

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ĐẤT RỪNG TRỒNG THÔNG NHỰA (*PINUS MERKUSII*) Ở VÙNG BẮC TRUNG BỘ

ĐẶNG THỊNH TRIỀU¹, TRẦN LÂM ĐỒNG², PHAN MINH QUANG¹, NGUYỄN THỊ THÙY DƯƠNG¹, MAI THỊ LINH¹

¹ Viện Nghiên cứu Lâm sinh

² Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam

Tóm tắt

Chất lượng đất dưới tán rừng trồng Thông nhựa (*Pinus merkusii*) tại các tỉnh vùng Bắc Trung bộ được đánh giá thông qua chỉ số chất lượng đất (SQI). SQI được xây dựng từ các chỉ tiêu vật lý, hóa học và sinh học đất, gồm dung trọng, thành phần cấp hạt, pH_{KCP} , các-bon hữu cơ (OC), đạm tổng số (Nts), P_2O_5 và K_2O dễ tiêu, dung tích trao đổi cation (CEC) và sinh khối các-bon vi sinh vật. Phân tích tương quan Pearson và phân tích thành phần chính (PCA) được sử dụng để đánh giá mối liên hệ giữa các chỉ tiêu và lựa chọn bộ chỉ tiêu tối thiểu. Kết quả cho thấy ba chỉ tiêu đại diện gồm cát, OC và pH_{KCl} (tương ứng với ba thành phần chính) được chọn để xây dựng SQI. Giá trị SQI của các lâm phần dao động 0,41 - 0,86, với giá trị trung bình 0,53, cho thấy đất dưới rừng trồng Thông nhựa ở vùng Bắc Trung bộ nhìn chung đạt mức chất lượng cao. Kết quả này có thể được áp dụng để hỗ trợ đánh giá nhanh và theo dõi biến động chất lượng đất rừng trồng theo thời gian, đồng thời cung cấp cơ sở để đề xuất các biện pháp quản lý đất bền vững.

Từ khóa: Chỉ số chất lượng đất, phân tích thành phần chính, rừng trồng, Bắc Trung bộ, Thông nhựa.

Ngày nhận bài: 25/12/2025; Ngày sửa chữa: 5/1/2026; Ngày duyệt đăng: 19/1/2026.

Assessing quality of soil under the canopy of planted *Pinus merkusii* forests in the North central region of Vietnam

Abstract

Soil quality under *Pinus merkusii* plantation canopies in North Central Vietnam was assessed using a Soil Quality Index (SQI). The SQI was developed from a suite of soil physical, chemical, and biological indicators, including bulk density, particle-size distribution, pH_{KCP} , soil organic carbon (SOC), total nitrogen (N), available P_2O_5 and K_2O , cation exchange capacity (CEC), and microbial biomass carbon. Pearson correlation analysis and principal component analysis (PCA) were applied to examine relationships among indicators and to select a minimum data set (MDS). The results indicated that three representative indicators—sand content, SOC, and pH_{KCl} corresponding to three principal components were selected to construct the SQI. SQI values across the sampled stands ranged from 0.41 to 0.86, with a mean of 0.53, suggesting that soils under *P. merkusii* plantations in North Central Vietnam generally exhibit high soil quality. These findings can support rapid assessment and long-term monitoring of soil quality dynamics in plantation forests and provide a scientific basis for proposing sustainable soil management practices.

Keywords: North Central Vietnam, principal component analysis (PCA), *Pinus merkusii*, plantation forest, soil quality index (SQI).

JEL Classifications: Q23, Q25, Q56, Q57.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vùng đồi núi các tỉnh miền Trung có địa hình chia cắt mạnh, độ dốc cao; cùng với mưa lớn theo mùa và bão lũ thường xuyên, nhiều khu vực đang đối mặt với nguy cơ suy giảm độ phì và thoái hóa đất. Nghiên cứu gần đây cho thấy thoái hóa đất và rui ro hoang mạc hóa chịu chi phối đáng kể bởi xói mòn và rửa trôi trong mùa mưa (Nguyen et al., 2023). Trong bối cảnh đó, rừng trồng thông, đặc biệt là Thông nhựa (*Pinus merkusii*), được nhìn nhận có giá trị không chỉ về kinh tế mà còn về sinh thái. Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận vai trò của rừng thông trong phục hồi đất suy thoái và

gia tăng dự trữ các-bon, qua đó góp phần giảm thiểu các tác động môi trường ở những cảnh quan dễ bị tổn thương (Imanuddin et al., 2020; Tudor et al., 2025).

Theo Lâm Công Định (1981), Thông nhựa là một trong những loài cây lâm nghiệp được đưa vào trồng sớm nhất tại Việt Nam. Nhờ những ưu điểm của nó, Thông nhựa đã được trồng rộng rãi tại Việt Nam trong các chương trình quốc gia về phục hồi và phát triển rừng, đặc biệt là Chương trình 327 (Quyết định số 327/CT về một số chủ trương, chính sách sử dụng đất trống, đồi núi trọc, rừng, bãi bồi ven biển và mặt nước) nhằm phủ xanh đất trống, đồi núi trọc, góp phần phục hồi hệ



Bảng 1. Một số đặc điểm điều kiện tự nhiên khu vực nghiên cứu

Địa điểm	Hệ tọa độ VN-2000		Độ cao (m)	Độ dốc (độ)	Lượng mưa (mm/năm)	Nhiệt độ trung bình (°C/năm)
	X	Y				
Cắm Xuyên, Hà Tĩnh	548243-561516	2008215 - 2043850	11,0 - 146,0	3,0 - 27,6	2.692 - 3.230	24,8
Lệ Thủy, Quảng Bình	577452 - 582595	1890706 - 1898303	106,0 - 448,0	2,7 - 39,0	2.036 - 2.132	24,7
Cam Lộ, Quảng Trị	583536 - 586740	1853214 - 1855718	37,0 - 92,0	4,0 - 28,3	2.251 - 2.258	25,2

sinh thái suy thoái và Dự án 661 (trồng mới 5 triệu ha rừng). Thông nhựa được coi là một trong những loài thuộc danh mục cây trồng lâm nghiệp chính ở Việt Nam (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2021).

Rừng trồng Thông nhựa tập trung nhiều tại các tỉnh miền Trung, nhiều lâm phần đạt đến tuổi trưởng thành, thậm chí một số khu rừng gần 50 năm. Những khu rừng này không chỉ đóng vai trò cung cấp nguyên liệu cho ngành công nghiệp gỗ và nhựa, mà còn góp phần quan trọng trong việc giữ đất, chống xói mòn, điều hòa vi khí hậu và bảo vệ môi trường sinh thái. Tuy nhiên, chất lượng đất dưới tán rừng trồng Thông nhựa chưa được nghiên cứu nhiều. Vì vậy, nghiên cứu nhằm đánh giá chất lượng đất dưới tán rừng trồng Thông nhựa tại các tỉnh vùng Bắc Trung bộ, nơi điều kiện lập địa biến động mạnh và nguy cơ xói mòn cao bằng chỉ số chất lượng đất. Chỉ số SQI được xây dựng dựa trên phương pháp phân tích thành phần chính (PCA), qua đó hỗ trợ nhận diện và phân hạng chất lượng đất một cách nhanh chóng (Qian et al., 2023), đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho việc đề xuất các giải pháp quản lý và sử dụng đất bền vững cho rừng trồng Thông nhựa và các hệ sinh thái rừng trồng tương tự (Andrews et al., 2002; Askari & Holden, 2014; Karlen et al., 1997).

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là Thông nhựa, có độ tuổi từ 25 - 47 năm (rừng được trồng trong giai đoạn từ 1978 - 1999). Rừng đã được tía thưa 3 lần theo quy định của Bộ Lâm nghiệp (1988).

2.2. Địa điểm và thời gian nghiên cứu

- Địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại một số khu vực trồng Thông nhựa tập trung ở vùng Bắc Trung Bộ, gồm: Huyện Cắm Xuyên (tỉnh Hà Tĩnh), huyện Lệ Thủy (tỉnh Quảng Bình) và huyện Cam Lộ (tỉnh Quảng Trị). Nghiên cứu được triển khai trước thời điểm sắp xếp, sắp nhập đơn vị hành chính, vì vậy các địa danh nêu

trên được sử dụng theo tên gọi hành chính trước ngày 1/7/2025. Một số đặc điểm điều kiện tự nhiên trong khu vực nghiên cứu như sau (Bảng 1).

- Thời gian nghiên cứu: Được thực hiện từ năm 2024 - 2025.

2.3. Phương pháp lấy mẫu và phân tích đất

Trên diện tích rừng trồng sản xuất Thông nhựa tại các địa điểm nêu trên, chọn các lâm phần đại diện, lập ô tiêu chuẩn (ÔTC) hình tròn, diện tích 500 m² (Bộ NN&PTNT, 2018; 2023). Tổng số ÔTC đã lập là 44 ô.

Trên các ÔTC đã lập, dùng khoan lấy đất ở 5 điểm khác nhau (1 điểm ở tâm ô tiêu chuẩn và 4 điểm trên trục Đông - Tây; Nam - Bắc, cách tâm ô 5,5 m. Đất được 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 mẫu đất phân tích là 44. Một số chỉ tiêu lý, hóa tính đất được phân tích, cụ thể như sau: Dung trọng của đất theo TCVN 6860:2011; thành phần cấp hạt (cát, limon/thịt, sét) theo TCVN 8567:2010; pH_{KCl} theo TCVN 5979:2007; các-bon hữu cơ (OC) theo TCVN 8941:2011; đạm tổng số (N_t) theo TCVN 6498:1999; P₂O₅ dễ tiêu theo TCVN 8942-2011; K₂O dễ tiêu theo TCVN 8662:2011; dung tích hấp thu (CEC) theo TCVN 8568:2010 và sinh khối các-bon của vi sinh vật (VSV) theo TCVN 6856-2:2001. Đây là các chỉ tiêu thường được dùng để đánh giá chất lượng đất rừng tại Việt Nam (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2006; Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2024).

2.4. 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 được áp dụng để xác định mối quan hệ giữa các chỉ tiêu đất và sàng lọc các biến có tương quan nhằm chọn biến đại diện cho bộ dữ liệu tối thiểu (Andrews et al., 2002; Yu et al., 2018).

Bước 2: Phân tích thành phần chính, chọn bộ dữ liệu tối thiểu và tính trọng số

Bước này nhằm lựa chọn bộ dữ liệu tối thiểu (minimum data set - MDS) từ 11 chỉ tiêu tham gia vào phân tích và xác định trọng số cho các chỉ tiêu được chọn. Phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) được thực hiện trên ma trận tương quan. Các thành phần chính có giá trị riêng ≥ 1 được chọn để làm cơ sở xác định biến đại diện cho MDS (Andrews et al., 2002). Trong mỗi thành phần chính, chọn biến có tải trọng cao và loại bỏ biến trùng lặp (Yu et al., 2018) dựa trên kết quả phân tích tương quan Pearson. 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 thì càng tốt cho cây trồng (ví dụ các-bon 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 sau (Yu et al., 2018).

$$\text{Hàm tuyến tính tăng: } S_L^+ = \frac{X_i}{X_{max}} \quad (1)$$

$$\text{Hàm tuyến tính giảm: } S_L^- = \frac{X_{min}}{X_i} \quad (2)$$

$$\text{Hàm phi tuyến tính: } S_{NL} = \frac{a}{(1 + (X/X_m))^b} \quad (3)$$

Trong đó:

S^+L ; S^-L ; là điểm số tuyến tính tăng; giảm của các chỉ tiêu đất.

S_{NL} là điểm số phi tuyến của chỉ tiêu đất.

X_i là giá trị phân tích được của chỉ tiêu đất.

X_{max} , X_{min} và X_m lần lượt là giá trị lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình phân tích được của chỉ số đất.

a là giá trị điểm số tối đa mà hàm có thể đạt được (trong nghiên cứu này được đặt 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:

$$SQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

Trong đó:

- SQI là chỉ số chất lượng đất.

- W_i là trọng số của chỉ tiêu i .

- S_i là giá trị điểm số của chỉ tiêu i , được tính sau khi chuẩn hóa dữ liệu.

- n là số lượng chỉ tiêu trong bộ MDS.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm đất trong vùng nghiên cứu

Một số đặc điểm lý hóa tính và sinh khối vi sinh vật đất rừng trồng Thông nhựa trong khu vực nghiên cứu được trình bày trong Bảng 2.

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy, đất dưới tán rừng Thông nhựa có dung trọng trung bình 1,17 g/cm³ (0,61–1,42 g/cm³), mức biến động trung bình (CV = 15,9%). Thành phần cơ giới nghiêng mạnh về cát với giá trị trung bình 62,26% (30,54–78,61%), trong khi limon và sét lần lượt trung bình 15,97% và 21,77%; độ biến động của limon và sét tương đối lớn (CV = 39,8% và 32,7%). Đất có tính chua rõ rệt với pH_{KCl} trung bình 3,60 (3,25–3,97), biến động pH_{KCl} tương đối nhỏ (CV = 5,4%). Hàm lượng các-bon hữu cơ và đạm tổng số ở mức trung bình (OC = 1,69%, N =

Bảng 2. Một số đặc điểm lý, hóa tính và sinh khối các-bon vi sinh vật đất

Giá trị thống kê	Dung trọng (g/cm ³)	Cát (%)	Limon (%)	Sét (%)	pH _{KCl}	Các - bon hữu cơ (%)	Nts số (%)	P ₂ O ₅ để tiêu (mg/100g)	K ₂ O để tiêu (mg/100g)	CEC (LDL /100 g)	Sinh khối các-bon VSV (µg C/g đất khô)
Min	0,61	30,54	7,01	13,11	3,25	0,84	0,08	0,15	3,72	2,00	61,25
Max	1,42	78,61	30,68	39,54	3,97	2,89	0,23	3,07	47,15	11,13	134,80
Trung bình											
SD	0,19	12,24	6,36	7,11	0,20	0,47	0,03	0,59	6,74	2,31	21,19

Ghi chú: Min, Max và SD: Giá trị nhỏ nhất, lớn nhất và độ lệch chuẩn



Bảng 3. Tương quan Pearson giữa các chỉ tiêu đất

Chỉ tiêu	Dung trọng	Cát	Limon	Sét	pH	OC	Nts	P ₂ O ₅ dt	K ₂ O dt	CEC	SK các-bon VSV
Dung trọng	1										
Cát	0,060	1									
Limon	-0,032	-0,898**	1								
Set	-0,076	-,919**	0,651**	1							
pH	-0,027	-0,150	0,248	0,036	1						
OC	-0,323*	-0,481**	0,398**	0,472**	-0,051	1					
Nts	-0,115	-0,673**	0,688**	0,544**	0,272	0,672**	1				
P ₂ O ₅ dt	-0,357*	-0,070	-0,063	0,177	-0,033	0,671**	0,359*	1			
K ₂ O dt	0,073	-,459**	0,336*	0,490**	0,080	0,580**	0,488**	0,436**	1		
CEC	-0,360*	-0,588**	0,404**	0,651**	-0,271	0,745**	0,397**	0,552**	0,544**	1	
SK C VSV	0,102	0,112	-0,062	-0,138	0,276	-0,359*	0,010	-0,298*	-0,291	-0,495**	1

0,13%) với CV khoảng 27%. Các chỉ tiêu dinh dưỡng dễ tiêu biến động khá mạnh, đặc biệt P₂O₅ dễ tiêu (0,15–3,07 mg/100 g đất ; CV = 69,3%) và K₂O dễ tiêu (3,72–47,15 mg/100 g đất; CV = 73,7%). Đối với CEC, trung bình đạt 5,47 ldl/100 g đất (dao động từ 2,00–11,13 ldl/100 g đất) với CV 42,2%. Sinh khối các-bon vi sinh vật đạt trung bình 101,76 µg C/g đất khô (61,25–134,80 µg C/g đất khô) và biến động vừa (CV = 20,8%). Nhìn chung, dinh dưỡng của đất trong khu vực nghiên cứu dao động ở mức từ nghèo đến trung bình theo thang đánh giá của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2006) và của Tổ chức Nông lương thế giới (2006).

3.2. Xây dựng chỉ số chất lượng đất

3.2.1. Tương quan giữa các chỉ tiêu

Kết quả phân tích tương quan Pearson của các chỉ tiêu đất được trình bày trong Bảng 3.

Kết quả phân tích tương quan Pearson cho thấy, tỷ lệ cát tương quan âm rất chặt với limon (r = -0,898; p < 0,01) và sét (r = -0,919; p < 0,01), đồng thời tương quan âm với OC (r = -0,481; p < 0,01), N tổng số (r = -0,673; p < 0,01), K₂O dễ tiêu (r = -0,459; p < 0,01) và CEC (r = -0,588; p < 0,01). Điều đó hoàn toàn phù hợp vì hàm lượng cát tăng thì hàm lượng limon và sét sẽ bị giảm. Bên cạnh đó, đất có nhiều cát thì dễ bị rửa trôi và khả năng giữ dinh dưỡng thấp (Bationo, et al., 2005). Limon và sét có tương quan dương với OC (r = 0,398–0,472; p < 0,01), N tổng số (r = 0,544–0,688; p < 0,01), K₂O dễ tiêu (r = 0,336–0,490; p ≤ 0,05) và CEC (r = 0,404–0,651; p < 0,01), điều đó cho thấy, khả năng cố định, tích lũy các-bon hữu cơ (OC) và nitơ (N) thường bị ảnh hưởng bởi hàm lượng limon và sét (Thabit et al., 2023).

Các-bon hữu cơ (OC) có tương quan dương mạnh với N tổng số (r = 0,672; p < 0,01), P₂O₅ dễ tiêu (r = 0,671; p < 0,01), K₂O dễ tiêu (r = 0,580; p < 0,01) và đặc biệt với CEC (r = 0,745; p < 0,01). Mối tương quan dương giữa OC với N tổng số, P₂O₅ dễ tiêu và K₂O dễ tiêu có thể được lý giải bởi vai trò của chất hữu cơ như kho dự trữ, đồng thời là nguồn cung dinh dưỡng thông qua quá trình phân giải, khoáng hóa và hoạt động của vi sinh vật đất; do đó, OC cao thường đi kèm với khả năng cung cấp và duy trì N, cũng như một phần đáng kể P và K ở dạng cây có thể sử dụng (Bot & Benites, 2005; Murphy, 2014). Bên cạnh đó, tương quan OC–CEC rất mạnh là phù hợp về mặt cơ chế vì các nhóm chức năng mang điện âm của chất hữu cơ (mùn) có thể đóng góp đáng kể vào dung tích trao đổi cation, đặc biệt trong các đất phong hóa mạnh (Soares & Alleoni, 2008).

Dung trọng có tương quan âm có ý nghĩa với OC (r = -0,323; p = 0,032), P₂O₅ dễ tiêu (r = -0,357; p = 0,017) và CEC (r = -0,360; p = 0,016), cho thấy đất “chặt” hơn thường đi kèm suy giảm hàm lượng hữu cơ và khả năng giữ-cung cấp dinh dưỡng (Kučera et al., 2025; Ramos et al., 2018).

Kết quả cũng cho thấy, pH_{KCl} không tương quan có ý nghĩa với hầu hết chỉ tiêu (p > 0,05) và chỉ có xu hướng yếu với N tổng số và SKVSV (p ≈ 0,07). Trong khi đó, SKVSV tương quan âm có ý nghĩa với OC, P₂O₅ dễ tiêu và CEE. Một số nghiên cứu cho rằng, nhiều hệ sinh thái rừng (đặc biệt rừng lá kim, đất chua) vi sinh vật phản ứng mạnh với các-bon dễ phân hủy và điều kiện vi môi trường hơn là tổng các-bon hữu cơ. Do đó, các-bon hữu cơ cao nhưng khó phân hủy vẫn có thể đi kèm sinh khối vi sinh vật thấp (Xiong et al. 2023).

Bảng 4. Kết quả phân tích thành phần chính của các chỉ tiêu đất

Thành phần	Tổng phương sai								
	Giá trị riêng ban đầu			Tổng bình phương tải số sau trích xuất			Tổng bình phương tải số sau khi xoay		
	Tổng	Tỷ lệ phương sai (%)	Lũy kế (%)	Tổng	Tỷ lệ phương sai (%)	Lũy kế (%)	Tổng	Tỷ lệ phương sai (%)	Lũy kế (%)
1	4,807	43,703	43,703	4,807	43,703	43,703	4,082	37,113	37,113
2	2,054	18,672	62,376	2,054	18,672	62,376	2,322	21,108	58,221
3	1,251	11,377	73,753	1,251	11,377	73,753	1,709	15,532	73,753
4	0,989	8,990	82,743						
5	0,659	5,991	88,734						
6	0,494	4,489	93,222						
7	0,315	2,865	96,088						
8	0,181	1,642	97,729						
9	0,163	1,484	99,213						
10	0,087	0,787	100,000						
11	7,914E-09	7,195E-08	100,000						

Kết quả “Kiểm định Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) đạt 0,64 và kiểm định Bartlett có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Điều này cho thấy ma trận tương quan phù hợp, có thể tiến hành phân tích thành phần chính (PCA)”.

3.2.2. Kết quả phân tích thành phần chính

Kết quả phân tích PCA của các chỉ tiêu đất được trình bày trong Bảng 4.

Kết quả cho thấy, theo tiêu chí Kaiser (với giá trị riêng > 1), có thể xác định được ba thành phần (PC). Sau khi xoay Varimax, PC1, PC2 và PC3 lần lượt giải thích 37,11%, 21,11% và 15,53% phương sai, với lũy kế đạt 73,75%. Do đó, ba thành phần này được sử dụng để tính chỉ số chất lượng đất (SQI). Cũng từ kết quả phân tích PCA, trọng số của PC1, PC2 và PC3 lần lượt là 0,50, 0,29 và 0,21.

Sau xoay Varimax (xét tải số $\geq 0,50$), có ba thành phần được diễn giải rõ ràng, cụ thể như sau: PC1: Cát tải âm rất mạnh (-0,977), đối nghịch với limon (0,900), sét (0,878), kèm Nts (0,748) và CEC (0,571). PC2: P₂O₅ dễ tiêu (0,876) và OC (0,710) tải dương mạnh, trong khi dung trọng tải âm (-0,670). PC3: pH (0,809) và sinh khối C vi sinh vật (0,717) cùng tải dương. Theo nguyên tắc ‘biến đại diện có tải số lớn nhất mỗi PC’, bộ tối thiểu để xây dựng SQI gồm cát (PC1), OC (PC2) và pH (PC3), chi tiết được thể hiện trong Bảng 5.

3.2.3. Chuẩn hóa dữ liệu

Kết quả trung bình sau khi cho điểm tuyến tính và phi tuyến tính của các chỉ tiêu cát, các-bon hữu cơ và pH trong bộ dữ liệu tối thiểu được trình bày trong Bảng 6.

3.2.4. Chỉ số chất lượng đất rừng Thông nhựa

Từ kết quả chuẩn hóa dữ liệu, chỉ số chất lượng đất cho rừng Thông nhựa được tính, cụ thể như sau: $SQI = (0,52 \times 0,50) + (0,58 \times 0,29) + (0,50 \times 0,21) = 0,53$

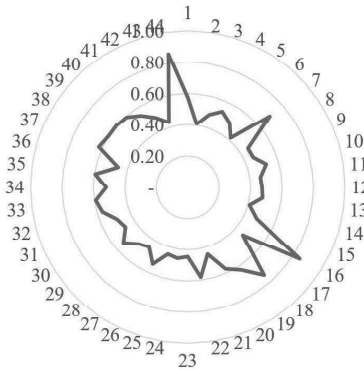
Chỉ số chất lượng đất của từng mẫu dao động từ 0,51 - 0,86 (Hình 1), với giá trị trung bình là 0,53 và sai tiêu chuẩn đạt 0,10. Theo Li et al. (2018), chỉ số chất lượng đất được phân thành 5 cấp, cụ thể SQI $> 0,6$: đất

Bảng 5. Tương quan của các chỉ tiêu trong thành phần chính

Chỉ tiêu	Thành phần		
	1	2	3
Cát	-0,977	0,002	0,011
Limon	0,900	-0,068	0,152
Sét	0,878	0,057	-0,155
Nts	0,748	0,381	0,266
CEC	0,571	0,505	-0,536
K ₂ O _{dt}	0,570	0,350	-0,216
P ₂ O ₅ dt	0,078	0,876	-0,184
OC	0,531	0,710	-0,222
Dung trọng	0,056	-0,670	-0,075
pH	0,179	0,111	0,809
SK Các-bon VSV	-0,119	-0,242	0,717

Bảng 6. 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	Càng ít càng tốt		30,54			0,52	0,50
Các-bon hữu cơ	Càng nhiều càng tốt	2,51	0,46			0,58	0,29
pH	Ngưỡng thích hợp			3,60	-2,5	0,50	0,21



Hình 1. Chỉ số chất lượng đất của các lâm phần Thông nhựa trong vùng nghiên cứu

có chất lượng rất cao; SQI = 0,55-0,60: đất có chất lượng cao; SQI = 0,45-0,54: đất có chất lượng trung bình; SQI = 0,38-0,44: đất có chất lượng thấp và SQI < 0,38: đất có chất lượng rất thấp. Áp dụng thang đánh giá này, đất rừng trồng Thông nhựa trong vùng nghiên cứu có chất lượng cao.

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy, SQI của rừng Thông nhựa cao hơn so với rừng trồng Keo lai và Bạch đàn u rô ở vùng Bắc Trung bộ (Đặng Thịnh Triều et al., 2025). Điều này có thể liên quan đến biện pháp lâm sinh và chu kỳ kinh doanh: rừng Keo/Bạch đàn thường khai thác theo chu kỳ ngắn 5–7 năm với xử lý thực bì và làm đất lặp lại, dễ làm tăng rửa trôi/xói mòn và thất thoát dinh dưỡng, từ đó suy giảm chất lượng đất sau vài luân kỳ (Evans & Turnbull, 2004; Nambiar & Harwood, 2014; Bruijnzeel, 2004). Ngược lại, đất trong các lâm phần Thông nhựa với độ tuổi từ 25–47 năm ở nghiên cứu này ít bị xáo trộn, cho phép phục hồi cấu trúc đất và tích lũy lại chất hữu cơ/dinh dưỡng theo thời gian, phù hợp với ghi nhận rằng đất rừng có thể từng bước phục hồi khi giảm cường độ can thiệp và kéo dài chu kỳ kinh doanh (Powers et al., 2005; Johnson & Curtis, 2001).

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

- Chỉ số chất lượng đất (SQI) cho rừng trồng Thông nhựa vùng Bắc Trung bộ được xây dựng từ 11 chỉ tiêu lý-hóa-sinh (bao gồm sinh khối các-bon vi sinh vật).

- Phân tích PCA chọn MDS gồm các-bon hữu cơ (OC) và pH, tương ứng ba thành phần chính.

- SQI trung bình của các lâm phần đạt 0,53 (thang 0–1).

4.2. Kiến nghị

- Cần mở rộng xây dựng chỉ số chất lượng đất rừng trồng Thông nhựa từ các chỉ tiêu lý, hóa tính và sinh vật đất khác để tăng độ tin cậy.

- Tiếp tục theo dõi và đánh giá chất lượng đất trong thời gian tới.

Lời cảm ơn: Bài báo 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”, mã số DTĐL.CN-29/23 được thực hiện từ 1/2023 đến 12/2025 ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). *The Soil Management Assessment Framework: A quantitative soil quality evaluation method with case studies*. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945–1962.
- 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*.
- Askari, M.S., Holden, N.M. (2014). *Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management*. *Geoderma* 230-231, 131–142.
- Bationo, A., Kihara, J., Waswa, B., Ouattara, B., & Vanlauwe, B. (2005). *Technologies for sustainable management of sandy Sahelian soils*. In *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture: A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics (FAO proceedings)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Bộ Lâm nghiệp, 1998. Quyết định số 148 ngày 27/2/1998. Quy trình tạm thời kỹ thuật tía thưa rừng Thông nhựa (*Pinus merkusii*) trồng thuần loài.
- Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2018). Thông tư số 30/2018/TT-BNNPTNT, ngày 16/11/2018. Thông tư quy định danh mục loài cây lâm nghiệp chính; công nhận giống và nguồn

- giống; quản lý vật liệu giống cây trồng lâm nghiệp chính.
7. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2023). Thông tư số 16/2023/TT-BNNPTN, ngày 15/12/2023, sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTN, ngày 16/11/2018 của Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn quy định điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng.
8. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2006). Cẩm nang ngành Lâm nghiệp: Chương Đất và dinh dưỡng đất. Hà Nội, Việt Nam.
9. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2024). Thông tư số 11/2024/TT-BTNMT, ngày 31/7/2024. Quy định kỹ thuật điều tra, đánh giá đất đai; kỹ thuật bảo vệ, phục hồi đất.
10. Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>.
11. Đặng Thịnh Triều (2025). Báo cáo Bộ chỉ số quan trắc và thang đánh giá chất lượng đất rừng trồng sản xuất ở các tỉnh miền Trung. Viện Nghiên cứu Lâm sinh.
12. D. C. Coleman, D. F. Bezdick, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (SSSA Special Publication 35, pp. 3–21). Soil Science Society of America.
13. Evans, J., & Turnbull, J. W. (2004). *Plantation forestry in the tropics* (3rd ed.). Oxford.
14. Imanuddin, R., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Turjaman, M., Pratiwi, Nurfatriani, F., Indrajaya, Y., & Susilowati, A. (2020). Reforestation and sustainable management of *Pinus merkusii* forest plantation in Indonesia: A review. *Forests*, 11(12), 1235. DOI: 10.3390/f11121235. MDPI+1.
15. Johnson, D. W., & Curtis, P. S. (2001). Effects of forest management on soil C and N storage: Meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 140(2–3), 227–238. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00282-6).
16. Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: Why and how? *Geoderma*, 114(3–4), 145–156. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9).
17. Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: Why and how? *Geoderma*, 114(3–4), 145–156. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9).
18. 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).
19. Kučera, A., Vavříček, D., Drápela, K., Zouhar, V., Friedl, M., & Vranová, V. (2025). Defining the relationship between bulk density and organic carbon content in forest soils using generalised linear mixed-effect models. *Carbon Balance and Management*, 20, 36.
20. Nambiar E. K. S. & Harwood C. E. (2014). Productivity of Acacia and Eucalyptus plantations in Southeast Asia. 1. Bio-physical determinants of production: opportunities and challenges. *International Forestry Review* 16(2).
21. Powers, R. F., Scott, D. A., Sanchez, F. G., Voldseth, R. A., Page-Dumroese, D., Elioff, J. D., & Stone, D. M. (2005). The North American long-term soil productivity experiment: Findings from the first decade of research. *Forest Ecology and Management*, 220(1–3), 31–50. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.003>.
22. Qian, F., Yu, Y., Dong, X., & Gu, H. (2023). Soil Quality Evaluation Based on a Minimum Data Set (MDS)—A Case Study of Tieling County, Northeast China. *Land*, 12(6), 1263. <https://doi.org/10.3390/land12061263>.
23. Ramos, F. T., Dores, E. F. G. C., Weber, O. L. S., Beber, D. C., Campelo, J. H., & Maia, J. C. S. (2018). Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3595–3602.
24. Soares, M. R., & Alleoni, L. R. F. (2008). Contribution of soil organic carbon to the ion exchange capacity of tropical soils. *Journal of Sustainable Agriculture*, 32(3), 439–462. <https://doi.org/10.1080/10440040802257348>.
25. Thabit, F. N., Bahloul, O., & Ghorbel, A. (2023). Role of silt and clay fractions in organic carbon and nitrogen distribution and cation exchange capacity in soils. *Discover Soil*, 3, 61. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01209-3>.
26. Tudor, C., Constandache, C., Dinca, L., Murariu, G., Badea, N. O., Tudose, N. C., & Marin, M. (2025). Pine afforestation on degraded lands: A global review of carbon sequestration potential. *Frontiers in Forests and Global Change*, 8, 1648094. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1648094>.
27. Xiong, J., Wang, G., Richter, A., DeLuca, T. H., Zhang, W., Sun, H., Hu, Z., Sun, X., & Sun, S. (2023). Soil organic carbon accumulation and microbial carbon use efficiency in subalpine coniferous forest as influenced by forest floor vegetative communities. *Geoderma*, 438, 116648. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116648>.
28. Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q., & Zhou, D. (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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301>.