trđ (mg/kg)	170,98^{c}±6,70	125,51^{d}±11,01	239,40^{a}±12,89	161,42^{c}±10,00	102,35^{d}±2,28	209,74^{b}±27,86
Mn trđ (mg/kg)	177,68^{ab}±9,68	127,50^{d}±14,99	183,23^{a}±9,71	164,46^{bc}±8,89	155,48^{c}±2,36	167,98^{abc}±13,38
Tính dinh dưỡng						
CEC (cmol(+)/kg)	11,64^{c}±0,49	12,62^{bc}±0,53	13,03^{ab}±0,46	13,32^{ab}±0,51	13,37^{ab}±0,28	14,01^{a}±0,38
NH_4^+ (mg/kg)	196,01^{ab} ± 6,15	194,6^{bc}±8,04	218,09^{a}±6,38	126,88^{d}±7,04	194,47^{bc}±7,20	173,03^{c}±7,41
Mehlich-1 P (mg/kg)	12,71^{cd}±0,84	11,86^{d}±1,06	13,17^{cd}±1,04	13,83^{bc}±0,74	18,14^{a}±0,73	15,51^{b}±0,45
OC (%)	2,80^{cd}±0,19	2,59^{d}±0,16	3,29^{bc}±0,12	3,40^{bc}±0,12	3,71^{ab}±0,16	4,08^{b}±0,29
K trđ (mg/kg)	1.932^{b} ± 34,29	2.328^{a} ± 92,04	2.197^{a} ± 145,73	2.217^{a} ± 126,13	2.274^{a} ± 139,51	2.344^{a} ± 160,47
Ca trđ (mg/kg)	6.507^{b}±162,87	7.065^{ab} ± 362,33	6.823^{ab} ± 267,88	6.714^{ab} ± 310,96	7.380^{a}±295,77	6.534^{b}±185,18
Mg trđ (mg/kg)	2.637^{a} ± 159,99	2.532^{a} ± 146,99	2.594^{a} ± 139,81	2.520^{a} ± 116,04	2.491^{a} ± 76,11	2.577^{a} ± 97,15

* Chế độ nước độ ẩm 60%

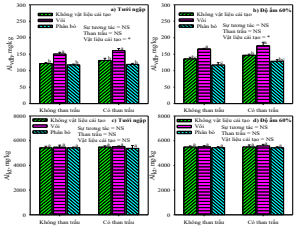
Bảng 3.12 Ảnh hưởng của các vật liệu lên đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn với chế độ nước độ ẩm 60% ở điều kiện nhà lưới

Đặc tính đất	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu + vôi	Than trấu + phân bò
Tính axit						
pH	6,12^{bc}±0,02	6,22^{ab}±0,07	6,10^{c}±0,02	6,20^{bc}±0,02	6,32^{a}±0,01	6,18^{bc}±0,02
SO_4^{2-} (g/kg)	0,70^{a}±0,06	0,43^{d}±0,01	0,53^{bc}±0,02	0,72^{a}±0,03	0,44^{cd}±0,02	0,57^{b}±0,02
ĐC trđ (cmol(+)/kg)	2,87^{a}±0,08	2,72^{a}±0,20	2,86^{a}±0,20	2,65^{a}±0,17	2,76^{a}±0,19	2,83^{a}±0,07
H^+ trđ (cmol(+)/kg)	1,31^{ab}±0,06	1,22^{bc}±0,01	1,37^{a}±0,02	1,11^{c}±0,03	1,00^{d}±0,03	1,26^{b}±0,05
Tính mặn						
EC (dS/m)	1,43^{a}±0,06	1,17^{b}±0,06	1,30^{ab}±0,04	1,21^{b}±0,03	1,30^{ab}±0,04	1,26^{b}±0,06
Cl^- (g/kg)	12,04^{b}±0,52	12,40^{b}±0,28	14,30^{a}±0,48	12,40^{b}±0,62	11,70^{b}±0,50	15,42^{a}±0,29
Na trđ (mg/kg)	5.180^{b}±90,53	5.287^{ab}±190,82	5.352^{ab}±173,77	5.455^{ab}±90,12	5.108^{b}±378,56	5.844^{a}±83,04
Tính độc						
Al trđ (mg/kg)	459,14^{a}±23,30	427,75^{a}±23,89	423,87^{a}±16,06	421,45^{a}±10,84	405,51^{a}±24,80	417,23^{a}±4,77
Fe trđ (mg/kg)	229,12^{a}±5,95	162,75^{c}±7,16	226,31^{a}±8,18	171,63^{bc}±10,90	167,32^{bc}±10,18	188,46^{b}±3,53
Mn trđ (mg/kg)	149,41^{bc}±10,95	136,59^{c}±9,01	158,44^{ab}±10,41	173,81^{a}±7,46	134,33^{c}±3,80	166,69^{ab}±6,54
Tính dinh dưỡng						
CEC (cmol(+)/kg)	10,06^{c}±0,34	12,25^{b}±0,39	12,06^{b}±0,43	13,41^{ab}±0,45	13,34^{ab}±0,50	14,54^{a}±0,08
NH_4^+ (mg/kg)	160,06^{c}±7,60	181,66^{b}±4,35	203,28^{a}±8,61	177,80^{b}±8,13	170,44^{bc}±5,61	184,15^{b}±7,40
Mehlich-1P (mg/kg)	10,16^{c}±0,33	13,22^{b}±1,05	14,01^{ab}±0,30	15,14^{ab}±0,83	15,78^{a}±0,60	14,38^{ab}±0,61
OC (%)	2,78^{b}±0,22	2,95^{b}±0,36	2,92^{b}±0,22	3,78^{a}±0,08	3,73^{a}±0,23	3,96^{a}±0,13
K trđ (mg/kg)	1.998^{b}±75,01	2.155^{ab}±112,17	2.257^{ab}±128,35^{a}	2.377^{a}±75,08	2.331^{a}±65,22	2.408^{a}±64,09
Ca trđ (mg/kg)	6.306^{b}±146,62	7.283^{a}±149,32	6.983^{ab}±355,85	7.043^{ab}±378,84	7.154^{a}±252,75	7.305^{a}±263,20
Mg trđ (mg/kg)	2.699^{ab}±66,20	2.973^{a}±144,67	2.618^{b}±100,38	2.741^{ab}±102,61	2.777^{ab}±109,95	2.737^{ab}±34,76

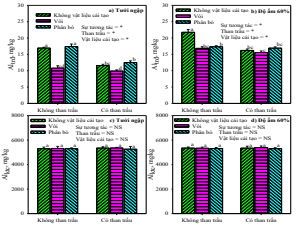
3.2.2.3 Các thành phần Al trong đất sau thí nghiệm



Hình 3.7 Ảnh hưởng của các vật liệu lên Allky - tưới ngập (a), độ ẩm 60% (b) và Allkb - tưới ngập (c), độ ẩm 60% (d) sau thí nghiệm



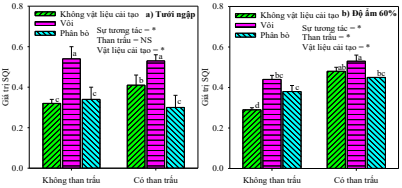
Hình 3.8 Ảnh hưởng của các vật liệu lên Alvđh - tưới ngập (a), độ ẩm 60% (b) và Alkt - tưới ngập (c), độ ẩm 60% (d) sau thí nghiệm



Hình 3.9 Ảnh hưởng của các vật liệu lên Altrđ - tưới ngập (a), độ ẩm 60% (b) và Alktc - tưới ngập (c), độ ẩm 60% (d) sau thí nghiệm

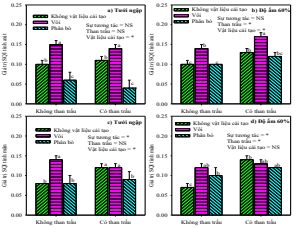
3.2.2.4 Các chỉ số chất lượng đất sau thí nghiệm

** Chỉ số chất lượng đất tổng thể sau thí nghiệm*

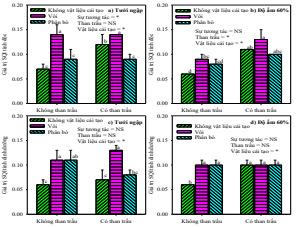


Hình 3.10 SQI tổng thể sau thí nghiệm với chế độ nước tưới ngập (a), độ ẩm 60% (b) ở điều kiện nhà lưới

* Các chỉ số chất lượng đất thành phần sau thí nghiệm



Hình 3.11 SQI axit (a), (b) và mặn (c), (d) sau thí nghiệm với chế độ nước lần lượt là tưới ngập và độ ẩm 60% ở điều kiện nhà lưới



Hình 3.12 SQI độc (a), (b) và dinh dưỡng (c), (d) sau thí nghiệm với chế độ nước tưới ngập và độ ẩm 60% ở điều kiện nhà lưới

3.2.3 Thảo luận chung

Cải tạo đất phèn nhiễm mặn bằng than trấu, vôi và phân bò giúp cải thiện tính axit, mặn, độc và dinh dưỡng. Vôi nâng pH, than trấu hấp phụ muối, phân bò bổ sung dinh dưỡng. Tổ hợp vật liệu giảm Al và Fe độc hại bằng cách tăng pH, thúc đẩy kết tủa Al thành dạng bền, giảm độc tính lâu dài. Tưới ngập hỗ trợ rửa mặn và kim loại độc, giúp đất ổn định và duy trì năng suất.

3.3 Đánh giá hiệu quả của than trấu, vôi và phân bò đến đặc tính đất, sinh trưởng và năng suất lúa và cải thìa ở điều kiện thực tế đồng ruộng

3.3.1 Đặc tính hóa học của đất và vật liệu trước thí nghiệm

3.3.1.1 Trên đất trồng lúa

Bảng 3.13 Tính chất của than trấu, phân bò và đất trước thí nghiệm

Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Than trấu	Phân bò	Đất
pH	-	8,15 ± 0,03	7,11 ± 0,02	4,98 ± 0,03
SO_4^{2-}	g/kg	5,53 ± 0,21	594,58 ± 42,34	3,18 ± 0,14
Độ chua trao đổi	cmol(+)/kg	1,38 ± 0,30	5,21 ± 0,11	2,43 ± 0,10
H^+ trao đổi	cmol(+)/kg	1,17 ± 0,29	3,46 ± 0,09	1,76 ± 0,16
EC	dS/m	0,40 ± 0,01	1,41 ± 0,03	1,43 ± 0,05
Cl^-	g/kg	1,52 ± 0,04	5.214,79 ± 53,95	0,26 ± 0,02
Mehlich-1 P	mg/kg	231,59 ± 8,91	692,63 ± 23,29	5,69 ± 0,31
OC	%	37,83 ± 0,48	34,91 ± 0,66	4,39 ± 0,09
NH_4^+	g/kg	3,57 ± 0,08	145,94 ± 8,33	110,65 ± 17,96
CEC	cmol(+)/kg	21,38 ± 0,32	36,09 ± 0,70	15,49 ± 0,22
Al trao đổi	mg/kg	20,44 ± 2,03	331,10 ± 12,08	27,16 ± 1,31
Fe trao đổi	mg/kg	49,65 ± 3,13	62,05 ± 2,43	70,9 ± 2,84
Mn trao đổi	mg/kg	64,14 ± 1,05	8.890,08 ± 399,6	35,14 ± 1,25
Ca trao đổi	mg/kg	2.780 ± 86,55	622,66 ± 34,43	572,63 ± 26,02
K trao đổi	mg/kg	11.094 ± 94,78	9.095 ± 152,42	921,54 ± 20,30
Mg trao đổi	mg/kg	447,75 ± 3,23	21,38 ± 3,51	1.045 ± 32,22
Na trao đổi	mg/kg	1.968 ± 70,70	934,49 ± 18,27	1.599 ± 51,84

3.3.1.2 Trên đất trồng cải thìa

Bảng 3.14 Tính chất của than trấu, phân bò và đất trước thí nghiệm

Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Than trấu	Phân bò	Đất
pH	-	7,80 ± 0,17	6,98 ± 0,05	5,59 ± 0,13
SO_4^{2-}	g/kg	5,51 ± 0,25	645,62 ± 59,30	0,69 ± 0,02
Độ chua trao đổi	cmol(+)/kg	1,37 ± 0,24	5,41 ± 0,24	1,14 ± 0,05
H^+ trao đổi	cmol(+)/kg	1,16 ± 0,09	3,39 ± 0,17	0,90 ± 0,04
EC	dS/m	0,44 ± 0,01	1,43 ± 0,10	1,80 ± 0,32
Cl^-	g/kg	1,51 ± 0,08	5.308 ± 206,98	3,80 ± 0,13
Mehlich-1 P	mg/kg	244,48 ± 4,49	723,49 ± 36,02	6,79 ± 0,17
OC	%	37,40 ± 1,75	35,50 ± 0,71	1,11 ± 0,05
NH_4^+	g/kg	3,64 ± 0,12	150,00 ± 12,15	47,28 ± 1,74
CEC	cmol(+)/kg	21,54 ± 1,19	36,09 ± 0,70	11,78 ± 0,44
Al trao đổi	mg/kg	21,14 ± 1,57	353,14 ± 9,15	51,61 ± 4,32
Fe trao đổi	mg/kg	48,66 ± 4,75	65,42 ± 3,23	12,57 ± 0,59
Mn trao đổi	mg/kg	63,02 ± 3,64	9.143 ± 639,69	19,35 ± 0,50
Ca trao đổi	mg/kg	2.822 ± 170,89	645,19 ± 34,35	265,08 ± 7,22
K trao đổi	mg/kg	11.167 ± 432,37	9.668 ± 376,39	511,08 ± 20,77
Mg trao đổi	mg/kg	434,00 ± 14,64	21,99 ± 3,52	172,84 ± 2,97
Na trao đổi	mg/kg	2.026 ± 88,21	914,93 ± 55,58	1.107 ± 67,09

3.3.2 Ảnh hưởng của các vật liệu thân thiện môi trường đến chất lượng đất

3.3.2.1 Trên đất trồng lúa

Bảng 3.15 Ảnh hưởng của các vật liệu lên đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn ở điều kiện thực tế đồng ruộng

Đặc tính đất	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu+vôi	Than trấu+phân bò
Tính axit						
pH	5,24^{d}±0,19	6,04^{ab}±0,10	5,72^{c}±0,06	5,87^{bc}±0,05	6,16^{a}±0,09	5,78^{bc}±0,07
SO_4^{2-} (g/kg)	2,12^{a}±0,25	2,13^{a}±0,39	2,05^{a}±0,09	1,92^{a}±0,18	1,67^{a}±0,23	1,92^{a}±0,32
ĐC trđ (cmol(+)/kg)	2,30^{a}±0,06	1,47^{b}±0,10	2,26^{a}±0,28	1,87^{ab}±0,05	1,69^{b}±0,11	1,68^{b}±0,10
H^+ trđ (cmol(+)/kg)	1,73^{a}±0,04	1,62^{ab}±0,17	1,67^{ab}±0,12	1,35^{b}±0,03	1,44^{ab}±0,06	1,68^{ab}±0,17
Tính mặn						
EC (dS/m)	1,02^{a}±0,04	1,02^{a}±0,04	1,03^{a}±0,06	1,07^{a}±0,06	1,03^{a}±0,06	1,11^{a}±0,02
Cl^- (g/kg)	1,27^{a}±0,00	1,39^{a}±0,13	1,63^{a}±0,19	1,24^{a}±0,03	1,29^{a}±0,15	1,29^{a}±0,10
Na trđ (mg/kg)	1.839^{a}±49,45	1.851^{a}±33,81	1.918^{a}±40,63	1.828^{a}±31,12	1.818^{a}±9,55	1.880^{a}±55,44
Tính độc						
Al trđ (mg/kg)	19,44^{a}±0,69	15,54^{b}±0,49	16,15^{b}±0,25	13,93^{c}±0,43	11,83^{d}±0,54	11,67^{d}±0,53
Fe trđ (mg/kg)	70,19^{a}±1,44	48,02^{b}±7,03	64,51^{a}±1,87	66,61^{a}±1,49	37,55^{c}±2,47	50,79^{b}±2,77
Mn trđ (mg/kg)	28,72^{a}±1,12	28,38^{a}±0,52	30,24^{a}±1,34	28,55^{a}±0,93	28,71^{a}±0,88	30,02^{a}±1,25
Tính dinh dưỡng						
CEC (cmol(+)/kg)	15,57^{bc}±0,18	15,18^{c}±0,30	16,30^{ab}±0,18	16,57^{a}±0,36	16,56^{a} ±0,22	17,21^{a}±0,46
NH_4^+ (mg/kg)	20,34^{bc}±0,71	20,52^{c}±0,39	26,62^{ab}±1,24	21,93^{a}±0,60	21,00^{a}±0,42	27,05^{a}±1,50
Mehlich-1P (mg/kg)	2,10^{b}±0,04	3,07^{a}±0,18	3,15^{a}±0,34	2,74^{ab}±0,21	3,22^{a}±0,26	3,36^{a}±0,36
OC (%)	4,35^{c}±0,06	4,40^{bc}±0,10	4,69^{ab}±0,14	4,74^{a}±0,09	4,77^{a}±0,12	4,99^{a}±0,11
K trđ (mg/kg)	726,65^{c}±6,74	761,51^{c}±32,05	791,20^{bc}±52,20	885,76^{ab}±21,19	898,89^{a}±42,45	936,41^{a}±23,49
Ca trđ (mg/kg)	543,18^{b}±15,76	639,88^{a}±14,49	550,60^{b}±2,75	559,46^{b}±17,71	648,60^{a}±3,48	646,03^{a}±15,73
Mg trđ (mg/kg)	882,46^{a}±44,69	898,71^{a}±8,95	834,84^{a}±37,64	838,20^{a}±39,80	894,70^{a}±26,86	908,97^{a}±61,26

3.3.2.2 Trên đất trồng cải thìa

Bảng 3.16 Ảnh hưởng của các vật liệu lên đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn ở điều kiện thực tế đồng ruộng

Đặc tính đất	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu+vôi	Than trấu+phân bò
Tính axit	**Vụ 1**					
pH	6,50^{c}±0,10	7,36^{b}±0,06	6,80^{d}±0,11	7,12^{c}±0,02	7,69^{a}±0,10	6,99^{cd}±0,09
SO_4^{2-} (g/kg)	0,68^{b}±0,05	0,47^{c}±0,05	0,91^{a}±0,05	0,67^{b}±0,04	0,78^{b}±0,06	0,95^{a}±0,05
ĐC trđ (cmol(+)/kg)	7,69^{a}±0,18	5,88^{c}±0,32	5,68^{c}±0,17	6,81^{b}±0,10	5,50^{c}±0,44	5,60^{c}±0,23
H^+ trđ (cmol(+)/kg)	2,85^{a}±0,12	2,47^{b}±0,17	2,26^{bc}±0,16	2,15^{c}±0,01	2,22^{bc}±0,05	2,45^{b}±0,10
Tính axit	**Vụ 2**					
pH	6,39^{c}±0,12	7,16^{b}±0,06	6,43^{c}±0,20	6,90^{b}±0,06	7,62^{a}±0,11	6,97^{b}±0,04
SO_4^{2-} (g/kg)	1,05^{cd}±0,05	0,83^{d}±0,06	1,30^{b}±0,07	1,02^{cd}±0,06	1,06^{c}±0,06	2,01^{a}±0,16
ĐC trđ (cmol(+)/kg)	5,36^{a}±0,14	4,33^{c}±0,10	4,97^{ab}±0,15	4,55^{bc}±0,22	4,13^{c}±0,24	4,65^{bc}±0,07
H^+ trđ (cmol(+)/kg)	3,26^{a}±0,05	3,17^{a}±0,08	3,30^{a}±0,11	2,97^{a}±0,34	2,85^{a}±0,21	3,17^{a}±0,13
Tính mặn	**Vụ 1**					
EC (dS/m)	0,75^{a}±0,09	0,83^{a}±0,08	0,70^{a}±0,03	0,72^{a}±0,05	0,88^{a}±0,05	0,74^{a}±0,05
Cl^- (g/kg)	0,67^{b}±0,02	0,61^{b}±0,03	0,86^{a}±0,05	0,61^{b}±0,04	0,61^{b}±0,03	0,65^{b}±0,03
Na trđ (mg/kg)	1.283^{a}±46,79	993,15^{cd}±32,90	1.114^{b}±31,78	1.052^{bc}±17,06	942,97^{d}±33,62	1.012^{bcd}±37,96
Tính mặn	**Vụ 2**					
EC (dS/m)	0,82^{b}±0,05	0,81^{b}±0,05	0,89^{ab}±0,04	0,86^{ab}±0,07	1,03^{a}±0,09	0,87^{ab}±0,06
Cl^- (g/kg)	1,95^{ab}±0,15	1,96^{ab}±0,10	1,94^{ab}±0,11	1,84^{ab}±0,06	1,75^{b}±0,09	2,13^{a}±0,06
Na trđ (mg/kg)	1.209^{b}±16,46	934,33^{c}±65,50	1.111^{ab}±26,96	1.061^{bc}±35,63	801,46^{d}±21,07	1.036^{bc}±57,01

Bảng 3.17 Ảnh hưởng của các vật liệu lên đặc tính hóa học đất phèn nhiễm mặn ở điều kiện thực tế đồng ruộng (tt)

Đặc tính đất	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu+vôi	Than trấu+phân bò
Tính độc	**Vụ 1**					
Al trđ (mg/kg)	51,21^{a}±2,81	47,91^{a}±2,55	50,13^{a}±0,53	41,63^{bc}±0,41	38,49^{c}±0,54	46,39^{ab}±0,92
Fe trđ (mg/kg)	9,49^{a}±0,39	7,98^{bc}±0,40	8,40^{ab}±0,26	8,14^{bc}±0,45	7,24^{c}±0,41	8,66^{ab}±0,49
Mn trđ (mg/kg)	34,15^{a}±1,56	23,79^{c}±0,82	34,31^{a}±1,37	27,97^{bc}±1,34	24,84^{c}±1,53	31,64^{ab}±0,98
Tính độc	**Vụ 2**					
Al trđ (mg/kg)	51,98^{a}±1,55	43,94^{cd}±0,73	48,00^{b}±0,57	41,75^{d}±0,68	41,17^{d}±1,03	46,01^{bc}±1,02
Fe trđ (mg/kg)	9,86^{a}±0,37	8,45^{b}±0,23	8,61^{b}±0,36	7,18^{c}±0,18	6,59^{c}±0,22	8,33^{b}±0,24
Mn trđ (mg/kg)	30,79^{a}±1,53	24,41^{bc}±0,89	26,55^{b}±1,73	25,23^{bc}±1,52	21,74^{c}±1,22	23,60^{bc}±1,08
Tính dinh dưỡng	**Vụ 1**					
CEC (cmol(+)/kg)	12,05^{b}±0,64	12,06^{b}±0,41	13,45^{ab}±0,59	14,59^{a}±0,41	14,03^{a}±0,63	15,00^{a}±0,44

NH_4^+ (mg/kg)	24,69^{c}±0,80	23,25^{c}±0,90	28,69^{b}±35,71	20,28^{d}±0,46	24,81^{c}±0,47	33,62^{a}±1,11
Mehlich-1P (mg/kg)	462,28^{ab}±24,92	416,10^{bc}±15,82	480,35^{ab}±0,07	480,16^{ab}±39,23	426,89^{bc}±33,33	503,11^{a}±47,78
OC (%)	3,24^{b}±0,07	3,20^{b}±0,05	3,31^{b}±0,07	3,69^{a}±0,09	3,64^{a}±0,07	3,81^{a}±0,11
K trđ (mg/kg)	448,79^{ab}±11,83	573,66^{a}±4,63	604,27^{bc}±16,48	627,00^{bc}±38,76	654,45^{ab}±16,07	709,25^{a}±24,89
Ca trđ (mg/kg)	416,31^{c}±21,75	647,04^{ab}±30,66	411,82^{c}±12,59	437,70^{bc}±21,32	622,69^{ab}±26,18	505,48^{bc}±27,87
Mg trđ (mg/kg)	293,67^{c}±10,21	334,50^{b}±7,08	283,08^{c}±8,80	302,93^{bc}±1,94	320,94^{ab}±7,00	319,02^{ab}±9,12
Tính dinh dưỡng	**Vụ 2**					
CEC (cmol(+)/kg)	10,96^{c}±0,42	12,93^{b}±0,37	12,62^{b}±0,55	13,58^{ab}±0,35	13,09^{ab}±0,16	14,84^{a}±0,70
NH_4^+ (mg/kg)	34,41^{b}±0,58	31,86^{c}±0,87	35,83^{b}±0,71	32,10^{c}±0,20	32,20^{c}±0,74	38,45^{a}±0,46
Mehlich-1P (mg/kg)	489,14^{b}±25,24	432,93^{b}±25,09	480,09^{b}±22,77	510,90^{ab}±36,43	476,59^{b}±15,35	590,84^{a}±33,14
OC (%)	3,38^{c}±0,13	3,54^{bc}±0,03	3,63^{b}±0,10	3,60^{b}±0,06	3,91^{a}±0,05	4,00^{a}±0,08
K trđ (mg/kg)	518,67^{c}±17,51	607,50^{b}±3,86	631,55^{ab}±27,41	680,04^{a}±12,93	650,66^{ab}±26,85	634,66^{ab}±23,53
Ca trđ (mg/kg)	481,73^{b}±29,41	591,09^{a}±12,92	513,81^{ab}±39,42	586,29^{ab}±25,65	612,41^{a}±50,79	602,46^{a}±41,04
Mg trđ (mg/kg)	294,21^{c}±9,82	319,73^{bc}±11,20	386,71^{a}±42,90	386,22^{a}±8,97	411,21^{a}±13,04	365,00^{ab}±8,18

3.3.3 Ảnh hưởng của các vật liệu thân thiện môi trường đến năng suất và sinh trưởng của lúa và cải thìa

3.3.3.1 Trên đất trồng lúa

Bảng 3.18 Ảnh hưởng của các vật liệu lên trọng lượng (TL) rễ, rơm, hạt và tổng sinh khối lúa trồng ở điều kiện thực tế đồng ruộng

Lúa (kg/m^2)	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu + vôi	Than trấu + phân bò
TL rễ	0,09^{b}±0,00	0,10^{b}±0,02	0,10^{b}±0,02	0,12^{ab}±0,02	0,13^{ab}±0,00	0,15^{a}±0,00
TL rơm	0,21^{c}±0,00	0,26^{b}±0,01	0,30^{a}±0,01	0,28^{ab}±0,01	0,26^{b}±0,01	0,27^{ab}±0,01
NS hạt	0,36^{b}±0,01	0,47^{a}±0,03	0,39^{b}±0,01	0,47^{a}±0,02	0,45^{a}±0,02	0,46^{a}±0,02
Tổng SK	0,65^{c}±0,01	0,83^{ab}±0,03	0,80^{b}±0,02	0,87^{ab}±0,03	0,84^{ab}±0,02	0,88^{a}±0,04

3.3.3.2 Trên đất trồng cải thìa

Bảng 3.19 Ảnh hưởng của các vật liệu lên trọng lượng (TL) rễ, thân lá và tổng sinh khối cải thìa trồng ở điều kiện thực tế đồng ruộng

Cải thìa (g/m^2)	Không than trấu			Có than trấu		
	Đối chứng	Vôi	Phân bò	Than trấu	Than trấu + vôi	Than trấu + phân bò
			Vụ 1			
TL rễ	2,19^{b}±0,13	2,40^{b}±0,32	4,66^{a}±0,42	2,18^{b}±0,16	2,35^{b}±0,17	5,29^{a}±0,30
TL TL	11,39^{c}±2,73	15,58^{bc}±0,99	25,25^{b}±0,40	14,76^{bc}±0,54	16,48^{bc}±1,46	59,99^{a}±9,53
Tổng SK	13,57^{c}±2,76	17,98^{bc}±0,91	29,91^{b}±2,74	16,94^{bc}±0,66	18,82^{bc}±1,47	65,27^{a}±9,29
			Vụ 2			
TL rễ	1,24^{c}±0,22	1,60^{c}±0,20	3,61^{b}±0,40	1,50^{c}±0,24	1,46^{c}±0,16	4,45^{a}±0,26
TL TL	6,51^{bc}±2,45	10,30^{bc}±0,90	19,86^{b}±1,08	10,56^{bc}±0,55	11,39^{bc}±1,45	49,35^{a}±7,25
Tổng SK	7,74^{c}±2,64	11,89^{bc}±1,01	23,46^{b}±1,39	12,07^{bc}±0,79	12,86^{bc}±1,50	53,81^{a}±7,05

3.3.4 Ảnh hưởng của các vật liệu thân thiện môi trường đến hàm lượng các nguyên tố trong sinh khối lúa và cải thìa

3.3.4.1 Trên đất trồng lúa

Hàm lượng Ca và Mn trong rễ không thay đổi giữa các nghiệm thức. NT than trấu + phân bò cho P rễ cao nhất (0,60 g/kg), trong khi NT than trấu + vôi làm Na rễ cao nhất (4.388 mg/kg) và giảm Al (6.822 mg/kg) cùng Fe (8.474 mg/kg) hiệu quả nhất. Các NT dùng than trấu đều tăng K rễ (1.408–1.584 mg/kg). Ở rơm, NT than trấu + vôi cao nhất P (0,71 g/kg) và K (5.789 mg/kg), NT than trấu + phân bò giảm Na (6.742 mg/kg) và giảm Al, Fe hiệu quả. Ở hạt, N, P cao nhất ở NT than trấu + phân bò, K cao hơn ở tất cả NT than trấu, Fe thấp nhất ở NT than trấu + vôi (533 mg/kg).

3.3.4.2 Trên đất trồng cải thìa

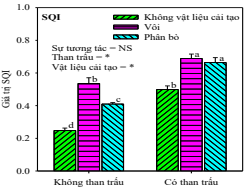
Hàm lượng Na và Mg rễ không thay đổi giữa các NT. P rễ cao nhất ở NT chỉ bón than trấu (0,19–0,23 g/kg), Ca rễ cao nhất ở NT than trấu + vôi (1.117–2.771 mg/kg). NT dùng than trấu đều tăng K rễ; NT than trấu + vôi giảm Al (3.206–4.453 mg/kg) và Fe (608–1.797 mg/kg). Thân lá: N và P cao nhất ở than trấu + phân bò, K cao hơn khi dùng than trấu, Al thấp nhất ở than trấu + vôi.

3.3.5 Mối tương quan giữa chỉ số chất lượng đất thành phần và năng suất, sinh trưởng của lúa và cải thìa

3.3.5.1 Trên đất trồng lúa

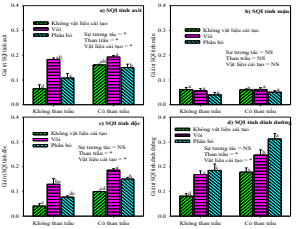
Các chỉ số chất lượng đất sau thí nghiệm

* Chỉ số chất lượng đất tổng thể sau thí nghiệm

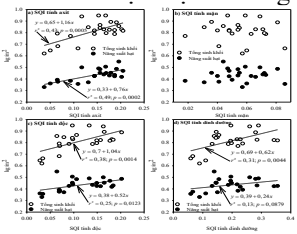


Hình 3.13 SQI tổng thể của đất phèn nhiễm mặn trồng lúa sau thí nghiệm

* Các chỉ số chất lượng đất thành phần sau thí nghiệm



Hình 3.14 SQI tính axit (a), mặn (b), độc (c) và dinh dưỡng (d) sau thí nghiệm ở điều kiện thực tế đồng ruộng



Hình 3.15 Mối tương quan giữa chỉ số chất lượng đất tính axit (a), mặn (b), độc (c) và dinh dưỡng (d) với TSK và NSH lúa sau thí nghiệm

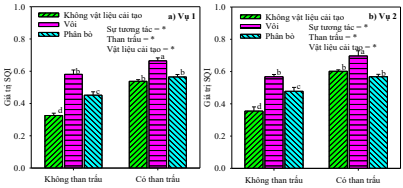
Bảng 3.20 Kết quả phân tích tương quan đa biến và phần trăm giải thích tổng biến thiên của TSK và NSH lúa với các SQI thành phần

Biến số	Tổng sinh khối				Năng suất hạt			
	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)	Nghiệm thức tốt nhất	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)	Nghiệm thức tốt nhất
SQI tính axit*	0,02	4,92	18,52	NT5	0,02	9,20	31,94	NT5
SQI tính mặn	0,00	0,81	3,07	NT5	0,00	0,00	0,02	NT5
SQI tính độc*	0,00	0,03	0,10	NT5	0,00	0,23	0,79	NT5
SQI tính dinh dưỡng*	0,01	1,79	6,73	NT6	0,00	0,38	1,33	NT6
Sai số	0,08		71,58		0,03		65,93	
Tổng biến thiên	0,11				0,05			

3.3.5.2 Trên đất trồng cải thìa

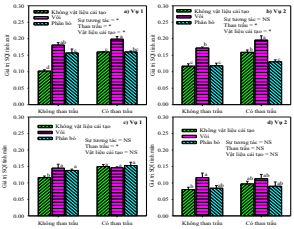
Các chỉ số chất lượng đất sau thí nghiệm

* Chỉ số chất lượng đất tổng thể sau thí nghiệm

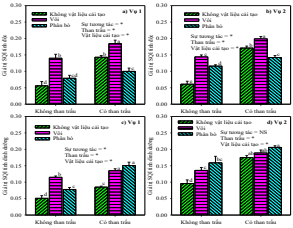


Hình 3.16 SQI tổng thể của đất phèn nhiễm mặn trồng cải thìa sau thí nghiệm vụ 1 (a), vụ 2 (b) ở điều kiện thực tế đồng ruộng

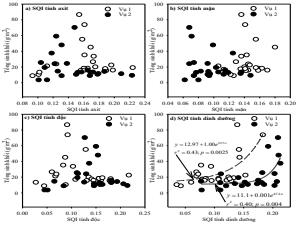
* Các chỉ số chất lượng đất thành phần sau thí nghiệm



Hình 3.17 SQI tính axit vụ 1 (a), vụ 2 (b) và SQI tính mặn vụ 1 (c), vụ 2 (d) sau thí nghiệm ở điều kiện thực tế đồng ruộng



Hình 3.18 SQI tính độc vụ 1 (a), vụ 2 (b) và SQI tính dinh dưỡng vụ 1 (c), vụ 2 (d) sau thí nghiệm ở điều kiện thực tế đồng ruộng



Hình 3.19 Mối tương quan giữa chỉ số chất lượng đất tính axit (a), mặn (b), độc (c) và dinh dưỡng (d) với tổng sinh khối cải thìa sau thí nghiệm

Bảng 3.21 Kết quả phân tích tương quan đa biến và phần trăm giải thích tổng biến thiên của tổng sinh khối cải thìa với các SQI thành phần

Biến số	Vụ 1				Vụ 2			
	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)	Nghiệm thức tốt nhất	Tổng bình phương sai số dư	Giá trị xác suất	Phần trăm đóng góp (%)	Nghiệm thức tốt nhất
SQI tính axit	146,78	1,12	1,86	NT5	175,40	1,06	3,68	NT5
SQI tính mặn	13,83	0,11	0,18	NT6	108,74	0,66	2,28	NT2
SQI tính độc	1.021	7,77	12,94	NT5	2,68	0,02	0,06	NT5
SQI tính dinh dưỡng*	4.215	32,05	53,38	NT6	1.323	7,97	27,77	NT6
Sai số	2,498		31,64		3.154		66,21	
Tổng biến thiên	7.895				4.765			

3.3.6 Thảo luận chung

Thí nghiệm cho thấy hiệu quả của than trấu, vôi và phân bò phụ thuộc tính chất vật liệu và trạng thái đất. Trên lúa, than trấu + vôi giảm chua và độc; than trấu + phân bò tăng dinh dưỡng và năng suất. Trên cải thìa, than trấu kết hợp phân bò hoặc vôi cải thiện pH, giảm mặn–độc, tăng CEC, P, K và sinh khối. Năng suất phụ thuộc cân bằng giữa axit, độc và dinh dưỡng đất.

3.4 Đề xuất các giải pháp cải tạo và sử dụng đất phèn nhiễm mặn

3.4.1 Đánh giá tiềm năng cải tạo đất phèn nhiễm mặn bằng vật liệu thân thiện môi trường thông qua phân tích SWOT

Phân tích SWOT cho thấy cải tạo đất phèn nhiễm mặn bằng vật liệu thân thiện môi trường (than trấu, vôi, phân bò) là khả thi. Chiến lược S-O tận dụng kết quả thực nghiệm và cơ hội chính sách để triển khai mô hình thí điểm, nâng cao hiệu quả đất và năng suất. W-O tập trung khắc phục hạn chế nghiên cứu dài hạn, tăng cường nguồn lực và chuyển giao kỹ thuật. S-T và W-T chú trọng linh hoạt kỹ thuật, đào tạo nông dân, quản lý bền vững và hỗ trợ chính sách để ứng phó biến đổi khí hậu, tối ưu hóa hiệu quả cải tạo đất.

3.4.2 Các giải pháp cải tạo và sử dụng đất phèn nhiễm mặn

3.4.2.1 Giải pháp cho đất ngập nước trồng lúa

Bón vôi trước hoặc sau khi ngập nước để tăng hiệu quả cải tạo. Bón phân bò trước mùa vụ để thúc đẩy phân hủy hữu cơ. Phối trộn than trấu và vôi với tỷ lệ phù hợp trước khi cày bừa sau đó mới bón vào đất. Khi kết hợp than trấu và phân bò, nên bón phân bò và phủ lớp than trấu mỏng lên bề mặt.

3.4.2.2 Giải pháp cho đất trồng cây hoa màu

Bón vôi mùa khô cải thiện đất mặt; trộn than trấu và phân bò giúp tăng tơi xốp, giảm mặn, giữ dinh dưỡng và nước. Phối trộn than trấu–vôi trước mùa mưa tránh rửa trôi; phủ hỗn hợp lên bề mặt đất và chọn biện pháp phù hợp theo nhu cầu và khả năng chịu mặn của từng cây trồng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Các nhóm yếu tố chính trong đất phèn nhiễm mặn thể hiện rõ nét qua từng loại hình sử dụng đất và độ sâu lớp đất. Tính axit mạnh nhất tại đất trồng lúa và đất trồng cây hằng năm khác, đặc biệt ở tầng đất mặt gần biển, do tác động của thủy triều và quá trình oxy hóa Pyrite. Đất trồng lúa cũng chịu ảnh hưởng nặng nề của mặn ở lớp bề mặt, do sự xâm nhập của nước biển. Các kim loại độc như Fe^{2+}, Mn^{2+} và Al^{3+} tập trung cao ở tầng đất mặt và khu vực ven biển, nổi bật ở đất trồng lúa và đất tự nhiên. Về mặt dinh dưỡng, đất trồng cây lâu năm và lúa có hàm lượng dinh dưỡng cao hơn, nhưng giảm dần khi tiến gần biển do ảnh hưởng kết hợp của tính mặn và axit. Những yếu tố này là trở ngại lớn, cản trở sự sinh trưởng và phát triển của cây trồng trên đất phèn nhiễm mặn. Tổ hợp vật liệu thân thiện môi trường gồm than trấu, vôi và phân bò đã chứng minh khả năng cải thiện các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn như cải thiện độ chua, mặn, giảm độc tính và tăng dinh dưỡng. Vôi trung hòa axit và bổ sung Ca^{2+} thay thế Na^{+}, than trấu gia tăng OC và CEC đồng thời hấp phụ Na^{+}, Cl^{+} và các ion kim loại, hạn chế tính di động của chúng, phân bò bổ sung nguồn dinh dưỡng và cung cấp hữu cơ. Dưới hai

chế độ nước, tưới ngập hỗ trợ rửa trôi muối hòa tan và một phần kim loại còn độ ẩm 60% tạo môi trường ổn định cho quá trình tạo phức hữu cơ và giảm hòa tan kim loại. Về độc tính nhôm, tổ hợp than trấu kết hợp vôi đã làm giảm Al trao đổi và Al liên kết yếu, đồng thời tăng pH làm thúc đẩy kết tủa Al ở dạng ít hoà tan hoặc liên kết bền với hữu cơ, chuyển hóa Al sang dạng ít gây độc lâu dài.

Than trấu kết hợp với vôi cải tạo tốt nhất tính axit và tính độc, than trấu kết hợp với phân bò cải tạo tốt nhất tính dinh dưỡng của đất phèn nhiễm mặn. Sự kết hợp các vật liệu giúp cân bằng các đặc tính hóa học của đất phèn nhiễm mặn (mặn, axit và độc tính - thí nghiệm trên lúa) và cải thiện dinh dưỡng (thí nghiệm trên cải thìa). Điều này đã tạo điều kiện tối ưu cho sinh trưởng cây trồng.

Các giải pháp cải tạo cần được điều chỉnh để phù hợp với loại cây trồng cụ thể. Đối với đất ngập nước trồng lúa, ưu tiên cải thiện khả năng giữ nước, giảm độc tính và tăng hàm lượng dinh dưỡng. Với đất cạn trồng màu, cần tập trung vào tăng độ tơi xốp, cải thiện khả năng thoát nước và giảm độ mặn. Sự phối hợp linh hoạt giữa các giải pháp này sẽ đảm bảo tính bền vững và hiệu quả trong sử dụng đất phèn nhiễm mặn, đồng thời mở ra tiềm năng lớn hơn cho phát triển nông nghiệp trên các vùng đất khó khăn này.

Cả 4 giả thuyết khoa học đều được xác nhận và chứng minh có cơ sở khoa học từ các nghiên cứu ở trên. Sự kết hợp giữa than trấu với vôi và/hoặc than trấu với phân bò là giải pháp cải tạo đất phèn nhiễm mặn toàn diện, vừa giảm các đặc tính hóa học của đất, vừa nâng cao chất lượng và độ phì nhiêu, đồng thời hỗ trợ sự phát triển bền vững cho cây trồng, góp phần ứng phó với thách thức từ biến đổi khí hậu.

2. Kiến nghị

Trong nghiên cứu này, các vật liệu thân thiện môi trường như vôi, phân bò và than trấu và các tổ hợp than trấu + vôi, than trấu + phân bò) đã cho thấy hiệu quả trong việc giảm tính axit, độc chất và cải thiện dinh dưỡng đất phèn nhiễm mặn. Tuy nhiên, một số vấn đề vẫn cần được tiếp tục nghiên cứu. Thứ nhất, tính mặn chưa được kiểm soát hiệu quả ở những vùng có độ mặn cao, cần có các giải pháp tập

trung hơn vào xử lý mặn dài hạn. Thứ hai, các giải pháp cải tạo hiện tại chỉ tập trung vào lúa và rau trong khi ảnh hưởng của chúng lên những nhóm cây trồng khác như cây ăn quả và cây công nghiệp chưa được làm rõ. Thứ ba, cần nghiên cứu tối ưu hóa liều lượng và điều kiện áp dụng của các vật liệu thân thiện môi trường (vôi, phân bò và than trấu) để phù hợp hơn với từng loại đất và mức độ phèn - mặn. Cuối cùng, hiệu quả kinh tế của các giải pháp cũng cần được đánh giá sâu hơn nhằm hỗ trợ nhân rộng và ứng dụng thực tiễn. Đây là những định hướng quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo để hoàn thiện và nâng cao hiệu quả của giải pháp đã đề xuất.