

XÂY DỰNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG ĐẤT RỪNG TRỒNG BẠCH ĐÀN URÔ (*Eucalyptus urophylla*) Ở CÁC TỈNH MIỀN TRUNG

Đặng Thịnh Triều, Phan Minh Quang, Vũ Tiến Lâm, Dương Quang Trung,
 Đào Trung Đức, Nguyễn Thị Thùy Dương, Mai Thị Linh, Võ Đại Nguyên

Viện Nghiên cứu Lâm sinh

TÓM TẮT

Chỉ số chất lượng đất rừng trồng sản xuất Bạch đàn urô (*Eucalyptus urophylla*) tại các tỉnh miền Trung được xây dựng từ 10 chỉ tiêu đất gồm dung trọng, cát, limon, sét, pH (KCl), carbon hữu cơ, đạm tổng số, lân và kali dễ tiêu, và dung tích hấp thu. Kết quả cho thấy, một số chỉ tiêu có quan hệ chặt chẽ với nhau. Thông qua việc xây dựng tương quan Pearson giữa các chỉ tiêu và phân tích thành phần chính, 3 chỉ tiêu là cát, carbon hữu cơ và kali dễ tiêu được chọn làm bộ dữ liệu tối thiểu cho việc xây dựng chỉ số chất lượng đất. Chỉ số chất lượng đất được xây dựng cho thấy, đất rừng trồng Bạch đàn urô trong khu vực nghiên cứu thuộc loại trung bình (0,44). Kết quả này là cơ sở để đánh giá nhanh chất lượng đất rừng bạch đàn, phục vụ sản xuất hoặc giám sát đất lâu dài.

Từ khóa: Bạch đàn urô, các tỉnh miền Trung, chỉ số chất lượng đất.

SOIL QUALITY INDEX FOR *Eucalyptus urophylla* PLANTATIONS VIETNAM'S CENTRAL PROVINCES

Dang Thinh Trieu, Phan Minh Quang, Vu Tien Lam, Duong Quang Trung,
 Dao Trung Duc, Nguyen Thi Thuy Duong, Mai Thi Linh, Vo Dai Nguyen

Silviculture Research Institute

ABSTRACT

The Soil Quality Index (SQI) for *Eucalyptus urophylla* plantations in the central provinces of Vietnam was developed based on ten soil indicators including bulk density, sand, silt, clay, pH (KCl), organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium and cation exchange capacity. The results revealed significant correlations among several of these indicators. Using Pearson correlation analysis and principal component analysis (PCA), three key indicators including sand, organic carbon and available potassium were selected as the minimum data set (MDS) for SQI construction. The resulting index indicated that the soils in *Eucalyptus* plantations in the study area were of moderate quality (0.44). This SQI can serve as a practical tool for rapid soil quality assessment in *Eucalyptus* plantations and for long-term soil monitoring programs.

Keywords: Central Vietnam, *Eucalyptus urophylla*, soil quality index (SQI).

Bảng 1. Một số đặc điểm lập địa của các lâm phần Bạch đàn urô trong vùng nghiên cứu

Địa điểm	Lượng mưa trung bình (mm/năm)	Nhiệt độ trung bình năm (°C)	Độ dốc (độ)	Độ cao (m)	Đá mẹ	Loại đất	Độ che phủ thực bì (%)
Diễn Châu, Nghệ An	1.420	23,4	10 - 20	20 - 51	Phiến thạch sét	Nhóm đất đỏ vàng	10 - 90
Quảng Trạch, Quảng Bình	2.079	24,5	5 - 35	26 - 79	Đá cát, phiến thạch sét	Nhóm đất đỏ vàng	6 - 60
Vân Canh, Bình Định	1.422	26,1	15 - 30	70 - 143	Đá cát, phiến thạch sét	Nhóm đất đỏ vàng	70 - 90
Hàm Thuận Nam, Bình Thuận	1.552	26,7	5 - 10	10 - 48	Phiến thạch sét, đá cát, đá Magma	Nhóm đất đỏ vàng và xám	20 - 80

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Tại các khu vực trồng Bạch đàn urô thuộc các địa điểm nêu trên, chọn các lâm phần đại diện cho các tuổi hiện có, lập ô tiêu chuẩn hình tròn 500 m², dùng khoan lấy đất ở 5 điểm khác nhau (1 điểm ở giữa và 4 điểm trên trục Đông - Tây; Nam - Bắc, cách điểm giữa 5,5 m. Đất lấy ở tầng 0 - 20 cm. Mẫu đất tại 5 vị trí trên được trộn với nhau theo tầng để thành 1 mẫu phân tích đất cho mỗi điểm nghiên cứu. Dùng ống dung trọng có thể tích 98,17 cm³, lấy mẫu tại điểm giữa của ô tiêu chuẩn. Tổng số ô tiêu chuẩn là 80, tương đương với 80 mẫu đất được dùng để phân tích. Mẫu đất được lấy và phân tích trong 2 năm 2024 và 2025. Một số chỉ tiêu về lý, hóa tính của đất được phân tích bằng các phương pháp như sau:

TT	Chỉ tiêu phân tích	Phương pháp phân tích
1	Dung trọng	TCVN 6860:2011
2	Cát	TCVN 8567:2010
3	Limon	TCVN 8567:2010
4	Sét	TCVN 8567:2010
5	pH _{KCl}	TCVN 5979:2007
6	Carbon hữu cơ	TCVN 8941:2011
7	Đạm tổng số	TCVN 6498:1999
8	Lân dễ tiêu	TCVN 8942:2011
9	Kali dễ tiêu	TCVN 8662:2011
10	Dung tích hấp thu (CEC)	TCVN 8568:2010

2.3. Phương pháp xây dựng chỉ số chất lượng đất

Chỉ số chất lượng đất được xây dựng theo bốn bước chính, cụ thể như sau:

Bước 1: Phân tích tương quan giữa các chỉ tiêu

Phân tích tương quan Pearson (Andrews *et al.*, 2002) được áp dụng để xác định mối quan hệ giữa các chỉ tiêu đất. Các cặp chỉ tiêu có tương quan chặt ($|r| > 0,5$), thì sẽ giữ lại một chỉ tiêu đại diện để giảm trùng lặp và đảm bảo tính độc lập giữa các biến đầu vào (Askari & Holden, 2014).

Bước 2: Phân tích thành phần chính

Bước này nhằm lựa chọn bộ dữ liệu tối thiểu (minimum data set - MDS) từ 10 chỉ tiêu tham gia vào phân tích và xây dựng trọng số trong MDS. Phương pháp phân tích thành phần chính được áp dụng để xác định các chỉ tiêu chính dùng cho xây dựng chỉ số chất lượng đất. Các chỉ tiêu có giá trị riêng ≥ 1 được chọn để làm cơ sở xác định bộ MDS (Andrews *et al.*, 2002). Sau khi các chỉ tiêu trong MDS được xác định, trọng số của từng chỉ tiêu đó được tính bằng tỷ lệ giữa phương sai nhân tố chung của chỉ tiêu đó và tổng phương sai nhân tố chung của tất cả các chỉ tiêu trong bộ MDS.

Bước 3: Chuẩn hóa dữ liệu

Sau khi xác định được bộ MDS cho chỉ số chất lượng, các chỉ tiêu trong bộ MDS được chuẩn

hóa bằng cách sử dụng các phương pháp cho điểm tuyến tính và phi tuyến (Andrews *et al.*, 2002; Askari & Holden, 2014). Cụ thể, có những chỉ tiêu mà hàm lượng trong đất càng cao, càng tốt cho cây trồng (ví dụ carbon hữu cơ), có những chỉ tiêu mà hàm lượng trong đất càng thấp càng tốt (ví dụ dung trọng của đất), và có những chỉ tiêu mà ở ngưỡng thích hợp là tốt nhất (ví dụ pH). Áp dụng nguyên tắc đó, các chỉ tiêu được cho điểm tuyến tính tăng nếu “càng cao càng tốt”, cho điểm tuyến tính giảm cho các chỉ tiêu “càng thấp càng tốt” và cho điểm phi tuyến tính trong trường hợp giá trị của chỉ tiêu ở ngưỡng “thích hợp là tốt” theo các phương trình (Yua *et al.*, 2018), cụ thể như sau:

Hàm tuyến tính tăng:

$$SSL = X/X_{max} \tag{1}$$

Hàm tuyến tính giảm:

$$SL = X_{min}/X \tag{2}$$

Hàm phi tuyến tính:

$$SNL = a/(1+X/X_m)^b \tag{3}$$

Trong đó:

- SL là điểm số tuyến tính của chỉ tiêu đất;
- SNL là điểm số phi tuyến của chỉ tiêu đất;
- X là giá trị của chỉ tiêu đất phân tích được;

X_{max}, X_{min} và X_m lần lượt là giá trị lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình của các chỉ tiêu trong 80 mẫu đất phân tích;

a là giá trị điểm số tối đa mà hàm có thể đạt được (trong nghiên cứu này được mặc định bằng 1);

b là độ dốc của phương trình, mặc định là - 2,5 đối với trường hợp “nhiều là tốt” và 2,5 đối với trường hợp “ít là tốt”.

Bước 4: Tổng hợp chỉ số chất lượng đất (SQI)

Sau khi chuẩn hóa dữ liệu, chỉ số SQI tổng hợp được tính theo công thức sau:

$$SQI = \sum_1^n (W_i \times S_i)$$

- Trong đó: SQI là chỉ số chất lượng đất;
W_i là trọng số của chỉ tiêu i;
S_i là giá trị của chỉ tiêu i, được tính sau khi chuẩn hóa dữ liệu;
n là số lượng chỉ tiêu trong bộ MDS.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm lý hóa tính của đất trong vùng nghiên cứu

Kết quả phân tích đất được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Một số đặc điểm lý, hóa tính của đất trong khu vực nghiên cứu (số mẫu n = 80)

Giá trị của các chỉ tiêu	Dung trọng (g/cm ³)	Cát (%)	Limon (%)	Sét (%)	pH (KCl)	Carbon hữu cơ (%)	Đạm tổng số (%)	Lân dễ tiêu (mg/100 g)	Kali dễ tiêu (mg/100 g)	CEC (LDL/100 g)
Trung bình	1,23	58,87	22,30	18,83	4,04	1,45	0,09	0,96	8,49	5,82
Max	1,46	91,36	44,54	45,82	5,30	2,51	0,18	2,18	28,75	10,83
Min	0,91	25,98	5,64	3,00	3,65	0,46	0,04	0,14	0,86	1,39

Bảng 2 cho thấy, các chỉ tiêu lý, hóa tính của đất dưới tán rừng Bạch đàn urô có mức biến động tương đối lớn. Theo khung đánh giá của FAO (2006) và Bộ NN&PTNT (2006): dung trọng biến động từ thấp đến cao; thành phần cơ giới từ nhẹ đến nặng; pH từ chua nhẹ đến rất chua; carbon hữu cơ từ trung bình đến cao; đạm tổng số từ nghèo đến trung bình; lân dễ tiêu ở mức

nghèo; kali dễ tiêu từ nghèo đến giàu; và CEC từ thấp đến trung bình.

3.2. Tương quan giữa các chỉ tiêu

Kết quả xây dựng tương quan Pearson giữa 10 chỉ tiêu đất được trình bày trong bảng 3. Kết quả cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa một số chỉ tiêu trong đất, cụ thể: Cát có tương quan chặt chẽ

với limon ($r = -0,835$, $p < 0,01$) và sét ($r = -0,805$, $p < 0,01$); Carbon hữu cơ tương quan chặt với đạm tổng số ($r = 0,644$, $p < 0,01$) và lân dễ tiêu ($r = 0,598$, $p < 0,01$); CEC có tương quan với cát ($r = -0,537$, $p < 0,01$) và kali dễ tiêu ($r = -0,537$, $p < 0,01$). Các chỉ tiêu còn lại có tương quan ở mức có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) nhưng hệ số tương quan Pearson $|r| < 0,5$, cho thấy mối liên hệ không chặt chẽ (bảng 3).

Bảng 3. Ma trận tương quan giữa các chỉ tiêu đất

Chỉ tiêu	Dung trọng	Cát	Limon	Sét	pH	Carbon hữu cơ	Đạm tổng số	Lân dễ tiêu	Kali dễ tiêu	CEC
Dung trọng	1									
Cát	0,293**	1								
Limon	-0,320**	-0,835**	1							
Sét	-0,154	-0,805**	0,345**	1						
pH	0,060	0,167	-0,043	-0,238*	1					
Carbon hữu cơ	-0,169	-0,175	0,177	0,107	-0,142	1				
Đạm tổng số	-0,021	-0,131	0,040	0,179	-0,033	0,644**	1			
Lân dễ tiêu	-0,049	-0,143	0,076	0,163	-0,225*	0,598**	0,270*	1		
Kali dễ tiêu	-0,279*	-0,279*	0,253*	0,204	0,184	0,082	0,031	0,070	1	
CEC	-0,307**	-0,537**	0,405**	0,480**	-0,015	0,196	0,065	0,244*	0,537**	1

Ghi chú: * tương quan mức $P < 0,05$; ** tương quan mức $P < 0,01$.

3.3. Phân tích thành phần chính

Kết quả phân tích thành phần chính cho thấy, với 10 chỉ tiêu đất đưa vào phân tích, có 3 thành phần chính được gom lại thành nhóm (bảng 4), cụ thể:

- Thành phần chính thứ nhất gồm 4 chỉ tiêu: cát, sét, limon và CEC.
- Thành phần chính thứ hai có 3 chỉ tiêu: Carbon hữu cơ, đạm tổng số và lân dễ tiêu.
- Thành phần chính thứ ba có 2 chỉ tiêu: Kali dễ tiêu và pH.

Bảng 4. Kết quả phân tích thành phần chính

Chỉ tiêu	Thành phần chính		
	1	2	3
Cát	-0,960		
Sét	0,813		
Limon	0,764		
CEC	0,628		
Carbon hữu cơ		0,918	
Đạm tổng số		0,773	
Lân dễ tiêu		0,743	
Kali dễ tiêu			0,763
pH			0,679
Giá trị riêng	3,35	1,86	1,27
Phương sai	33,47	18,55	12,74
Lũy kế phương sai	33,47	52,03	64,77

Kết hợp với kết quả từ bảng 3, chỉ tiêu cát trong thành phần chính thứ nhất được chọn làm chỉ tiêu đại diện; Carbon hữu cơ trong thành phần chính thứ hai và Kali dễ tiêu trong thành phần chính thứ 3 được chọn làm bộ dữ liệu tối thiểu trong việc tính chỉ số chất lượng đất.

3.4. Chuẩn hóa dữ liệu

Kết quả chuẩn hóa bằng cách cho điểm tuyến tính và phi tuyến tính của các chỉ tiêu cát, carbon hữu cơ và kali dễ tiêu trong bộ dữ liệu thoối thiểu được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả chuẩn hóa dữ liệu của các chỉ tiêu trong bộ dữ liệu tối thiểu

Chỉ tiêu	Đồ thị điểm số	Tương quan tuyến tính		Tương quan phi tuyến tính		Điểm tuyến tính trung bình	Trọng số
		Giá trị lớn nhất	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị trung bình	Độ dốc		
Cát	Ngưỡng thích hợp			58,87	-2,5	0,49	0,52
Carbon hữu cơ	Càng nhiều càng tốt	2,51	0,46			0,48	0,28
Kali dễ tiêu	Càng nhiều càng tốt	0,86	28,75			0,27	0,20

Qua đó, trọng số của các chỉ tiêu trong bộ dữ liệu tối thiểu gồm: Cát = 0,52; carbon hữu cơ = 0,28 và kali dễ tiêu = 0,20.

3.5. Chỉ số chất lượng đất rừng Bạch đàn urô

Kết quả chuẩn hóa dữ liệu cho thấy, chỉ số chất lượng đất của các mẫu đất dao động từ 0,19 đến 0,68. Khi áp dụng trọng số để tính, giá trị trung bình của chỉ số chất lượng đất của 80 mẫu đất là 0,44 (4).

$$SQI = (0,49*0,52) + (0,48*0,28) + (0,27*0,20) = 0,44 \tag{4}$$

Theo Li và đồng tác giả (2018), chỉ số chất lượng đất được phân thành năm mức: SQI > 0,60 tương ứng với đất có chất lượng rất cao; từ 0,55 - 0,60 là chất lượng cao; 0,45 - 0,54 là trung bình; 0,38 - 0,44 là thấp; và SQI < 0,38 là rất thấp. Thang phân loại này cũng được nhiều tác giả khác sử dụng, như Pawlase và đồng tác giả (2019); Djuehala và đồng tác giả (2025) trong phân loại SQI. Áp dụng phân loại này, đất rừng trồng sản xuất Bạch đàn urô tại các tỉnh miền Trung Việt Nam được xếp vào nhóm có chất lượng trung bình.

Kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ số chất lượng đất trung bình của rừng Bạch đàn urô tại Việt

Nam (0,44) thấp hơn so với giá trị được ghi nhận tại Trung Quốc, dao động từ 0,60 đến 0,66 (Peng *et al.*, 2025). Tuy nhiên, biên độ dao động của chỉ số trong nghiên cứu này lại rộng hơn, từ 0,19 đến 0,68. Điều này là hoàn toàn hợp lý, bởi các chỉ tiêu đất trong nghiên cứu có mức biến động tương đối lớn, đồng thời các ô tiêu chuẩn được thiết lập trên nhiều dạng lập địa khác nhau trải dài tại các tỉnh miền Trung, góp phần làm gia tăng sự biến động của chỉ số chất lượng đất.

Phân tích thành phần chính (PCA) là phương pháp được sử dụng phổ biến trên thế giới trong việc xây dựng chỉ số chất lượng đất (SQI). Tại Ohio (Mỹ), Mukherjee & Lal (2014) đã áp dụng PCA trên 13 chỉ tiêu đất và lựa chọn 4 chỉ tiêu vào bộ dữ liệu tối thiểu (MDS), bao gồm: hàm lượng carbon hữu cơ (SOC), khả năng giữ nước hữu hiệu (AWC), tỷ lệ hạt kết bền trong nước (WSA) và độ pH. Tương tự, Rivera và đồng tác giả (2020) đã sử dụng 20 chỉ tiêu để phân tích PCA và chọn ra 4 chỉ tiêu đại diện cho SQI tại vùng đất thấp miền Trung Mexico, gồm: khả năng giữ nước (WHC), tỷ lệ limon (SLT), hàm lượng nitrat (N-NO₃⁻) và chỉ số hô hấp vi sinh

vật (qCO₂). Trong nghiên cứu của Peng và đồng tác giả (2025), ảnh hưởng của bón phân dài hạn đến chất lượng đất trong rừng Keo lá tràm (*Acacia auriculiformis*) và Bạch đàn uô (*Eucalyptus urophylla*) tại Trung Quốc được đánh giá thông qua 18 chỉ tiêu đất, từ đó xác định 8 chỉ tiêu được đưa vào MDS: tỷ lệ limon, tỷ lệ sét, độ ẩm đất, hàm lượng carbon hữu cơ, nitơ vô cơ, lân tổng số, sinh khối vi sinh vật carbon và hoạt độ enzyme phosphodiesterase (PDE). Ngoài ra, nhiều nghiên cứu khác như của Kooch và đồng tác giả (2015), Yua và đồng tác giả (2018), Pawlas và đồng tác giả (2019), Jiang và đồng tác giả (2020), Sanz và đồng tác giả (2022) và Andrews và đồng tác giả (2022) cũng đã áp dụng PCA trong xây dựng SQI. Nhìn chung, các nghiên cứu cho thấy số lượng và loại chỉ tiêu được lựa chọn trong MDS có sự khác biệt tùy thuộc vào đặc điểm đất đai, điều kiện sử dụng và mục tiêu đánh giá của từng khu vực nghiên cứu.

IV. KẾT LUẬN

Chỉ số chất lượng đất rừng sản xuất Bạch đàn uô tại các tỉnh miền Trung được xây dựng áp dụng phương pháp phân tích thành phần chính. Từ 10 chỉ tiêu đất được đưa vào tính toán, có ba chỉ tiêu đại diện gồm cát (%), carbon hữu cơ (%) và kali dễ tiêu, với trọng số được xác định thông qua phân tích thành phần chính. Kết quả cho thấy, giá trị trung bình của chỉ số chất lượng đất đạt 0,44, tương ứng với mức chất lượng đất trung bình. Chỉ số này là cơ sở khoa học tin cậy để đánh giá nhanh chất lượng đất rừng Bạch đàn uô ở các tỉnh miền Trung, phục vụ sản xuất và giám sát đất dài hạn.

Lời cảm ơn: Bài viết này là một phần kết quả thuộc đề tài: “Nghiên cứu xác định nguyên nhân, mức độ suy thoái đất rừng trồng sản xuất tại miền Trung Việt Nam và đề xuất các giải pháp kỹ thuật quản lý, phục hồi độ phì nhiêu của đất” được thực hiện trong giai đoạn từ 1/2023 đến 12/2025.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Andrews, S.S., Karlen, D.L., & Cambardella, C.A., 2002. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 1177-1183.
2. Asensio V., Guala S.D., Vega F.L., and Covelo E.F., 2013. A soil quality index for reclaimed mine soils. *Environ. Toxicol. Chem.*, 32, 2240-2248. DOI: 10.1002/etc.2315.
3. Askari, M.S., Holden, N.M., 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma* 230-231, 131-142.
4. Bastida F., Zsolnay A., Hernández T., and García C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*, 147, 159-171.
5. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2006. Cẩm nang ngành lâm nghiệp. Chương đất và dinh dưỡng đất.
6. Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Flesskens L., Geissens V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J.W., and Brussaard L., 2018. Soil quality - A critical review. *Soil Biol. Biochem.*, 120, 105-125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
7. Djuehala, D. I. V., Viviane, M., Nguemezi, C., Tematio, P., & Voulemo, D., 2025. Soil quality index under different land uses in the Guinean high savannas of the Faro and Deo subdivision (Adamawa, Cameroon). *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 1739530. DOI:10.1155/aess/1739530
8. Doran, J.W., & Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 35, 3 - 21.
9. FAO, 2006. Guidelines for soil description. Fourth edition. Food and Agriculture Organization of the United. Rome.
10. Jiang, M., Xu, L., Chen, X., Zhu, H., & Fan, H., 2020. Soil quality assessment based on a minimum data set: A case study of a county in the typical river delta wetlands. *Sustainability*, 12(21), 8863. DOI: 10.3390/su12218863.

11. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., and Schuman, G.E., 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10 (1997).
12. Kooch, Y., Rostayee, F., & Hosseini, S. M., 2015. Soil quality indices in pure and mixed forest stands of southern Caspian region. *ECOPERSIA*, 3(2), 987 - 1001.
13. Li X., Li H., Yang L., and Ren Y., 2018. Assessment of soil quality of croplands in the corn belt of Northwest China. *Sustainability*, 10, 248, DOI: 10.3390/su10010248.
14. Mukherjee A, Lal R., 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. *PLoS ONE* 9(8): e105981. DOI: 10.1371/journal.pone.0105981.
15. Pawlas Agnieszka Klimkowicz, Aleksandra Ukalska-Jaruga, and Bożena Smreczak, 2019. Soil quality index for agricultural areas under different levels of anthropopressure. *Int. Agrophys.*, 33, 455-462. DOI: 10.31545/intagr/113349.
16. Peng, J., Mao, Q., Wang, S., Mao, S., Zhang, B., Zheng, M., Huang, J., Mo, J., Tan, X., & Zhang, W., 2025. Soil quality assessment for sustainable management: A minimum dataset for long-term fertilization in subtropical plantations in South China [Preprint]. *Preprints.org*. DOI: 10.20944/preprints202507.0358.v1.
17. Richiedei Anna, Marialaura Giuliani and Michèle Pezzagno, 2024. Unveiling the Soil beyond Definitions: A Holistic Framework for Sub-Regional Soil Quality Assessment and Spatial Planning. *Sustainability*, 16(14), 6075; DOI: 10.3390/su16146075.
18. Rivera Bedolla, H. I., Negrete-Rodríguez, M. d. L. X., Medina-Herrera, M. d. R. M., Gámez-Vázquez, F. P., Álvarez-Bernal, D., Samaniego-Hernández, M., Gámez-Vázquez, A. J., & Conde-Barajas, E., 2020. Development of a soil quality index for soils under different agricultural management conditions in the central lowlands of Mexico: Physicochemical, biological and ecophysiological indicators. *Sustainability*, 12(22), 9754. DOI: 10.3390/su12229754.
19. Sanz Martín-, J. P., de Santiago-Martín, A., Valverde-Asenjo, I., Quintana-Nieto, J. R., González-Huecas, C., & López-Lafuente, A. L., 2022. Comparison of soil quality indexes calculated by network and principal component analysis for carbonated soils under different uses. *Ecological Indicators*, 143, 109374. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109374
20. Vasu D., Singh S.K., Ray S.K., Duraisami V.P., Tiwary P., Chandran P., Nimkar A.M., and Anantwar S.G., 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70 - 79. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.07.010.
21. Yua Pujia, Shiwei Liua, Liang Zhang, Qiang Lia, Daowei Zhoua, 2018. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in NorthEastern China. *Science of the Total Environment*, 616 - 617, 564 - 571.

Email tác giả liên hệ: thinhtrieu@hotmail.com

Ngày nhận bài: 26/06/2025

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 13/07/2025; 24/07/2025

Ngày duyệt đăng: 30/07/2025