

ĐẶC ĐIỂM TÁI SINH TỰ NHIÊN VÀ KHẢ NĂNG PHỤC HỒI RỪNG CỦA TRẠNG THÁI ĐẤT TRỐNG CÓ CÂY TÁI SINH TẠI XÃ MƯỜNG CHIÊN, TỈNH SƠN LA

Đào Thanh Hải, Hạ Thị Nga, Đinh Mạnh Cung, Đoàn Quốc Việt,
Lương Văn Duy, Nguyễn Thành Sơn *

Khoa Nông Lâm, Trường Đại học Tây Bắc

TÓM TẮT

Suy thoái rừng và sự hình thành các trạng thái đất trống sau canh tác nương rẫy bỏ hóa đang là thách thức lớn đối với công tác phục hồi hệ sinh thái rừng tại vùng miền núi Tây Bắc. Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá đặc điểm tái sinh tự nhiên của các loài cây gỗ trên trạng thái đất trống có cây tái sinh hình thành sau canh tác nương rẫy bỏ hóa tại xã Mường Chiên, tỉnh Sơn La. Số liệu được thu thập trên 30 ô tiêu chuẩn (100 m²) phân bố theo 3 đai cao: < 800 m, 800 - 1.000 m và > 1.000 m. Kết quả cho thấy đai cao ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến chỉ số phong phú loài Menhinick ($F = 4,671$; $p = 0,018$) và mật độ cây tái sinh ($F = 3,995$; $p = 0,030$), trong đó đai thấp (< 800 m) đạt giá trị cao nhất ($R = 3,03$; Mật độ: 10.781 cây/ha) và giảm dần khi lên cao. Ngược lại, các chỉ số đa dạng Shannon-Wiener dao động 1,96 - 2,08, Simpson và Pielou không có sự khác biệt ý nghĩa ($p > 0,05$). Thành phần loài tái sinh khá phong phú, với các loài ưu thế chủ yếu là *Eurya ciliata* Merr., *Mallotus tetracoccus* (Roxb.) Kurz, *Wendlandia paniculata* (Roxb.) DC. và *Betula alnoides* Buch. Ham. ex D. Don; đồng thời ghi nhận sự xuất hiện của nhiều loài cây gỗ bản địa có giá trị sinh thái và kinh tế như *Castanopsis indica* (Roxb.) A. DC., *Altingia siamensis* Craib, *Schima wallichii* Choisy và *Choerospondias axillaris* (Roxb) Burt et Hill. Cấu trúc chiều cao thảm tái sinh tuân theo quy luật hàm giảm dạng hình tháp phân phối với nhóm cây < 0,5 m chiếm ưu thế (40,61 - 47,14%). Tầng cây tái sinh có nguồn gốc chủ yếu từ hạt (> 86%), chất lượng tốt chiếm vượt trội (> 70%) và tỷ lệ cây triển vọng ổn định (24,40 - 28,79%), không bị phân hóa bởi đai cao ($p > 0,05$). Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng phục vụ đề xuất các giải pháp quản lý, bảo tồn và phục hồi rừng tự nhiên tại khu vực.

Từ khóa: Đất trống có cây tái sinh, phục hồi rừng, tái sinh tự nhiên, Sơn La, tổ thành loài.

CHARACTERISTICS OF NATURAL REGENERATION AND FOREST RECOVERY POTENTIAL ON BARREN LAND WITH TREE REGENERATION IN MUONG CHIEN COMMUNE, SON LA PROVINCE

Dao Thanh Hai, Ha Thi Nga, Dinh Manh Cung, Doan Quoc Viet,
Luong Van Duy, Nguyen Thanh Son *

Faculty of Agriculture and Forestry, Tay Bac University

* Corresponding author: nguyenthanhsonsl@utb.edu.vn

ABSTRACT

Forest degradation and the formation of barren land after shifting cultivation fallows pose a major challenge to forest ecosystem restoration in the mountainous region of Northwest Vietnam. This study was conducted to evaluate the natural regeneration characteristics of timber tree species on barren land with regenerating trees, which formed after shifting cultivation abandonment in Muong Chien commune, Son La province. Data were collected from 30 sample plots (100 m²) distributed across three elevational belts: < 800 m, 800 - 1.000 m and > 1.000 m. The results indicated that elevation significantly affected the Menhinick species richness index ($F = 4.671$; $p = 0.018$) and regeneration density ($F = 3.995$; $p = 0.030$), with the lowest belt (< 800 m) exhibiting the highest values ($R = 3.03$; Density: 10,781 trees/ha) and gradually decreasing with increasing altitude. Conversely, the Shannon-Wiener diversity index (ranging from 1.96 to 2.08), Simpson index, and Pielou evenness index showed

no significant differences ($p > 0.05$). The regeneration species composition was diverse, dominated primarily by *Eurya ciliata* Merr., *Mallotus tetracoccus* (Roxb.) Kurz, *Wendlandia paniculata* (Roxb.) DC. and *Betula alnoides* Buch. Ham. ex D. Don; additionally, the presence of various native timber species with high ecological and economic value was recorded, including *Castanopsis indica* (Roxb.) A. DC., *Altingia siamensis* Craib, *Schima wallichii* Choisy and *Choerospondias axillaris* (Roxb) Burt et Hill. The height structure of the regenerating layer followed a decreasing function in a pyramid distribution, dominated by the < 0.5 m height group (40.61 - 47.14%). The regenerating layer originated predominantly from seeds ($> 86\%$), with high-quality individuals being prominent ($> 70\%$), and the proportion of promising trees remained stable (24.40 - 28.79%), showing no significant variation across elevational belts ($p > 0.05$). The findings provide an important scientific basis for proposing effective management, conservation, and restoration solutions for natural forests in the region.

Keywords: Barren land with regenerating trees, forest restoration, natural regeneration, Son La, species composition.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Son La là một trong những tỉnh có diện tích đất lâm nghiệp lớn của vùng Tây Bắc với hệ sinh thái rừng phong phú và đa dạng. Trong những thập kỷ gần đây, áp lực từ các hoạt động kinh tế như phá rừng lấy đất canh tác, phát triển hạ tầng, du lịch, cùng nạn cháy rừng và các tác động nhân sinh khác đã làm suy giảm đáng kể diện tích và chất lượng rừng tự nhiên. Bên cạnh các trạng thái rừng hiện có, diện tích đất chưa có rừng nhưng đã có cây gỗ tái sinh phát triển (trạng thái DTTS) còn khá lớn và phân bố rộng. Đây là nguồn tài nguyên có tiềm năng phục hồi cao nếu được quản lý và tác động bằng các biện pháp kỹ thuật lâm sinh phù hợp.

Xã Mường Chiên, tỉnh Sơn La là địa phương điển hình cho thực trạng này với diện tích đất trạng thái DTTS chiếm khoảng 597,59 ha, chiếm 30,94% diện tích đất lâm nghiệp chưa có rừng. Phần lớn diện tích này hình thành sau quá trình canh tác nương rẫy kéo dài rồi bỏ hóa, hoặc chịu tác động lặp lại của cháy rừng, dẫn đến sự phân hóa phức tạp về mặt lập địa. Hiện nay, trên các khu vực này đã xuất hiện các loài cây gỗ tái sinh với các mức độ sinh trưởng khác nhau. Tuy nhiên, khả năng diễn thế tiến trình phục hồi thành rừng tự nhiên còn phụ thuộc chặt chẽ vào các đặc trưng cấu trúc nội tại như mật độ, tổ thành loài mục đích, chất lượng sinh trưởng và đặc biệt là quy luật phân bố theo cấp chiều cao cũng như điều kiện lập địa và các tác động của con người.

Tái sinh rừng tự nhiên là quá trình hình thành, sinh trưởng và phát triển của thế hệ cây non nhằm thay thế dần các cây trưởng thành, bảo đảm sự duy trì liên tục của quần xã thực vật rừng. Đây là cơ chế sinh thái nền tảng quyết định khả năng tự phục hồi, ổn định cấu trúc và duy trì đa dạng sinh học của hệ sinh thái (Chazdon, 2014; Phạm Xuân Hoàn, 2016; Nguyễn Văn Trương, 2000). Đối với các khu vực đất trống có cây gỗ tái sinh, quá trình này đóng vai trò quyết định vì đây là giai đoạn khởi đầu (tiền đề) của diễn thế thứ sinh sau nương rẫy.

Xu hướng nghiên cứu lâm học hiện đại trên thế giới đang ưu tiên tiếp cận hướng phục hồi rừng dựa trên tái sinh tự nhiên có hỗ trợ (ANR), kết hợp động lực tự phục hồi của hệ sinh thái với các tác động kỹ thuật lâm sinh có mục đích (bảo vệ cây mục đích, phát dọn thực bì cạnh tranh, khoanh nuôi xúc tiến và băng phòng cháy) (Oluwajuwon *et al.*, 2024). Các dẫn liệu mới nhất cũng chứng minh rừng phục hồi qua con đường tái sinh tự nhiên mang lại hiệu quả vượt trội về tích lũy carbon và bảo tồn nguồn gen bản địa so với trồng rừng thuần loài (Chazdon *et al.*, 2025).

Tuy nhiên, do chịu áp lực từ lịch sử sử dụng đất và khoảng cách nguồn giống khác nhau, cấu trúc tái sinh tại trạng thái DTTS xã Mường Chiên hiện có sự phân hóa nội tại rất lớn, không đồng nhất. Trong khi đó, các thông tin về đặc điểm tổ thành loài, mật độ, đa dạng sinh học, cấu trúc chiều cao và chất lượng cây tái sinh tại

khu vực này vẫn còn hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá đặc điểm tái sinh tự nhiên của các loài cây gỗ trên trạng thái DTTS tại xã Mường Chiên, tỉnh Sơn La, đồng thời làm rõ ảnh hưởng của đai cao đến thành phần loài, mật độ, mức độ đa dạng và cấu trúc tái sinh. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc đánh giá tiềm năng phục hồi rừng tự nhiên và đề xuất các biện pháp kỹ thuật lâm sinh phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả khoanh nuôi xúc tiến tái sinh và phát triển rừng bền vững tại địa phương.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: là tầng cây gỗ tái sinh triển vọng trên trạng thái đất trống có cây gỗ tái sinh (mã trạng thái DTTS theo Thông tư số 16/2025/TT-BNNMT của Bộ Nông nghiệp và Môi trường). Trong nghiên cứu này, cây gỗ tái sinh được giới hạn bao gồm các cá thể cây thân gỗ chưa gia nhập vào tầng cây cao (chiều cao $H_{vn} > 0,2$ m và đường kính ngang ngực $D_{1,3} < 6$ cm).

Địa điểm nghiên cứu: Nghiên cứu được thực hiện tại các khu vực đất trống có cây gỗ tái sinh có nguồn gốc sau canh tác nương rẫy bỏ hóa, hiện do các cộng đồng bản quản lý tại xã Mường Chiên, tỉnh Sơn La. Vị trí và ranh giới các khu vực nghiên cứu được kế thừa từ bản đồ hiện trạng rừng tỉnh Sơn La năm 2024, kết hợp với hoạt động rà soát, kiểm chứng thực địa tại địa phương.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp nghiên cứu ngoại nghiệp

Để đánh giá chính xác đặc điểm cấu trúc tái sinh của trạng thái DTTS dưới ảnh hưởng của yếu tố đai cao, nghiên cứu áp dụng phương pháp lấy mẫu phân tầng có hệ thống. Tổng số 30 ô tiêu chuẩn (diện tích 100 m^2) được bố trí tập trung

tại các khu vực có diện tích trạng thái lớn, đảm bảo tính đại diện và phân bố theo 3 cấp độ cao:

Cấp 1 (dưới 800 m): Gồm 11 OTC, đại diện cho khu vực chịu tác động mạnh bởi hoạt động sinh kế của người dân và chu kỳ nương rẫy ngắn.

Cấp 2 (từ 800 - 1.000 m): Gồm 11 OTC, đại diện cho vùng chuyển tiếp sinh thái và lịch sử bỏ hóa trung bình.

Cấp 3 (trên 1.000 m): Gồm 8 OTC, đại diện cho vùng núi cao, chịu ảnh hưởng chủ yếu của điều kiện khí hậu á nhiệt đới và các tác động nhân sinh thưa thớt hơn.

Trong mỗi OTC lập 4 ô dạng bản (ODB) ở 4 góc với diện tích 16 m^2 ($4 \times 4 \text{ m}$) mỗi ô; tổng diện tích điều tra tái sinh đạt $64 \text{ m}^2/\text{OTC}$. Đối tượng đo đếm là toàn bộ các cây gỗ tái sinh có chiều cao $H_{vn} > 0,2$ m và đường kính ngang ngực $D_{1,3} < 6$ cm. Các chỉ tiêu thu thập gồm: tên loài, chiều cao vút ngọn (H_{vn}), nguồn gốc (hạt/chồi) và phân cấp chất lượng theo 3 mức A (Tốt), B (Trung bình), C (Xấu) dựa trên tổ hợp các tiêu chí về sinh trưởng, hình thái thân ngọn và tình trạng sâu bệnh hại: Cấp A (Tốt): Cây sinh trưởng mạnh, thân thẳng, tán cân đối, chiếm ưu thế sáng và không bị sâu bệnh; Cấp B (Trung bình): Cây sinh trưởng bình thường, thân hơi cong nhẹ, tán bị che bóng một phần hoặc bị sâu bệnh nhẹ ($< 30\%$); Cấp C (Xấu): Cây còi cọc, sinh trưởng kém, thân cong queo/dị dạng, gãy ngọn hoặc bị sâu bệnh nặng, không có triển vọng lâm học.

Thông tin chung về các lô đã được điều tra được tổng hợp trong bảng 1.

Định danh loài: Phân loại dựa trên so sánh các đặc điểm hình thái của cơ quan sinh dưỡng. Dựa vào các tài liệu phân loại đã có: Cây cỏ Việt Nam (Phạm Hoàng Hộ, 2000); Cẩm nang tra cứu và nhận biết các họ thực vật hạt kín ở Việt Nam (Nguyễn Tiến Bân, 1997); Từ điển thực vật thông dụng (Võ Văn Chi, 2003).

Bảng 1. Tọa độ vị trí và các yếu tố địa hình của các ô tiêu chuẩn khảo sát tại khu vực nghiên cứu

Đai cao (m)	Ký hiệu ô tiêu chuẩn	Tọa độ ô tiêu chuẩn		Độ dốc (^o)
		X (m)	Y (m)	
< 800	C 1	455625	2435234	8
	C 2	455413	2433198	17
	C 3	455060	2432633	23
	C 4	456088	2430792	25
	C 8	461970	2419426	19
	C 9	460511	2418343	23
	C 10	460924	2416036	18
	S_3	454881	2432794	26
	S 8	461662	2419511	27
	S_9	460407	2418457	33
800 - 1000	S 10	461005	2416157	33
	C 7	465274	2425117	24
	S 1	455614	2435330	33
	S 2	455339	2433308	32
	S 4	456170	2430920	31
	S 7	465267	2425356	28
	Đ 1	455699	2435422	21
	Đ 3	454660	2432980	14
	Đ 4	456364	2431052	13
	Đ 8	461809	2419632	17
	Đ 9	460383	2418629	16
1000	Đ 10	460966	2416376	11
	C 5	463379	2432687	17
	C 6	459112	2428691	8
	S 5	463407	2432782	22
	S 6	458898	2428723	13
	Đ 2	455396	2433578	26
	Đ 5	463458	2432912	19
	Đ 6	458424	2428529	7
	Đ 7	465226	2425532	19

Ghi chú: Tọa độ các OTC được thu thập theo hệ tọa độ quốc gia VN-2000, múi chiếu 3^o (Kinh tuyến trực tỉnh Sơn La: 104^o00').

2.2.2. Phương pháp xử lý nội nghiệp

Phân tích thống kê sinh học bằng phần mềm R

Số liệu điều tra thực địa được tổng hợp, làm sạch và xử lý bằng phần mềm R (phiên bản

4.5.3). Để so sánh, đánh giá sự khác biệt về mật độ, độ đa dạng sinh học và chất lượng cây tái sinh giữa các đai cao khác nhau, nghiên cứu áp dụng phân tích phương sai một nhân tố (One-way ANOVA) và đồng nhất phương sai (kiểm

định Levene). Đối với các biến số không thỏa mãn điều kiện phân bố chuẩn, kiểm định phi tham số Kruskal-Wallis được áp dụng để thay thế. Các so sánh cặp được thực hiện qua kiểm định Tukey HSD với độ tin cậy $\alpha = 0,05$ (95%).

Các chỉ số đa dạng sinh học của tầng cây tái sinh

- Chỉ số phong phú loài được xác định theo công thức Menhinick dựa trên tài liệu của Jayaraman K. (2000).

$$R = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

Trong đó: S là tổng số loài cây tái sinh có trong OTC; N là tổng số cá thể của tất cả các loài trong OTC đó.

- Chỉ số ưu thế Simpson được tính theo Simpson, E. H. (1949):

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (2)$$

Trong đó: $p_i = \frac{n_i}{N}$ (với n_i là số cá thể của loài thứ i ; N là tổng số cá thể của tất cả các loài trong OTC); S là tổng số loài.

- Chỉ số đa dạng Shannon-Wiener được tính theo Shannon và Wiener (1963):

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad (3)$$

Trong đó: p_i là tỷ lệ số cá thể của loài thứ i so với tổng số cá thể trong ô ($p_i = \frac{n_i}{N}$); S là tổng số loài.

- Chỉ số đồng đều Pielou (J')

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (4)$$

Trong đó: H' là chỉ số Shannon -Wiener; $\ln(S) = H_{max}$ là giá trị đa dạng cực đại khi tất cả các loài có số lượng cá thể bằng nhau.

Các chỉ tiêu cấu trúc tầng cây tái sinh

- Tổ thành cây tái sinh (K_i): Biểu thị tỷ lệ đóng góp của loài i trong quần xã, tính bằng công thức:

$$K_i(\%) = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad (5)$$

Trong đó: n_i là số lượng cá thể của loài i trong OTC; N là tổng số cá thể của tất cả các loài điều tra trong OTC.

- Mật độ cây tái sinh (N_{ts}): Là số lượng cây tái sinh trên một đơn vị diện tích (ha), xác định theo công thức:

$$N_{ts}(\text{cây/ha}) = \frac{n_{otc}}{S_{odb}} \times 10.000 \quad (6)$$

Trong đó: n_{otc} là tổng số cây tái sinh điều tra được trong các ô dạng bản của một OTC (cây); S_{odb} là tổng diện tích của các ô dạng trong một OTC (m^2) ($S_{odb} = 4 \times 16 = 64 m^2$).

- Chất lượng và triển vọng tầng cây tái sinh: Tỷ lệ phần trăm cây tái sinh theo các cấp chất lượng A (Tốt), B (Trung bình), C (Xấu) được tính toán dựa trên tổng số cây điều tra:

$$P_k(\%) = \frac{n_k}{N} \times 100 \quad (7)$$

Trong đó: P_k là tỷ lệ phần trăm cây tái sinh theo cấp chất lượng k ($k \in \{A, B, C\}$); n_k là số cây tái sinh theo cấp chất lượng k ; N là tổng số cây tái sinh điều tra trong OTC.

- Cây tái sinh triển vọng (TSTV) được xác định là tổng các cá thể cây tái sinh có chiều cao $H_{vn} > 1$ m và đạt chất lượng Cấp A (Khỏe mạnh, thân thẳng, tán cân đối, chiếm ưu thế sáng, không sâu bệnh) và Cấp B (Sinh trưởng bình thường, có khả năng phát triển thành tầng cây cao khi có biện pháp hỗ trợ lâm sinh). Tỷ lệ cây tái sinh triển vọng (P_{tv}) được tính bằng công thức:

$$P_{tv}(\%) = \frac{n_A + n_B}{N} \times 100 \quad (8)$$

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Các chỉ số đa dạng sinh học

Các chỉ số đa dạng sinh học là công cụ quan trọng để đánh giá mức độ phong phú thành phần loài, tính đồng đều và mức độ đa dạng của quần xã cây tái sinh. Trong nghiên cứu này, các chỉ số phong phú loài Menhinick (R), đa dạng Shannon-Wiener (H'), ưu thế Simpson (D) và đồng đều Pielou (J') được sử dụng nhằm đánh giá đặc điểm đa dạng sinh học của tầng cây tái sinh ở các đai cao khác nhau. Kết quả được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Chỉ số đa dạng sinh học của tầng cây tái sinh ở các ô tiêu chuẩn

Đai cao (m)	Ký hiệu ô tiêu chuẩn	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>
< 800	C 1	3,6015	0,8213	2,1138	0,7461
	C 2	3,3094	0,8195	2,0996	0,7573
	C 3	3,3296	0,8652	2,2846	0,8436
	C 4	3,0110	0,8085	1,9511	0,7393
	C 8	3,3922	0,8840	2,3522	0,8686
	C 9	3,1949	0,8191	2,0893	0,7715
	C 10	2,6940	0,7582	1,8221	0,7104
	S_3	2,5562	0,8432	2,0712	0,8637
	S 8	2,9945	0,8390	2,1256	0,8287
	S_9	2,7576	0,8230	2,0285	0,8163
	S 10	2,5308	0,7996	1,9050	0,7945
800 - 1000	C 7	2,8482	0,8242	2,0637	0,7820
	S 1	2,4045	0,7793	1,8466	0,7701
	S 2	2,9191	0,8772	2,2878	0,8919
	S 4	2,9068	0,8678	2,2274	0,8964
	S 7	2,4734	0,7849	1,8694	0,7796
	Đ 1	2,5115	0,8179	1,9772	0,8587
	Đ 3	2,1543	0,7638	1,7158	0,7809
	Đ 4	2,0384	0,7367	1,6260	0,7819
	Đ 8	2,8264	0,8421	2,1296	0,8570
	Đ 9	2,7694	0,8327	2,0360	0,8491
	Đ 10	2,1016	0,7625	1,7292	0,7870
1000	C 5	2,9553	0,8650	2,2380	0,8725
	C 6	3,6618	0,8553	2,2445	0,7922
	S 5	2,7977	0,8297	2,0591	0,8286
	S 6	2,5973	0,8013	1,9268	0,8035
	Đ 2	2,1543	0,7864	1,8158	0,8264
	Đ 5	2,8415	0,8507	2,1366	0,8598
	Đ 6	2,3376	0,8230	1,9415	0,8432
	Đ 7	2,6928	0,8055	1,9285	0,8042
Test Levene		0,035	2,088	1,493	3,975
p-value		0,965	0,143	0,243	0,031

Kết quả cho thấy các chỉ số đa dạng sinh học của tầng cây tái sinh có sự biến động giữa các ô tiêu chuẩn và giữa các đai cao nghiên cứu, tuy nhiên mức độ biến động không giống nhau. Trong đó, chỉ số *R* dao động từ 2,04 đến 3,66 và có biên độ biến động lớn nhất; *H'* dao động từ 1,63 đến 2,35; *D* dao động từ 0,74 đến 0,88; còn *J'* đạt từ 0,71 đến 0,90. Nhìn chung, các chỉ số

D và *J'* biến động trong phạm vi hẹp hơn so với *R*, phản ánh sự khác biệt về số lượng loài giữa các ô tiêu chuẩn lớn hơn so với sự khác biệt về mức độ phân bố cá thể giữa các loài.

Trước khi phân tích ảnh hưởng của đai cao đến các chỉ số đa dạng sinh học, dữ liệu được kiểm tra giả định đồng nhất phương sai bằng kiểm

định Levene (bảng 2). Kết quả cho thấy các chỉ số R , H' và D đều đáp ứng giả định đồng nhất phương sai ($p > 0,05$), đủ điều kiện để thực hiện phân tích phương sai một nhân tố. Riêng chỉ số

J' không đáp ứng giả định này ($p = 0,031$), do đó được phân tích bằng kiểm định phi tham số Kruskal-Wallis. Kết quả so sánh giữa các đai cao được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích so sánh các chỉ số đa dạng sinh học giữa các đai cao

Chỉ số	< 800 m (n=11)	800 - 1.000 m (n=11)	> 1.000m (n=8)	Statistic	P-value
R	$3,03 \pm 0,36^a$	$2,54 \pm 0,34^b$	$2,75 \pm 0,45^{ab}$	$F = 4,671$	0,018
D	$0,83 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,05$	$0,83 \pm 0,03$	$F = 0,821$	0,451
H'	$2,08 \pm 0,15$	$1,96 \pm 0,22$	$2,04 \pm 0,16$	$F = 1,276$	0,295
J'	$0,80 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,05$	$0,83 \pm 0,03$	$H = 2,313$	0,315

Ghi chú: Giá trị trong bảng được trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (Mean $\pm$ SD). Các giá trị mang các chữ cái khác nhau (a, b, ab) trong cùng một hàng biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$ theo phép kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD đối với chỉ số R . Đối với các chỉ số D và H' , kết quả phân tích phương sai không cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$) nên không thực hiện phân nhóm hậu nghiệm. Chỉ số J' được phân tích bằng kiểm định Kruskal-Wallis do không đáp ứng giả định đồng nhất phương sai; giá trị thống kê được trình bày là H , và do $p > 0,05$ nên không thực hiện kiểm định hậu nghiệm.

Kết quả nghiên cứu cho thấy đai cao có ảnh hưởng rõ rệt đến tính phong phú thành phần loài của tầng cây tái sinh, thể hiện qua sự khác biệt có ý nghĩa thống kê của chỉ số R ($p < 0,05$), trong khi các chỉ số phản ánh cấu trúc đa dạng và mức độ đồng đều của quần xã (H' , D và J') không có sự khác biệt giữa các đai cao ($p > 0,05$). Điều này cho thấy sự thay đổi theo đai cao chủ yếu tác động đến số lượng loài tham gia tái sinh, trong khi cấu trúc phân bố tương đối của các loài trong quần xã vẫn được duy trì ổn định.

Chỉ số Menhinick giảm từ $3,03 \pm 0,36$ ở đai dưới 800 m xuống $2,54 \pm 0,34$ ở đai 800 - 1.000 m, phản ánh xu hướng giảm tính phong phú loài theo độ cao. Kết quả này phù hợp với quy luật biến đổi đa dạng sinh học theo đai độ cao đã được ghi nhận trong nhiều hệ sinh thái miền núi, khi các điều kiện môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, độ sâu tầng đất và đặc điểm địa hình thay đổi theo độ cao, từ đó ảnh hưởng đến khả năng phân bố, phát tán và thiết lập của các loài thực vật (Rahbek, 1995; Rahbek, 2005). Ngoài các yếu tố khí hậu, đặc điểm địa mạo cũng được xem là yếu tố quan trọng chi phối sự thay đổi đa dạng loài theo độ cao. Theo Bertuzzo và đồng tác giả (2016), diện tích sinh cảnh, mức độ kết

nối giữa các sinh cảnh và cấu trúc địa hình ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình phát tán và duy trì quần thể của các loài, qua đó làm thay đổi tính phong phú loài dọc theo đai độ cao.

Mặc dù tính phong phú loài có xu hướng giảm, các chỉ số H' , D và J' không khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các đai cao. Điều này cho thấy sự thay đổi theo đai cao trong khu vực nghiên cứu chủ yếu làm giảm số lượng loài hiện diện hơn là làm thay đổi mức độ ưu thế hay sự phân bố cá thể giữa các loài. Giá trị D tương đối cao và J' lớn hơn 0,80 ở hầu hết các ô tiêu chuẩn phản ánh các loài trong tầng cây tái sinh vẫn duy trì sự phân bố tương đối đồng đều, chưa xuất hiện hiện tượng một hoặc một vài loài chiếm ưu thế tuyệt đối. Kết quả tương tự cũng được ghi nhận trong các nghiên cứu về đa dạng sinh học theo đai độ cao, trong đó thành phần loài thường biến động mạnh hơn so với cấu trúc quần xã khi hệ sinh thái chưa chịu tác động mạnh của các yếu tố gây suy thoái (Nogués-Bravo *et al.*, 2008).

Từ góc độ sinh thái tái sinh, sự suy giảm số lượng loài theo đai cao có thể liên quan đến sự thay đổi của điều kiện lập địa, nguồn hạt giống và điều kiện vi khí hậu, vốn là những nhân tố có ảnh hưởng quan trọng đến quá trình tái sinh tự

nhiên của rừng nhiệt đới (Richards, 1996; Whitmore, 1998; Chazdon, 2003). Tuy nhiên, việc các chỉ số phản ánh cấu trúc quần xã không thay đổi cho thấy quá trình tái sinh tự nhiên tại khu vực nghiên cứu vẫn duy trì được tính ổn định tương đối, phản ánh khả năng thích nghi của các loài cây bản địa với điều kiện sinh thái ở từng đai cao.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy khu vực dưới 800 m có tính phong phú loài cao hơn so với các đai cao còn lại, phản ánh vai trò của khu vực này trong việc duy trì nguồn đa dạng loài của tầng cây tái sinh. Trong khi đó, mặc dù tính phong phú loài giảm ở các đai cao hơn, cấu trúc quần xã vẫn được duy trì ổn định. Những kết quả này cho thấy tái sinh tự nhiên vẫn là quá trình quan trọng trong phục hồi rừng tại khu vực nghiên cứu và có thể cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn các giải pháp quản lý, bảo vệ và phục hồi rừng phù hợp với điều kiện sinh thái của từng đai cao, đặc biệt là ưu tiên sử dụng các loài cây bản địa trong các hoạt động làm giàu hoặc phục hồi rừng.

Mặc dù vậy, nghiên cứu mới chỉ đánh giá ảnh hưởng của đai cao đến các chỉ số đa dạng sinh

học của tầng cây tái sinh, chưa xem xét đồng thời các yếu tố môi trường như đặc tính đất, cường độ tác động của con người hay nguồn hạt giống. Việc tích hợp các yếu tố này trong các nghiên cứu tiếp theo sẽ góp phần làm sáng tỏ hơn cơ chế chi phối quá trình tái sinh tự nhiên và sự biến đổi đa dạng sinh học theo đai cao.

3.2. Cấu trúc tổ thành

Tổ thành cây tái sinh phản ánh đặc điểm phục hồi, mức độ ổn định và khả năng thích nghi của quần xã rừng tại khu vực nghiên cứu. Thành phần loài chịu ảnh hưởng tổng hợp của điều kiện sinh thái, địa hình, độ che phủ thực bì và nguồn giống từ tầng cây cao, do đó có sự biến động rõ rệt giữa các vị trí chân, sườn và đỉnh dốc. Trong quá trình phục hồi tự nhiên, các loài tiên phong ưa sáng, sinh trưởng nhanh thường chiếm ưu thế ở giai đoạn đầu, trong khi sự xuất hiện của các loài cây gỗ bản địa có giá trị kinh tế và sinh thái cho thấy quần xã đang phát triển theo hướng ổn định hơn. Kết quả xác định cấu trúc tổ thành cây tái sinh ở các vị trí được tổng hợp tại bảng 4.

Bảng 4. Công thức tổ thành tầng cây tái sinh ở các khu vực điều tra

Đai cao (m)	Ký hiệu OTC	Số loài	Công thức tổ thành
< 800	C 1	17	32,9LI + 15,7 Bs + 12,9 St + 12,9Vt+ 25,6 Lk
	C 2	16	29,0 LI + 26,9 Hq+ 9,7 Dg + 7,5 Bk + 6,5 Vt + 20,4 Lk
	C 3	15	25,4 St + 16,4 Xn+ 13,4 Tn + 10,4 Dg + 7,5 Vt + 26,9 Lk
	C 4	14	32,0 Bs + 20,0 Hq + 17,3 Dg + 9,3 Bdt + 9,3 Vt + 12 Lk
	C 8	15	17,7 LI + 14,5 Dy + 14,5 Vt + 14,5 Tm + 9,7 Mt + 8,1 Cs + 21,0 Lk
	C 9	15	30,0 LI + 26,3 Hq + 7,5 Bs + 6,3 Dy + 6,3 Tm + 23,8 Lk
	C 10	13	36,0 LI + 31,4 Hq + 7,0 Dg + 5,8 Vt + 19,8 Lk
	S_3	11	26,0 Hq + 22,0 Tn + 12,0 Tm + 10,0 Dg + 8,0 Vt + 6,0 Cm + 16,0 Lk
	S 8	13	29,1 LI + 20,0 Dy + 12,7 Ho + 9,1 Tm + 7,3 Ca + 21,8 Lk
	S_9	12	29,6 LI+ 24,1 Bs + 11,1 Dy + 9,3 Tm + 5,6 Vt + 5,6 Bdc + 14,8 Lk
800 - 1.000	S 10	11	32,7 LI + 25,0 Hq + 13,5 Dg + 5,8 Vt + 5,8 Vr + 5,8 Kh + 11,5 Lk
	C 7	14	32,3 LI + 18,8 Hq + 11,5 Dg + 11,5 Th + 5,2 Bdc + 5,2 Ct + 15,6 Lk
	S 1	11	35,9 Bs + 26,6 LI + 7,8 Ba + 7,8 Vt + 6,3 Bdc + 15,6 Lk
	S 2	13	21,3 LI + 18,0 Hq + 11,5 Dg + 9,8 Vt + 8,2 Tu + 6,6 Lm + 24,6 Lk
	S 4	12	25,0 Bs + 15,9 Dg + 11,4 Vt + 9,1 Lm + 9,1 Dy + 6,8 Ba+ 6,8 Ln + 15,9 Lk

Đai cao (m)	Ký hiệu OTC	Số loài	Công thức tổ thành
	S 7	11	36,8 LI + 22,8 Dy + 12,3 Th + 7,0 Tm + 5,3 Ti + 15,8 Lk
	Đ 1	10	33,2 LI + 19,4 Bs + 11,1 Vt + 8,3 Cm + 5,6 Su + 5,6 Ln + 5,6 Dg + 5,6 Rb + 5,6 Lk
	Đ 3	9	36,6 LI + 26,8 Hq + 14,6 Tm + 22,0 Lk
	Đ 4	8	41,9 Bs + 25,8 Vt + 9,7 Bx + 6,5 Lm + 6,5 Dg + 9,7 Lk
	Đ 8	12	30,6 LI + 16,3 Dy + 10,2 Vt + 10,2 Th + 8,2 Tc + 6,1 Ct + 18,4 Lk
	Đ 9	11	29,7 LI + 18,9 Dg + 13,5 Dy + 10,8 Tm + 8,1 Th + 5,4 Tr + 13,5 Lk
	Đ 10	9	37,8 LI + 26,7 Hq + 11,1 Dg + 6,7 Bdc + 17,8 Lk
> 1.000	C 5	13	24,1 CI + 19,0 Dg + 12,1 Tm + 8,6 Dy + 8,6 Lx + 5,2 Th + 20,7 Lk
	C 6	17	26,6 Hq + 16,5 CI + 13,9 Th + 11,4 Ld + 8,9 Dy + 6,3 Tm + 16,5 Lk
	S 5	12	31,4 CI + 17,6 Th + 13,7 Tm + 9,8 Dy + 7,8 Lx + 19,6 Lk
	S 6	11	34,0 Hq + 23,4 CI + 10,6 Dy + 8,5 Tm + 6,4 Bdc + 17,0 Lk
	Đ 2	9	36,6 LI + 22,0 Bs + 12,2 Dg + 7,3 Dy + 7,3 Xn + 14,6 Lk
	Đ 5	12	27,1 CI + 16,7 Tm + 14,6 Bdc + 10,4 Dy + 8,3 Lx + 6,3 Ca + 16,7 Lk
	Đ 6	10	27,7 Hq + 23,4 Tm + 14,9 Dy + 10,6 Ho + 8,5 Dc + 14,9 Lk
	Đ 7	11	31,7 LI + 24,4 Hq + 14,6 Th + 7,3 Tm + 22,0 Lk

Ghi chú: Ba: *Bauhinia variegata* L.; Bdc: *Styrax agrestis* (Lour.) G. Don; Bdt: *Styrax tonkinensis* (Pierre) Craib ex Hartwich; Bk: *Albizia chinensis* (Osbeck) Merr.; Bs: *Mallotus tetracoccus* (Roxb.) Kurz; Bx: *Albizia lucidior* (Steud.) I. Nielsen; Ca: *Exbucklandia tonkinensis* (Lecomte) H.T.Chang; CI: *Betula alnoides* Buch. Ham. ex D. Don; Cm: *Rhus chinensis* Mill.; Cs: *Eberhardtia tonkinensis* Lecomte; Ct: *Engelhardia roxburghiana* Lindl.; Dg: *Castanopsis indica* (Roxb.) A. DC.; Dy: *Castanopsis boisii* Hickel & A.Camus; Ho: *Rhodoleia championii* Hook. f.; hq: *Wendlandia paniculata* (Roxb.) DC.; Kh: *Machilus odoratissima* Ness; Ld: *Lindera rufa* (Stapf) Gamble; Ll: *Eurya ciliata* Merr.; Ln: *Macaranga indica* Wight; Lm: *Pterospermum diversifolium* Blume; Lx: *Anneslea fragrans* Wall.; Mt: *Litsea cubeba* (Lour.) Pers.; Rb: *Cinnamomum curvifolium* (Lour.) Nees; St: *Triadica cochinchinensis* Lour.; Su: *Alstonia scholaris* R. Br.; Tc: *Tetradium ruticarpum* (A.Juss.) T.G.Hartley; Th: *Altingia chinensis* (Champ.) Oliv. ex Hance; Ti: *Diospyros pilosiuscula* G.Don; Tm: *Myrica esculenta* Buch.-Ham ex D. Don; Tn: *Cratoxylum cochinchinensis* (Lour.) Blume; Tr: *Canarium album* (Lour.) Raeusch. ex DC.; Tu: *Wrightia arborea* (Dennst.) Mabb.; Vr: *Xerospermum noronhianum* (Blume) Blume; Vt: *Schima wallichii* (DC) Korth; Xn: *Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burtt. Et Hill

Kết quả điều tra cho thấy số loài cây tái sinh trong mỗi OTC dao động từ 8 đến 17 loài, phản ánh tầng cây tái sinh có mức độ đa dạng tương đối cao. Ở các đai dưới 1000 m, số loài có xu hướng cao hơn tại các OTC bố trí ở vị trí chân dốc (13 - 17 loài/OTC), giảm ở vị trí sườn dốc (11 - 13 loài/OTC) và thấp nhất tại vị trí đỉnh dốc (8 - 12 loài/OTC). Xu hướng này cho thấy điều kiện lập địa ở chân dốc có thể thuận lợi hơn cho quá trình tái sinh tự nhiên so với các vị trí địa hình cao hơn. Theo Richards (1996) và Whitmore (1998), sự khác biệt về độ ẩm đất, độ dày tầng đất và khả năng tích tụ vật chất hữu cơ theo địa hình là những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự nảy mầm, sinh trưởng và tồn tại của cây tái sinh trong rừng nhiệt đới.

Ngược lại, tại đai cao trên 1.000 m, số loài dao động từ 9 đến 17 loài/OTC và sự khác biệt giữa các vị trí chân, sườn và đỉnh dốc không còn thể hiện rõ như ở các đai thấp. Điều này cho thấy khi độ cao tăng lên, ảnh hưởng của các yếu tố khí hậu theo đai cao có thể trở nên rõ nét hơn, làm giảm vai trò của sự phân hóa địa hình ở quy mô vi mô. Kết quả này phù hợp với quy luật biến đổi thành phần loài theo đai độ cao đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu về đa dạng sinh học thực vật vùng núi (Rahbek, 1995; Rahbek, 2005; Bertuzzo *et al.*, 2016).

Về cấu trúc tổ thành, tầng cây tái sinh dưới 1.000 m được đặc trưng bởi sự xuất hiện phổ biến của *E. ciliata*, *M. tetracoccus*, *W. paniculata*, *C. indica* và *S. wallichii*, trong đó *E.*

ciliata và *M. tetracoccus* thường chiếm tỷ lệ cao trong nhiều công thức tổ thành. Đây là những loài tiên phong có khả năng thích nghi tốt với điều kiện ánh sáng mạnh, sinh trưởng nhanh và thường xuất hiện ở giai đoạn đầu của quá trình phục hồi rừng sau nương rẫy (Whitmore, 1998; Chazdon, 2003). Sự hiện diện với tần suất cao của các loài này cho thấy quá trình tái sinh tự nhiên tại các đai thấp vẫn đang chịu ảnh hưởng của giai đoạn phục hồi sau tác động, đồng thời tạo điều kiện hình thành tán che, góp phần cải thiện môi trường sống cho các loài cây chịu bóng ở các giai đoạn diễn thế tiếp theo.

Ở đai cao trên 1.000 m, thành phần loài ưu thế có sự thay đổi rõ rệt khi *B. alnoides*, *A. fragrans*, *M. esculenta*, *A. chinensis* và *W. paniculata* xuất hiện với tần suất cao hơn. Sự thay đổi này phản ánh khả năng thích nghi khác nhau của các loài đối với điều kiện sinh thái theo đai cao và phù hợp với đặc điểm phân bố của các loài cây gỗ á nhiệt đới ở vùng núi phía Bắc Việt Nam. Theo Bertuzzo và đồng tác giả (2016), sự thay đổi điều kiện môi trường cùng với đặc điểm địa mạo là những nhân tố quan trọng quyết định sự thay đổi thành phần loài dọc theo đai độ cao.

Một đặc điểm đáng chú ý là trong hầu hết các OTC, nhóm loài khác vẫn chiếm tỷ lệ từ 9,7 đến 26,9% trong công thức tổ thành, cho thấy bên cạnh các loài ưu thế vẫn có nhiều loài tham gia vào quá trình tái sinh. Đồng thời, sự hiện diện của nhiều loài cây gỗ bản địa có giá trị sinh thái và kinh tế như *C. indica*, *B. alnoides*, *C. axillaris*, *C. album* và *S. wallichii* cho thấy tầng cây tái sinh không chỉ bao gồm các loài tiên phong mà còn có sự tham gia của các loài đặc trưng của rừng tự nhiên. Điều này phản ánh quá trình tái sinh tự nhiên tại khu vực nghiên cứu đang diễn ra theo hướng tích cực, góp phần duy trì tính đa dạng thành phần loài và tạo tiền đề cho sự hình thành quần xã rừng có cấu trúc ổn định hơn trong các giai đoạn diễn thế tiếp theo.

3.3. Cấu trúc mật độ

Mật độ cây tái sinh là một trong những chỉ tiêu quan trọng phản ánh khả năng phục hồi tự nhiên và tiềm năng kế tục của quần xã rừng. Sự biến động của chỉ tiêu này theo đai cao phản ánh ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố sinh thái như điều kiện khí hậu, đặc điểm lập địa và nguồn giống từ tầng cây mẹ (Barnes *et al.*, 1998; Richards, 1996; Whitmore, 1998). Kết quả xác định mật độ cây tái sinh và phân tích thống kê được trình bày ở bảng 5.

Bảng 5. Mật độ cây tái sinh trung bình và kết quả phân tích thống kê theo các đai cao

Đai cao	Mật độ cây tái sinh (cây/ha)
< 800 m	10,781 ± 2,421 ^a
800 - 1.000 m	8,267 ± 2,756 ^b
> 1.000 m	8,047 ± 1,934 ^b
F-value	3,995
p-value	0,030

Ghi chú: Giá trị trong bảng được trình bày dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn (Mean ± SD). Các giá trị trung bình mang các chữ cái khác nhau (a, b) biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$) theo phép kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD sau phân tích phương sai một nhân tố; các giá trị mang cùng chữ cái không khác biệt có ý nghĩa thống kê.

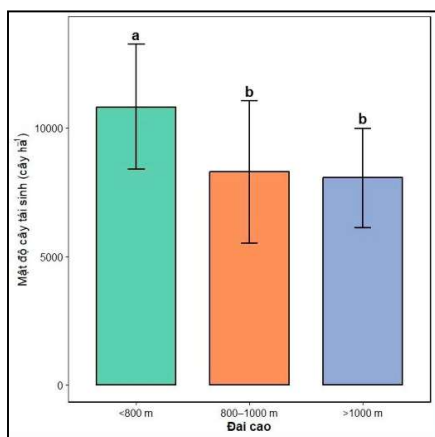
Kết quả cho thấy mật độ cây tái sinh có xu hướng giảm theo độ cao và sự khác biệt giữa các đai cao có ý nghĩa thống kê ($F = 3,995$; $p = 0,030$). Mật độ cây tái sinh trung bình cao nhất được ghi nhận ở đai dưới 800 m (10.781 ± 2.421 cây/ha), cao hơn có ý nghĩa thống kê so với hai đai cao hơn (Tukey HSD, $p < 0,05$). Trong khi đó, mật độ cây tái sinh ở các đai 800 - 1.000 m và trên 1.000 m không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

Xu hướng giảm mật độ cây tái sinh theo độ cao cho thấy điều kiện sinh thái thay đổi theo đai độ cao có ảnh hưởng đến khả năng thiết lập và duy trì quần thể cây tái sinh. Theo Richards (1996) và Whitmore (1998), sự thay đổi của điều kiện vi khí hậu và lập địa theo độ cao có thể ảnh hưởng đến quá trình nảy mầm, sinh trưởng và tỷ

lệ sống của cây con. Bên cạnh đó, Barnes và đồng tác giả (1998) cũng cho rằng sự khác biệt về điều kiện môi trường cùng với nguồn hạt giống và mức độ cạnh tranh giữa các loài là những nhân tố quan trọng chi phối mật độ cây tái sinh trong hệ sinh thái rừng.

Mặc dù mật độ cây tái sinh giảm ở các đai cao hơn, sự khác biệt chỉ xuất hiện giữa đai dưới 800 m và hai đai còn lại, trong khi hai đai trên 800 m không khác nhau về mặt thống kê. Điều này cho thấy sau ngưỡng 800 m, sự thay đổi của các điều kiện sinh thái có thể chưa đủ lớn để tiếp tục làm thay đổi đáng kể mật độ cây tái sinh, hoặc ảnh hưởng của các yếu tố khác như nguồn cây mẹ, độ che phủ tán rừng và đặc điểm vi địa hình đã góp phần làm giảm sự khác biệt giữa các đai cao.

Để trực quan hóa sự biến động mật độ cây tái sinh theo đai cao, giá trị trung bình và sai số chuẩn được thể hiện ở hình 1.



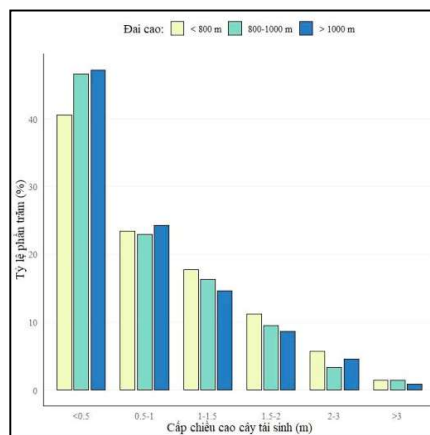
Hình 1. Biểu đồ mật độ cây tái sinh trung bình (Mean ± SE) theo các đai cao.

Hình 1 cho thấy xu hướng giảm mật độ cây tái sinh từ đai thấp lên đai cao phù hợp với kết quả phân tích thống kê ở bảng 5. Sai số chuẩn của đai 800 - 1.000 m lớn hơn so với hai đai còn lại, phản ánh mức độ biến động mật độ cây tái sinh giữa các ô tiêu chuẩn trong cùng đai cao lớn hơn. Ngược lại, đai trên 1.000 m có sai số chuẩn nhỏ hơn, cho thấy mật độ cây tái sinh giữa các ô tiêu chuẩn tương đối đồng đều. Kết quả này cho

thấy ngoài ảnh hưởng của độ cao, mật độ cây tái sinh còn chịu tác động của sự khác biệt về điều kiện lập địa và đặc điểm sinh cảnh ở quy mô ô tiêu chuẩn.

3.4. Phân cấp chiều cao cây tái sinh

Chi tiết về cấu trúc phân bố của tầng cây tái sinh theo các cấp chiều cao tại từng đai độ cao được thể hiện tại hình 2.



Hình 2. Cấu trúc chiều cao cây tái sinh theo đai cao

Kết quả cho thấy cấu trúc chiều cao cây tái sinh ở cả ba đai cao đều có dạng phân bố giảm dần theo chiều cao, trong đó số lượng cá thể tập trung chủ yếu ở các cấp chiều cao thấp và giảm dần ở các cấp chiều cao lớn hơn. Đây là dạng phân bố thường gặp ở các quần xã rừng tự nhiên có tái sinh liên tục, phản ánh quá trình bổ sung cây tái sinh vẫn đang diễn ra trong khu vực nghiên cứu (Richards, 1996; Whitmore, 1998).

Ở cả ba đai cao, nhóm cây có chiều cao dưới 0,5 m chiếm tỷ lệ cao nhất, dao động từ 40,61 - 47,14%, trong khi nhóm cây có chiều cao trên 3,0 m chỉ chiếm 0,91 - 1,46% tổng số cây tái sinh. Sự giảm dần số lượng cá thể theo cấp chiều cao phản ánh quá trình chọn lọc tự nhiên trong quá trình sinh trưởng, khi chỉ một phần cây tái sinh có khả năng tiếp tục phát triển lên các cấp chiều cao lớn hơn dưới tác động của cạnh tranh ánh sáng, dinh dưỡng và không gian sống (Oliver, Larson, 1996).

Mặc dù có cùng dạng phân bố, tỷ lệ cây giữa các cấp chiều cao có sự khác biệt nhất định giữa các đai cao. Ở đai dưới 800 m, tỷ lệ cây có chiều cao từ 1,0 m trở lên đạt 35,98%, cao hơn so với đai 800 - 1.000 m (30,59%) và đai trên 1.000 m (28,60%). Ngược lại, tỷ lệ cây dưới 0,5 m tăng dần theo độ cao và đạt giá trị lớn nhất ở đai trên 1.000 m (47,14%). Kết quả này cho thấy quá trình bổ sung cây tái sinh mới vẫn diễn ra ở cả ba đai cao, tuy nhiên khả năng chuyển tiếp từ các cấp chiều cao thấp lên các cấp chiều cao lớn có xu hướng giảm ở các đai cao hơn. Xu hướng này có thể liên quan đến sự thay đổi của điều kiện sinh thái theo đai độ cao, như nhiệt độ thấp hơn, thời gian sinh trưởng ngắn hơn hoặc điều kiện lập địa kém thuận lợi hơn đối với sinh trưởng của cây tái sinh (Barnes *et al.*, 1998; Richards, 1996).

Nhìn chung, cấu trúc phân bố chiều cao dạng giảm dần được ghi nhận ở cả ba đai cao cho thấy, tầng cây tái sinh vẫn duy trì được sự bổ sung liên tục các thế hệ cây non. Đồng thời, sự hiện diện của cây tái sinh ở hầu hết các cấp chiều cao phản ánh quá trình tái sinh tự nhiên đang diễn ra tương đối ổn định trong khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, để đánh giá đầy đủ tiềm năng phục hồi và kế tục của lâm phần, cần kết hợp phân tích thêm các chỉ tiêu về chất lượng cây tái sinh, nguồn gốc tái sinh và thành phần loài.

3.4. Nguồn gốc, chất lượng và tỷ lệ cây tái sinh triển vọng

Nguồn gốc, chất lượng và tỷ lệ cây tái sinh triển vọng được tổng hợp trong bảng 6.

Bảng 6. Nguồn gốc, chất lượng và tỷ lệ cây tái sinh triển vọng

Đai cao	Nguồn gốc (%)		Chất lượng (%)			Tái sinh triển vọng (%)
	Hạt	Chồi	Tốt	Trung bình	Xấu	
< 800m	88,08 ± 4,57	11,92 ± 4,57	73,42 ± 8,53	21,91 ± 8,45	4,67 ± 1,87	28,79 ± 5,37
800 - 1.000m	87,63 ± 4,73	12,37 ± 4,73	70,72 ± 10,59	22,24 ± 8,76	7,04 ± 2,43	25,60 ± 5,49
>1.000m	86,70 ± 3,18	13,30 ± 3,18	68,99 ± 4,54	25,19 ± 3,26	5,81 ± 2,88	23,90 ± 6,04
F-value	0,240	0,240	0,647	0,501	2,750	1,912
P-value	0,334	0,334	0,287	0,185	0,386	0,775

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (Mean ± SD). F-value và P-value là kết quả phân tích phương sai một nhân tố. Không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các đai cao đối với các chỉ tiêu nghiên cứu ($p > 0,05$).

Kết quả cho thấy cây tái sinh có nguồn gốc từ hạt chiếm ưu thế rõ rệt ở cả ba đai cao, với tỷ lệ dao động từ 86,70 - 88,08%, trong khi cây tái sinh từ chồi chỉ chiếm 11,92 - 13,30%. Điều này phản ánh tái sinh hữu tính vẫn là cơ chế chủ đạo trong quá trình tái sinh tự nhiên của quần xã rừng tại khu vực nghiên cứu. Theo Richards (1996) và Whitmore (1998), tái sinh từ hạt đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì tính đa dạng di truyền và đảm bảo tính ổn định lâu dài của quần xã rừng nhiệt đới.

Về chất lượng cây tái sinh, nhóm cây phẩm chất tốt chiếm tỷ lệ cao nhất ở cả ba đai cao,

dao động từ 68,99 - 73,42%, tiếp theo là nhóm cây trung bình (21,91 - 25,19%) và nhóm cây xấu (4,67 - 7,04%). Kết quả này cho thấy phần lớn cây tái sinh có tình trạng sinh trưởng tương đối tốt, phản ánh điều kiện sinh cảnh nhìn chung vẫn phù hợp cho sự phát triển của tầng cây tái sinh. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa các đai cao không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), cho thấy yếu tố độ cao chưa tạo ra biến động rõ rệt đối với chất lượng cây tái sinh trong khu vực nghiên cứu.

Tỷ lệ cây tái sinh triển vọng dao động từ 23,90 - 28,79%, trong đó giá trị cao nhất ghi nhận ở đai

dưới 800 m và giảm dần theo độ cao. Mặc dù có xu hướng giảm nhẹ, kết quả phân tích phương sai cho thấy sự khác biệt giữa các đai cao không có ý nghĩa thống kê ($F = 1,91$; $p = 0,17$). Điều này cho thấy khả năng hình thành lớp cây tái sinh có triển vọng phát triển thành tầng cây cao tương đối đồng đều giữa các đai cao nghiên cứu.

Sự không khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các đai cao đối với nguồn gốc tái sinh, chất lượng cây và tỷ lệ cây triển vọng cho thấy các đặc trưng “chất lượng” của tầng cây tái sinh ít nhạy cảm hơn với biến đổi theo độ cao so với các chỉ tiêu về mật độ hoặc thành phần loài đã được ghi nhận ở các phần trước. Theo Barnes và đồng tác giả (1998), các đặc điểm như nguồn gốc tái sinh và chất lượng cây thường chịu ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện lập địa cục bộ, nguồn cây mẹ và quá trình cạnh tranh trong quần xã hơn là chỉ riêng yếu tố độ cao.

Kết quả nghiên cứu cho thấy mặc dù có sự biến động nhẹ giữa các đai cao, quần xã cây tái sinh vẫn duy trì tỷ lệ cây tái sinh từ hạt cao, tỷ lệ cây chất lượng tốt chiếm ưu thế và tỷ lệ cây triển vọng ở mức tương đối ổn định. Điều này phản ánh quá trình tái sinh tự nhiên đang diễn ra tương đối liên tục và ổn định trong khu vực nghiên cứu, tạo tiền đề cho sự duy trì lớp cây kế cận trong cấu trúc rừng tương lai.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã làm rõ đặc điểm tái sinh tự nhiên và tiềm năng phục hồi rừng của trạng thái đất trống có cây tái sinh tại xã Mường Chiên, tỉnh Sơn La. Kết quả cho thấy thảm cây tái sinh có mức độ đa dạng loài khá, cấu trúc tổ thành phong phú và được hình thành chủ yếu từ các loài cây bản địa. Tầng cây tái sinh có nguồn gốc chủ yếu từ hạt, tỷ lệ cây chất lượng tốt chiếm ưu thế và duy trì được một lượng đáng kể cây tái sinh triển vọng. Đồng thời, cấu trúc chiều cao dạng hình tháp với lớp cây non được bổ sung liên tục phản ánh động lực tái sinh mạnh và xu hướng diễn thế phục hồi tích cực của quần xã thực vật.

Kết quả phân tích thống kê cho thấy mặc dù độ cao có ảnh hưởng nhất định đến độ phong phú loài và mật độ cây tái sinh, song không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về nguồn gốc, chất lượng và tỷ lệ cây tái sinh triển vọng giữa các đai cao nghiên cứu. Điều này cho thấy khả năng tự tái sinh, tự điều chỉnh và phục hồi của hệ sinh thái sau canh tác nương rẫy được duy trì tương đối ổn định trên toàn bộ đai độ cao.

Một phát hiện quan trọng của nghiên cứu là sự hiện diện thường xuyên của nhiều loài cây gỗ bản địa có giá trị sinh thái và kinh tế như *C. indica*, *B. alnoides*, *C. axillaris*, *C. album* và *S. wallichii* trong tầng cây tái sinh. Điều này chứng tỏ quá trình diễn thế đang phát triển theo hướng hình thành quần xã rừng đa loài, nhiều tầng tán và có tính ổn định cao trong tương lai. Nghiên cứu đồng thời cung cấp cơ sở dữ liệu định lượng về đặc điểm tái sinh tự nhiên của trạng thái đất trống có cây tái sinh ở vùng Tây Bắc, góp phần bổ sung luận cứ khoa học cho các chương trình phục hồi rừng dựa vào tái sinh tự nhiên.

Những kết quả trên cho thấy, trạng thái đất trống có cây tái sinh tại xã Mường Chiên đang sở hữu tiềm năng phục hồi tự nhiên cao và có thể được quản lý theo hướng thúc đẩy diễn thế tự nhiên, hạn chế tối đa các biện pháp can thiệp nhân tạo tốn kém. Đây là cơ sở quan trọng để đề xuất các giải pháp quản lý và phục hồi rừng phù hợp với điều kiện sinh thái của địa phương.

Ưu tiên áp dụng giải pháp khoanh nuôi xúc tiến tái sinh tự nhiên không trồng dặm trên toàn bộ khu vực nhờ lợi thế mật độ và tỷ lệ cây triển vọng bản địa đạt chuẩn cao. Cần kết hợp chế độ bảo vệ nghiêm ngặt để ngăn chặn các tác động tiêu cực từ chăn thả gia súc tự do và cháy rừng.

Đối với những khu vực có tầng cây bụi và thảm tươi phát triển quá dày, cần áp dụng các biện pháp hỗ trợ lâm sinh ở mức độ nhẹ như phát dọn thực bì cạnh tranh xung quanh cây mục đích, nuôi dưỡng cây tái sinh triển vọng và bảo vệ các loài cây gỗ bản địa có giá trị nhằm đẩy

nhanh quá trình khép tán và nâng cao chất lượng rừng phục hồi.

Bên cạnh đó, cần xây dựng các ô định vị theo dõi lâu dài để đánh giá động thái sinh trưởng, khả năng chuyển cấp và tiến trình diễn thế của

tàng cây tái sinh, làm cơ sở hoàn thiện các mô hình phục hồi rừng tự nhiên phù hợp với điều kiện sinh thái vùng Tây Bắc và phục vụ công tác quản lý rừng bền vững trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Tiến Bân, 1997. Cẩm nang tra cứu và nhận biết các họ thực vật hạt kín ở Việt Nam. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
2. Bộ Nông nghiệp và Môi trường, 2025. Thông tư 16/2025/TT-BNNMT ngày 15 tháng 12 năm 2023, Quy định về phân quyền, phân cấp, phân định thẩm quyền quản lý Nhà nước và một số nội dung trong lĩnh vực lâm nghiệp và kiểm lâm.
3. Võ Văn Chi, 2003. Từ điển thực vật thông dụng. NXB KHKT, TP. Hồ Chí Minh, tập 1.
4. Phạm Xuân Hoàn, 2016. Lâm sinh học. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
5. Phạm Hoàng Hộ, 2000. Cây cỏ Việt Nam. NXB Trẻ, TP. Hồ Chí Minh, tập 1, 2, 3.
6. Nguyễn Văn Trương, 2000. Sinh thái rừng. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
7. E. Bertuzzo, F. Carrara, L. Mari, F. Altermatt, I. Rodríguez-Iturbe, A. Rinaldo, 2016. Geomorphic controls on elevational gradients of species richness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(7), 1737 - 1742.
8. R. L. Chazdon, 2003. Tropical forest recovery: Legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6, 51 - 71. DOI: 10.1078/1433 - 8319 - 00042.
9. R. L. Chazdon, 2014. *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press.
10. R. L. Chazdon, J. Uriarte, and M. Guariguata, 2025. Natural regeneration and climate resilience in tropical forests. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 50, pp. 101 - 126.
11. K. Jayaraman, 2000. *A Statistical Manual for Forestry Research*. FORSPA Publication, Bangkok, Thailand.
12. D. Nogués-Bravo, M. B. Araújo, T. Romdal, C. Rahbek, 2008. Scale effects and human impact on the elevational species richness gradients. *Nature*, 453, 216 - 219.
13. E.F Menhinick, 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology*, 45(4), 859 - 861. DOI: 10.2307/1934933
14. Oluwajuwon, M. Adeyemi, and J. Mensah, 2024. Assisted Natural Regeneration as a cost-effective approach for tropical forest restoration: A review. *Journal of Forestry Research*, vol. 35, no. 2, pp. 215 - 228.
15. Rahbek, 1995. The elevational gradient of species richness: A uniform pattern? *Ecography*, 18(2), 200 - 205.
16. Rahbek, 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, 8(2), 224 - 239.
17. P. W. Richards, 1996. *The tropical rain forest: An Ecological Study* (2nd ed.). Cambridge University Press.
18. C.E. Shannon, W. Wiener, 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
19. E.H. Simpson, 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
20. T. C. Whitmore, 1998. *An Introduction to Tropical Rain Forests* (2nd ed.). Oxford University Press.

Email tác giả liên hệ: nguyenthanhsonsl@utb.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/05/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 13/05/2026; 25/05/2026

Ngày duyệt đăng: 01/07/2026