

ẢNH HƯỞNG CỦA CẤU TRÚC KHÔNG GIAN ĐẾN ĐA DẠNG LOÀI CÂY GỖ TRONG RỪNG KÍN THƯỜNG XANH ẤM NHIỆT ĐỚI TẠI KHU BẢO TỒN THIÊN NHIÊN - VĂN HÓA ĐỒNG NAI

Nguyễn Văn Quý¹, Nguyễn Văn Hợp¹, Nguyễn Thanh Tuấn¹, Trần Thanh Cường²

¹Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai

²Phân viện Điều tra, Quy hoạch rừng Nam Bộ

TÓM TẮT

Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ 60 ô tiêu chuẩn tạm thời (OTC) diện tích 500 m² thuộc trạng thái rừng giàu và trung bình tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên - Văn hóa Đồng Nai. Trong OTC xác định tên loài, đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao vút ngọn, đường kính tán và vị trí của tất cả các cây gỗ (DBH > 5 cm). Bài báo sử dụng 5 chỉ số cấu trúc không gian, chỉ số cạnh tranh của Hegyi và 3 chỉ số đa dạng, xây dựng mô hình SEM để phân tích ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài cây gỗ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng mô hình được xây dựng phản ánh dữ liệu nghiên cứu đảm bảo độ chính xác với mức ý nghĩa cao ($P = 0,000 < 0,001$). Bên cạnh đó, kết quả phân tích mô hình SEM cho thấy, cấu trúc không gian của lâm phần và chỉ số cạnh tranh của cây rừng đều ảnh hưởng đến đa dạng loài cây gỗ. Trong đó, cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang ảnh hưởng đến đa dạng loài cây gỗ nhiều hơn so với chiều thẳng đứng (hệ số tải nhân tố 0,436 > 0,233); chỉ số cạnh tranh của cây rừng ảnh hưởng tiêu cực đến đa dạng loài cây gỗ (hệ số tải nhân tố -0,386). Kết quả của bài báo góp phần bổ sung thêm một phương pháp mới để phân tích ảnh hưởng của cấu trúc rừng đến đa dạng thực vật, do đó có ý nghĩa cả về lý thuyết và thực tiễn trong việc làm phong phú các phương pháp nghiên cứu rừng ở nước ta, đồng thời giúp hiểu được mối quan hệ giữa cấu trúc không gian và đa dạng loài cây gỗ, từ đó có cơ sở đề xuất các biện pháp lâm sinh thích hợp, nhằm nâng cao chất lượng rừng tại khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Cấu trúc không gian, đa dạng loài cây gỗ, Khu Bảo tồn Thiên nhiên - Văn hóa Đồng Nai, mô hình phương trình cấu trúc, rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cạnh tranh giữa các cá thể (cùng loài hoặc khác loài) và sự can thiệp của các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến mô hình phân bố không gian và thành phần loài cây rừng (Zhang, 2011). Do đó, gần nghiên cứu đa dạng loài với mô hình phân bố không gian được xem là ý tưởng nghiên cứu tốt hơn so với các nghiên cứu độc lập (Wright, 2002; Chave, 2004). Đồng thời, nghiên cứu sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian lâm phần đến đa dạng loài có thể biết được sự thay đổi tính đa dạng theo kiểu hình không gian, từ đó có cơ sở để điều chỉnh kịp thời những tác động bất lợi trong mối quan hệ giữa con người, sinh vật và môi trường (Shu và cộng sự, 2015).

Tầng cây gỗ là thành phần cơ sở xây dựng nên cấu trúc của quần xã, có vai trò rất quan trọng đối với quá trình tái sinh của cây con, chu trình dinh dưỡng, bảo vệ đất và chống xói mòn. Mặc dù cấu trúc và mối quan hệ của các loài cây gỗ rất phức tạp, nhưng biểu hiện của một trong những mối quan hệ giữa chúng lại có thể dễ dàng nhận thấy nhất; Trong quá trình sinh trưởng, các loài cây gỗ cạnh tranh gay gắt về

không gian dinh dưỡng và môi trường sống dẫn đến hình thành các tầng tán rừng khác nhau (Ji, 2013). Sự phân chia này mới chỉ thể hiện ở mặt không gian theo chiều thẳng đứng trong khi cấu trúc không gian rừng bao gồm nhiều chỉ tiêu. Các câu hỏi nghiên cứu được đặt ra là: “đa dạng loài cây gỗ bị ảnh hưởng bởi cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang hay chiều thẳng đứng?”, “trong 2 kiểu hình không gian của lâm phần, kiểu hình nào ảnh hưởng đến đa dạng loài nhiều hơn?” trong nghiên cứu cấu trúc rừng và đa dạng sinh học ở nước ta những vấn đề này vẫn chưa được làm sáng tỏ. Vì vậy, nghiên cứu sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài còn có ý nghĩa cả về mặt lý luận.

Hơn nữa, nghiên cứu về các yếu tố và động thái ảnh hưởng đến đa dạng loài trong rừng kín thường xanh ở nước ta đã có rất nhiều công bố, nhưng hầu hết chỉ tập trung vào sự tác động gây ra bởi của các yếu tố cấu trúc phi không gian hoặc các yếu tố môi trường, ví dụ Lê Thái Hùng và cộng sự (2020), Nguyễn Thị Hải Lý (2019), Nguyễn Thị Yến (2015), Nguyễn Văn Hợp (2017), các tác giả này dựa vào các yếu tố như

tần suất bắt gặp loài, đai cao, dạng địa hình để đánh giá tính đa dạng thực vật. Mới chỉ có một vài nghiên cứu xem xét sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài, có thể kể đến như Nguyễn Hồng Hải và Cao Thị Thu Hiền (2019), các tác giả đã sử dụng kỹ thuật phân tích thống kê không gian để nghiên cứu sự đa dạng loài theo diện tích. Mặt khác, trong nghiên cứu mối quan hệ giữa các nhân tố sinh thái, các nghiên cứu trước đây thường dùng phương pháp thống kê truyền thống (kỹ thuật phân tích thống kê thể hệ thứ nhất), bằng cách sử dụng một hoặc một nhóm các chỉ tiêu quan sát, dựa trên hồi quy hoặc phân tích phương sai để hiểu dữ liệu và mối quan hệ. Về bản chất, các phương pháp thống kê truyền thống mới chỉ xem xét mối quan hệ trực tiếp 1 chiều hoặc 2 chiều của các biến quan sát mà không thể xem xét được mối quan hệ giữa các biến tiềm ẩn (biến không đo đếm được trực tiếp), dẫn đến chưa phản ánh đầy đủ mối quan hệ trong tổng thể (Carpenter và cộng sự, 1993). Trong khi đó, mô hình phương trình cấu trúc (SEM – Structural Equation Modeling) là một kỹ thuật phân tích thống kê thể hệ thứ 2 có nhiều ưu điểm vượt trội, nó được phát triển để phân tích mối quan hệ đa chiều giữa nhiều biến, bao gồm cả các biến tiềm ẩn trong mô hình (Eysenck, 1993). So với phương pháp thống kê truyền thống, mô hình SEM không chỉ cho biết mối tương quan và cường độ ảnh hưởng giữa các biến tiềm ẩn mà còn có thể kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình, giúp đánh giá các mối quan hệ trong tổng thể một cách toàn diện và chính xác hơn (Zaher, 1998). Mặc dù hiện nay, mô hình SEM đã được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực khác nhau như giáo dục, tâm lý học, quản lý kinh tế,... (Phạm Đức Kỳ, 2007). Tuy nhiên, ứng dụng của nó trong lĩnh vực lâm nghiệp là tương đối nhỏ, đặc biệt là trong nghiên cứu cấu trúc rừng và đa dạng sinh học ở nước ta cho đến nay vẫn chưa được áp dụng.

Xuất phát từ thực tiễn nêu trên, bài báo này lấy rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên (BTTN) - Văn hóa Đồng Nai làm đối tượng nghiên cứu, mục đích phân

tích ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài cây gỗ trong lâm phần. Kết quả của nghiên cứu không chỉ góp phần cung cấp cơ sở lý thuyết tin cậy cho công tác bảo tồn đa dạng sinh học, đề xuất các phương án quản lý rừng bền vững và lâu dài tại khu vực nghiên cứu mà còn bổ sung thêm một phương pháp tiếp cận mới trong nghiên cứu ảnh hưởng của cấu trúc không gian lâm phần đến đa dạng loài ở Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm và thời gian nghiên cứu

Khu BTTN Văn hóa Đồng Nai có tọa độ địa lý từ 11°08'55"-11°51'30" vĩ độ Bắc, 106°90'73"-107°23'74" kinh độ Đông. Tổng diện tích của cả Khu BTTN Văn hóa Đồng Nai là 100.571 ha (68.051 ha đất rừng và đất lâm nghiệp, 32.520 ha mặt nước). Chế độ khí hậu có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10, mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 của năm sau. Nhiệt độ trung bình 26,4°C, cao nhất 38°C vào tháng 4 và thấp nhất 22°C vào tháng 1. Độ ẩm tương đối 80-82% và lượng mưa trung bình hàng năm 2.000-2.800 mm (Nguyễn Thanh Tuấn và Trần Thanh Cường, 2020).

Khu vực nghiên cứu có dạng địa hình là các đồi đất thấp, độ cao trung bình 110 m so với mực nước biển, độ dốc 5°-20°. Quần xã thực vật khu vực nghiên cứu là rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới với một số ưu hợp điển hình như: Chai (*Shorea guiso*), Huỳnh đường (*Dysoxylum loureiri*), Dầu song nòng (*Dipterocarpus dyeri*), Dầu rái (*Dipterocarpus alatus*) và Bằng lăng (*Lagerstroemia calyculata*) (Nguyễn Thanh Tuấn và Trần Thanh Cường, 2020).

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 10/2020 đến 3/2021 với 3 đợt điều tra thực địa.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp điều tra và thu thập dữ liệu

Nghiên cứu đã thiết lập hệ thống gồm 60 OTC điển hình tạm thời, diện tích 500 m²/ô (25×20 m) trên các trạng thái rừng thứ sinh giàu và trung bình mang tính đại diện cho khu vực nghiên cứu.

Trong mỗi OTC tiến hành thu thập các thông tin bao gồm: Đường kính tại vị trí 1,3 m (DBH)

được đo bằng thước kẹp kính, đường kính tán được xác định bằng thước dây theo 2 hướng Đông - Tây và Nam - Bắc, chiều cao vút ngọn (H_{vn}) được đo bằng thước Blume - Leiss, xác định tên loài cho tất cả các cây gỗ có DBH > 5 cm, đồng thời xác định tọa độ tương đối của từng cây trong OTC bằng máy định vị GPS, thước dây và la bàn.

2.2.2. Phương pháp xử lý số liệu

a. Xác định tên loài: Tên loài cây gỗ được xác định bằng phương pháp hình thái so sánh. Các tài liệu được sử dụng bao gồm: Cây cỏ Việt Nam (Phạm Hoàng Hộ, 1999-2003), Cây gỗ Việt Nam (Trần Hợp, 2002), Tên khoa học được hiệu chỉnh bởi Kew Science, World flora online.

b. Các chỉ số cấu trúc không gian

Độ hỗn loài (M): phản ánh mức độ tương đồng về loài giữa cây mục tiêu và 4 cây lân cận gần nhất. Công thức tính (Hui và cộng sự, 1999):

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$$

Trong đó: j là cây lân cận so với cây mục tiêu i, v_{ij} = 1 nếu cây lân cận và cây mục tiêu cùng loài, ngược lại v_{ij} = 0.

Độ ưu thế chiều cao (U): phản ánh mối quan hệ chiều cao giữa cây mục tiêu và các cây lân cận. Công thức tính (Hui và cộng sự, 1999):

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij}$$

Trong đó, k_{ij} = 1, nghĩa là cây lân cận có chiều

cao lớn hơn cây mục tiêu, ngược lại k_{ij} = 0.

Độ tập trung tán (C): phản ánh mối quan hệ về tán cây giữa cây mục tiêu và cây lân cận (Gadow và cộng sự, 1998).

$$C_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 y_{ij}$$

Trong đó y_{ij} = 1, nghĩa là cây mục tiêu và cây lân cận giao tán, ngược lại y_{ij} = 0.

Hệ số đồng góc (W): là tỉ lệ thành phần của những cây có hệ số góc α < α_o (72°) trong 4 cây lân cận nghiên cứu. Công thức tính (Pommerening và cộng sự, 2011):

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 z_{ij}$$

Trong đó: z_{ij} = 1, nếu α < α_o và ngược lại z_{ij} = 0. Hệ số W biểu thị mức độ phân tán của 4 cây lân cận so với cây mục tiêu.

Độ mở (K): phản ánh không gian sinh trưởng của cây rừng theo chiều thẳng đứng. Công thức tính (Hao và cộng sự, 2006):

$$K_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 \frac{D_{ij}}{H_{ij}}$$

Trong đó: D_{ij} là khoảng cách giữa cây lân cận j đến cây mục tiêu, H_{ij} là chiều cao của cây lân cận j. Giá trị K_i nằm trong các khoảng giá trị (0,0-0,2), (0,2-0,3), (0,3-0,4), (0,4-0,5) và (0,5 đến +∞) tương ứng với ý nghĩa sinh trưởng của cây rừng là không gian sinh trưởng bị thiếu hụt nghiêm trọng, không đủ, cơ bản đủ, đủ và rất đủ.

Bảng 1. Giá trị cụ thể và ý nghĩa sinh học của 4 chỉ số cấu trúc không gian

TT	Chỉ số cấu trúc không gian	Giá trị				
		0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
1	Độ hỗn loài (M)	Không hỗn loài	Hỗn loài thấp	Hỗn loài vừa	Hỗn loài cao	Hỗn loài rất cao
2	Độ ưu thế chiều cao (U)	Ưu thế	Phụ ưu thế	Tầng giữa	Bị chèn ép	Bị chèn ép hoàn toàn
3	Độ tập trung tán (C)	Rất thưa thớt	Thưa thớt	Mật độ trung bình	Mật độ dày	Mật độ rất dày
4	Hệ số đồng góc (W)	Phân bố rất đều	Phân bố đều	Phân bố ngẫu nhiên	Phân bố cụm	Phân bố rất cụm

c. Chỉ số cạnh tranh (CI): dùng để đánh giá tình trạng cạnh tranh của cây rừng. Chỉ số cạnh tranh được tính theo công thức của Hegyi (Hegyi, 1974; Holmes and Reed, 1991):

$$CI_i = \sum_{j=1}^4 \frac{d_j}{d_i L_{ij}}$$

Trong đó, CI_i là chỉ số cạnh tranh của cây j

với cây mục tiêu i, d_i và d_j lần lượt là đường kính ngang ngực của cây mục tiêu i và cây cạnh tranh (cây lân cận) j, L_{ij} là khoảng cách giữa cây mục tiêu và cây cạnh tranh (m). Giá trị CI_i càng lớn cho biết áp lực cạnh tranh của cây rừng càng cao.

d. Hiệu chỉnh cận biên

Xử lý dữ liệu trong tính toán các chỉ số cấu

trúc không gian liên quan đến vấn đề loại bỏ ranh giới của ô nghiên cứu một cách hợp lý. Phương pháp loại bỏ ranh giới hay hiệu chỉnh cận biên có tác động đến kết quả nghiên cứu cấu trúc không gian của lâm phần. Trong trường hợp chọn cây mục tiêu nằm giáp ranh giới của ô nghiên cứu, khi đó những cây nằm ngoài ô cũng sẽ phát sinh ảnh hưởng cạnh tranh với cây mục tiêu, vì vậy kết quả phân tích chỉ số cấu trúc không gian của cây mục tiêu sẽ không chính xác. Để loại trừ sai số, nghiên cứu này chỉ chọn những cây mục tiêu nằm trong OTC và cách ranh giới của OTC là 5 m. Hiệu chỉnh cận biên được thực hiện bằng việc điều chỉnh giá trị buffer khi sử dụng forestSAS - Package trong ngôn ngữ R để tính toán các chỉ số cấu trúc không gian và chỉ số cạnh tranh.

d. Các chỉ số đa dạng sinh học

Chỉ số đa dạng Shannon-Weiner (H'): $H' = \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$ (Shannon & Weaver, 1949)

Trong đó: $p_i = n_i/N$: là độ nhiều tương đối của loài i hay tỷ lệ cá thể loài i so với tổng số cây trong ô thứ cấp.

Chỉ số đa dạng Simpson (D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (\text{Simpson, 1949})$$

Chỉ số đồng đều Pielou (J'):

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (\text{Pielou, 1966})$$

Trong đó: H' là chỉ số đa dạng Shannon-Weiner, S: số loài có trong OTC.

e. Xây dựng và kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình SEM

Mô hình SEM bao gồm 2 thành phần là mô hình đo lường (Measurement model) và mô hình cấu trúc (Structure model). Mô hình đo lường chỉ rõ quan hệ giữa các biến tiềm ẩn (biến không đo đếm trực tiếp được) và các biến quan sát (biến có thể đo đếm trực tiếp), nó cung cấp thông tin về thuộc tính đo lường của biến quan sát (độ tin cậy, hệ số ảnh hưởng). Mô hình cấu trúc chỉ rõ mối quan hệ giữa các biến tiềm ẩn với nhau.

Công thức của mô hình đo lường dẫn theo Dong và cộng sự (2021) như sau:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

Trong đó: X là vector được tạo thành bởi các biến quan sát, Y là vector được tạo thành bởi các biến tiềm ẩn; ξ là vector được tạo thành bởi các biến tiềm ẩn ngoại sinh (biến tiềm ẩn không bị

ảnh hưởng của biến tiềm ẩn khác trong mô hình) và η là vector được tạo thành bởi các biến tiềm ẩn nội sinh (biến tiềm ẩn bị ảnh hưởng của biến tiềm ẩn khác trong mô hình). Λ_x là ma trận hệ số tải nhân tố của biến quan sát lên biến tiềm ẩn ngoại sinh, nó phản ánh mức độ ảnh hưởng trong mối quan hệ giữa biến quan sát và biến tiềm ẩn ngoại sinh; Λ_y là ma trận hệ số tải nhân tố của biến tiềm ẩn ngoại sinh lên biến tiềm ẩn nội sinh, nó phản ánh mức độ ảnh hưởng trong mối quan hệ giữa biến tiềm ẩn ngoại sinh và các biến tiềm ẩn nội sinh. δ và ε là sai số đo lường của các biến quan sát và biến tiềm ẩn.

Mô hình cấu trúc là mô hình phản ánh mối quan hệ giữa các biến tiềm ẩn, công thức của mô hình cấu trúc dẫn theo Dong và cộng sự (2021) như sau:

$$\eta = B\eta + T\xi + \zeta$$

Trong đó: η là biến tiềm ẩn nội sinh, B là ma trận hệ số tải nhân tố của mối quan hệ giữa các biến tiềm ẩn nội sinh; ξ là biến tiềm ẩn ngoại sinh, T là ma trận hệ số tải nhân tố của biến tiềm ẩn ngoại sinh lên biến tiềm ẩn nội sinh, nó phản ánh mức độ ảnh hưởng mạnh hay yếu trong mối quan hệ giữa biến tiềm ẩn ngoại sinh và biến tiềm ẩn nội sinh; ζ là hệ số dư trong mô hình.

Trước khi xây dựng mô hình SEM, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp xây dựng ma trận tương quan và phân tích nhân tố khám phá EFA để chuẩn hóa dữ liệu đầu vào và loại bỏ các biến quan sát có hệ số tải nhân tố không đạt. Cuối cùng, cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng (CTRUC_DUNG) và cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang của lâm phần (CTRUC_NGANG) được coi là các biến tiềm ẩn ngoại sinh, độ hỗn loài (M), độ tập trung tán (C) và hệ số đồng góc (W) được coi là biến quan sát của cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang; độ ưu thế chiều cao (U) và độ mở (K) được coi là biến quan sát của cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng. Đa dạng loài (DA_DANG_LOAI) là biến tiềm ẩn nội sinh, trong đó các chỉ số đa dạng Shannon-Weiner (H'), Simpson (D) và chỉ số đồng đều Pielou (J') là biến quan sát. Chỉ số cạnh tranh (CI) được đưa vào mô hình là biến quan sát độc lập để xây dựng mô hình lý thuyết về sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian lâm phần đối với đa dạng loài cây gỗ.

Kiểm tra sự phù hợp của mô hình dựa theo bộ chỉ tiêu do Hu và Bentler (1999) đề xuất, thông qua các chỉ số Chi-square/df, CFI, GFI, RMSEA và PCLOSE trong phân tích nhân tố khẳng định CFA để đánh giá mô hình. Thông thường Chi-square/df ≤ 3 ; CFI, GFI $\geq 0,9$; RMSEA $\leq 0,06$; PCLOSE $\geq 0,05$ thì mô hình được xây dựng là tốt. Nếu Chi-square/df ≤ 5 , CFI $\geq 0,8$; GFI $\geq 0,9$; RMSEA $\leq 0,08$; PCLOSE $\geq 0,01$ thì mô hình được chấp nhận, ngược lại mô hình không phù hợp.

Trong nghiên cứu này, ngôn ngữ R 4.0.5 được sử dụng dựa trên các Package để tính toán các chỉ số cấu trúc không gian (forestSAS-Package), chỉ số cạnh tranh (siplab-Package), các chỉ số đa dạng sinh học (BiodiversityR-Package) và xây dựng ma trận tương quan giữa các biến (corrplot-Package); xây dựng và kiểm

tra sự phù hợp của mô hình SEM được thực hiện trên phần mềm SPSS 26 và AMOS 25.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Một số đặc trưng của các OTC

Các trạng thái rừng ở khu vực nghiên cứu được phân loại dựa trên trữ lượng của lâm phần và căn cứ vào Thông tư số 33 ban hành ngày 16 tháng 11 năm 2018 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn: Thông tư quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng. Trong đó, tổng số 88 loài cây gỗ đã được xác định ở trạng thái rừng giàu và 84 loài được ghi nhận ở rừng trung bình với mật độ tương ứng là 2.411 cây/ha và 2.231 cây/ha. Các giá trị DBH, Hvn, và tổng trữ lượng bình quân ở trạng thái rừng giàu được xác định cao hơn so với rừng trung bình. Kết quả được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Một số đặc trưng của các OTC

TT	Trạng thái	Số OTC	Các đặc trưng lâm phần	Giá trị
1	Rừng giàu	30	Tổng số loài	88
			DBH (cm)	13,58 ± 7,86
			Hvn (m)	12,98 ± 3,17
			N (cây/ha)	2.411
			M (m ³ /ha)	203,97
2	Rừng TB	30	Tổng số loài	84
			DBH (cm)	12,34 ± 5,35
			Hvn (m)	9,23 ± 1,88
			N (cây/ha)	2.231
			M (m ³ /ha)	110,82

3.2. Một số đặc trưng của các chỉ số cấu trúc không gian

Kết quả tính toán các chỉ số cấu trúc không gian cho thấy, hệ số đồng góc dao động từ 0,42 - 0,63 và hệ số biến động thấp nhất (9,61%); độ tập trung tán dao động từ 0,12 - 0,62 và hệ số biến động cao nhất (30,64%). Chỉ số cạnh tranh

dao động từ 1,73-18-61 (CV% = 39,93%). Các chỉ số độ ưu thế chiều cao, độ mở và độ hỗn loài có hệ số biến động từ 14,58 - 16,04%, với các giá trị tương ứng là 0,14 - 0,66; 0,39 - 0,65; và 0,30 - 0,95. Kết quả được tổng hợp trong bảng 3.

Bảng 3. Một số đặc trưng của các chỉ số cấu trúc không gian

TT	Các chỉ số cấu trúc không gian	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị TB	Giá trị lớn nhất	Độ lệch chuẩn (SD)	Hệ số biến động (CV%)
1	Độ hỗn loài (M)	0,30	0,81	0,95	0,13	16,04
2	Độ tập trung tán (C)	0,12	0,62	0,88	0,19	30,64
3	Hệ số đồng góc (W)	0,42	0,52	0,63	0,05	9,61
4	Độ ưu thế chiều cao (U)	0,14	0,48	0,66	0,07	14,58
5	Độ mở (K)	0,39	0,51	0,65	0,06	15,38
6	Chỉ số cạnh tranh (CI)	1,73	5,96	18,61	2,83	39,93

3.3. Đặc trưng của các chỉ số đa dạng loài cây gỗ

Kết quả thống kê các chỉ số đa dạng sinh học cho thấy, chỉ số đa dạng Simpson biến động

thấp nhất, dao động từ 0,66 - 0,93, hệ số biến động 4,65%. Chỉ số đồng đều Pielou biến động cao nhất (14,28%), dao động 0,38 - 0,84. Chỉ số

Shannon-Weiner dao động từ 1,66 - 3,05 (hệ số biến động CV% = 11,6%). Kết quả được tổng hợp trong bảng 4.

Bảng 4. Đặc trưng của các chỉ số đa dạng loài cây gỗ trong các OTC

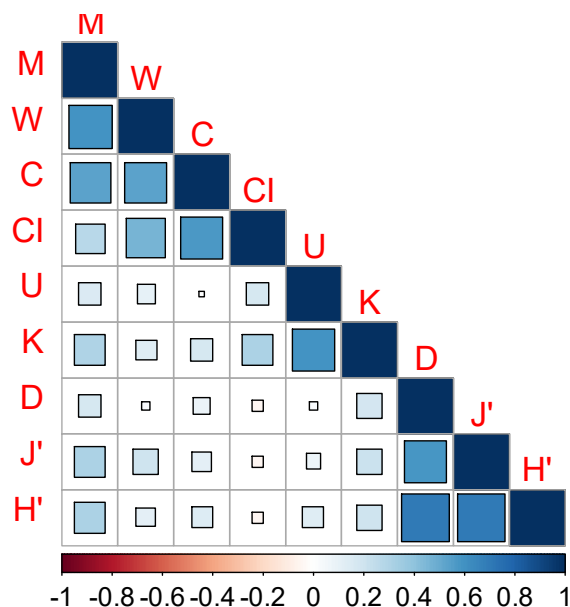
TT	Các chỉ số đa dạng sinh học	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị TB	Giá trị lớn nhất	Độ lệch chuẩn (SD)	Hệ số biến động (CV%)
1	Chỉ số đa dạng Simpson (D)	0,66	0,86	0,93	0,04	4,65
2	Chỉ số đa dạng Shannon-Weiner (H')	1,66	2,41	3,05	0,28	11,6
3	Chỉ số đồng đều Pielou (J')	0,38	0,63	0,84	0,09	14,28

3.4. Ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài cây gỗ

3.4.1. Phân tích tương quan giữa các biến quan sát

Kết quả phân tích mối tương quan giữa 9 biến quan sát (hình 1) cho thấy, 33/36 cặp biến tồn tại mối tương quan thuận (màu xanh), trong khi đó chỉ có 3 cặp biến tồn tại mối tương quan nghịch (màu đỏ). Bên cạnh đó, 3 nhóm biến quan sát, nhóm 1 (độ hỗn loài, hệ số đồng góc và độ tập trung tán), nhóm 2 (độ ưu thế chiều cao và độ mở), nhóm 3 (gồm 3 chỉ số đa dạng)

có mối tương quan tốt ($P < 0,05$). Mối tương quan cao giữa các cặp biến chỉ ra rằng mô hình phương trình cấu trúc được xây dựng trong nghiên cứu này là phù hợp để định lượng và trích xuất các yếu tố chính có quan hệ với nhau. Mặt khác, phân tích nhân tố khám phá EFA cho kết quả chỉ số KMO = 0,672 > 0,5; mức ý nghĩa $P = 0,000 < 0,001$; có 3 nhân tố được trích ra với tổng phương sai trích bằng 73,256% > 50%, nên kết quả phân tích nhân tố EFA là phù hợp và các biến đưa vào để xây dựng mô hình có ý nghĩa về mặt thống kê.

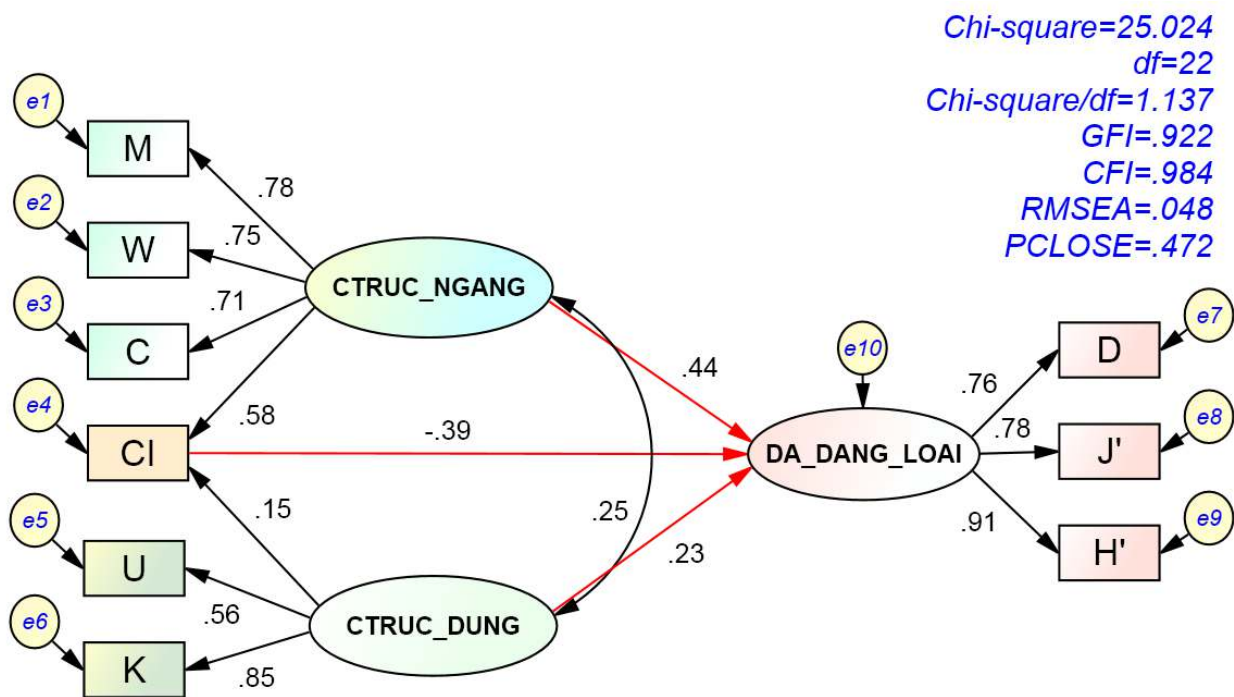


Hình 1. Ma trận tương quan giữa các biến quan sát

3.4.2. Xây dựng và đánh giá sự phù hợp của mô hình nghiên cứu

Kết quả ước lượng của mô hình nghiên cứu có giá trị $P = 0,000$ (Chi-square = 25,024) và Chi-square/df = 1,137 < 3, CFI = 0,984 > 0,9;

GFI = 0,922 > 0,9; RMSEA= 0,048 < 0,06; PCLOSE = 0,472 > 0,05 do đó có thể kết luận mức độ phù hợp của mô hình nghiên cứu ở mức tốt, phù hợp để đánh giá ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài cây gỗ.



Hình 2. Mô hình nghiên cứu

3.4.3. Ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài cây gỗ

Trong mô hình nghiên cứu, đối với biến tiềm ẩn cấu trúc không gian theo mặt phẳng ngang, hệ số tải nhân tố lớn nhất là độ hỗn loài (0,775);

đối với biến tiềm ẩn cấu trúc theo chiều thẳng đứng, hệ số tải lớn nhất ở biến độ mở (0,853); và hệ số tải lớn nhất ở chỉ số đa dạng Shannon-Weiner (0,914) đối với biến tiềm ẩn đa dạng loài (bảng 5).

Bảng 5. Hệ số tải nhân tố của các biến quan sát trong mô hình nghiên cứu

TT	Biến tiềm ẩn	Biến Quan sát	Hệ số tải nhân tố	Mức ý nghĩa
1	CTRUC_NGANG	Độ hỗn loài (M)	0,775	***
		Độ tập trung tán (C)	0,706	*
		Chỉ số đồng góc (W)	0,749	**
2	CTRUC_DUNG	Độ ưu thế chiều cao (U)	0,563	*
		Độ mở (K)	0,853	*
3	DA_DANG_LOAI	Chỉ số Simpson (D)	0,764	**
		Chỉ số Shannon-Weiner (H')	0,914	***
		Chỉ số Pielou (J')	0,778	**

(Mức ý nghĩa: *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; hệ số tải nhân tố đã được chuẩn hóa)

Mô hình nghiên cứu cho thấy cấu trúc không gian của lâm phần ảnh hưởng đến sự đa dạng của các loài cây gỗ, mối quan hệ là tương quan thuận; trong đó, cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang với hệ số tải nhân tố (0,436) lớn hơn hệ số tải nhân tố ở cấu trúc theo chiều thẳng đứng (0,233). Điều này chứng tỏ cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang ảnh

hưởng đến đa dạng loài cây gỗ nhiều hơn so với cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng. Ngoài ra, chỉ số cạnh tranh với hệ số tải nhân tố tác động lên biến tiềm ẩn đa dạng loài có giá trị âm (-0,386), cho biết chỉ số cạnh tranh có mối tương quan nghịch (tác động tiêu cực) đến đa dạng loài cây gỗ (bảng 6).

Bảng 6. Mức độ ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài

TT	Chiều hướng ảnh hưởng			Hệ số tải nhân tố
1	DA_DANG_LOAI	←	CTRUC_NGANG	0,436**
2	DA_DANG_LOAI	←	CTRUC_DUNG	0,233*
3	DA_DANG_LOAI	←	Chỉ số cạnh tranh (CI)	-0,386**

4. THẢO LUẬN

Nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố và động thái đến đa dạng loài có ý nghĩa to lớn trong việc khám phá cơ chế hình thành và duy trì tính đa dạng của các quần xã trong tự nhiên (Dong và cộng sự, 2021). Kết quả phân tích mô hình nghiên cứu cho thấy cấu trúc không gian của lâm phần theo mặt phẳng nằm ngang ảnh hưởng đến đa dạng loài cây gỗ nhiều hơn so với chiều thẳng đứng và chỉ số cạnh tranh có ảnh hưởng tiêu cực đến sự đa dạng loài. Độ hỗn loài với hệ số tải nhân tố (0,775) lớn nhất trong các biến tác động trực tiếp lên CTRUC_NGANG, từ đó nó gián tiếp tác động lên sự đa dạng loài cũng lớn nhất so với các biến là độ tập trung tán và chỉ số đồng góc (hệ số tải nhân tố tương ứng 0,706 và 0,749). Kết quả này có sự tương đồng so với các kết quả của một số tác giả khi thực hiện nghiên cứu ở Trung Quốc. Khi nghiên cứu sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian rừng tự nhiên hỗn loài Thông mã vĩ đến đa dạng thực vật ở các giai đoạn diễn thế tại tỉnh Hồ Bắc – Trung Quốc, Zhang và cộng sự (2021) đã kết luận rằng sự đa dạng loài bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang, đặc biệt là độ hỗn loài. Tương tự, Li và cộng sự (2016) cũng phát hiện chỉ số đa dạng sinh học Shannon-Wiener bị ảnh hưởng nhiều bởi 2 chỉ số cấu trúc không gian là độ hỗn loài và chỉ số đồng góc. Điều này có thể được giải thích do cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang ảnh hưởng trực tiếp đến không gian dinh dưỡng của các loài cây trên mặt đất rừng. Trong rừng tự nhiên hỗn giao, các loài cây cạnh tranh không gian dinh dưỡng rất gay gắt. Để làm giảm mức độ cạnh tranh và giải phóng không gian dinh dưỡng, cây rừng thường có xu hướng chuyển dần từ dạng phân bố cụm ở giai đoạn cây con sang phân bố ngẫu nhiên hoặc phân bố đều ở giai đoạn cây nhỡ và trưởng thành

(Nguyễn Thanh Tuấn và Trần Thanh Cường, 2020). Trong quá trình chuyển đổi kiểu hình phân bố không gian sẽ kéo theo sự thay đổi về thành phần loài cây trong quần xã.

Kết quả phân tích mô hình cũng cho thấy cấu trúc không gian của lâm phần theo chiều thẳng đứng ảnh hưởng đáng kể đến đa dạng loài cây gỗ. Điều này do đặc trưng của cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng là các lớp tầng tán ở độ cao khác nhau, chúng ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường sống của các loài thông qua các yếu tố môi trường như ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm đất và tốc độ gió (Ediriweera và cộng sự, 2008). Cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng có ảnh hưởng lớn đến các loài cây dưới tán thông qua cường độ chiếu sáng. Ở một mức độ nhất định nó còn có thể quyết định đến tỷ lệ sống của các loài cây con, cây tái sinh chịu bóng, hoặc không ưa bóng và có nhu cầu ánh sáng cao dưới tán rừng, từ đó ảnh hưởng đến thành phần loài cây (Alem và cộng sự, 2015). Mặt khác, cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng ảnh hưởng lớn đến nền đất rừng như vị trí của điểm lọt sáng và độ thoát hơi nước trong rừng. Rừng với cấu trúc nhiều tầng tán, các tán xếp chồng lên nhau sẽ làm cho vị trí của các điểm lọt sáng qua tán cây đều hơn và sự thoát hơi nước cũng chậm hơn so với rừng có cấu trúc tầng tán đơn giản (Kathke, 2010). Độ ẩm cao cùng với lớp thảm mục tích tụ dày ở rừng nhiều tầng tán sẽ tạo điều kiện cho các vi sinh vật trong đất hoạt động mạnh, làm tăng lượng chất hữu cơ và độ phì của đất, giúp cho các loài cây sinh trưởng và phát triển một cách thuận lợi. Theo Grime (1979), rất ít loài thực vật có khả năng chịu đựng được điều kiện thiếu dinh dưỡng khắc nghiệt. Baillie và cộng sự (1987) khi nghiên cứu đa dạng thực vật ở phía bắc đảo Borneo cũng đã chỉ ra rằng sự đa dạng và đồng đều về thành phần loài có mối tương quan chặt chẽ với điều kiện dinh dưỡng

trong môi trường đất. Do đó, cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng không chỉ ảnh hưởng đến số lượng loài mà còn ảnh hưởng đến cả sự đồng đều về thành phần loài cây trong quần xã.

Nghiên cứu cũng đã phát hiện chỉ số cạnh tranh có ảnh hưởng tiêu cực đến sự đa dạng loài cây gỗ, điều này được giải thích do sự cạnh tranh gay gắt giữa các loài cây rừng bởi thiếu hụt về không gian dinh dưỡng và môi trường sống. Nguyễn Thanh Tuấn và Trần Thanh Cường (2020) khi nghiên cứu về sự biến đổi cấu trúc không gian của rừng tự nhiên tại Khu BTTN Đồng Nai cho rằng sự cạnh tranh trong cùng loài khốc liệt hơn so với cạnh tranh khác loài. Theo Potvin và cộng sự (2009), sự cạnh tranh cùng loài hay khác loài đều diễn ra mạnh nhất ở các cây lân cận liền kề nhau. Grime (1973) cũng đã chỉ ra sự cạnh tranh gay gắt giữa các cá thể trưởng thành làm ảnh hưởng đến lớp cây tái sinh, cây con từ đó làm giảm sự phong phú ban đầu về thành phần loài trong quần xã thực vật.

Rừng tự nhiên là một hệ thống với cấu trúc và chức năng phức tạp, vì vậy khi nghiên cứu mối quan hệ giữa cấu trúc không gian và các chức năng của nó không thể mô tả trực tiếp bằng mối quan hệ đơn giản một chiều hoặc hai chiều giữa các nhóm chỉ tiêu, mà cần phải xem xét đến mối quan hệ đa chiều của nhiều yếu tố. Mô hình SEM có sự vượt trội về xử lý các mối quan hệ ngẫu hợp trong nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực không chỉ riêng trong sinh thái học, nó sử dụng các biến có thể định lượng để ước tính các biến tiềm ẩn không thể đo lường trực tiếp và cho biết mối quan hệ đa chiều của các biến tiềm ẩn trong mô hình, do đó có thể nói rằng mô hình SEM cung cấp một cách tiếp cận tổng thể độc đáo hơn rất nhiều so với các phương pháp thống kê truyền thống (Carpenter và cộng sự, 1993; Dong và cộng sự, 2021). Tuy nhiên, mô hình SEM không phải là không có nhược điểm, nó yêu cầu số lượng mẫu nghiên cứu phải đủ lớn, trong các lĩnh vực như khoa học xã hội, kinh tế... nhiều nghiên cứu phải sử dụng hàng trăm hoặc thậm chí lên đến hàng nghìn mẫu để cải thiện mức độ

phù hợp của mô hình (Hair và cộng sự, 2014). Vì vậy, bài báo cũng đề xuất các nghiên cứu sau nếu đi theo hướng nghiên cứu này cần tăng thêm số lượng mẫu, từ đó so sánh kết quả và hệ thống để có thể đưa ra được một bộ tiêu chuẩn cụ thể về số lượng mẫu trong nghiên cứu sự ảnh hưởng của cấu trúc không gian đến đa dạng loài dựa trên mô hình SEM.

5. KẾT LUẬN

Mô hình nghiên cứu được xây dựng phản ánh dữ liệu với mức độ phù hợp ở mức tốt, mức ý nghĩa $P = 0,000 < 0,001$ (Chi-square = 25,024), Chi-square/df = 1,137 < 3, CFI = 0,984 > 0,9; GFI = 0,922 > 0,9; RMSEA = 0,048 < 0,06; PCLOSE = 0,472 > 0,05.

Cấu trúc không gian của lâm phần và chỉ số cạnh tranh của cây rừng ảnh hưởng đáng kể đến sự đa dạng của các loài cây gỗ. Trong đó, cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang ảnh hưởng nhiều hơn so với chiều thẳng đứng. Sự tương quan giữa cấu trúc không gian với đa dạng loài là tương quan thuận. Chỉ số cạnh tranh có tương quan nghịch, ảnh hưởng tiêu cực đến đa dạng loài cây gỗ.

Mức độ ảnh hưởng của các biến quan sát lên các biến tiềm ẩn ngoại sinh là cấu trúc theo mặt phẳng nằm ngang và chiều thẳng đứng cùng với chỉ số cạnh tranh giúp hiểu được rõ hơn về cơ chế biến đổi của thành phần loài theo kiểu hình không gian của lâm phần. Kết quả của nghiên cứu là cơ sở khoa học tin cậy giúp nhà quản lý trong việc tìm kiếm và xây dựng các phương thức lâm sinh, các giải pháp quản lý, bảo tồn và phát triển bền vững tài nguyên đa dạng thực vật, trong đó ưu tiên vào việc điều chỉnh các yếu tố có tác động nhiều hơn đến sự đa dạng loài. Do đó, cần áp dụng các biện pháp quản lý toàn diện, tránh tác động đến cấu trúc không gian theo chiều thẳng đứng và cần điều chỉnh cấu trúc không gian theo mặt phẳng nằm ngang, đồng thời làm giảm mức độ cạnh tranh của cây rừng một cách hợp lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alem S, Pavlis J, Urban J, Kucera J (2015). Pure and mixed plantations of *Eucalyptus camaldulensis* and

- Cupressus lusitanica: their global city and effect on diversity and density of undergrowth woody plants in relation to light. *Open Journal of Forestry*, 5(4): 375-386.
2. Baillie I C, Ashton P C, Court M N, Anderson J A R, Fitzpatrick E A and Tinsley J (1987). Site characteristics and the distribution of tree species in mixed dipterocarp forests on tertiary sediments in Central Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 3: 201-220.
 3. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2018). Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT: Thông tư quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng, ban hành ngày 16 tháng 11 năm 2018.
 4. Carpenter P J, Scanlan T K, Simons J P, Lobel M (1993). A test of the sport commitment mode using structural equation modeling. *Jordan of Spot and Excel Psychology*, 15(2): 119-133.
 5. Chave J (2004). Neutral theory and community ecology. *Ecology Letters*, 7(7): 241-253.
 6. Dong L B, Tian D Y, Chen Y, Liu Z G (2021). Influencing factors of regeneration for natural Larix gmelinii forests based on structural equation model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17: 2255-2260.
 7. Ediriweera S, Singhakumara B M P, Ashton M S (2008). Variation in canopy structure, light and soil nutrition across elevation of a Sri Lankan tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 256 (6): 1339-1349.
 8. Eysenck H J (1993). Creativity and personality: suggestions for a theory. *Psychological Inquiry*, 4(3): 147-178.
 9. Gadow K V, Hui G Y and Albert M (1998). Das Winkelmaß - ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 115(1): 1-9.
 10. Grime J P (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242 (5396): 344-347.
 11. Grime J P (1979). Plant strategies and vegetation processes. *Journal of Ecology*, 68: 704-706.
 12. Nguyễn Hồng Hải, Cao Thị Thu Hiền (2019). Quan hệ không gian và đa dạng loài cây rừng lá rộng thường xanh, tỉnh Gia Lai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 8/2019: trang 41-49.
 13. Hair J F, Black W C, Babin B J, Anderson R E (2014). *Multivariate Data Analysis: Pearson New International Edition, 7th Edition*. New Jersey.
 14. Hao Y Q, Wang J X, Wang Q H, Sun P, Pu C L (2006). Preview of spatial structure of Cryptomeria fortunei Plantation after stand improvement. *Scientia Sinicae*, 42(8): 8-13.
 15. Hegyi (1974). FA simulation model for managing jack-pine stands. Fries J. Growth models for tree and stand simulation. Stockholm: *Royal College of Forestry*, pages 74 – 90.
 16. Holmes M, Reed D (1991). Competition indices for mixed species northern hardwoods. *Forest Science*, 37(5): 1338 – 1349.
 17. Phạm Hoàng Hộ (1999-2003). *Cây cỏ Việt Nam* (tập 1-3), tái bản lần thứ 2. Nhà xuất bản Trẻ, Hà Nội.
 18. Trần Hợp (2002). *Cây gỗ Việt Nam*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
 19. Nguyễn Văn Hợp (2017). Một số đặc điểm hệ thực vật thân gỗ của kiểu phụ rừng lùn tại Vườn quốc gia Bidoup – Núi Bà, tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 3/2017: trang 27-35.
 20. Hu L and Bentler P M (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1): 1-55.
 21. Hui G Y, Gadow K V, Albert M (1999). The neighbourhood pattern - A new structure parameter for describing distribution of forest tree position. *Scientia Sinicae*, 35(1): 37-42.
 22. Lê Thái Hùng, Ngô Tùng Đức, Trần Nam Thắng, Đinh Tiến Tài (2020). Đặc điểm thành phần loài và chỉ số đa dạng sinh học của thực vật thân gỗ ưu hợp cây họ Dầu thuộc rừng kín thường xanh ở huyện A Lưới, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Nông nghiệp*, tập 4(1): 1776-1786.
 23. Nguyễn Thị Hải Lý (2019). *Nghiên cứu sự phân bố và đa dạng thực vật bậc cao trên các vùng sinh thái khác nhau tại tỉnh An Giang*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Cần Thơ.
 24. Ji W X (2013). *Study on spatial structure and optimization of natural secondary forests in the mountainous area of Northern Hebei province*. MSc thesis, Beijing Forestry University.
 25. Kathke S, Bruelheide H (2010). Gap dynamics in a neighbor-natural spruce forest at Mt. Brocken, Germany. *Forest Ecology and Management*, 259(3): 624-632.
 26. Kew science (2020). <http://www.plantsoftheworldonline.org>. Accessed March 2021.
 27. Phạm Đức Kỳ (2007). *Mối quan hệ giữa khách hàng và thương hiệu - Một nghiên cứu trong cộng đồng mạng*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
 28. Li F, Pan P, Ning J K (2016). Effects of stand spatial structure on understory vegetation diversity of aerial seeding Pinus massoniana plantations. *Journal of Northeast Forestry University*, 40(11): 31-35.
 29. Pielou E C (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
 30. Pommerening A, Goncalves A C and Rodriguez-Soalleiro R (2011). Species mingling and diameter differentiation as second-order characteristics. *German Journal of Forest Research*, 182: 115-129.
 31. Potvin C, Dutilleul D (2009). Neighborhood effects and size-asymmetric competition in a tree plantation variation in diversity. *Ecology*, 90 (2): 321-327.
 32. Shannon C E and Weaver W (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
 33. Shu M, Zhao Y Y, Duan X, Hu H R, Xiong H Q (2015). Impact Factors of Forest Diversity in Yunnan

Pine Secondary Forest Based on Structural Equation Model. *Journal of Northeast Forestry University*, 43(10): 63-67.

34. Simpson E H (1949). *Measurement of diversity*. London, Nature, 163: 688.

35. Nguyễn Thanh Tuấn, Trần Thanh Cường (2020). Biến đổi cấu trúc không gian của rừng tự nhiên trung bình và giàu tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 1/2020: trang 62-70.

36. Nguyễn Thị Yên (2015). *Nghiên cứu tính đa dạng thực vật trong các hệ sinh thái rừng ở Vườn quốc gia Xuân Sơn, tỉnh Phú Thọ làm cơ sở cho công tác quy hoạch và bảo tồn*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Thái Nguyên.

37. World flora online (2020). <<http://104.198.148.243>>. Accessed March 2021.

38. Wright J S (2002). Plant diversity in tropical forests: A review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130(1): 1-14.

39. Zaher A, McEville B, Perrone V (1998) Does truth matter? Exploring the effects of interorganizational and interpersonal trust on performance. *Organizational Science*, 9(2): 141-159.

40. Zhang M J (2011). *Research on intraspecific and interspecific interactions of plant communities in arid regions based on spatial pattern*. PhD thesis, Nanjing University.

41. Zhang Y H, Dian Y Y, Huang G T, Liu X Y, Han Z M, Jian Y F, Li Y, Wang X (2021). Effects of spatial structure on species diversity in *Pinus massoniana* plantation of different succession degrees. *Chinese Journal of Ecology*. <<https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202108.015>>. Accessed March 2021.

EFFECTS OF SPATIAL STRUCTURE ON WOODY SPECIES DIVERSITY IN TROPICAL MOIST EVERGREEN CLOSED FOREST AT DONG NAI CULTURAL NATURE RESERVE

Nguyen Van Quy¹, Nguyen Van Hop¹, Nguyen Thanh Tuan¹, Tran Thanh Cuong²

¹Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus

²Southern Sub-Institute of Forest Inventory and Planning

SUMMARY

Data were collected from 60 plots of 500 m² in 2 states of the rich and medium forest at Dong Nai Cultural Nature Reserve. The information collected in the study plots includes species name, diameter at breast height (DBH), overall height, crown diameter, and coordinates of all trees (DBH > 5 cm). This article used 5 spatial structure parameters, Hegyi's competition index, and 3 diversity indices to build Structural equation modeling to analyze the influence of spatial structure on woody species diversity. The Goodness-of-fit testing of research model indicates good model fit with high significance level (P-value = 0.000 < 0.001; Chi-square test/df = 1.137 < 3, CFI = 0.984 > 0.9, GFI = 0.922 > 0.9, RMSEA = 0.048 < 0.06, PCLOSE = 0.472 > 0.05). The analysis result of the research model also shows that stand spatial structure and competition index both affect woody species diversity; the horizontal spatial structure of the stand affects stronger woody species diversity than vertical structure (loading indicator of 0.436 > 0.233); competition index of forest trees was a negative effect to species diversity (loading indicator of -0.386). Research results contribute to supplement the theory of the relationship between forest structure and tree species diversity in tropical moist evergreen closed forests; at the same, it provides a scientific basis for biodiversity conservation and proposes sustainable forest management plans in the study area.

Keywords: Dong Nai Cultural Nature Reserve, spatial structure, tropical moist evergreen closed forest, structural equation modeling, woody species diversity.

Ngày nhận bài : 02/5/2021

Ngày phản biện : 07/6/2021

Ngày quyết định đăng : 14/6/2021