

DOI:10.22144/ctujos.2025.064

ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ VÀ CÁC YẾU TỐ ĐIỀU CHỈNH TỶ LỆ N:P TRONG ĐẤT CỦA RỪNG TRỒNG THÔNG BA LÁ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) TẠI KHU VỰC BẢO LÂM THUỘC TỈNH LÂM ĐỒNG

Lê Văn Cường*

Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): cuongvf.90@gmail.com

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 24/01/2025

Sửa bài (Revised): 23/02/2025

Duyệt đăng (Accepted): 31/03/2025

Title: Distribution characteristics and regulating factors of soil total nitrogen: phosphorus ratio of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon plantations in Bao Lam area, Lam Dong Province

Author(s): Le Van Cuong*

Affiliation(s): Vietnam National University of Forestry - Dongnai Campus, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm kiểm tra sự phân bố tỷ lệ N:P trong đất và các yếu tố điều chỉnh của nó dựa trên các yếu tố đất (dung trọng, hàm lượng nước, hàm lượng carbon hữu cơ và pH_{H_2O}) và lâm phần (đường kính ngang ngực, chiều cao vút ngọn, mật độ, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng) từ các tuổi khác nhau của rừng trồng Thông ba lá (5, 11, 15, 25 và 35 năm tuổi) tại Công ty Lâm nghiệp Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng. Kết quả cho thấy: (1) Tỷ lệ N:P trong đất ở các độ sâu tầng đất khác nhau giảm đáng kể theo tuổi rừng trồng; Tỷ lệ N:P trong đất giảm đáng kể khi độ sâu tầng đất tăng và tỷ lệ N:P cao nhất nằm ở độ sâu 0 - 20 cm trên cùng của đất; (2) Tỷ lệ N:P trong đất ở rừng Thông ba lá chủ yếu được giải thích bằng các yếu tố đặc điểm đất (dung trọng và hàm lượng nước); (3) Các yếu tố đặc điểm lâm phần (đường kính ngang ngực, chiều cao vút ngọn, mật độ, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng) cũng đóng vai trò quan trọng trong việc đóng góp tỷ lệ N:P của đất ở rừng Thông ba lá. Kết quả của nghiên cứu này góp phần vào sự hiểu biết sâu sắc hơn về các chu trình sinh địa hóa và cơ chế cân bằng của N và P trong đất.

Từ khóa: Rừng thông ba lá, tỷ lệ N:P, tuổi rừng, yếu tố đất, yếu tố lâm phần

ABSTRACT

This study was conducted to examine the distribution of soil N:P ratios and its regulating factors based on soil properties (bulk density, water content, organic carbon content, and pH_{H_2O}) and stand factors (tree diameter at breast height and height, stand density, canopy closure, understory and litter biomass) from different ages of *P. kesiya* plantations (5, 11, 15, 25, and 35 years old) in Bao Lam Forestry Company, Lam Dong Province. The results showed that: (1) Soil N:P ratios at different soil depths decreased significantly with plantation age. Soil N:P ratios decreased significantly with increasing soil depth, and the highest N:P ratios were in the top 0–20 cm of soil. (2) Soil N:P ratios in *P. kesiya* forests were mainly explained by soil feature factors (bulk density and water content). (3) Stand feature factors (tree diameter at breast height and height, stand density, canopy closure, understory and litter biomass) also played an important role in contributing to the soil N:P ratio in *P. kesiya* forests. The results of this study contribute to a deeper understanding of the biogeochemical cycles and equilibrium mechanisms of N and P in soils.

Keywords: Forest age, N:P ratios, *Pinus kesiya* forests, soil factors, stand factors

1. GIỚI THIỆU

Nitơ (N) và photpho (P) là các thành phần chính của các đại phân tử sinh học trong tất cả các sinh vật, chúng không chỉ là những chất dinh dưỡng quan trọng nhất cho sự phát triển của thực vật và tỷ lệ thành phần của chúng, mà còn có thể điều chỉnh hầu hết các quá trình sinh thái, chẳng hạn như hô hấp và phân hủy trong các hệ sinh thái trên cạn (Sistla & Schimel, 2012). Trong bối cảnh lắng đọng và bón phân trong khí quyển, các hệ sinh thái trên cạn đã trải qua các đầu vào chất dinh dưỡng chưa từng có, bao gồm cả N và P (Tipping et al., 2014). Lượng đầu vào của N và P không cân bằng có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến các sinh vật và tỷ lệ thành phần của đất, từ đó làm thay đổi chức năng của hệ sinh thái (Peñuelas et al., 2012). Các chu trình sinh địa hóa của N và P được kết hợp sinh học từ quy mô phân tử đến quy mô toàn cầu. Do chu trình N và P tương tác chặt chẽ nên các chu trình riêng lẻ của các nguyên tố N và P khi tách biệt có khả năng không nhạy cảm với các chức năng sinh thái (Zhang et al., 2019).

Tỷ lệ thành phần sinh thái, chẳng hạn như tỷ lệ thành phần đất cung cấp một công cụ nghiên cứu để khám phá và dự đoán các tác động thay đổi toàn cầu ở nhiều quy mô khác nhau (Wang et al., 2018). Hơn nữa, việc xác định các mô hình phân bố trong tỷ lệ N:P của đất có thể cải thiện sự hiểu biết của chúng ta về động lực của chu trình dinh dưỡng trong hệ sinh thái trên cạn và tác động của chúng lên các chức năng của hệ sinh thái trong một môi trường thay đổi nhanh chóng (Wang et al., 2022). Các nghiên cứu trước đây về tỷ lệ thành phần sinh thái chủ yếu tập trung vào thực vật hoặc mô thực vật, trong khi đó hiếm khi có nghiên cứu về chất dinh dưỡng trong đất (Hu et al., 2020). Đất là một trong những điều kiện thiết yếu cho sự sống của thực vật và chất lượng của đất đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của thực vật (Rennenberg et al., 2010). Tỷ lệ N:P trong đất có thể chẩn đoán tình trạng hạn chế dinh dưỡng trong đất và được coi là chỉ số quan trọng cho cấu trúc và chức năng của một hệ sinh thái (Liu et al., 2017).

Cây thông ba lá (*Pinus kesiya* Royale ex. Gordon) là một loài cây quan trọng được sử dụng phổ biến nhất trong trồng rừng ở khu vực Tây nguyên nước ta, nổi tiếng là loài cây có tốc độ tăng trưởng nhanh, có chất lượng gỗ tuyệt vời và năng suất gỗ cao với nhiều công dụng (MARD, 2022). Các yếu tố điều chỉnh liên quan đến đặc điểm đất và đặc điểm lâm phần có thể định hình thành phần hóa học đất (Chau et al., 2024). Tuy nhiên, có tương đối

ít nghiên cứu về sự phân bố và các yếu tố ảnh hưởng đến tỷ lệ N:P của đất trên khắp các vùng đất cây thông ba lá ở khu vực Tây nguyên, đặc biệt là tại khu vực Bảo Lâm. Các câu hỏi được đặt ra như sau: (1) Tỷ lệ N:P trong đất dưới tán rừng thông ba lá được phân bố như thế nào dọc theo các tuổi lâm phần, (2) Đặc điểm đất và đặc điểm lâm phần định hình tỷ lệ N:P của đất như thế nào và dựa trên điều này, yếu tố có ảnh hưởng quan trọng nhất đến tỷ lệ N:P của đất ở các vùng đất cây thông ba lá ở khu vực Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng được định lượng trong nghiên cứu. Kết quả của nghiên cứu này giúp cải thiện đáng kể kiến thức về chu trình sinh địa hóa của các nguyên tố và cơ chế cân bằng của N và P trong đất và có thể hữu ích để cung cấp các hướng dẫn cơ bản cho việc quản lý bền vững rừng thông ba lá ở khu vực Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu và lấy mẫu

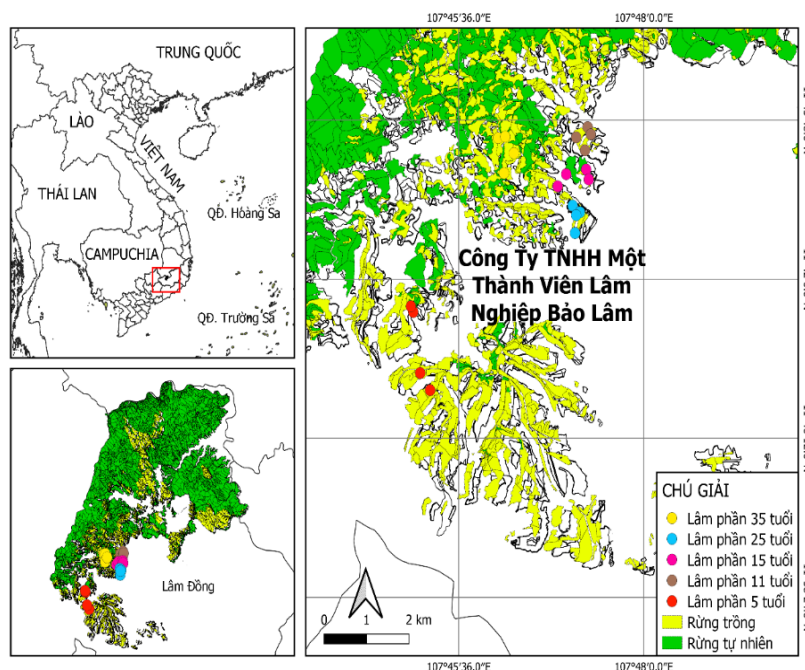
Các rừng trồng nghiên cứu được thiết kế tại Công ty Lâm nghiệp Bảo Lâm (11°52'30" - 11°38'02" vĩ Bắc và 107°50'08" - 107°42'30" kinh Đông), tỉnh Lâm Đồng (Hình 1). Khu vực này nằm trong vùng khí hậu ôn hòa núi cao, lượng mưa và nhiệt độ trung bình hàng năm lần lượt là 3.300 mm và 22°C. Độ ẩm tương đối là 82%. Sau khi đốt có kiểm soát, tất cả các lâm phần trong nghiên cứu này đều được phục hồi bằng cách chuẩn bị đất (kích thước hố dài 40 cm x rộng 40 cm x cao 30 cm được bố trí dọc theo đường đồng mức để trồng). Đất tại địa điểm nghiên cứu thuộc nhóm đất vàng đỏ. Sau khi khảo sát và điều tra đất rừng, kết quả cho thấy đặc điểm phân bố theo chiều sâu phẫu diện, kết cấu và thành phần khoáng vật của đất ở tất cả các lâm phần đều gần như giống hệt nhau. Do đó, sự phát triển của rừng có thể là lý do chính gây ra sự khác biệt về đặc điểm đất của các lâm phần.

Vào tháng 5 đến tháng 6 năm 2023, các rừng trồng thông ba lá gồm 5, 11, 15, 25 và 35 năm tuổi dựa trên hồ sơ lịch sử trồng rừng đã được xác định trong nghiên cứu. Trong mỗi tuổi rừng trồng, bốn ô tiêu chuẩn (25 m × 20 m) được lựa chọn và thiết lập để nghiên cứu chiều cao và đường kính ngang ngực (DBH) của mỗi cây trong ô (các mô tả chi tiết khác về đặc điểm lâm phần được đưa ra bởi Le et al. (2025) và trình bày lại trong Bảng 1). Sau khi lớp vật rơi rụng ở bề mặt được loại bỏ, các mẫu đất ở các độ sâu khác nhau (chia thành 0 – 20, 20 – 40 và 40 – 60 cm) được thu thập bằng phương pháp lấy mẫu năm điểm ngẫu nhiên (mỗi điểm tương ứng là một phẫu diện đất) tạo thành một đường cong hình chữ S trong mỗi ô bằng cách sử dụng thiết bị lấy đất

chuyên dụng. Tổng cộng 300 mẫu đất (5 tuổi rừng $\times$ 4 ô lặp lại $\times$ 5 điểm $\times$ 3 độ sâu) đã được thu thập và chuyển đến phòng thí nghiệm để phân tích các chỉ tiêu lý hóa học đất. Các mẫu đất được phơi khô trong không khí, sàng qua rây có đường kính 2 mm để loại bỏ đá nhỏ và rễ cây, sau đó được bảo quản ở nhiệt độ phòng cho đến khi phân tích.

Trong mỗi ô tiêu chuẩn, 5 ô dạng bản được lập với kích thước 4 m² (2 $\times$ 2 m) tại 4 góc và giữa ô tiêu

chuẩn để xác định sinh khối cây tầng thấp (cây bụi và thảm cỏ). Đồng thời, khối lượng vật rơi rụng cũng được xác định trong 5 ô dạng bản với kích thước 1 m² (1 $\times$ 1 m) và được tính bình quân chung. Hai chỉ tiêu sinh khối cây tầng thấp và sinh khối vật rơi rụng ở trạng thái tươi được cân đo tại chỗ. Sau đó mỗi loại được thu thập khoảng 300 – 500 g để sấy khô ở nhiệt độ 75⁰C cho đến khi trọng lượng không đổi (Le et al., 2024).



Hình 1. Bản đồ biểu diễn vị trí của các điểm thu mẫu tại Công ty lâm nghiệp Bảo Lâm thuộc tỉnh Lâm Đồng

2.2. Phân tích các chỉ tiêu lý hóa học đất

Hàm lượng carbon hữu cơ trong đất (S_c , g/kg) được xác định bằng quy trình oxy hóa $H_2SO_4 - K_2Cr_2O_7$ (Nelson & Sommers, 1982).

Hàm lượng nitơ tổng số (N_s , g/kg) được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 6498:1999. Phương pháp Kendan (Kjeldahl) cải biên đã được sử dụng để xác định N_s sau khi mẫu được phân hủy bằng hỗn hợp axit $C_7H_6O_3$ và H_2SO_4 kết hợp với hỗn hợp xúc tác kali sunfat ($K_2SO_4 + Cu_2SO_4.5H_2O + TiO_2$). Dung dịch sau phân hủy được kiểm hóa bằng NaOH để giải phóng NH_3 . NH_3 được chưng cất và hấp thụ vào dung dịch axit boric có chỉ thị màu, sau đó được chuẩn độ bằng dung dịch chuẩn H_2SO_4 0,1N để xác định N_s .

Hàm lượng photpho tổng số (P_s , g/kg) được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8940:2011. P_s được công phá bằng hỗn hợp H_2SO_4 đậm đặc và $HClO_4$,

hiện màu của phosphomolybdate với chất khử là ascorbic acid và so màu bằng máy quang phổ ở bước sóng 880 nm.

pH_{H_2O} của dung dịch đất được xác định bằng cách cân 10g đất pha với 25 ml nước cất theo tỷ lệ đất:nước là 1:2,5 và đo bằng máy đo pH metter (Sartorius PB-10) (Van, 2002).

Dung trọng đất (D_g , g/cm³) được xác định bằng cách làm khô các mẫu lõi ở 105⁰C cho đến khi trọng lượng không đổi (các mẫu D_g được thu thập từ các tầng đất khác nhau bằng cách sử dụng một vòng cắt bằng thép không gỉ (thể tích 100 cm³) (Le et al., 2024).

Để xác định hàm lượng nước trong đất (H_{ln} , %), một phần đất tươi (20g đất mỗi mẫu) được sấy khô bằng tủ sấy trong 24 giờ ở nhiệt độ 105⁰C (Su et al., 2023).

Tỷ lệ N:P của đất dưới tán rừng thông ba lá được tính toán bằng cách sử dụng tỷ lệ khối lượng của N_s và P_s , tương ứng là $N_i:P_i$ theo công thức (1) (Ma et al., 2020):

$$N_i:P_i = N_{si}/P_{si} \quad (1)$$

Trong đó: $N_i:P_i$ là tỷ lệ khối lượng của N_s và P_s trong tầng đất thứ i ; i đại diện cho các tầng đất 0 - 20, 20 - 40 và 40 - 60; N_{si} , P_{si} , lần lượt là hàm lượng N_s và P_s trong đất của tầng đất thứ i (g/kg).

Bảng 1. Đặc điểm lâm phần của rừng thông ba lá

Các thông số đo điểm	Tuổi lâm phần (năm)				
	5	11	15	25	35
D _{1.3} (cm)	7,25±0,25 ^a	15,18±0,78 ^b	21,25±1,64 ^c	27,03±1,19 ^d	30,10±0,56 ^e
H _{vn} (m)	3,26±0,11 ^a	10,91±0,83 ^b	16,77±0,60 ^c	19,02±0,54 ^d	21,08±0,58 ^e
N (cây/ha)	2935±19 ^d	1700±63 ^c	610±81 ^b	365±44 ^a	355±30 ^e
Độ tàn che	0,55±0,04 ^a	0,69±0,03 ^b	0,80±0,03 ^c	0,85±0,02 ^d	0,89±0,02 ^d
Sinh khối cây tầng thấp (tấn/ha)	2,17±0,15 ^a	3,49±0,31 ^b	4,55±0,50 ^c	6,76±0,23 ^d	9,60±0,33 ^e
Sinh khối vật rơi rừng (tấn/ha)	6,62±0,29 ^a	8,16±0,79 ^b	10,17±0,25 ^c	12,08±0,95 ^d	15,18±1,17 ^e
Độ cao (m a.s.l.)	907	905	912	918	910
Độ dốc (°)	8	9	9	10	8
Loài cây tầng thấp ưu thế	Dây bông bong lá nhỏ (<i>Lygodium microphyllum</i> (Cav.) R. Br.), cây sơn linh đốm (<i>Sonerila maculata</i> Roxb.), cây trinh nữ móc (<i>Mimosa diplotricha</i> C. Wright ex Sauvalle), cây guột cứng (<i>Dicranopteris linearis</i> (Burm.f.) Underw. var. <i>Linearis</i>), cây bốp bốp (<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.), cây cỏ tranh (<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.), cây cỏ gà (<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers), cây cỏ may (<i>Chrysopogon aciculatus</i> (Retz.) Trin.) và cây cộng sản (<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.).				

Ghi chú: N, mật độ là viết tắt của mật độ lâm phần, D_{1.3} là đường kính ngang ngực (1,3 m), H_{vn} là chiều cao vút ngọn của cây. Các giá trị biểu thị giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (SD). Trong cùng một hàng, các chữ cái viết thường khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể, sử dụng phép thử LSD với mức ý nghĩa $p < 0,05$. Dữ liệu ở Bảng 1 được trích dẫn từ Le et al. (2025).

2.3. Phân tích thống kê

Việc phân tích phương sai ANOVA một nhân tố đã được sử dụng với phép kiểm tra chênh lệch ít nhất có ý nghĩa (LSD) của Fisher ($p < 0,05$) để kiểm tra sự khác biệt về hàm lượng N và P của đất và tỷ lệ của chúng, cũng như các đặc tính đất khác giữa các tuổi rừng và độ sâu đất khác nhau. Tất cả dữ liệu đã được kiểm tra tính phân bố chuẩn (phép kiểm định Kolmogorov-Smirnov) và tính đồng nhất của phương sai (phép kiểm định Levene) trước khi tiến hành phân tích thống kê. Phương pháp phân tích hồi quy bình phương nhỏ nhất (Ordinary Least Squares - OLS) được sử dụng để tìm hiểu mối quan hệ giữa tỷ lệ N:P trong đất và các yếu tố môi trường (yếu tố đất (Dg, Hln, S_c và pH_{H2O}) và yếu tố lâm phần (D_{1.3}, H_{vn}, N, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp, và sinh khối vật rơi rụng)).

Các phân tích thống kê dữ liệu ở trên được thực hiện bằng phần mềm SPSS phiên bản 25.0 (IBM Corp, 2017).

Các yếu tố có mối quan hệ đáng kể với tỷ lệ N:P của đất đã được sử dụng để tiến hành phân tích phân vùng biến động tiếp theo.

Biến động tỷ lệ N:P của đất ở vùng đất cây thông ba lá ở khu vực Bảo Lâm được phân tích theo hai biến giải thích, bao gồm đặc tính đất và lâm phần, và các tác động chung của chúng. Đặc tính đất bao gồm Dg, Hln, S_c và pH_{H2O}. Đặc tính của lâm phần đề cập đến D_{1.3}, H_{vn}, N, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng. Phân vùng biến động được phân tích có thể ước tính lượng biến thiên được giải thích cho các biến phản ứng theo các yếu tố đã chọn (Legendre, 2008). Gói “Vegan” đã được sử dụng để tiến hành phân tích này trong phần mềm R, phiên bản R 4.2.0 (R Core Team, 2022).

Mô hình rừng ngẫu nhiên (RF) đã sử dụng được phân tích để đánh giá định lượng tác động của các chỉ số cụ thể (D_g , H_{ln} , $D_{1.3}$, H_{vn} , N , độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng) lên tỷ lệ N:P của đất. RF là một phương pháp thuật toán học máy tổng hợp dựa trên cây quyết định (Breiman, 2001). Ba siêu tham số được chọn trong quá trình xây dựng mô hình: (1) số lượng cây quyết định trong mô hình, (2) các biến được thử ở mỗi lần chia tách tại mỗi nút và (3) kích thước mẫu tối thiểu cho các nút đầu cuối. Siêu tham số được điều chỉnh là một bước quan trọng trong mô hình RF, trong đó các tổ hợp siêu tham số khác nhau được kiểm tra và đánh giá bằng cách sử dụng xác thực chéo. Việc kiểm chứng chéo liên quan đến việc chia dữ liệu thành nhiều phần, trong đó một phần dùng để đào tạo và một phần khác dùng để thử nghiệm. Sau đó, hiệu suất của mô hình được đánh giá và các siêu tham số có hiệu suất tốt nhất được chọn (Breiman, 2001; Chen et al., 2021). Đối với nghiên cứu này, các siêu tham số được đặt lần lượt là 500, 3 và 5. Quá trình xây dựng mô hình rừng ngẫu nhiên được thực hiện bằng cách sử dụng gói Random Forest trong phần mềm R, phiên bản R 4.2.0 (R Core Team, 2022).

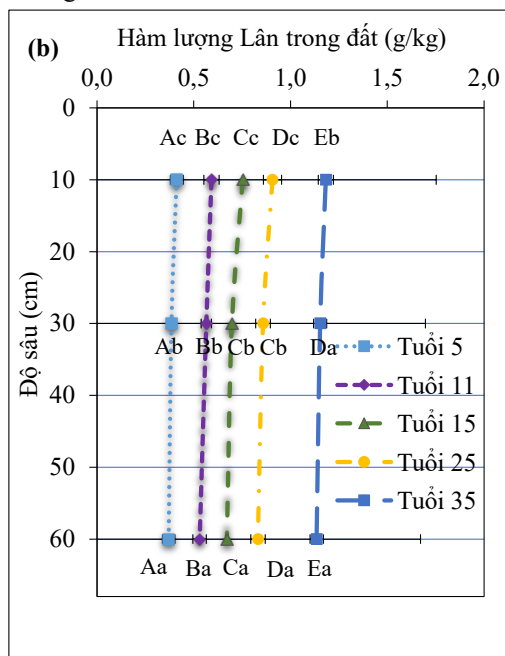
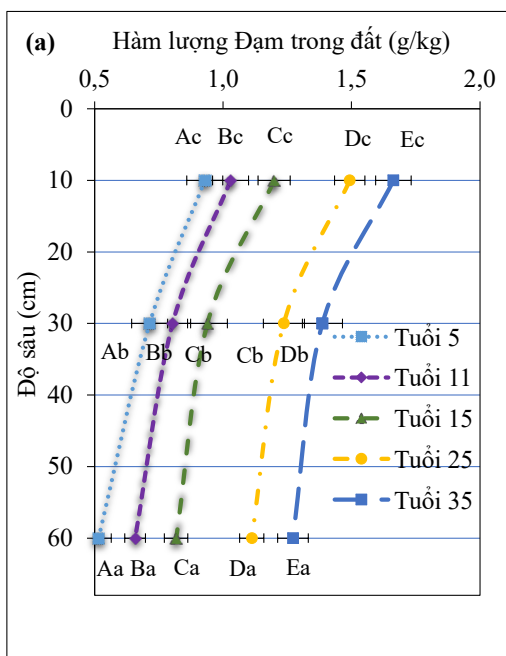
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

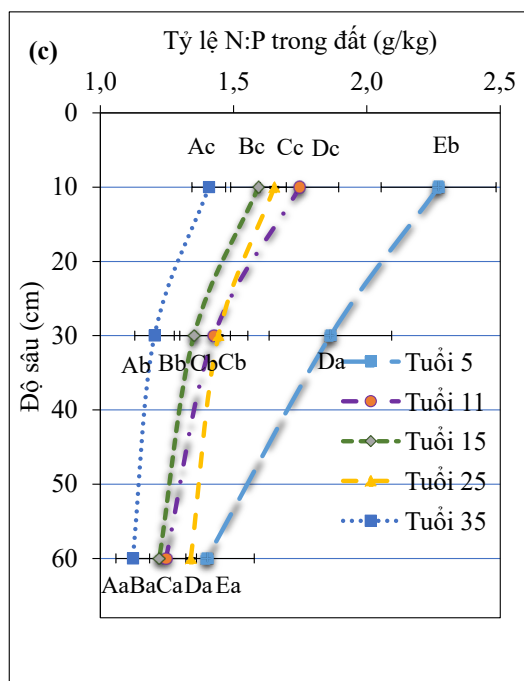
3.1. Kết quả

3.1.1. Đặc điểm phân bố của tỷ lệ N:P trong đất dưới tán rừng thông ba lá

Hàm lượng N và P tổng số khác nhau đáng kể giữa các độ sâu đất và các tuổi rừng ($p < 0,05$), cho

thấy sự giảm đáng kể khi độ sâu đất tăng ở tất cả các rừng trồng và đạt mức thấp nhất và cao nhất tương ứng ở các rừng trồng 5 và 35 năm tuổi (Hình 2a - b). Hàm lượng N và P tổng số ở tất cả các rừng trồng 5, 11, 15, 25 và 35 năm tuổi cao hơn đáng kể ở lớp đất mặt (0 – 20 cm) khi được so với hai lớp đất còn lại (20 – 40 và 40 – 60 cm). Tỷ lệ N:P của đất ở ba độ sâu đất (0 - 20, 20 - 40 và 40 - 60 cm) giảm theo độ tuổi của rừng trồng (Hình 2c). Tỷ lệ N:P cao nhất được quan sát thấy ở các rừng trồng 5 năm tuổi, trong khi tỷ lệ thấp nhất được ghi nhận ở các rừng trồng 35 năm tuổi. Điều này cho thấy rằng, các lâm phần già hơn tái chế chất dinh dưỡng tốt hơn so với các lâm phần khác vì tỷ lệ N:P thấp hơn có thể chỉ ra mức P cao hơn do khả năng khoáng hóa P của sinh khối vì sinh vật đất tốt (Tong et al., 2023), dẫn đến sự hình thành P lâu dài giúp cây phát triển bình thường. Bất kể tuổi của rừng, theo chiều sâu phẫu diện, tỷ lệ N:P của đất giảm khi độ sâu đất tăng lên. Hơn nữa, kết quả từ phân tích phương sai cho thấy, có sự khác biệt đáng kể về tỷ lệ N:P của đất giữa các độ sâu đất khác nhau đối với bất kỳ tuổi của rừng trồng ($p < 0,05$). Phát hiện này phù hợp với Qiao et al. (2020), những người đã ghi nhận tỷ lệ N:P giảm dần theo độ sâu của đất trong đất rừng. Tương tự như vậy, Qi et al. (2020) đã báo cáo rằng tỷ lệ N:P liên tục giảm từ tầng hữu cơ xuống tầng đất bên dưới. Mai et al. (2024) đã báo cáo rằng đất mặt là nguồn chính của tỷ lệ N:P vì hầu hết quá trình phân hủy xảy ra gần bề mặt đất, nơi tập trung các đầu vào của vật rơi rụng và sau đó dần dần di chuyển xuống dưới.





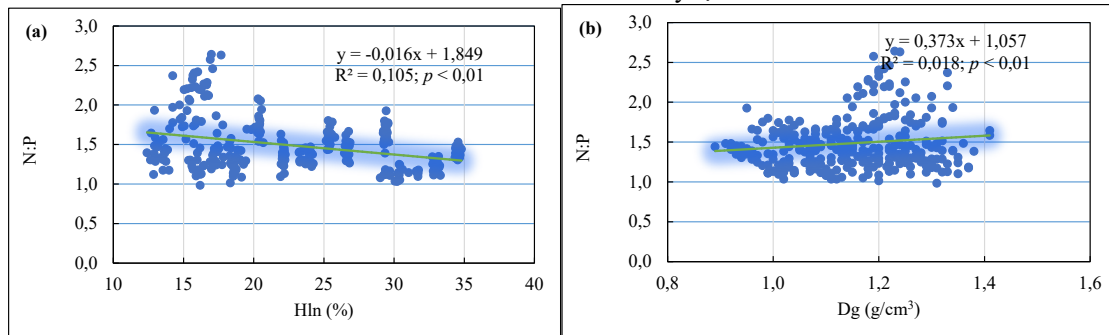
Hình 2. Hàm lượng đạm trong đất (a), hàm lượng lân trong đất (b) và tỷ lệ N:P trong đất (c) ở các độ sâu đất khác nhau là 0 – 20, 20 – 40 và 40 – 60 cm.

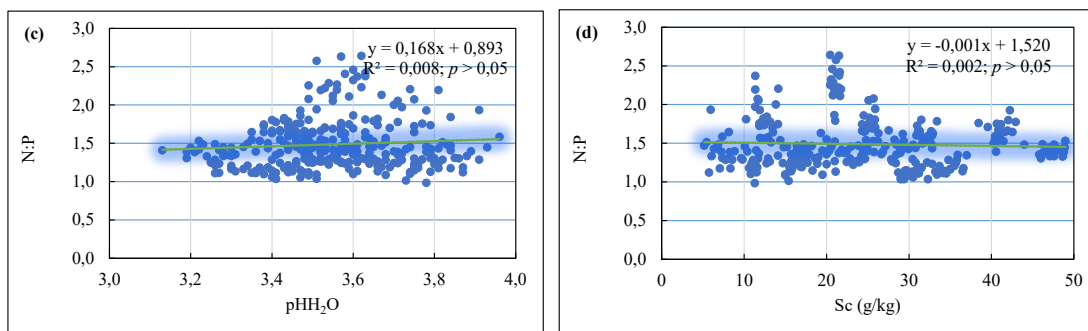
Ghi chú: Các chữ cái viết hoa khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể giữa các tuổi rừng trong cùng một độ sâu tầng đất và các chữ cái viết thường khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể giữa các độ sâu tầng đất trong cùng một tuổi rừng, sử dụng phép thử LSD với mức ý nghĩa $p < 0,05$. Các giá trị biểu thị giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (SD).

3.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến đặc điểm phân bố của tỷ lệ N:P trong đất dưới tán rừng thông ba lá

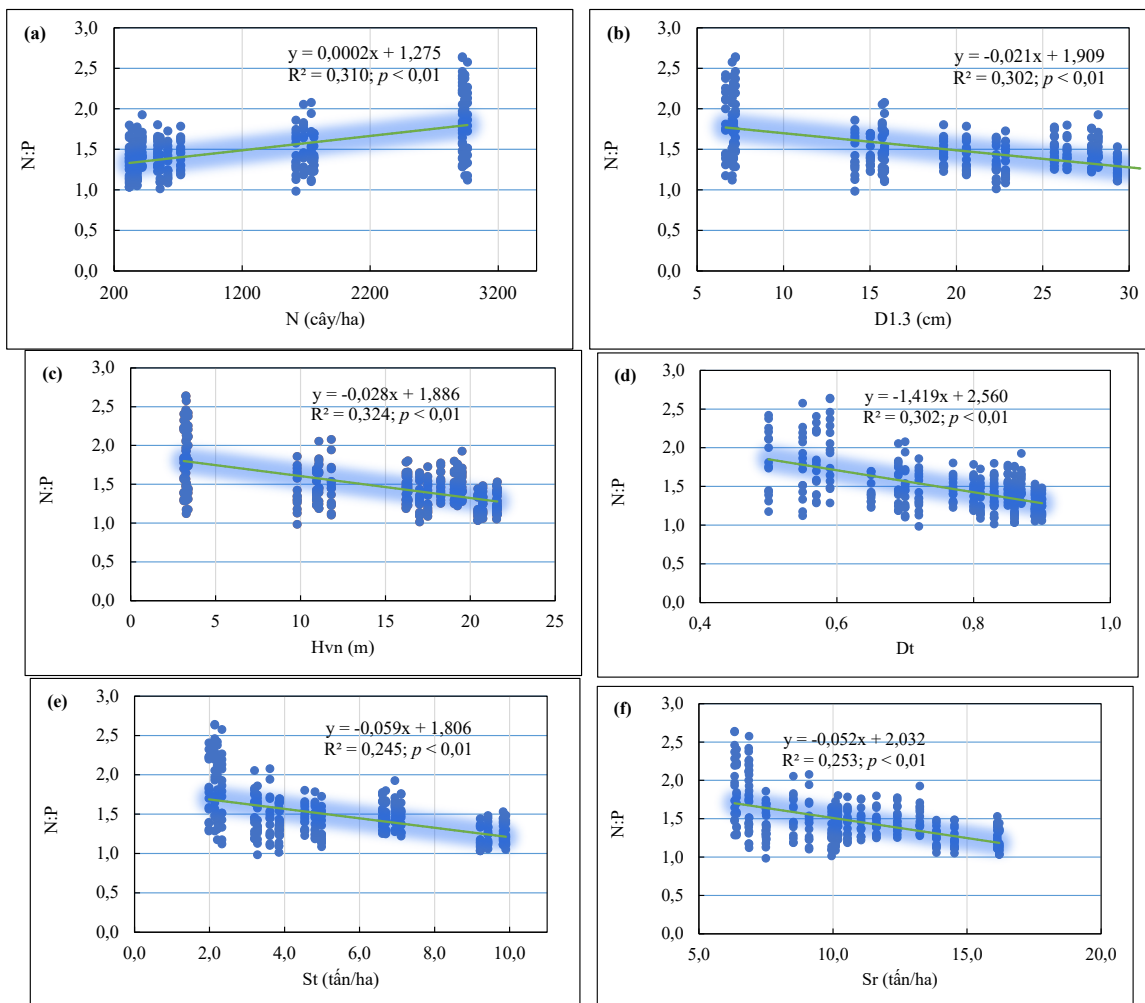
Có mối quan hệ nghịch đáng kể giữa Hln và tỷ lệ N:P trong đất ($R^2 = 0,105$; $p < 0,01$; Hình 3a). Dg có mối quan hệ thuận đáng kể với tỷ lệ N:P trong đất ($R^2 = 0,018$; $p < 0,01$; Hình 3b). Ngược lại với tác động của Dg, tác động của pH_{H2O} lên tỷ lệ N:P trong đất là không đáng kể và mối quan hệ nghịch của chúng không đáng kể ($R^2 = 0,008$; $p > 0,05$; Hình 3c). Mặc dù tỷ lệ N:P của đất cho thấy xu hướng tăng khi Sc tăng, nhưng mối quan hệ của chúng không đáng kể ($R^2 = 0,002$; $p > 0,05$; Hình 3d).

Để định lượng tác động của các yếu tố lâm phần lên tỷ lệ N:P của đất, tác động của D1.3, Hvn, N, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng lên tỷ lệ N:P của đất đã được tìm hiểu trong nghiên cứu. N có mối quan hệ dương đáng kể với tỷ lệ N:P của đất ($R^2 = 0,310$; $p < 0,01$; Hình 4a); trong khi D1.3 ($R^2 = 0,302$; $p < 0,01$; Hình 4b), Hvn ($R^2 = 0,324$; $p < 0,01$; Hình 4c) và độ tàn che ($R^2 = 0,302$; $p < 0,01$; Hình 4d) có mối quan hệ nghịch đáng kể với tỷ lệ N:P của đất. Tương tự, các biến sinh khối thực vật bao gồm sinh khối cây tầng thấp ($R^2 = 0,245$; $p < 0,01$; Hình 4e) và sinh khối vật rơi rụng ($R^2 = 0,253$; $p < 0,01$; Hình 4f) cũng có tương quan nghịch đáng kể với tỷ lệ N:P của đất.





Hình 3. Mối quan hệ giữa hàm lượng nước trong đất (Hln, a), dung trọng đất (Dg, b), pH_{H2O} (c), hàm lượng carbon hữu cơ trong đất (Sc, d) và tỷ lệ N:P của đất



Hình 4. Mối quan hệ giữa mật độ lâm phần (N, a), đường kính ngang ngực (D1.3, b), chiều cao vút ngọn (Hvn, c), độ tàn che (Dt, d), sinh khối cây tầng thấp (St, e), sinh khối vật rơi rụng (Sr, f) và tỷ lệ N:P của đất

Tác động của các yếu tố đất và lâm phần lên tỷ lệ N:P của đất dưới tán rừng thông ba lá

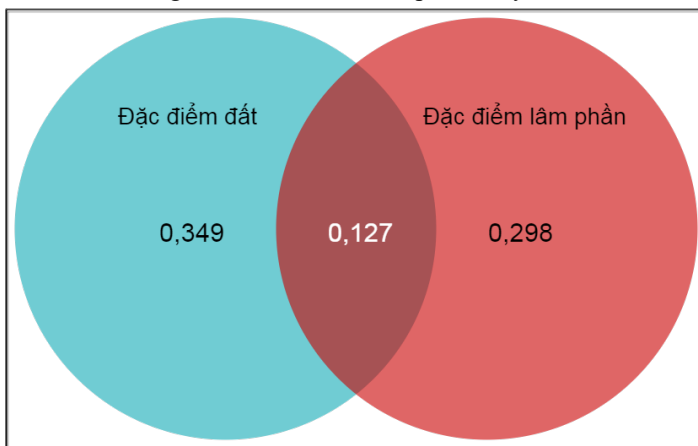
Kết quả phân tích hồi quy bình phương nhỏ nhất giữa các biến số môi trường với tỷ lệ N:P của

đất dưới tán rừng thông ba lá tại khu vực (Hình 3a – 3d, Hình 4a – 4f) cho thấy, các biến Dg và Hln của đất đóng góp đáng kể vào tỷ lệ N:P trong đất và được coi là các biến số định tính của các đặc tính đất. Các

đặc tính của lâm phần liên quan đến $D_{1.3}$, H_{vn} , N , độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và sinh khối vật rơi rụng. Do đó, các biến số môi trường này (Dg , Hln , $D_{1.3}$, H_{vn} , N , độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng) đã được lựa chọn để tiến hành phân tích các bước tiếp theo trong phân tích phân vùng biến động và mô hình rừng ngẫu nhiên (RF).

Kết quả được đưa ra từ việc phân tích phân vùng biến động giúp chứng minh rằng, một phần đáng kể biến động trong tỷ lệ N:P của đất được giải thích bởi

các yếu tố đã đề cập ở trên, bao gồm đất và đặc tính của lâm phần (Hình 5). Biến động được giải thích trong tỷ lệ N:P của đất dưới tán rừng Thông ba lá tại khu vực là 77,4%, trong khi đó, biến động chưa giải thích được là 22,6%. Trong số biến động được giải thích, tác động từ đặc tính đất là lớn nhất, chiếm 34,9% biến động trong tỷ lệ N:P. Những kết quả này chỉ ra rằng, đặc điểm đất đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh mối quan hệ giữa các yếu tố lâm phần và tỷ lệ N:P của đất.



Hình 5. Phân tích phân vùng biến động của tỷ lệ N:P trong đất ở dưới tán rừng thông ba lá

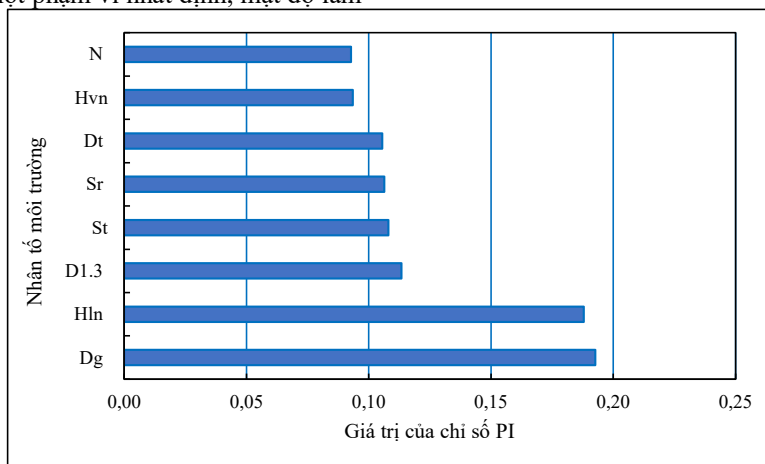
Ghi chú: Các đặc tính của đất bao gồm Dg , Hln , Sc và pH_{H_2O} . Các đặc tính của lâm phần đề cập $D_{1.3}$, H_{vn} , N , độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và sinh khối vật rơi rụng. Phân tích phân vùng biến động bao gồm biến động đã giải thích (0,774), bao gồm các tác động từ đất, đặc tính của lâm phần và các tác động kết hợp của chúng và biến động chưa giải thích được (0,226).

Hơn nữa, để đánh giá định lượng tác động của các chỉ số cụ thể lên tỷ lệ N:P của đất, phương pháp phân tích mô hình RF cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Như thể hiện trong Hình 6, kết quả phân tích mô hình RF cho thấy, tầm quan trọng của các nhân tố ảnh hưởng đến sự thay đổi trong tỷ lệ N:P của đất được xếp hạng như sau: Dg (0,193) > Hln (0,188) > $D_{1.3}$ (0,113) > St (0,108) > Sr (0,106) > Dt (0,105) > H_{vn} (0,093) > N (0,092). Điều này chỉ ra rằng Dg và Hln có ảnh hưởng đáng kể nhất đến sự thay đổi trong tỷ lệ N:P của đất dưới tán rừng thông ba lá tại khu vực nghiên cứu. Hàm lượng nước của đất có thể ảnh hưởng đến cả hàm lượng N và hàm lượng P trong đất vì nó có thể ảnh hưởng đến quá trình phân hủy chất hữu cơ và ảnh hưởng đến mức độ dinh dưỡng trong đất (Craine & Gelderman, 2011). Trong khi đó, Duan et al. (2020) đã chỉ ra rằng, hàm lượng nước trong đất có thể kiểm soát lượng chất hữu cơ đầu vào và hoạt động của vi sinh vật. Do đó, nó được xác định là một yếu tố quan trọng của hàm lượng N và hàm lượng P trong đất. Dung trọng đất đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành thành phần vi sinh vật và sự đa dạng của

vi sinh vật; và đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy các hoạt động của vi sinh vật (Mayes et al., 2014). Từ đó, nó có thể ảnh hưởng đến độ hòa tan và ổn định của chất hữu cơ trong đất (Le et al., 2024). Bên cạnh các yếu tố đất, các yếu tố lâm phần ($D_{1.3}$, H_{vn} , N , độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và sinh khối vật rơi rụng) cũng có ảnh hưởng đáng kể đến tỷ lệ N:P trong đất ở dưới tán rừng thông ba lá tại khu vực (Hình 4a-f). Năng suất và đầu vào của vật rơi rụng và rễ của thực vật là quá trình chính liên kết đầu vào các chất dinh dưỡng trong đất của hệ sinh thái trên cạn (Zhang et al., 2019). Rễ cây thúc đẩy sự kết tụ của các hạt khoáng chất, góp phần hình thành chất hữu cơ trong đất thông qua thành phần hóa học của chúng (Lange et al., 2015). Cả dịch tiết của rễ và C hữu cơ hòa tan đều đóng vai trò quan trọng trong việc định hình hàm lượng N và P trong đất (Luo et al., 2020). Bên cạnh đó, rễ cây phân bố gần hơn với khoáng chất đất và lớp phủ được lắng đọng trên các lớp đất khác nhau. Cần lưu ý rằng thực vật có liên quan đến các sinh vật có lợi, bao gồm vi khuẩn thúc đẩy tăng trưởng và vi khuẩn cộng sinh, có khả năng định hình chu trình N và P trên bề mặt

(Nuccio et al., 2013). Hơn nữa, sự hấp thụ của thực vật có thể dẫn đến giảm khả năng cung cấp chất dinh dưỡng khoáng cho vi sinh vật đất (Schimel et al., 1989) và ảnh hưởng đến cộng đồng vi sinh vật trong quá trình phân hủy chất hữu cơ. Kết quả được đưa ra từ một số nghiên cứu cho thấy thời gian phân hủy vật rơi rụng và hệ số thay đổi theo mật độ lâm phần thay đổi. Trong một phạm vi nhất định, mật độ lâm

phần giảm có thể thúc đẩy giải phóng chất dinh dưỡng và cải thiện hợp lý mật độ lâm phần góp phần vào dòng chảy chất dinh dưỡng (Rumpel & Chabbi, 2019). Đường kính, chiều cao và độ tàn che của rừng cũng có thể phản ánh cấu trúc tán rừng và điều kiện khu vực, đồng thời ảnh hưởng gián tiếp đến quá trình phân hủy vật rơi rụng.



Hình 6. Tầm quan trọng tương đối của từng yếu tố dự báo được tính toán bằng mô hình thuật toán rừng ngẫu nhiên (RF) cho từng chỉ số điều tra

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, sự phân bố tỷ lệ N:P của đất, các yếu tố điều chỉnh của nó giữa các yếu tố đất và lâm phần ở rừng thông ba lá tại khu vực Bảo Lâm thuộc tỉnh Lâm Đồng đã được định lượng. Tỷ lệ N:P của đất giảm rõ rệt theo tuổi rừng trồng; và theo chiều sâu phẫu diện, tỷ lệ N:P của đất chủ yếu tập trung ở lớp đất mặt và giảm đáng kể khi độ sâu tầng đất tăng lên bất kể tuổi rừng trồng. Tỷ lệ N:P của đất dưới tán rừng thông ba lá tại khu vực chủ yếu được giải thích bởi các yếu tố đất (Dg và Hln). Các yếu tố lâm phần, bao gồm D1.3, Hvn, N, độ tàn che, sinh khối cây tầng thấp và vật rơi rụng cũng đóng vai trò quan trọng trong việc đóng góp tỷ lệ N:P của đất ở vùng nghiên cứu cây thông ba lá tại khu vực. Kết

quả nghiên cứu của chúng tôi góp phần vào việc hiểu sâu hơn về các chu trình sinh địa hóa và cơ chế cân bằng của N và P trong đất.

LỜI CẢM TẠ

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến TS. Nguyễn Văn Quý và PGS.TS. Nguyễn Minh Thanh vì những hiểu biết sâu sắc và gợi ý quý báu của họ, những điều này đã đóng góp rất lớn vào việc nâng cao chất lượng và chiều sâu của bản thảo. Tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt đến Kỹ sư Nguyễn Văn Vĩnh, Kỹ sư Trần Xuân Khánh và Kỹ sư Võ Văn Phi Phòng Quản lý bảo vệ rừng – Công ty Lâm nghiệp Bảo Lâm vì đã hỗ trợ công tác thực địa trong quá trình thu thập dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Chen, J., Zhang, H., Fan, M., Chen, F., & Gao, C. (2021). Machine-learning-based prediction and key factor identification of the organic carbon in riverine floodplain soils with intensive agricultural practices. *Journal of Soils and Sediments*, 21, 2896-2907.
<https://doi.org/10.1007/s11368-021-02987-y>.
- Craine, J. M., & Gelderman, T. M. (2011). Soil moisture controls on temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition for a mesic grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 455-457.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.011>
- Duan, B., Man, X., Cai, T., Xiao, R., & Ge, Z. (2020). Increasing soil organic carbon and nitrogen stocks along with secondary forest succession in permafrost region of the Daxing'an mountains, northeast China. *Global Ecology and*

- Conservation*, 24, e01258.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01258>.
- Hu, J., Zhou, D., Li, Q., & Wang, Q. (2020). Vertical Distributions of Soil Nutrients and Their Stoichiometric Ratios as Affected by Long Term Grazing and Enclosing in a Semi-Arid Grassland of Inner Mongolia. *Agriculture*, 10(9), 382.
<https://doi.org/10.3390/agriculture10090382>
- IBM Corp. (2017). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R. I., Mellado-Vázquez, P. G., Malik, A. A., Roy, J., & Scheu, S. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6, 6707.
<https://doi.org/10.1038/ncomms7707>
- Le, V. C., Nguyen, V. Q., Bui, M. H., Mai, H. C., & Phan, V. T. D. (2024). The relative importance of stand and soil properties parameters on soil organic matter content of *Acacia hybrid* forests in the South Central Coast Region of Vietnam. *Malaysian Journal of Soil Science*, 28, 134-146.
- Le, V. C., Nguyen, V. Q., Karam, D. S., Bui, M. H., Mai, H. C., Lam, N. L., Vu, M., Nguyen, T. T., Nguyen, V. Q., & Tran, T. N. (2025). Variability in soil carbon and nitrogen storage across a chronosequence of *Pinus kesiya* plantations in Central Highland, Vietnam. *Applied Ecology and Environmental Research* (Accepted).
- Legendre, P. (2008). Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *Journal of Plant Ecology*, 1, 3-8.
<https://doi.org/10.1093/jpe/rtm001>
- Liu, X., Ma, J., Ma, Z. W., & Li, L. H. (2017). Soil nutrient contents and stoichiometry as affected by land-use in an agro-pastoral region of northwest China. *Catena*, 150, 146-153.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.020>
- Luo, X., Hou, E., Chen, J., Li, J., Zhang, L., Zang, X., & Wen, D. (2020). Dynamics of carbon, nitrogen, and phosphorus stocks and stoichiometry resulting from conversion of primary broadleaf forest to plantation and secondary forest in subtropical China. *Catena*, 193, 104606.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104606>
- Mai, H. C., Nguyen, V. Q., Xu, X., Bui, M. H., Le, V. C., Ngoan, T. T., & Thanh, N. M. (2024). Variations in soil carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and stoichiometry with stand age in *Acacia* hybrid plantations in Southern Vietnam. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(2), 76-87.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d250215>.
- Ma, R., Hu, F., Liu, J., Wang, C., Wang, Z., Liu, G., & Zhao S. (2020). Shifts in soil nutrient concentrations and C:N:P stoichiometry during long-term natural vegetation restoration. *PeerJ*, 8, e8382.
<https://doi.org/10.7717/peerj.8382>.
- MARD. (2022). Promulgation of the state of National forests. No. 2860/QĐ-BNN-TCLN. Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD), Hanoi, Vietnam (in Vietnamese).
- Mayes, M., Marin-Spiotta, E., Szymanski, L., Akif Erdogan, M., Ozdoğan, M., & Clayton, M. (2014). Soil type mediates effects of land use on soil carbon and nitrogen in the Konya Basin, Turkey. *Geoderma*, 232-234, 517-527.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.002>.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Methods of soil analysis. Part 2 chemical and microbiological properties. Madison: Soil Science Society of America, Inc: pp. 539-579.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Nuccio, E. E., Hodge, A., Pett-Ridge, J., Herman, D. J., Weber, P. K., & Firestone, M. K. (2013). An arbuscular mycorrhizal fungus significantly modifies the soil bacterial community and nitrogen cycling during litter decomposition. *Environmental Microbiology*, 15(6), 1870-1881.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.12081>
- Peñuelas, J., Sardans, J., Rivas-ubach, A., & Janssens, I. A. (2012). The human-induced imbalance between C, N and P in Earth's life system. *Global change biology*, 18(1), 3-6.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02568.x>.
- Qi, K., Pang, X., Yang, B., & Bao, W. (2020). Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry shifts with tree species in subalpine plantations. *PeerJ*, 8, e9702.
<https://doi.org/10.7717/peerj.9702>.
- Qiao, Y., Wang, J., Liu, H., Huang, K., Yang, Q., Lu, R., Yan, L., Wang, X., & Xia, J. (2020). Depth-dependent soil C-N-P stoichiometry in a mature subtropical broadleaf forest. *Geoderma*, 370, 114357.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114357>.
- Rennenberg, H., Wildhagen, H., & Ehling, B. (2010). Nitrogen nutrition of poplar trees. *Plant Biology*, 12(2), 275-291.
<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00309.x>
- Rumpel, C., & Chabbi, A. (2019). Plant-soil interactions control CNP coupling and decoupling processes in agroecosystems with perennial vegetation. In *Agroecosystem Diversity*, Elsevier, pp. 3-13.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00001-7>
- Schimel, J. P., Jackson, L. E., & Firestone, M. K. (1989). Spatial and temporal effects on plant-microbial competition for inorganic nitrogen in a California annual grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(8), 1059-1066.
[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90044-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90044-8)
- Sistla, S. A., & Schimel, J. P. (2012). Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change. *New Phytologist*, 196(1), 68-78.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04234.x>.
- Su, B., Zhang, H., Zhang, Y., Shao, S., Mouazen, A. M., Jiao, H., Yi, S., & Gao, C. (2023). Soil C:N:P Stoichiometry succession and land use effect after intensive reclamation: A case study on the Yangtze River Floodplain. *Agronomy*, 13(4), 1133.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13041133>.
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Tipping, E., Benham, S., Boyle, J. F., Crow, P., Davies, J., Fischer, U., Guyatt, H., Helliwell, R., Jackson-Blake, L., Lawlor, A. J., Monteith, D. T., Rowe, E. C., & Toberman, H. (2014). Atmospheric deposition of phosphorus to land and freshwater. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(7), 1608-1617
<https://doi.org/10.1039/C3EM00641G>.
- Tong, R., T. Wu., B. Jiang., Z. Wang., B. Xie., & B. Zhou. (2023). Soil carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry and its influencing factors in Chinese fir plantations across subtropical China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5,
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1086328>.
- Van, R. L. P. (2002). *Procedures for Soil Analysis*. 6th Edition, ISRIC, FAO, Wageningen.
- Wang, L., Zhang, G., Zhu, P., Xing, S., & Wang, C. (2022). Soil C, N, and P contents and their stoichiometry as affected by typical plant communities on steep gully slopes of the Loess Plateau, China. *Catena*, 208, 105740.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105740>
- Wang, M., Chen, H., Zhang, W., & Wang, K. (2018). Soil nutrients and stoichiometric ratios as affected by land use and lithology at county scale in a karst area, southwest China. *Science of The Total Environment*, 619, 1299-1307.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.175>
- Zhang, W., Liu, W., Xu, M., Deng, J., Han, X., Yang, G., Feng, Y., & Ren, G. (2019). Response of forest growth to C: N: P stoichiometry in plants and soils during Robinia pseudoacacia afforestation on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 337, 280-289.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.042>