

ĐÁNH GIÁ SỨC KHỎE ĐẤT NGẬP NƯỚC TRONG SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP VÙNG CỬ CHI, THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Nguyễn Thị Oanh^{1, 2, *}, Phan Liêu³, Trương Vĩnh Hải⁴, Trần Minh Tiến⁵

¹Nghiên cứu sinh, Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

²Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Hội Khoa học Đất Việt Nam

⁴Viện Khoa học Kỹ thuật Nông nghiệp miền Nam

⁵Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

*Email: nguyenoanh@hcmussh.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đánh giá sức khỏe đất tại các khu vực đất trũng có ngập nước theo mùa thuộc vùng Củ Chi, Thành phố Hồ Chí Minh là vùng nông nghiệp ven đô tiêu biểu đang chịu tác động của đô thị hóa và biến đổi khí hậu (BĐKH). Ba loại hình canh tác được khảo sát gồm: Trồng lúa, rau màu và cây ăn trái, phân bố trên địa hình trũng có ngập theo mùa. Mẫu đất mặt (0 - 20 cm) được phân tích các chỉ tiêu lý - hóa - sinh học, bao gồm: pH, OC, EC, CEC, hàm lượng Fe^{2+} hòa tan, mật độ vi sinh vật, hoạt độ enzyme và giun đất. Kết quả cho thấy, đất lúa có hàm lượng hữu cơ cao (2,3%) nhưng pH thấp và đặc trưng bởi điều kiện khử yếm khí; đất rau màu suy giảm mạnh về sinh học; trong khi đất cây ăn trái có sức khỏe đất ổn định hơn, phản ánh qua mật độ giun và enzyme cao. Phân tích thành phần chính (PCA) cho phép phân loại tích hợp sức khỏe đất giữa các mô hình sử dụng đất, với hai thành phần đầu tiên giải thích 81,8% tổng phương sai. Điểm mới của nghiên cứu là áp dụng phương pháp tích hợp PCA trong điều kiện đất ngập nước ven đô, từ đó đề xuất định hướng cải tạo theo hướng hữu cơ - sinh học và xây dựng hệ thống quan trắc sức khỏe đất dài hạn.

Từ khóa: Củ Chi, đất ngập nước, phân tích thành phần chính, sức khỏe đất, ven đô.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Huyện Củ Chi cũ (sau đây gọi là huyện Củ Chi) nằm ở cửa ngõ Tây Bắc của Thành phố Hồ Chí Minh, với địa hình đan xen giữa các vùng đất có cao trình lớn hơn và những khu vực thấp trũng ven sông Sài Gòn, rạch Trảng và hệ thống kênh tưới tiêu. Trong điều kiện đô thị hóa nhanh, địa phương này vẫn duy trì diện tích nông nghiệp đáng kể, đặc biệt ở các vùng thường xuyên bão hòa nước vào mùa mưa và khô hạn vào mùa nắng, khu vực tập trung các mô hình trồng lúa, rau màu và cây ăn trái.

Theo phân loại của FAO (2013) [1], đất ngập nước được chia thành 3 nhóm chính: Đất ngập tự nhiên, đất ngập nhân tạo và đất ngập do con người tác động. Vùng nghiên cứu tại huyện Củ Chi cũ thuộc nhóm thứ ba: Đất nông nghiệp ngập nước có yếu tố nhân sinh, được hình thành từ sự kết hợp giữa địa hình tự nhiên thấp trũng và các

hoạt động điều tiết thủy lợi nhân tạo. Khác với đất ngập nội sinh cố định như rừng ngập mặn ven biển, hoặc đất ngập nhân tạo như ruộng lúa tưới tiêu toàn phần, đất ngập tại huyện Củ Chi cũ mang tính chất bán tự nhiên (mùa khô khô ráo, mùa mưa úng nước) điển hình cho điều kiện đất ngập nước ven đô thị.

Sức khỏe đất là khái niệm tổng hợp phản ánh khả năng của đất trong việc duy trì các chức năng sinh thái cốt lõi như cung cấp dinh dưỡng, điều hòa nước, hỗ trợ đa dạng sinh học và chống chịu với áp lực môi trường. Đặc biệt ở các hệ canh tác đất ngập nước, sức khỏe đất chịu ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện ngập nước không ổn định và các hoạt động nông nghiệp thâm canh. Những thay đổi trong pH, hàm lượng hữu cơ, mật độ vi sinh vật hoặc enzyme đất có thể là tín hiệu ban đầu của quá trình suy thoái. Do đó, việc đánh giá sức khỏe đất không chỉ mang tính chẩn đoán hiện

trạng mà còn là công cụ định hướng quản lý đất bền vững trong bối cảnh thích ứng với BĐKH và phát triển nông nghiệp ven đô.

Dưới tác động của BĐKH và quá trình đô thị hóa, các vùng đất canh tác bán ngập tại huyện Củ Chi cũ đang bộc lộ rõ các dấu hiệu suy thoái sức khỏe đất, bao gồm: Chua hóa, bạc màu, mất chất hữu cơ và suy giảm đa dạng sinh học đất. Tuy nhiên, cho đến nay, chưa có nhiều nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá “sức khỏe” đất tại các hệ đất ngập nước nông nghiệp ven đô, đặc biệt là ở cấp xã, nơi vừa chịu ảnh hưởng từ các yếu tố sinh thái tự nhiên, vừa chịu áp lực phát triển dân cư và công nghiệp ngày càng gia tăng.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá toàn diện sức khỏe đất tại huyện Củ Chi cũ thông qua phân tích các chỉ tiêu sinh - hóa - lý học đặc trưng. Dữ liệu được xử lý và tích hợp bằng phương pháp PCA nhằm phân loại mức độ suy thoái giữa các mô hình sản xuất khác nhau. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các định hướng cải tạo phù hợp với điều kiện địa phương, góp phần phục hồi nền đất, nâng cao hiệu quả sử dụng và thích ứng với quá trình đô thị hóa ven đô.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu khảo sát hệ thống canh tác vùng đất ngập nước theo mùa tại huyện Củ Chi, phân tích sức khỏe đất qua các chỉ tiêu lý - hóa - sinh học trong 3 mô hình: Lúa, rau màu và cây ăn trái.

Phân tích đa biến giúp phân loại mức độ suy thoái đất, từ đó đề xuất giải pháp phục hồi sinh học và canh tác thích ứng theo mùa.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xác định điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại huyện Củ Chi cũ có điều kiện canh tác nông nghiệp đan xen giữa vùng đất cao và các vùng thấp trũng ven sông, rạch. Các điểm khảo sát được lựa chọn tại những khu vực thường xuyên bão hòa nước vào mùa mưa và khô hạn vào mùa nắng, đồng thời có mô hình sản xuất ổn định. Ba loại hình canh tác điển hình gồm: Trồng lúa, rau màu và cây ăn trái, được khảo sát tại 9 điểm đại diện (3 điểm/mô hình), mỗi điểm thu 3 mẫu lặp lại, tổng cộng 27 mẫu nhằm đảm bảo tính đại diện không gian và độ tin cậy thống kê. Việc chọn điểm dựa trên khảo sát thực địa, bản đồ địa hình và tư vấn từ cán bộ kỹ thuật nông nghiệp địa phương.

2.2.2. Lấy mẫu và phân tích đất

Tại mỗi điểm khảo sát, mẫu đất mặt (0 - 20 cm) được thu vào cuối mùa mưa năm 2024, đây là thời điểm đại diện cho đặc trưng ngập nước và phản ánh rõ trạng thái sinh học của đất sau một chu kỳ canh tác. Tổng cộng 27 mẫu đất được thu thập, xử lý và phân tích tại phòng thí nghiệm [2] đồng thời đối chiếu với hướng dẫn của FAO (2013, 2020) [1, 3]. Các chỉ tiêu được chia thành bốn nhóm: Lý học, hóa học, sinh học và đặc trưng đất ngập nước.

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu sức khỏe đất tại huyện Củ Chi cũ

Nhóm chỉ tiêu	Chỉ tiêu cụ thể	Phương pháp phân tích
Lý học	Độ ẩm	Sổ tay phân tích đất [2] - Sấy ở 105°C
	Kết cấu cơ giới	Sổ tay phân tích đất [2] - Pipet Robinson
	Tỷ trọng	Sổ tay phân tích đất [2]- Bình tỷ trọng
	Độ xốp	Tính từ khối lượng riêng và tỷ trọng [2]
Hóa học	pH	Sổ tay phân tích đất [2] - pH kế, dung dịch đất/nước 1: 2,5
	Độ dẫn điện (EC)	Sổ tay phân tích đất [2] - Dung dịch đất/nước 1: 5
	Hữu cơ (OC)	Sổ tay phân tích đất [2] - Walkley-Black
	Nitơ tổng số (Nts)	Sổ tay phân tích đất [2] - Phương pháp Kjeldahl
	Lân dễ tiêu (P)	Sổ tay phân tích đất [2] - Bray II, đo màu
	Kali dễ tiêu (K)	Sổ tay phân tích đất [2]- Amoni acetat, ngọn lửa
	CEC	Sổ tay phân tích đất [2] - Amoni acetat trung tính
Sinh học	Mật độ vi sinh vật	Cấy đĩa, đếm CFU/g đất [1]
	Giun đất	Lấy mẫu thủ công, rửa đếm [4]
	Enzyme dehydrogenase	TTC, đo quang 485 nm [5]

	Enzyme phosphatase	pNPP, đo màu [6]
Đặc điểm ngập nước	Dấu hiệu glây hóa	Màu và vệt glây, mô tả theo thang Munsell [7]
	Fe ²⁺ và Mn ²⁺ hòa tan	Chiết bằng axetat, đo phổ hấp thụ nguyên tử [1]

Toàn bộ dữ liệu phân tích được tích hợp và xử lý nhằm tính toán chỉ số sức khỏe đất tổng hợp (Soil Health Index - SHI). Dựa trên chỉ số này, các mẫu đất được phân loại thành 3 nhóm: Đất khỏe, đất trung bình và đất suy thoái, phục vụ cho việc đánh giá và so sánh sức khỏe đất giữa các mô hình canh tác khác nhau tại vùng đất bán ngập của huyện Củ Chi cũ.

2.2.3. Phân tích dữ liệu

Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm IBM SPSS Statistics 26.0, bao gồm mô tả thống kê, phân tích phương sai một nhân tố (ANOVA) để so sánh giữa các mô hình đất canh tác và phân tích PCA nhằm rút gọn dữ liệu và xác định nhóm yếu tố trọng yếu phản ánh sức khỏe đất. Kết quả được đối chiếu với ngưỡng đánh giá theo khuyến nghị của FAO (2013) [1] làm cơ sở cho việc đề xuất giải pháp cải tạo đất phù hợp với điều kiện sinh thái và thực tiễn sản xuất tại địa phương.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiện trạng sức khỏe đất ngập nước tại các điểm khảo sát

3.1.1. Sự phân hóa về sức khỏe đất giữa các mô hình canh tác

Kết quả phân tích đất tại các điểm khảo sát phản ánh sự khác biệt đáng kể về sức khỏe đất giữa 3 loại hình canh tác chính gồm: Đất trồng

lúa, rau màu và đất trồng cây ăn trái. Ba loại cây ăn trái phổ biến nhất ở vùng đất ngập theo mùa huyện Củ Chi cũ gồm: Mãng cầu xiêm, chuối và mít là các loại cây đều có khả năng chịu ẩm tốt, sinh trưởng nhanh, dễ chăm sóc, phù hợp với điều kiện bán ngập và cho năng suất ổn định trong điều kiện ngập nước theo mùa. Các chỉ tiêu được đánh giá bao gồm: Lý học, hóa học, sinh học và đặc điểm đặc trưng của đất ngập nước (Bảng 2).

Đặc biệt, phân tích sinh học cho thấy, đất xám ngập nước (Gleyic Fluvisols) tại huyện Củ Chi cũ có sự hiện diện ổn định của 3 nhóm vi sinh vật chính gồm: Xạ khuẩn (actinomycetes), nấm sợi (fungi) và vi khuẩn (bacteria). Trong đó, bacteria chiếm tỷ lệ cao nhất và đóng vai trò chủ đạo trong các chu trình chuyển hóa dinh dưỡng, trong khi actinomycetes tham gia phân giải hợp chất hữu cơ bền vững và fungi hỗ trợ phân hủy cellulose, lignin từ tàn dư thực vật.

Dữ liệu trong bảng 2 phản ánh sự khác biệt có ý nghĩa về các chỉ tiêu sinh - hóa - lý học giữa 3 loại hình đất tại huyện Củ Chi cũ. Đất trồng lúa có hàm lượng hữu cơ (OC) cao nhất ($2,3 \pm 0,3\%$) và mật độ glây hóa rõ rệt với hàm lượng Fe²⁺ đạt $120,0 \pm 8,0$ mg/kg, phản ánh tình trạng yếm khí điển hình vào mùa mưa. Tuy nhiên, pH đất lúa lại ở mức thấp ($4,9 \pm 0,2$) cho thấy xu hướng chua hóa do quá trình khử và tích tụ axit hữu cơ.

Bảng 2. Tổng hợp chỉ tiêu sức khỏe đất tại huyện Củ Chi

Chỉ tiêu	Đất trồng lúa (trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn)	Đất rau màu (trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn)	Đất cây ăn trái (trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn)	Ngưỡng đánh giá (FAO, USDA, Việt Nam)
pH	$4,9 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,3$	$5,8 \pm 0,2$	5,5 - 7,5 (trung tính, thích hợp cho hầu hết cây trồng)
OC (%)	$2,3 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,3$	$\geq 2,0\%$ (đất trung bình, giàu hữu cơ) [1]
EC (dS/m)	$1,1 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	$< 2,0$ dS/m (không mặn) [2]
Nts (%)	$0,15 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,02$	$> 0,10\%$ (hàm lượng nitơ tổng số trung bình) [2]
P (mg/kg)	$12,0 \pm 1,5$	$18,0 \pm 2,0$	$14,0 \pm 1,8$	≥ 15 mg/kg (P dễ tiêu mức trung bình - khá) [2]
K (mg/kg)	$98,0 \pm 5,0$	$105,0 \pm 4,0$	$110,0 \pm 6,0$	> 100 mg/kg (K dễ tiêu trung bình - khá) [2]
CEC (cmol/kg)	$10,5 \pm 1,0$	$9,0 \pm 0,8$	$11,0 \pm 0,9$	≥ 10 cmol/kg (dung tích trao đổi cation trung bình - tốt) [2]

Vi sinh vật (log CFU/g)	$6,1 \pm 0,4$	$6,8 \pm 0,3$	$7,3 \pm 0,5$	$\geq 6,5 \log \text{CFU/g}$ (mức sinh học ổn định) [1, 8]
Giun đất (con/m ²)	$60,0 \pm 5,0$	$85,0 \pm 6,0$	$90,0 \pm 7,0$	$> 70 \text{ con/m}^2$ (mức sinh học tốt) [4]
Dehydrogenase ($\mu\text{g TPF/g/h}$)	$1,2 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,2$	$\geq 1,0$ [9]
Fe ²⁺ (mg/kg)	$120,0 \pm 8,0$	$65,0 \pm 6,0$	$60,0 \pm 5,0$	$< 80 \text{ mg/kg}$ (ngưỡng tích lũy an toàn, tránh yếm khí kéo dài) [1]

Đất trồng rau màu có chỉ số EC cao nhất ($1,6 \pm 0,2 \text{ dS/m}$), cho thấy tình trạng tích muối có thể do sử dụng phân bón vô cơ. Các chỉ tiêu sinh học như: Mật độ vi sinh vật ($6,8 \pm 0,3 \log \text{CFU/g}$), giun đất ($85,0 \pm 6,0 \text{ con/m}^2$) và hoạt độ enzyme ($0,8 \pm 0,1 \mu\text{g TPF/g/h}$) đều ở mức thấp nhất, phản ánh sự suy giảm mạnh hệ sinh thái đất do thâm canh liên tục và thiếu vật liệu hữu cơ.

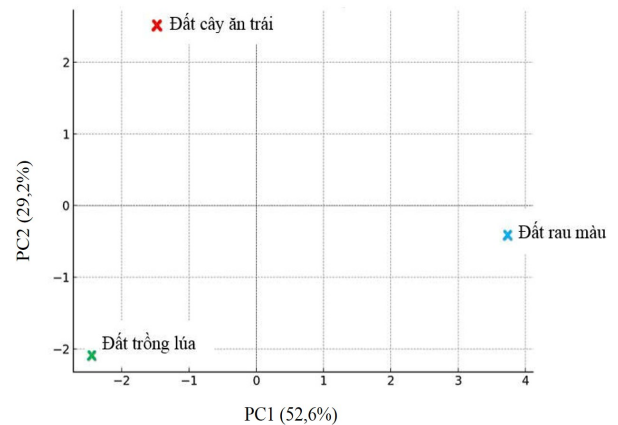
Ngược lại, đất cây ăn trái có độ pH trung tính hơn ($5,8 \pm 0,2$), hàm lượng kali cao ($110,0 \pm 6,0 \text{ mg/kg}$) và chỉ số sinh học vượt trội (vi sinh vật: $7,3 \pm 0,5 \log \text{CFU/g}$; giun đất: $90,0 \pm 12,0 \text{ con/m}^2$; dehydrogenase: $1,6 \pm 0,2 \mu\text{g TPF/g/h}$). Điều này cho thấy tác động tích cực từ việc sử dụng phân chuồng, kỹ thuật che phủ hoặc luân canh hợp lý, góp phần bảo vệ hệ sinh vật đất.

Việc bổ sung độ lệch chuẩn làm rõ mức độ biến thiên và tạo cơ sở cho phân tích thống kê tiếp theo, bao gồm ANOVA, nhằm đánh giá sự khác biệt giữa các nhóm đất một cách khách quan và chính xác.

Các kết quả được trình bày trong nghiên cứu này chủ yếu dựa trên đợt lấy mẫu vào cuối mùa mưa năm 2024, nhằm đại diện cho điều kiện đất ngập nước điển hình. Tuy nhiên, do chưa bao quát được toàn bộ chu kỳ canh tác và biến động theo mùa (đặc biệt là mùa khô), nên một số chỉ tiêu đặc biệt là nhóm sinh học có thể dao động theo thời gian. Đây là một giới hạn cần được bổ sung trong các nghiên cứu theo dõi dài hạn để đánh giá toàn diện sức khỏe đất.

3.1.2. Phân tích PCA và phân nhóm đất

Phân tích PCA được sử dụng nhằm tích hợp các chỉ tiêu lý học, hóa học và sinh học trong bộ dữ liệu khảo sát đất, giúp rút gọn số chiều dữ liệu, làm rõ cấu trúc nội tại của các biến và xác định xu hướng phân nhóm sức khỏe đất. Đây là phương pháp phù hợp với các nghiên cứu môi trường có nhiều biến số liên quan chặt chẽ, như trong đánh giá đất ngập nước.



Hình 1. Phân nhóm loại đất theo thành phần chính PC1 và PC2

Kết quả phân tích PCA cho thấy, 3 thành phần chính đầu tiên (PC1, PC2, PC3) giải thích lần lượt 52,6, 29,2 và 9,1% tổng phương sai, nâng tổng phương sai tích lũy lên 90,9% đủ mạnh để đại diện cho cấu trúc dữ liệu ban đầu (Bảng 3).

PC1 phản ánh chủ yếu các yếu tố hóa học, bao gồm: pH, hàm lượng chất hữu cơ (OC), độ dẫn điện (EC), nitơ tổng số (Nts) và sắt hòa tan (Fe²⁺). PC1 âm thể hiện điều kiện yếm khí, pH thấp, Fe²⁺ cao, điển hình ở đất trồng lúa; PC1 dương biểu thị tình trạng tích muối, mất hữu cơ và EC cao, thường thấy ở đất rau màu.

PC2 đại diện cho nhóm chỉ tiêu sinh học, bao gồm: Mật độ vi sinh vật, số lượng giun đất, enzyme dehydrogenase, cùng các yếu tố liên quan đến trao đổi cation (CEC) và kali. PC2 dương phản ánh khả năng phục hồi sinh học cao, như ở đất cây ăn trái; PC2 âm cho thấy hệ sinh vật đất suy giảm, phổ biến ở mô hình rau màu thâm canh.

PC3 chiếm 9,1% phương sai và phản ánh một phần yếu tố lý học, đặc biệt là các chỉ tiêu tỷ trọng, độ xốp và độ ẩm, góp phần bổ sung đánh giá điều kiện vật lý nền của đất trong bối cảnh đất ngập nước theo mùa.

Bảng 3. Giá trị riêng (Eigenvalue) và phương sai tích lũy theo PCA

Thành phần chính	Giá trị riêng (Eigenvalue)	% phương sai riêng	% phương sai tích lũy
PC1	4,21	52,6	52,6
PC2	2,34	29,2	81,8
PC3	0,73	9,1	90,9

Phân tích biểu đồ phân tán (Hình 1) trên mặt phẳng PC1 - PC2 cho thấy, 3 nhóm đất được phân tách rõ ràng: Đất trồng lúa nằm ở vùng PC1 âm - PC2 âm, đặc trưng bởi điều kiện yếm khí và suy

giảm sinh học; đất rau màu lệch về vùng PC1 dương, - PC2 âm, biểu hiện tích muối và mất cân bằng sinh học; đất trồng cây ăn trái nằm ở PC2 dương, thể hiện khả năng phục hồi sinh học rõ nét hơn.

Bảng 4. Ma trận hệ số tải (Loadings matrix) trong phân tích PCA

Chỉ tiêu	PC1	PC2
pH	-0,62	0,40
OC (%)	-0,55	0,52
EC (dS/m)	0,67	-0,33
Nts (%)	-0,43	0,48
P (mg/kg)	0,36	0,41
K (mg/kg)	0,31	0,50
CEC (cmol/kg)	-0,40	0,54
Vi sinh vật (log CFU/g)	-0,30	0,67
Giun đất (con/m ²)	-0,34	0,71
Dehydrogenase (μg TPF/g/h)	-0,38	0,69
Fe ²⁺ (mg/kg)	-0,73	-0,29

Ma trận hệ số tải (Bảng 4) cho thấy sự phân cực giữa PC1 và PC2 giúp phân biệt 3 nhóm đất canh tác theo các hướng suy thoái khác nhau: Hóa học, sinh học và yếm khí. Kết quả này làm rõ xu hướng suy thoái đa chiều ở đất rau màu do tác động của thâm canh hóa học và thiếu luân canh; trong khi đó, đất cây ăn trái có xu hướng phục hồi nhờ ứng dụng phân hữu cơ và hệ che phủ sinh học.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng, mẫu được thu vào cuối mùa mưa, khi đất đang trong trạng thái ngập sâu, nên kết quả PCA chỉ phản ánh một thời điểm nhất định. Để có đánh giá toàn diện hơn, các nghiên cứu tiếp theo nên triển khai phân tích PCA theo mùa nhằm theo dõi sự biến động sức khỏe đất trong chu kỳ canh tác, đặc biệt quan trọng với các hệ canh tác luân canh lúa - màu hoặc vườn cây ăn trái ven đô.

3.2. Nguyên nhân suy giảm sức khỏe đất

3.2.1. Nguyên nhân suy giảm sức khỏe đất

Suy giảm sức khỏe đất tại vùng đất ngập nước huyện Củ Chi cũ là hệ quả tổng hợp của các yếu tố thâm canh, rửa trôi hữu cơ và ngập úng

kéo dài. Các yếu tố này tạo ra vòng xoáy suy thoái về lý - hóa - sinh học trong đất, làm suy yếu khả năng duy trì độ phì và chức năng sinh thái, đặc biệt trong điều kiện canh tác nông nghiệp ven đô vốn chịu áp lực từ đô thị hóa và BĐKH [10, 11, 9, 6].

Cấu trúc đất và hệ sinh học bị suy yếu do thâm canh hóa học kéo dài. Đất trồng rau màu có hàm lượng hữu cơ (OC) chỉ đạt 1,5%, thấp hơn nhiều so với đất trồng lúa (2,3%) và cây ăn trái (2,0%). Đồng thời, độ dẫn điện EC lên tới 1,6 dS/m cho thấy dấu hiệu tích muối do lạm dụng phân bón vô cơ mà thiếu bổ sung chất hữu cơ. Hoạt tính enzyme dehydrogenase - chỉ số nhạy của sức sống sinh học đất chỉ đạt 0,8 μg TPF/g/h cho thấy môi trường đất đã bị ức chế sinh học nghiêm trọng. Sự mất cân bằng này gây cản trở chu trình dinh dưỡng, làm giảm khả năng cố định đạm và phân giải hữu cơ.

Rửa trôi chất hữu cơ và vi sinh vật trong mùa mưa gây thất thoát tầng đất màu. Trong điều kiện đất trũng và không có lớp phủ, chất hữu cơ dễ bị cuốn trôi theo dòng chảy bề mặt, nhất là trong hệ

thống rau màu với cường độ làm đất cao. Điều này lý giải vì sao mật độ vi sinh vật trong đất ở nhóm này chỉ đạt 5,1 log CFU/g, thấp nhất trong 3 nhóm đất khảo sát. Cùng với đó, tổng đạm (0,10%) và kali dễ tiêu (105 mg/kg) tuy không quá thấp về số tuyệt đối nhưng hiệu quả sử dụng dinh dưỡng lại bị suy giảm do thiếu hoạt động vi sinh hỗ trợ [6, 12].

Ngập úng kéo dài gây yếm khí và tích tụ Fe^{2+} , ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe đất. Dữ liệu cho thấy, hàm lượng Fe^{2+} trong đất trồng lúa đạt 120 mg/kg cao nhất trong các loại hình canh tác. Đây là kết quả của quá trình khử trong điều kiện bão hòa nước kéo dài, dẫn đến hiện tượng glây hóa, tích tụ các chất khử như sắt và mangan dạng hòa tan. Những yếu tố này không chỉ hạn chế hô hấp của vi sinh vật hiếu khí, mà còn gây ngộ độc rễ và làm giảm hiệu quả hấp thu dưỡng chất của cây trồng [6, 12].

Các nguyên nhân suy thoái đất đang diễn ra đồng thời và tác động lẫn nhau. Nếu không có các biện pháp quản lý đất theo hướng sinh thái canh tác, khu vực đất ngập nước ven đô như huyện Củ Chi cũ sẽ đối mặt với nguy cơ suy giảm bền vững về năng suất và chất lượng đất trong trung và dài hạn.

3.2.2. So sánh với một số mô hình đất khỏe

So sánh với các mô hình đất lúa ngập nước tại đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) cho thấy, sự khác biệt đáng kể về khả năng duy trì sức khỏe đất giữa các vùng nông nghiệp ngập nước. Kết quả nghiên cứu của Nguyễn Phương (2022) [8] tại tỉnh Đồng Tháp (cũ) cho thấy, các vùng canh tác lúa có hệ thống đê bao và kiểm soát thủy lợi tốt giúp duy trì hàm lượng hữu cơ ở mức cao (2,8 - 3,5%), mật độ vi sinh vật đất ổn định (7,0 - 7,5 log CFU/g) và hoạt tính enzyme dehydrogenase đạt trung bình 1,6 μ g TPF/g/h. Những điều kiện này góp phần duy trì sự ổn định sinh học và khả năng phục hồi của đất sau mỗi mùa vụ. Trong khi đó, kết quả khảo sát tại huyện Củ Chi cũ cho thấy, đất trồng lúa chỉ đạt OC 2,3%, vi sinh vật 6,7 log CFU/g và enzyme dehydrogenase 1,2 μ g TPF/g/h cho thấy hệ đất tại đây yếu hơn về mặt hóa học lẫn sinh học.

Vùng đất ngập nước ven đô của huyện Củ Chi cũ chịu ảnh hưởng lớn từ quá trình đô thị hóa, làm gián đoạn các chu trình sinh thái tự

nhiên của đất. Khác với ĐBSCL, nơi mô hình sản xuất vẫn giữ được quy mô lớn và luân canh sinh học, hệ thống canh tác tại huyện Củ Chi đang bị chia cắt bởi mạng lưới hạ tầng, khu dân cư và khu công nghiệp mới, làm giảm tính liên tục của thảm thực vật và khả năng giữ ẩm đất. Điều này góp phần gia tăng hiện tượng rửa trôi hữu cơ vào mùa mưa và tích tụ hóa chất vào mùa khô. Các chỉ tiêu EC cao (1,6 dS/m ở đất rau màu) và mật độ giun đất thấp (50 con/m²) phản ánh môi trường đất ngày càng kém ổn định về mặt sinh học và vật lý.

Huyện Củ Chi cũ hiện chưa có mô hình cải tạo đất nào gắn với hệ sinh thái đất ngập nước nhân sinh. Các mô hình đất khỏe ở ĐBSCL như canh tác lúa hữu cơ kết hợp cá - vịt, hoặc luân canh lúa - rau - đậu được ghi nhận giúp nâng cao chỉ số trao đổi cation (CEC), duy trì độ pH trung tính và tăng khả năng giữ nước, từ đó cải thiện rõ rệt cấu trúc đất. Trong khi đó, hệ thống sản xuất tại huyện Củ Chi cũ vẫn mang tính đơn canh, thiếu lớp phủ sinh học và chưa ứng dụng công nghệ theo dõi chất lượng đất, dẫn đến sức khỏe đất suy giảm theo chiều sâu và diễn biến âm thầm trong nhiều mùa vụ liên tiếp [1].

Vấn đề cấp thiết hiện nay là xây dựng khung chỉ số sức khỏe đất đặc thù cho khu vực ven đô như huyện Củ Chi cũ, phù hợp với điều kiện đất ngập nước nhân sinh và xu hướng sử dụng đất linh hoạt. Cần kết hợp cả chỉ tiêu truyền thống (pH, OC, CEC) và các chỉ tiêu nhạy cảm sinh học như: Enzyme đất, mật độ giun đất, đặc điểm glây hóa..., đồng thời tích hợp dữ liệu theo mùa để phản ánh chính xác mức độ biến động sinh thái. Việc này sẽ là cơ sở cho các chính sách quản lý đất nông nghiệp ven đô theo hướng bền vững, gắn với thích ứng đô thị hóa và biến đổi khí hậu [1, 6].

3.3. Thảo luận

Cần ban hành chương trình hỗ trợ bổ sung chất hữu cơ quy mô nông hộ tại các vùng đất trồng canh tác lúa, rau màu và cây ăn trái ở huyện Củ Chi cũ. Thành phố Hồ Chí Minh nên khuyến khích nông dân sử dụng phân compost từ rác hữu cơ đô thị đã xử lý, biochar từ vỏ cà phê, trấu hoặc tro thực vật địa phương. Các hình thức hỗ trợ gồm: (i) cấp bù chi phí xử lý chất thải hữu cơ; (ii) kết nối với các trạm compost liên xã; (iii) nhân rộng mô hình “1 ha đất sạch - 1 tấn phân hữu cơ”

[12], đã được triển khai hiệu quả ở nhiều tỉnh đồng bằng nhằm phục hồi sức khỏe đất bằng vật liệu tại chỗ. Theo đó, mỗi ha đất bạc màu cần bổ sung 8 - 12 tấn phân hữu cơ/năm để phục hồi. Mô hình này giúp tăng chất lượng đất và giảm áp lực rác hữu cơ ven đô.

Nhiều vùng sản xuất tại huyện Củ Chi cũ chịu tác động thủy văn bất định, đặc biệt ở khu vực ven sông Sài Gòn, rạch Trăng. Do đó, cần tích hợp nội dung cải tạo đất vào các quy hoạch nhỏ cấp khu vực: (i) vùng kiểm soát ngập úng theo mùa; (ii) hệ thống mương - đê bao - trạm bơm theo cụm sản xuất; (iii) điều tiết nước ngầm phục vụ đất bán ngập. Đồng thời, cần quy định và công bố rộng rãi ngưỡng ngập thích hợp cho từng loại cây trồng theo thời vụ.

Địa phương cần triển khai thí điểm mô hình “nông nghiệp hữu cơ sinh học vùng bán ngập” với sự tham gia của các tổ hợp tác nhỏ. Mô hình cần đồng bộ các giải pháp: Luân canh cây trồng, che phủ, phân vi sinh, cải thiện thủy lợi vì mô và quan trắc định kỳ sức khỏe đất bằng thiết bị cảm biến như đo EC, độ ẩm và pH.

Cần xây dựng bộ chỉ số sức khỏe đất đặc thù cho đất ngập nước nông nghiệp tại huyện Củ Chi cũ, bao gồm các chỉ tiêu hóa học, sinh học và ngập úng (Fe^{2+} , gley, pH...). Việc lựa chọn chỉ tiêu “cốt lõi” nên dựa trên các tiêu chí rõ ràng: (i) đại diện nhóm tính chất đất; (ii) độ nhạy với suy thoái; (iii) khả thi trong đo đạc hiện trường. Các chỉ tiêu như: pH, OC, EC, mật độ vi sinh vật, enzyme dehydrogenase được khuyến nghị [5, 11]. Cần thiết lập trạm quan trắc mẫu tại các cụm đất trũng, kết hợp cảm biến và dữ liệu viễn thám để cập nhật vào hệ thống nông nghiệp đô thị, hỗ trợ cấp chứng nhận “đất sạch - đất khỏe”.

Trong xu thế chuyển đổi từ sản xuất truyền thống sang nông nghiệp đô thị, đặc biệt tại các vùng ven đô như huyện Củ Chi cũ, cần định hướng các mô hình sử dụng đất phù hợp với điều kiện bán ngập, rải vụ và khép kín sinh học. Các giải pháp khuyến nghị bao gồm: (i) đẩy mạnh sử dụng phân vi sinh bản địa, (ii) che phủ đất bằng rơm rạ, mùn gỗ hoặc vỏ cà phê nhằm duy trì ẩm độ và hệ vi sinh đất, (iii) điều chỉnh chế độ tưới tiêu bán tự động để kiểm soát pH và EC và (iv) ưu tiên luân canh các loại rau màu, cây ăn trái

ngăn ngày có khả năng chịu ngập. Những hướng tiếp cận này sẽ góp phần phục hồi chất lượng đất, hạn chế suy thoái vi sinh vật, đồng thời đảm bảo tính thích nghi sinh thái trong môi trường đô thị hóa nhanh.

4. KẾT LUẬN

Có sự phân hóa rõ rệt giữa ba mô hình sử dụng đất: Đất trồng lúa, đất trồng rau màu và đất trồng cây ăn trái, phản ánh đặc điểm ngập nước và phương thức canh tác khác nhau. Phân tích thành phần chính đã xác định hai nhóm yếu tố chính: Thành phần thứ nhất phản ánh các yếu tố hóa học như độ pH, hàm lượng chất hữu cơ, độ dẫn điện, hàm lượng nitơ tổng số và sắt hòa tan (Fe^{2+}); thành phần thứ hai đại diện cho hoạt tính sinh học của đất, bao gồm: Mật độ vi sinh vật, mật độ giun đất, hoạt tính enzyme dehydrogenase và chỉ số trao đổi cation. Kết quả cho thấy, đất trồng rau màu có dấu hiệu tích muối và suy giảm sinh học, trong khi đất trồng cây ăn trái (mãng cầu xiêm, chuối, mít...) phục hồi tốt hơn nhờ sử dụng phân hữu cơ và che phủ. So sánh với các mô hình đất khỏe ở ĐBSCL, hệ canh tác tại huyện Củ Chi cũ còn thiếu đa dạng sinh học và giải pháp sinh thái. Việc kết hợp thực nghiệm và phân tích thống kê giúp phân loại sức khỏe đất và đề xuất hướng phục hồi phù hợp với điều kiện đất ngập nước ven đô trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013). *Guidelines for the Sustainable Management of Wetlands*. Rome, Italy.
- [2]. Viện Thổ nhưỡng Nông hóa (1998). *Sổ tay phân tích đất*. Nxb Nông nghiệp Hà Nội.
- [3]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Soil and landscape guidelines for Vietnam*. Rome: FAO.
- [4]. Edwards, C. A. & Bohlen, P. J (1996). *Biology and Ecology of Earthworms* (3rd ed.). Springer.
- [5]. Fageria, N. K. Baligar, V. C. & Jones, C. A (2011). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops* (3rd ed.). CRC Press.
- [6]. Tabatabai, M. A. & Bremner, J. M (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay

of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1(4), 301 - 307.

[7]. Munsell Color Company (2000). *Munsell soil color charts*. Grand rapids, MI: GretagMachbeth.

[8]. Nguyễn Phương (2022). Đánh giá sức khỏe đất vùng trồng lúa Đồng Tháp dựa trên chỉ số vi sinh vật và enzyme. *Tạp chí Khoa học Đất*, (56), 47 - 54.

[9]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report*. Rome, Italy.

[10]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). *Báo cáo thực trạng suy thoái đất tại Việt Nam giai đoạn 2020-2021*.

[11]. Casida, L. E. Klein, D. A. & Santoro, T (1964). Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 98(6), 371 - 376.

[12]. Trung tâm Khuyến nông Quốc gia (2025). *Tài liệu tập huấn: Sử dụng công cụ theo dõi hoạt động sản xuất lúa và tính toán phát thải khí nhà kính FarMoRe*. Thuộc Đề án “Nâng cao sức khỏe đất và quản lý dinh dưỡng cây trồng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050”.

ASSESSMENT OF WETLAND SOIL HEALTH IN AGRICULTURAL PRODUCTION IN CU CHI AREA, HO CHI MINH CITY

Nguyen Thi Oanh^{1,2} Phan Lieu³, Truong Vinh Hai⁴, Tran Minh Tien⁵

¹*Postgraduate student, Vietnam Academy of Agricultural Sciences*

²*University of Social Sciences and Humanities,
Vietnam National University Ho Chi Minh City*

³*Vietnam Soil Science Society*

⁴*Institute of Agricultural Science For Southern Vietnam*

⁵*Vietnam Academy of Agricultural Sciences*

Abstract

This study aims to assess soil health in seasonally flooded lowland areas of the former Cu Chi area, Ho Chi Minh City, a representative peri-urban agricultural region increasingly affected by urbanization and climate change. Three typical land-use systems were investigated, including rice cultivation, vegetable farming and fruit orchards, all located on low-lying terrains with seasonal inundation. Topsoil samples (0 - 20 cm) were analyzed for physical, chemical and biological indicators such as pH, organic carbon (OC), electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), dissolved ferrous iron (Fe²⁺), microbial density, earthworm abundance and dehydrogenase activity. Results showed that rice fields had the highest OC content (2.3%) but were characterized by low pH and anaerobic conditions. Vegetable plots exhibited signs of biological degradation, while orchard soils showed greater biological stability, with higher enzyme activity and earthworm populations. Principal Component Analysis (PCA) was applied to integrate multiple indicators, with the first two components explaining 81.8% of the total variance. The study contributes a novel approach by applying PCA to peri-urban wetland soils, providing a scientific basis for recommending soil restoration strategies emphasizing organic and biological inputs, as well as establishing a long-term soil health monitoring framework.

Keywords: *Cu Chi, wetlands, principal components, soil health, suburban areas.*

Ngày nhận bài: 01/8/2025

Ngày chuyển phản biện: 18/8/2025

Ngày thông qua phản biện: 22/9/2025

Ngày duyệt đăng: 13/4/2026