

**Cấu trúc rừng, đa dạng loài cây gỗ và trữ lượng carbon trên mặt đất
ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh giàu
tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên - Văn hóa Đồng Nai, tỉnh Đồng Nai**

**Nguyễn Minh Cảnh^{1*}, Ngô Duy Đông², Mạc Văn Chăm¹, Nguyễn Thị Minh Hải¹,
Nguyễn Thị Thu¹, Đặng Lê Thanh Liên¹, Hồ Thanh Tuyền³**

¹Trường Đại học Nông Lâm - Thành phố Hồ Chí Minh

²Công ty TNHH MTV Công viên Cây xanh Thành phố Hồ Chí Minh

³Khu Bảo tồn Thiên nhiên Tà Kóu, tỉnh Lâm Đồng

**Forest structure, tree species diversity and aboveground carbon stock
in rich evergreen broadleaf natural forest
in Dong Nai Nature and Culture Reserve, Dong Nai province**

**Nguyen Minh Canh^{1*}, Ngo Duy Dong², Mac Van Cham¹, Nguyen Thi Minh Hai¹,
Nguyen Thi Thu¹, Dang Le Thanh Lien¹, Ho Thanh Tuyen³**

¹Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Hochiminh City Greenery Parks Company Limited

³Ta Kou nature reserve, Lam Dong province

*Corresponding author: nmcanh@hcmuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.7.2025.033-044>

TÓM TẮT

Rừng tự nhiên lá rộng thường xanh giàu (TXG) là một kiểu rừng có giá trị sinh thái và kinh tế cao, đóng vai trò quan trọng trong bảo vệ đất, điều hòa khí hậu, duy trì đa dạng sinh học và hấp thụ carbon. Nghiên cứu cấu trúc, tái sinh, đa dạng loài cây gỗ và trữ lượng carbon là cơ sở khoa học cho quản lý rừng bền vững, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và suy thoái rừng ngày càng gia tăng. Nghiên cứu này được thực hiện tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai, với 10 ô tiêu chuẩn (1.000 m²/ô). Kết quả cho thấy có 56 loài cây gỗ thuộc 32 họ, trong đó bốn họ ưu thế lần lượt là: Sao Dầu (Dipterocarpaceae), Xoài (Anacardiaceae), Bồ hòn (Sapindaceae) và Trôm (Sterculiaceae) với IVi% = 58,3%. Một số loài bản địa chiếm ưu thế rõ rệt (IVi% = 46,5%) gồm: Chò chai (Hopea recopei), Xuân thôn (Swintonia floribunda), Trường (Xerospermum noronhianum), Ươi (Scaphium macropodium). Mật độ rừng đạt 1.112 cây/ha, trữ lượng gỗ trung bình 295,3 m³/ha. Cây tái sinh đạt mật độ 5.662 cây/ha, chủ yếu từ hạt, với tỷ lệ cây triển vọng 84,5%. Sinh khối trung bình đạt 254,8 tấn/ha, tương ứng trữ lượng carbon tích tụ 119,8 tấn/ha. Các loài ưu thế đóng vai trò chính trong tích lũy carbon. Nghiên cứu cung cấp dữ liệu tham chiếu cho quản lý, bảo tồn và định hướng phục hồi rừng hiệu quả tại khu vực nghiên cứu.

ABSTRACT

Evergreen broad-leaved rich forests (TXG) are ecologically and economically valuable forest types, playing vital roles in soil protection, climate regulation, biodiversity conservation, and carbon sequestration. Research on forest structure, regeneration, tree species diversity, and carbon stocks provides critical scientific foundations for sustainable forest management, especially amid increasing climate change and forest degradation. This study was conducted in the Dong Nai Nature and Culture Reserve using ten standard plots (1,000 m² each). Results recorded 56 tree species belonging to 32 families, with four dominant families: Dipterocarpaceae, Anacardiaceae,

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 08/07/2025

Ngày phản biện: 11/08/2025

Ngày quyết định đăng: 16/09/2025

Từ khóa:

Bảo tồn rừng, đa dạng sinh học, hấp thụ CO₂, lưu trữ carbon, trạng thái rừng giàu.

Keywords:

Biodiversity, carbon storage, CO₂ sequestration, forest conservation, rich forest status.

Sapindaceae, and Sterculiaceae (IVI% = 58.3%). Several native species were clearly dominant (IVI% = 46.5%), including Hopea recopei, Swintonia floribunda, Xerospermum noronhianum, and Scaphium macropodium. Tree density reached 1,112 individuals/ha, with an average timber volume of 295.3 m³/ha. Regeneration density was 5,662 trees/ha, primarily from seed origin, with a high proportion of promising individuals (84.5%). Average biomass reached 254.8 tons/ha, corresponding to an estimated aboveground carbon stock of 119.8 tons/ha. Dominant species contributed significantly to total carbon accumulation. This study provides valuable reference data for forest management, biodiversity conservation, and restoration planning in TXG forests within the reserve.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng tự nhiên, đặc biệt là rừng lá rộng thường xanh là một trong những hệ sinh thái phức tạp và giàu đa dạng sinh học nhất trên hành tinh. Chúng đóng vai trò then chốt trong bảo vệ đất, điều hòa khí hậu, duy trì nguồn nước, lưu trữ carbon và bảo tồn nguồn gen sinh vật quý hiếm [1-2]. Cấu trúc rừng nhiều tầng tán và thành phần loài phong phú tạo điều kiện sống cho hàng ngàn loài sinh vật. Nghiên cứu gần đây nhấn mạnh cấu trúc không gian ba chiều của tán rừng là yếu tố chủ đạo quyết định năng suất sinh học, hiệu quả hấp thụ carbon và sự đa dạng sinh học [3-4].

Tuy vậy, nhiều thập kỷ vừa qua, diện tích rừng tự nhiên ở Việt Nam và toàn cầu đã giảm nhanh chóng do khai thác quá mức, chuyển đổi mục đích sử dụng đất và biến đổi khí hậu [5-6]. Mặc dù các chương trình trồng và phục hồi rừng đã tăng che phủ, nhưng rừng nhiều tầng, giàu loài vẫn bị suy giảm, làm giảm khả năng hấp thụ CO₂ và tính ổn định hệ sinh thái [7-8].

Ở Việt Nam, một số công trình đã đánh giá tương đối chi tiết về cấu trúc tầng tán, đa dạng loài và khả năng tích lũy carbon của rừng lá rộng thường xanh tại những khu vực rừng đặc dụng lớn như Vườn Quốc gia Phước Bình, Lò Gò – Xa Mát, Khu Bảo tồn thiên nhiên Núi Ông [9-11]. Tuy nhiên, những nghiên cứu chuyên sâu về rừng giàu ở khu vực Đông Nam Bộ, đặc biệt là tại Đồng Nai, vẫn còn hạn chế. Theo báo cáo hiện trạng rừng 2024, khu vực Đông Nam Bộ chỉ có độ che phủ 19,63%, thấp hơn mức trung bình cả nước [12]. Riêng Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai chủ yếu là rừng nghèo hoặc trung bình, diện tích rừng giàu còn

rất ít và phân tán [13]. Hiện chưa có nghiên cứu nào công bố chi tiết về đặc điểm cấu trúc, tái sinh, đa dạng loài cây gỗ và trữ lượng carbon của trạng thái TXG tại khu vực này. Điều này khiến cho việc đánh giá tiềm năng sinh thái, vai trò hấp thụ carbon và định hướng quản lý rừng bền vững vẫn còn thiếu cơ sở khoa học.

Chính vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm bổ sung dữ liệu khoa học quan trọng về cấu trúc lâm phần, đặc điểm tái sinh, đa dạng loài và khả năng lưu trữ carbon của rừng lá rộng thường xanh giàu tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai. Nghiên cứu này thực hiện với mục tiêu: (i) phân tích cấu trúc và tổ thành loài cây gỗ lớn; (ii) đánh giá tái sinh tự nhiên; (iii) phân tích đa dạng loài cây gỗ; và (iv) tính toán sinh khối – trữ lượng carbon trên mặt đất rừng TXG tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai. Nghiên cứu này nhằm cung cấp số liệu cơ sở cho việc đánh giá sức khỏe sinh thái, khả năng hấp thụ CO₂ và đề xuất giải pháp quản lý – bảo tồn rừng bền vững phù hợp điều kiện sinh thái địa phương [14-15].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và khu vực nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là các quần xã thực vật (QXTV) thuộc kiểu rừng gỗ tự nhiên núi đất lá rộng thường xanh, trong trạng thái rừng nghiên cứu là rừng giàu (TXG) [16]. Các ô tiêu chuẩn (OTC) được bố trí tại hai tiểu khu 146 và 147 thuộc Khu Bảo tồn Thiên nhiên - Văn hóa Đồng Nai.

Khu Bảo tồn nằm trong khoảng tọa độ từ 11°05'10" đến 11°22'31" vĩ độ Bắc và từ 106°54'19" đến 107°09'03" kinh độ Đông. Địa hình thấp dần từ Bắc xuống Nam: phía Bắc cao

đến 300 m (dốc 16–25°), trung tâm 150–200 m (dốc 8–15°), Tây Nam 80–100 m (dốc 11–15°), đồng bằng cực Nam cao 10–20 m, thấp nhất 1–2 m; đỉnh cao nhất 368 m, độ dốc lớn nhất 35°. Đất gồm ba nhóm chính: đất xám trên phù sa cổ, đất đen từ bazan phong hóa và đất đỏ trên bazan, phù sa cổ hoặc đá phiến sét, đều có chất lượng tốt. Khí hậu nhiệt đới gió mùa, nhiệt độ trung bình 25–27°C, biên độ nhiệt năm 4,2°C; nhiệt độ cao nhất 29–35°C, thấp nhất 18–25°C; độ ẩm 80–82%, thuận lợi cho rừng thường xanh.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp lập ô tiêu chuẩn và thu thập số liệu

- Dựa vào bản đồ hiện trạng rừng, tiến hành khảo sát khu vực rừng có trạng thái TXG để đặt các OTC. Tiến hành bố trí 10 OTC điển hình với kích thước 1.000 m²/OTC. Phương pháp phân tầng ngẫu nhiên để lựa chọn vị trí các OTC. Trong mỗi OTC, tiến hành đo đường kính ngang ngực của toàn bộ cây có đường kính $D_{1,3} \geq 6$ cm bằng thước mét dây với độ chính xác đến 0,1 cm; đo chiều cao vút ngọn (H) bằng thước đo cao Forestry Pro II, với độ chính xác là $\pm 0,1$ m. Thành phần loài cây gỗ được xác định theo Trần Hợp (2002) [17] và Võ Văn Chi (2003, 2004) [18–19]. Trong mỗi OTC tiến hành lập 5 ô dạng bản (ODB) với diện tích mỗi ô là 25 m² (5 x 5 m), các ODB được bố trí ở 4 góc và tâm của OTC. Điều tra cây tái sinh theo các chỉ tiêu: tên loài, cấp chiều cao, nguồn gốc cây tái sinh, tình trạng sức sống của cây tái sinh theo thông tư 16/2023/TT-BNNPTNT [16].

2.2.2. Phương pháp xử lý và phân tích số liệu

Sử dụng các phần mềm Microsoft Excel 2010 [20], Statgraphics Centurion XV.I [21], Primer 6.0 [22] để xử lý số liệu từ 10 OTC 1.000 m² ở trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu, bao gồm:

- *Phân tích các chỉ tiêu lâm học:*

Tính toán các chỉ tiêu bình quân của lâm phần như: đường kính, chiều cao, tổng tiết diện ngang, mật độ rừng và trữ lượng rừng. Sử dụng phương pháp thống kê mô tả để nhận xét và đánh giá kết quả nghiên cứu.

- *Phân tích kết cấu họ và loài cây gỗ:*

Kết cấu họ và loài cây gỗ được xác định dựa vào chỉ số giá trị quan trọng $IVI\%$ theo công thức:

$$IVI = (Ni\% + Gi\% + Vi\%)/3 \text{ [23].}$$

Trong đó:

$N\%$ là mật độ tương đối của loài trong QXTV rừng;

$G\%$ là tiết diện ngang thân cây của loài trong QXTV rừng;

$V\%$ là thể tích thân cây của loài trong QXTV rừng. Khi một nhóm loài cây trong đó các cây có $IVI > 5\%$ và có tổng $IVI > 40\%$ thì được gọi nhóm loài cây ưu thế và đồng ưu thế.

- *Phân tích đặc điểm tái sinh tự nhiên dưới tán rừng:*

+ Tái sinh tự nhiên đối với trạng thái rừng TXG được xác định thông qua kết cấu loài cây tái sinh, nguồn gốc tái sinh, phân bố cây tái sinh theo cấp chiều cao và tình trạng sức sống của cây tái sinh.

+ Kết cấu loài cây tái sinh được xác định theo công thức:

$$IV = (n_i/N) * 100$$

Trong đó:

n_i (cây/ha) là số cây tái sinh của loài i ;

N (cây/ha) là mật độ cây tái sinh của tất cả các loài cây gỗ.

+ Mật độ cây tái sinh (N , cây/ha) được xác định theo công thức:

$$N \text{ (cây/ha)} = (S/s) * n_i$$

Trong đó:

$S = 10.000 \text{ m}^2$;

s = diện tích ô dạng bản (25 m²);

n_i = số cây tái sinh trong một ô dạng bản.

+ Sự tương đồng giữa thành phần cây tái sinh với thành phần cây trưởng thành được xác định theo hệ số tương đồng của Sørensen năm 1948 theo công thức:

$$C_s = [(2 * c)/(a + b)] * 100$$

Trong đó:

a và b : tương ứng là số loài cây tái sinh và số loài cây gỗ trưởng thành bắt gặp trong trạng thái rừng TXG;

c : số loài cây tái sinh và số loài cây gỗ trưởng thành giống nhau trong trạng thái TXG [24].

- *Phân tích các chỉ số đa dạng loài cây gỗ:*

+ Độ giàu có về loài cây gỗ được xác định theo số loài cây gỗ (S) và chỉ số giàu có về loài của Margalef năm 1968:

$$d = (S - 1)/\ln(N) \text{ [25]}$$

Trong đó:

d là chỉ số Margalef;

S là tổng số loài trong mẫu;

N là tổng số cá thể trong mẫu.

+ Chỉ số đa dạng loài cây gỗ được xác định theo chỉ số ưu thế Simpson (1949): $\lambda' = \sum (n_i^2 / (N * (N - 1)))$ [26] và chỉ số Shannon-Weiner (H') năm 1963: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i)$ [27].

Trong đó:

N là tổng số cây trong ô mẫu;

n_i là số cây của loài thứ i;

S là tổng số loài trong mẫu;

$p_i = n_i / N$; $\ln()$ = logarit cơ số Neper.

Mức độ đa dạng được đánh giá theo thang phân loại của Fernando năm 1998: đa dạng thấp ($H' = 1 - 2,49$), đa dạng trung bình ($H' = 2,5 - 2,99$) và đa dạng cao ($H' = 3 - 4$) [28].

+ Chỉ số đồng đều được xác định theo chỉ số Pielou năm 1975: $J' = H' / H'_{\max}$, với $H'_{\max} = \ln(S)$ [29].

+ Những loài cây gỗ quý, hiếm được xác định theo Sách Đỏ Việt Nam năm 2007 [30], Nghị định 84/2021/NĐ-CP [31], và IUCN năm 2025 [32].

- *Phân tích sinh khối và trữ lượng carbon trên mặt đất:*

+ Tính toán sinh khối trên mặt đất (AGB) dựa

theo phương pháp của Brown năm 2002 [33] theo công thức:

$$AGB = VOB * WD * BEF$$

Trong đó:

VOB là thể tích thân cây cả vỏ được tính từ công thức: $VOB = \pi / 4 * (D_{1,3})^2 * H$. $f_{1,3}$; với $D_{1,3}$ là đường kính thân cây tại vị trí 1,3 m; H là chiều cao của cây; $f_{1,3}$ là hình số thân cây tại vị trí 1,3 m ($f_{1,3} = 0,45$);

WD: tỉ trọng gỗ các loài cây được trích dẫn từ cơ sở dữ liệu của Zanne, A.E. và các cộng sự năm 2009 [34].

+ Tính toán lượng carbon tích tụ và lượng CO_2 thực vật hấp thụ theo IPCC năm 2006 [35] theo hai công thức: $C = AGB * 0,47$ và $CO_2 = C * 44 / 12$; kết hợp với hệ số chuyển đổi sinh khối thân (BEF) thành sinh khối cây theo đường kính $D_{1,3}$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Các chỉ tiêu cơ bản của trạng thái rừng giàu

Từ kết quả điều tra và xử lý số liệu từ 10 OTC của trạng thái TXG với diện tích 1.000 m² tại khu vực nghiên cứu, kết quả các chỉ tiêu lâm học được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu lâm học trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu

Chỉ tiêu	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Phạm vi biến động	Hệ số biến động (%)
Mật độ (cây/ha)	1.112	149	880	1.330	450	13,4
Đường kính (cm)	16,9	1,5	15,0	20,4	5,4	9,0
Chiều cao (m)	16,3	0,8	15,0	17,7	2,6	5,0
Tổng diện ngang (m ² /ha)	33,7	4,3	28,4	42,3	13,9	12,7
Trữ lượng (m ³ /ha)	295,3	35,9	246,4	365,9	119,4	12,2

Bảng 1 cho thấy, mật độ bình quân của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu đạt 1.112 cây/ha, với phạm vi biến động là 450 cây/ha (880 – 1.330 cây/ha). Đường kính trung bình là 16,9 cm, dao động từ 15,0 cm đến 20,4 cm, tương ứng với phạm vi biến động là 5,4 cm. Chiều cao vút ngọn bình quân đạt 16,3 m, dao động từ 15,0 m đến 17,7 m, với phạm vi biến động là 2,6 m. Tổng tiết diện ngang trung bình toàn lâm phần đạt 33,7 m²/ha, dao động từ

28,4 m²/ha đến 42,3 m²/ha, với phạm vi biến động là 13,9 m²/ha. Trữ lượng gỗ trung bình đạt 295,3 m³/ha, dao động từ 246,4 m³/ha đến 365,9 m³/ha, với phạm vi biến động là 119,5 m³/ha.

Nhìn chung, các chỉ tiêu lâm học đều có hệ số biến động (CV%) tương đối thấp, điều này cho thấy cấu trúc của trạng thái rừng TXG tại khu vực nghiên cứu khá ổn định, thể hiện sự phát triển đồng đều của quần thụ và ít chịu ảnh

hưởng từ các yếu tố gây xáo trộn lớn trong thời gian gần đây [36]. Đây là một đặc điểm sinh thái quan trọng, có ý nghĩa trong việc đánh giá khả năng phục hồi và duy trì cấu trúc bền vững của hệ sinh thái rừng [37].

3.2. Kết cấu họ và loài cây gỗ

3.2.1. Kết cấu họ thực vật

Kết quả phân tích 10 QXTV trên những OTC 1.000 m² ở trạng thái rừng giàu tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết cấu họ thực vật của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu

TT	Tên họ	N (cây/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	N%	G%	V%	IVI%
1	Dipterocarpaceae	248	9,19	90,7	22,3	27,3	30,7	26,8
2	Anacardiaceae	97	5,11	51,1	8,7	15,2	17,3	13,7
3	Sapindaceae	161	3,00	21,5	14,5	8,9	7,3	10,2
4	Sterculiaceae	94	2,31	21,6	8,5	6,9	7,3	7,5
	Cộng 4 họ	600	19,62	184,9	54,0	58,2	62,6	58,3
32	28 họ khác	512	14,10	110,4	46,0	41,8	37,4	41,7
	Tổng cộng 32 họ	1.112	33,73	295,3	100	100	100	100

Bảng 2 cho thấy, tại khu vực nghiên cứu đã xác định được 32 họ thực vật thân gỗ tại 10 ô tiêu chuẩn điển hình, trong đó có 1 họ ưu thế là họ Dầu (Dipterocarpaceae) với chỉ số giá trị quan trọng (IVI%) là 26,8% và 3 họ đồng ưu thế gồm: họ Xoài (Anacardiaceae) (13,7%), họ Bồ hòn (Sapindaceae) (10,2%) và họ Trôm (Sterculiaceae) (7,5%). Tổng mức độ quan trọng của 4 họ này là 58,3%, với mật độ bình quân là 600 cây/ha, tổng diện ngang bình quân đạt 19,62 m²/ha và trữ lượng bình quân là 184,9 m³/ha.

Các họ còn lại (28 họ) đóng góp 41,7% trong cấu trúc lâm phần, với mật độ bình quân là 512 cây/ha, tổng diện ngang bình quân là 14,10 m²/ha và trữ lượng bình quân là 110,38 m³/ha.

Sự vượt trội của các họ ưu thế như

Dipterocarpaceae và Anacardiaceae phản ánh vai trò sinh thái chủ lực trong việc định hình cấu trúc tầng cây gỗ chính, trong khi các họ khác đóng vai trò bổ trợ quan trọng, góp phần duy trì tính đa dạng sinh học và ổn định hệ sinh thái rừng. Điều này cho thấy trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu có cấu trúc tương đối cân bằng, không bị chi phối quá mức bởi một vài nhóm thực vật [38-39]. Từ góc quản lý rừng bền vững, cấu trúc phân bố đồng đều giữa các nhóm thực vật vừa là giữ đa dạng sinh học, vừa là cơ sở để tối ưu hóa chức năng lưu trữ carbon, hỗ trợ lập kế hoạch và quản lý đa mục tiêu hiệu quả [40-41].

3.2.2. Kết cấu loài cây gỗ

Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu

TT	Tên loài	N (cây/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	N%	G%	V%	IVI%
1	Chò chai	190	6,77	67,4	17,1	20,1	22,8	20,0
2	Xuân thôn	84	4,73	48,1	7,6	14,0	16,3	12,6
3	Trường	118	2,21	15,8	10,6	6,6	5,3	7,5
4	Ươi	78	1,95	18,8	7,0	5,8	6,4	6,4
	Cộng 4 loài	470	15,67	150,1	42,3	46,5	50,8	46,5
56	52 loài khác	642	18,06	145,2	57,7	53,5	49,2	53,5
	Tổng cộng 56 loài	1.112	33,73	295,3	100	100	100	100

Bảng 3 cho thấy, tại khu vực nghiên cứu đã ghi nhận 56 loài cây gỗ, trong đó có 4 loài tham gia vào công thức tổ thành bao gồm: Chò chai có mức độ quan trọng cao nhất với IVI% =

20,0%, dẫn đầu về mật độ (190 cây/ha), diện tích tiết diện ngang (6,77 m²/ha) và trữ lượng (67,4 m³/ha); kế đến là Xuân thôn với IVI% = 12,6%, tiếp theo là Trường (7,5%) và thấp nhất

là Ương với $IVI\% = 6,4\%$.

Tổng mức độ quan trọng của 4 loài này là 46,5% với mật độ bình quân là 470 cây/ha, tổng diện ngang bình quân là 15,67 m²/ha và trữ lượng bình quân là 150,1 m³/ha. Các loài này đều là cây bản địa có giá trị sinh thái cao, đóng vai trò chủ đạo trong tầng cây gỗ chính và có đóng góp đáng kể vào tổng sinh khối và khả năng tích lũy carbon của lâm phần.

Các loài cây gỗ khác (52 loài) đóng góp 53,5% còn lại trong tổ thành loài, với mật độ bình quân là 642 cây/ha, tổng diện ngang bình quân là 18,06 m²/ha và trữ lượng bình quân là 145,2 m³/ha. Tuy mỗi loài chỉ chiếm trung bình khoảng 1,03%, nhưng sự hiện diện phong phú của nhóm này thể hiện đặc trưng rừng nhiệt

đới đa loài, phản ánh tính ổn định về cấu trúc và xu hướng phục hồi sinh thái tốt [42]. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng sự cân bằng giữa nhóm loài ưu thế và nhóm loài hỗ trợ là điều kiện tiên quyết để duy trì tính đa dạng sinh học và đảm bảo chức năng sinh thái lâu dài của rừng [43]. Điều này cho thấy trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu có sự cân bằng giữa nhóm loài ưu thế và nhóm loài hỗ trợ, tạo điều kiện thuận lợi cho việc bảo tồn và phát triển hệ sinh thái rừng bền vững.

3.3. Đặc điểm tái sinh tự nhiên dưới tán rừng

3.3.1. Kết cấu loài cây tái sinh

Kết cấu loài cây tái sinh của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết cấu loài cây tái sinh của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu

TT	Tên loài	Ni (cây/ha)	N%
1	Chò chai	1.168	20,8
2	Trường	656	11,7
3	Nhãn rừng	384	6,8
4	Ương	384	6,8
5	Bứa	376	6,7
6	Nhọc	328	5,8
	Tổng 6 loài	3.296	58,8
37	31 loài khác	2.312	41,2
	Tổng cộng	5.608	100

Số loài cây tái sinh bắt gặp ở trạng thái rừng TXG là 37 loài. Mật độ cây tái sinh là 5.608 cây/ha (100%); trong đó có 6 loài ưu thế và đồng ưu thế (Chò chai, Trường, Nhãn rừng, Ương, Bứa và Nhọc) có mật độ 3.296 cây/ha (58,8%). Loài có tỷ lệ tổ thành cao nhất là Chò chai (20,8%), tiếp đến là Trường (11,7%), Nhãn

rừng (6,8%), Ương (6,8%), Bứa (6,7%) và Nhọc (5,8%). Những loài cây gỗ khác (31 loài) đóng góp 2.312 cây/ha (41,2%).

3.3.2. Đặc điểm cấu trúc cây tái sinh

Đặc điểm cấu trúc cây tái sinh của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Cấu trúc cây tái sinh của trạng thái TXG tại khu vực nghiên cứu

TT	Cấp chiều cao H (m)	Tổng số		Phân chia theo nguồn gốc				Phân theo chất lượng					
		(N, cây/ha)		Hạt		Chồi		Tốt		Trung bình		Xấu	
		N	%	N	%	N	N%	N	%	N	%	N	%
1	< 0,5	96	1,7	96	1,7			56	1,0	32	0,6	8	0,1
2	0,5 – 1,0	552	9,8	528	9,4	24	0,4	240	4,3	184	3,3	128	2,3
3	1,0 – 1,5	1.200	21,4	1.184	21,1	16	0,3	824	14,7	328	5,8	48	0,9
4	1,5 – 2,0	456	8,1	432	7,7	24	0,4	296	5,3	128	2,3	32	0,6
5	2,0 – 3,0	1.064	19,0	1.048	18,7	16	0,3	840	15,0	200	3,6	24	0,4
6	3,0 – 5,0	1.592	28,4	1.552	27,7	40	0,7	1.152	20,5	368	6,6	72	1,3
7	> 5,0	648	11,6	648	11,6			408	7,3	192	3,4	48	0,9
	Tổng số	5.608	100	5.488	97,9	120	2,1	3.816	68,0	1.432	25,5	360	6,5

Kết quả điều tra 50 ô dạng bản (5 m × 5 m) tại 10 OTC trạng thái rừng TXG cho thấy mật độ cây tái sinh đạt 5.608 cây/ha, phản ánh khả năng tái sinh tự nhiên cao tại khu vực nghiên cứu. Cây tái sinh phân bố không đồng đều theo các cấp chiều cao. Nhóm cây có chiều cao từ 3–5 m chiếm tỷ lệ cao nhất (28,4%), tiếp đến là nhóm 1,0–1,5 m (21,4%) và 2,0–3,0 m (19,0%). Các nhóm chiều cao từ 0,5–1,0 m và 1,5–2,0 m lần lượt chiếm 9,8% và 8,1%. Số cây có chiều cao dưới 0,5 m chiếm tỷ lệ thấp (1,7%), cho thấy quá trình tái sinh đang phát triển về chiều cao. Nhóm cây cao trên 5,0 m chiếm 11,6%, phản ánh tiềm năng vươn lên tầng tán trong tương lai.

Về nguồn gốc, phần lớn cây tái sinh có nguồn gốc từ hạt, chiếm 97,9% (5.488 cây/ha), trong khi cây tái sinh từ chồi chỉ chiếm 2,1% (120 cây/ha). Điều này cho thấy quá trình tái sinh tại khu vực nghiên cứu chủ yếu diễn ra tự nhiên, ít chịu tác động cơ học từ bên ngoài. Tỷ lệ cây từ hạt chiếm ưu thế ở hầu hết các cấp chiều cao, đặc biệt từ 1,0 m trở lên.

Về chất lượng sinh trưởng, cây tái sinh loại tốt chiếm 68,0% (3.816 cây/ha), loại trung bình

chiếm 25,5% (1.432 cây/ha), và loại xấu chỉ chiếm 6,5% (360 cây/ha). Trong mỗi cấp chiều cao, cây loại tốt có tỷ lệ cao nhất, tiếp đến là trung bình và thấp nhất là loại xấu. Đặc biệt, số cây tái sinh có triển vọng (chiều cao > 1,0 m, chất lượng tốt hoặc trung bình) đạt 4.736 cây/ha, tương ứng 84,5% tổng số cây tái sinh, cho thấy tiềm năng tái lập tầng cây gỗ trong tương lai là rất khả quan.

Hệ số tương đồng tổ thành giữa tầng cây tái sinh và tầng cây mẹ (Cs) đạt 67,8%, phản ánh mức độ kế cận tương đối cao giữa hai tầng. Điều này cho thấy sự kế thừa tốt về thành phần loài trong quá trình phục hồi rừng và đảm bảo sự ổn định sinh thái về lâu dài.

Tóm lại, kết quả trên khẳng định rừng TXG tại khu vực nghiên cứu có khả năng tái sinh tự nhiên mạnh, cả về số lượng, chất lượng và cấu trúc chiều cao. Đây là tiền đề quan trọng để áp dụng các biện pháp lâm sinh như nuôi dưỡng, khoanh nuôi xúc tiến tái sinh và làm giàu rừng theo hướng bền vững.

3.4. Đa dạng loài cây gỗ tại khu vực nghiên cứu

Kết quả phân tích từ 10 OTC của trạng thái rừng giàu (TXG) được trình bày ở Bảng 6.

Bảng 6. Đặc trưng thống kê đa dạng loài cây gỗ của trạng thái TXG

DVT: 1.000 m²

TT	Chỉ tiêu thống kê	S	N	d	J'	H'(loge)	λ'
1	Số ô mẫu	10	10	10	10	10	10
2	Trung bình	28,4	111	5,81	0,84	2,79	0,09
3	Giá trị nhỏ nhất	17	88	3,57	0,73	2,07	0,06
4	Giá trị lớn nhất	33	133	6,95	0,88	3,04	0,21
5	Biên độ biến động	16	45	3,38	0,15	0,97	0,15
6	Độ lệch tiêu chuẩn	4,86	14,9	0,96	0,04	0,28	0,04
7	Hệ số biến động (CV%)	17,1	13,4	16,5	5,3	10,1	48,1

Từ kết quả ở Bảng 6 cho thấy, tổng số loài bắt gặp trong 10 OTC tại khu vực nghiên cứu là 56 loài. Số loài bắt gặp trung bình trong diện tích OTC 1.000 m² là 28,4 loài; dao động từ 17 - 33 loài; CV = 17,1%. Chỉ số phong phú Margalef (d) trung bình về loài là 5,81, dao động từ 3,57 - 6,95; CV = 16,5%. Chỉ số đồng đều Pielou (J') trung bình các loài là 0,84, dao động từ 0,73 - 0,88; CV = 5,3%. Chỉ số ưu thế Simpson (λ') trung bình các loài là 0,09; dao động từ 0,06 -

0,21; CV = 48,1%. Chỉ số đa dạng Shannon-Wiener (H') trung bình các loài là 2,79, dao động từ 2,07 - 3,04; CV = 10,1%, cho thấy trạng thái rừng TXG tại khu vực nghiên cứu có mức độ đa dạng loài đạt ở mức trung bình.

Tại khu vực nghiên cứu ghi nhận được 16 loài cây gỗ quý, hiếm, nguy cấp nằm trong Sách đỏ Việt Nam năm 2007, Sách đỏ IUCN năm 2025 và/hoặc Nghị định 84/2021/NĐ-CP cần được bảo tồn, cụ thể như sau: (i) Bắt gặp 4 loài

nằm trong Sách Đỏ Việt Nam, trong đó có 1 loài ở cấp VU = Sẽ nguy cấp là: Xương cá (*Canthium dicoccum*); 3 loài ở cấp EN = Nguy cấp là Vên vên (*Anisoptera costata*), Gõ đỏ (*Afzelia xylocarpa*), Gõ mật (*Sindora siamensis*). (ii) Bắt gặp 16 loài nằm trong Sách Đỏ IUCN, trong đó có 7 loài ở cấp VU = Sẽ nguy cấp là: Sổ trai (*Dillenia ovata*), Săng đen (*Diospyros venosa*), Bứa (*Garcinia pendunculata*), Huỳnh (*Heritiera cochinchinensis*), Cám (*Parinari annamensis*), Thông tre (*Podocarpus neriifolius*), Lầu tấu (*Vatica odorata*); 4 loài ở cấp LR = Ít nguy cấp là Mò cua (*Alstonia scholaris*), Tung (*Tetrameles nudiflora*), Cầy (*Irvingia malayana*), Ươi; 5 loài ở cấp EN = Nguy cấp là Vên vên, Gõ đỏ, Gõ mật, Chò chai, Dầu rái. (iii) Bắt gặp 2 loài thuộc nhóm IIA nằm trong Nghị định 84/2021/NĐ-CP là: Gõ đỏ và Gõ mật, là những loài nghiêm cấm khai thác sử dụng cho mục đích thương mại, trừ trường hợp đặc biệt có phép.

Điều này cho thấy khu vực nghiên cứu không chỉ có giá trị cao về đa dạng sinh học mà còn là nơi cư trú quan trọng của nhiều loài cây gỗ nguy cấp, có ý nghĩa đặc biệt đối với công tác bảo tồn và phục hồi rừng tự nhiên. Theo nhiều nghiên cứu, các khu rừng có tỷ lệ loài quý, hiếm

cao đóng vai trò là “ngân hàng gen” quan trọng cho bảo tồn đa dạng sinh học và duy trì chức năng hệ sinh thái [44-45]. Vì vậy, rừng TXG tại Đồng Nai cần được xem là vùng trọng điểm trong các chương trình bảo tồn, giám sát phục hồi sinh thái và duy trì đa dạng loài [46].

3.5. Sinh khối và trữ lượng carbon trên mặt đất ở trạng thái rừng già

3.5.1. Sinh khối cây cá thể và lâm phần

Tổng sinh khối trên mặt đất của trạng thái rừng TXG tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai đạt trung bình $254,8 \pm 16,2$ tấn/ha, với hệ số biến động thấp ($CV = 11,7\%$), phản ánh tính ổn định về cấu trúc lâm phần. Sinh khối chủ yếu tập trung ở 5 loài ưu thế gồm Chò chai, Xuân thôn, Trường, Dầu rái và Ươi, chiếm tới 58,1% tổng sinh khối toàn lâm phần. Các loài cây này đồng thời cũng là những loài tích lũy carbon nhiều nhất.

3.5.2. Kết cấu trữ lượng carbon tích tụ

Tổng trữ lượng carbon tích tụ trong trạng thái rừng TXG tại khu vực nghiên cứu đạt trung bình 119,75 tấn C/ha (tương đương 439,10 tấn CO_2 /ha), phản ánh khả năng hấp thụ và lưu giữ carbon cao của hệ sinh thái rừng tự nhiên. Kết quả được trình bày ở Bảng 7 – 9.

Bảng 7. Lượng carbon tích tụ theo từng loài đối với trạng thái rừng TXG

TT	Tên cây	N (cây/ha)	CO_2 (tấn/ha)	C (tấn/ha)	C%
1	Chò chai	190	95,01	25,91	21,6
2	Xuân thôn	84	90,07	24,56	20,5
3	Trường	118	29,15	7,95	6,6
4	Dầu rái	35	22,54	6,15	5,1
	Cộng 4 loài	427	236,77	64,57	53,9
	52 loài khác	685	202,33	55,18	46,1
	Tổng cộng (56 loài)	1.112	439,10	119,75	100

Bảng 7 trình bày lượng carbon tích tụ theo loài. Trong 56 loài được ghi nhận, chỉ 4 loài ưu thế là Chò chai, Xuân thôn, Trường và Dầu rái đã chiếm tới 53,9% tổng trữ lượng carbon toàn

lâm phần, mặc dù chỉ chiếm 38% mật độ cây. Điều này nhấn mạnh vai trò của các loài bản địa có kích thước lớn trong tích lũy sinh khối và hấp thụ CO_2 .

Bảng 8. Lượng carbon tích tụ theo các nhóm đường kính $D_{1,3}$ đối với trạng thái rừng TXG

Nhóm $D_{1,3}$ (cm)	N (cây/ha)	CO_2 (tấn/ha)	C (tấn/ha)	C%
< 20	814	112,6	30,72	25,7
20 - 40	268	194,5	53,06	44,3
40 - 60	16	37,5	10,22	8,5
> 60	14	94,4	25,75	21,5

Bảng 8 thể hiện sự phân bố trữ lượng carbon theo nhóm đường kính D_{1,3}. Nhóm D_{1,3} = 20–40 cm đóng góp lượng carbon lớn nhất (44,3%), tiếp theo là nhóm < 20 cm (25,7%) và nhóm >

60 cm (21,5%). Mặc dù nhóm cây lớn > 60 cm chỉ chiếm 1,3% mật độ, nhưng đóng góp đáng kể vào trữ lượng carbon, khẳng định vai trò sinh thái của cây gỗ lớn.

Bảng 9. Lượng carbon tích tụ theo lớp chiều cao H đối với trạng thái rừng TXG

Lớp H (m)	N (cây/ha)	CO ₂ (tấn/ha)	C (tấn/ha)	C%
< 10	96	5,11	1,39	1,2
10 - 15	370	46,54	12,69	10,6
15 - 20	506	185,25	50,52	42,2
20 - 25	121	135,29	36,90	30,8
25 - 30	16	62,80	17,13	14,3
> 30	3	4,11	1,12	0,9

Bảng 9 cho thấy phân bố trữ lượng carbon theo lớp chiều cao. Hai lớp H = 15–20 m và H = 20–25 m tích tụ 73% tổng lượng carbon, tương ứng với tầng cây chính và tầng ưu thế. Lớp cây dưới (< 10 m) và tầng vượt tán (> 30 m) đóng góp rất ít (dưới 2,1%), phản ánh mô hình phân tầng điển hình của rừng thường xanh.

Tóm lại, trữ lượng carbon của rừng TXG phụ thuộc chủ yếu vào thành phần loài, kích thước cây và tầng phân bố. Việc bảo tồn và nuôi dưỡng các loài gỗ lớn bản địa như Chò chai, Xuân thôn, Dầu rái cần được ưu tiên nhằm tăng cường hiệu quả hấp thụ CO₂.

3.6. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu về đặc điểm cấu trúc và đa dạng sinh học của trạng thái rừng tự nhiên lá rộng thường xanh giàu (TXG) tại khu vực nghiên cứu cho thấy một hệ sinh thái có cấu trúc ổn định, sinh khối cao, đa dạng thành phần loài và tiềm năng tích lũy carbon lớn.

Cấu trúc rừng và chỉ tiêu lâm học: mật độ cây gỗ đạt 1.112 cây/ha, cao hơn so với một số kết quả nghiên cứu khác như tại VQG Phước Bình (589 cây/ha; D_{1,3} = 19,3 cm; H = 13,4 m) [9] hoặc Khu Bảo tồn thiên nhiên Núi Ông (406 cây/ha; D_{1,3} = 20,2 cm; H = 13,3 m) [47]. Tuy nhiên, đường kính trung bình của khu vực nghiên cứu thấp hơn (16,9 cm) và chiều cao trung bình cao hơn (16,3 m), cho thấy trạng thái rừng đang trong giai đoạn phục hồi sau can thiệp hoặc khai thác trước đó. Điều này phản ánh một quần thể cây đang phát triển ổn định, với tiềm năng kế tục

tốt nhờ vào sự phân bố mật độ dày ở nhóm cây nhỏ và trung bình [48-49].

Kết cấu họ và loài cây gỗ: khi đối chiếu với các nghiên cứu trước đây, kết quả ở đề tài này phản ánh nhiều điểm tương đồng nhưng cũng có một số khác biệt đáng chú ý. Rừng TXG tại Đồng Nai (56 loài, 32 họ) có mức độ phong phú về loài cao hơn so với Lò Gò – Xa Mát (78 loài với mật độ thấp) [10] và cao hơn đáng kể so với Tuy Đức – Đắk Nông (42 loài, 26 họ) [11]. Họ Dầu vẫn giữ vai trò ưu thế rõ rệt tại Đồng Nai và Lò Gò – Xa Mát, trong khi ở Đắk Nông, thành phần ưu thế mang tính phân tán hơn với sự xuất hiện phổ biến của họ Thầu dầu và họ Cà phê.

Đa dạng sinh học: với chỉ số Shannon-Wiener của Đồng Nai (H' = 2,79) nằm ở mức cao hơn Lò Gò – Xa Mát (H' = 2,38–2,61) và Đắk Nông (H' = 2,20), cho thấy sự phân bố cá thể giữa các loài cân bằng hơn. Ngoài ra, sự có mặt của 16 loài nằm trong Sách Đỏ Việt Nam, IUCN và Nghị định 84/2021/NĐ-CP, chiếm tỷ lệ 36,7% tổng số cây cao hơn hẳn so với Lò Gò – Xa Mát (35 loài quý hiếm nhưng chiếm tỷ lệ nhỏ) và Đắk Nông (14 loài, 16,3%). Điều này nhấn mạnh giá trị bảo tồn của trạng thái rừng TXG tại Đồng Nai, nhất là trong bối cảnh nhiều loài nằm trong Sách Đỏ Việt Nam và IUCN. Các loài như Gỗ đỏ, Chò chai, Dầu rái là loài gỗ lớn, quý hiếm, có khả năng tích lũy sinh khối và carbon cao, đồng thời rất dễ bị tổn thương do khai thác quá mức trong quá khứ.

Đặc điểm tái sinh rừng: mật độ cây tái sinh lên tới 5.608 cây/ha, trong đó cây có triển vọng (cao > 1 m và chất lượng tốt/trung bình) chiếm 84,5% tổng số, phản ánh khả năng phục hồi tầng cây gỗ rất khả quan. So sánh với nghiên cứu tại Đắk Nông – nơi cây tái sinh chủ yếu ở cấp chiều cao < 2 m – thì khu vực nghiên cứu có kết cấu tái sinh đầy đủ hơn, với tỷ lệ cây cao > 3 m lên đến 28,4%. Hệ số tương đồng Cs = 67,8% giữa tầng cây mẹ và tầng tái sinh cho thấy sự kế thừa thành phần loài tương đối cao, rất có ý nghĩa trong việc duy trì cấu trúc và tính ổn định của hệ sinh thái rừng.

Sinh khối và trữ lượng carbon: trạng thái TXG tại Đồng Nai (254,8 tấn sinh khối/ha; 119,75 tấn C/ha) có kết quả gần tương đồng với Đắk Nông (256,3 tấn sinh khối/ha; 128,2 tấn C/ha) và cao hơn một chút so với Lò Gò – Xa Mát (215,2–240,8 tấn sinh khối/ha; 107,6–120,4 tấn C/ha). Tuy nhiên, ở Đồng Nai, sinh khối tập trung chủ yếu ở các loài gỗ lớn như Chò chai, Xuân thôn, Trường, Dầu rái, chiếm tới 58,1% tổng sinh khối, trong khi ở Lò Gò – Xa Mát và Đắk Nông, sự phân bố sinh khối giữa các loài có xu hướng đồng đều hơn. Sự khác biệt này gợi ý rằng các biện pháp quản lý và bảo tồn cây gỗ bản địa lớn tại Đồng Nai sẽ có tác động tích cực hơn trong nâng cao khả năng hấp thụ CO₂ và duy trì cấu trúc sinh thái ổn định. Kết quả này tương đồng với nhận định trong nhiều nghiên cứu quốc tế về vai trò vượt trội của cây gỗ lớn bản địa trong tích lũy carbon [50].

Phân tích cho thấy cấu trúc rừng TXG tại Đồng Nai không chỉ ổn định mà còn có tiềm năng sinh học, trữ lượng carbon và độ phức tạp cấu trúc cao. Để nâng cao khả năng phục hồi và giá trị sinh thái của rừng TXG tại Đồng Nai, cần duy trì các biện pháp khoanh nuôi xúc tiến tái sinh, bảo vệ cây gỗ lớn, đồng thời làm giàu rừng bằng các loài bản địa ưu thế [51-52].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích số liệu từ 10 OTC được tiến hành trên những diện tích rừng điển hình đối với trạng thái rừng TXG thuộc lâm phận Khu Bảo tồn Thiên nhiên - Văn hoá Đồng

Nai. Kết quả nghiên cứu cho thấy rừng lá rộng thường xanh giàu tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên – Văn hóa Đồng Nai mang đặc trưng của quần xã đang phục hồi, với mật độ cao, cây gỗ phân bố chủ yếu ở các cấp đường kính nhỏ và trung bình, phản ánh ảnh hưởng của quá trình khai thác trước đây. Tính đa dạng loài và họ ở mức trung bình đến cao, trong đó nhiều loài quý hiếm có giá trị bảo tồn, cho thấy tiềm năng phục hồi sinh thái mạnh mẽ. Về sinh khối và trữ lượng carbon, rừng TXG có khả năng tích lũy sinh học cao, đặc biệt ở các loài cây bản địa ưu thế có kích thước lớn. Điều này nhấn mạnh vai trò của các loài cây gỗ lớn trong việc hấp thụ CO₂, định hướng ưu tiên trong quản lý rừng bền vững và giảm phát thải khí nhà kính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Mori A.S., Lertzman, K.P., & Gustafsson, L. (2016). Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for the future. *Journal of Applied Ecology* 54(1): 12-27. DOI: 10.1111/1365-2664.12669.
- [2]. Brockerhoff E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*. 26(12): 3005–3035. DOI: 10.1007/s10531-017-1453-2.
- [3]. Ehbrecht M., Seidel, D., Annighöfer, P., Kreft, H., Köhler, M., Zemp, D. C., Puettmann, K., Nilus, R., Babweteera, F., Willim, K., Stiers, M., Soto, D., Boehmer, H. J., Fisichelli, N., Burnett, M., Juday, G., Stephens, S. L., & Ammer, C. (2021). Global patterns and climatic controls of forest structural complexity. *Nature Communications*. 12(1): 1-12. DOI: 10.1038/s41467-020-20767-z.
- [4]. de Conto T., Armston, J. & Dubayah, R. (2024). Characterizing the structural complexity of the Earth's forests with spaceborne lidar. *Nature Communications*. 15, 8116. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52468-2>.
- [5]. Geist H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*. 52(2): 143–150. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2.
- [6]. Cochara R., Raneri J. E., Korf B., & Rist S. (2016). The limits of resilience: Disturbance, recovery, and transformation in a forest landscape in southern Sri Lanka. *Land Use Policy*. 52: 244–255.

- [7]. Meyfroidt P., & Lambin, E. F. (2008). The causes of the reforestation in Vietnam. *Land Use Policy*. 25(2): 182–197. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.06.001.
- [8]. Pan Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. 333(6045): 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609.
- [9]. Ngô Tiến Phát, Phan Minh Xuân & Nguyễn Minh Cảnh (2023). Đặc điểm cấu trúc và đa dạng loài cây gỗ ở rừng tự nhiên núi đất lá rộng thường xanh trung bình thuộc khu vực Ban Quản lý Vườn Quốc gia Phước Bình, tỉnh Ninh Thuận. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 1: 71-81.
- [10]. Bùi Hữu Quốc & Nguyễn Văn Quý (2023). Đa dạng cây gỗ và trữ lượng carbon trên mặt đất của chúng trong kiểu rừng lá rộng thường xanh ở Vườn quốc gia Lò Gò – Xa Mát, tỉnh Tây Ninh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 12(6): 96-106. DOI: 10.55250/jo.vnuf.12.6.2023.096-106>.
- [11]. Nguyễn Văn Hợp, Bùi Hữu Quốc & Nguyễn Văn Quý (2021). Đa dạng cây gỗ và trữ lượng carbon trên mặt đất trong kiểu rừng lá rộng thường xanh ở huyện Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 1: 92 - 101
- [12]. Bộ Nông nghiệp và Môi trường (2025). Công bố hiện trạng rừng toàn quốc năm 2024 [Online]. Ngày 04 tháng 4 năm 2025. Truy cập ngày 12 tháng 6 năm 2025, từ <https://vnforest.gov.vn/2025/04/04/cong-bo-hien-trang-rung-toan-quoc-nam-2024/>.
- [13]. Phân viện Điều tra Quy hoạch rừng Nam Bộ (2021). Phương án quản lý rừng bền vững Khu Bảo tồn thiên nhiên - Văn hóa Đồng Nai giai đoạn 2020 - 2030. Tài liệu nội bộ, Phân viện Điều tra Quy hoạch rừng Nam Bộ, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [14]. Pretzsch H. (2009). *Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [15]. Cochard R., Nguyen V. H. T., Ngo, D. T., & Kull, C. A. (2020). Vietnam's forest cover changes 2005–2016: veering from transition to (yet more) transaction? . *World Development*. 135: 105051. DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.105051.
- [16]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2023). Thông tư số 16/2023/TT-BNNPTNT ngày 15/12/2023 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn ban hành Sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16/11/2018 của Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng.
- [17]. Trần Hợp (2002). *Tài nguyên cây gỗ Việt Nam*. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội.
- [18]. Võ Văn Chi (2003). *Từ điển thực vật thông dụng*. Tập 1. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [19]. Võ Văn Chi (2004). *Từ điển thực vật thông dụng*. Tập 2. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [20]. Corporation Microsoft (2010). *Microsoft Excel (Version 2010) [Computer software]*. Microsoft. <https://www.microsoft.com>.
- [21]. Inc. StatPoint Technologies (2005). *Statgraphics Centurion XV.I [Computer software]*. StatPoint Technologies, Inc. <https://www.statgraphics.com>.
- [22]. Primer-E Ltd. (n.d.). *Primer 6 (Version 6.1) [Computer software]*. Downloaded from <https://primer-demo.software.informer.com/6.1/>.
- [23]. Thái Văn Trùng (1999). *Những hệ sinh thái rừng nhiệt đới ở Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [24]. Sørensen T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*. 5(4): 1-34.
- [25]. Margalef R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago Press, Chicago.
- [26]. Simpson E.H. (1949). *Measurment of diversity*. *Nature (London)*. 163: 688.
- [27]. Shannon C.E. & Wiener W. (1963). *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press. Urbana.
- [28]. Fernando E. (1998). *Forest Formations and Flora of the Philippines: Handout in FBS 21*. College of Forestry and Natural Resources, University of the Philippines at Los Banos (unpublished).
- [29]. Pielou E.C. (1975). *Ecological diversity*. Wiley - Interscience Publication, London.
- [30]. Bộ Khoa học và Công nghệ & Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam (2007). *Sách Đỏ Việt Nam, Phần II - Thực vật*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
- [31]. Chính phủ nước CHXHCN Việt Nam (2019). Nghị định số 84/2021/NĐ-CP sửa đổi Nghị định 06/2019/NĐ-CP về quản lý thực vật rừng, động vật rừng nguy cấp, quý, hiếm và thực thi Công ước về buôn bán quốc tế các loài động vật, thực vật hoang dã nguy cấp.
- [32]. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species*
- [33]. Brown S. (2002). *Measuring carbon in forests: current status and future challenges*. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 116(3): 363-72. DOI: 10.1016/s0269-7491(01)00212-3.
- [34]. Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Ilic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G.,

- Wiemann M.C. & Chave J. (2009). Global wood density database. Dryad.
<http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- [35]. Eggleston H.S., Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara & Kiyoto Tanabe (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- [36]. Eric K. Zenner, Yvette L. Dickinson & JeriLynn E. Peck (2013). Recovery of forest structure and composition to harvesting in different strata of mixed even-aged central Appalachian hardwoods. *Annals of Forest Science*. 70(2): 151-159.
- [37]. Q. Ja Guzmán, M. H. Park, L. J. Williams & J. Cavender-Bares (2025). Seasonal structural stability promoted by forest diversity and composition explains overyielding. *Ecology*. 106(3): e70055.
- [38]. Connell J.H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*. 199(4335): 1302–1310. DOI: 10.1126/science.199.4335.1302.
- [39]. Huston M. (2014). Disturbance, productivity, and species diversity: empiricism vs. logic in ecological theory. *Ecology*. 95(9): 2382–2396. DOI: 10.1890/13-1397.1.
- [40]. X. Liu, S. Trogisch, J. S. He, P. A. Niklaus, H. Bruelheide, Z. Tang, A. Erfmeier, M. Scherer-Lorenzen, K. A. Pietsch, B. Yang, P. Kühn, T. Scholten, Y. Huang, C. Wang, M. Staab, K. N. Leppert, C. Wirth, B. Schmid & K. Ma (2018). Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. *Proc Biol Sci*. 28(1885): 1-9. DOI: 10.1098/rspb.2018.1240
- [41]. Sarah R. Weiskopf, Forest Isbell, Maria Isabel Arce-Plata, Moreno Di Marco, Mike Harfoot, Justin Johnson, Susannah B. Lerman, Brian W. Miller, Toni Lyn Morelli, Akira S. Mori, Ensheng Weng & Simon Ferrier (2024). Biodiversity loss reduces global terrestrial carbon storage. *Nature Communications*. 15(1): 4354.
- [42]. Whitmore T. C. (1998). An introduction to tropical rain forests. Oxford University Press.
- [43]. Chave J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*. 20(10): 3177–3190. DOI: 10.1111/gcb.12629.
- [44]. Ashton P. S. (2014). Conservation of tropical forests. Oxford University Press.
- [45]. Ferry Slik J. W., Victor Arroyo-Rodriguez, Shin-ichiro and others Aiba (2015). An estimate of the number of tropical tree species. *Scientific Journal. International Institute of Tropical Forestry*. DOI: 10.1073/pnas.1423147112.
- [46]. Primack R. B., & Corlett, R. T. (2010). Tropical Rain Forests: An Ecological and Biogeographical Comparison. Wiley-Blackwell.
- [47]. Trần Văn Công, Nguyễn Minh Cảnh & Nguyễn Thị Minh Hải (2024). Đa dạng loài cây gỗ và trữ lượng Các bon trên mặt đất ở rừng tự nhiên núi đất lá rộng thường xanh trung bình tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Núi Ông, tỉnh Bình Thuận. *Rừng và Môi trường*. 120: 76-84.
- [48]. Lourens Poorter, Dylan Craven, Catarina C. Jakovac, Masha T. van der Sande, Lucy Amissah, Frans Bongers, Robin L. Chazdon (2021). Multidimensional tropical forest recovery. 374(6573): 1370-1376.
- [49]. Nytch C. J., Rojas-Sandoval, J., Erazo Oliveras, A., Santiago García, R. J. & Meléndez-Ackerman, E. (2023). Effects of historical land use and recovery pathways on composition, structure, ecological function, and ecosystem services in a Caribbean secondary forest. *Forest Ecology and Management*. Advance online publication. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121311.
- [50]. Murthy I.K., Bhat, S., Sathyanarayan, V., Patgar, S., Beerappa, M., Bhat, P.R., Bhat, D.M., Ravindranath, N.H., Khalid, M.A., Prashant, M., Iyer, S., Bebbler, D.M. & Saxena, R. (2015). Biomass and Carbon Stock Dynamics in Tropical Evergreen and Deciduous Forests of Uttara Kannada District, Western Ghats, India. *Global Journal of Science Frontier Research: H: Environment & Earth Science*. 15(5): 11–18.
- [51]. Karen D. Holl, J. Leighton Reid, Rebecca J. Cole, Federico Oviedo-Brenes, Juan A. Rosales & Rakan A. Zahawi (2020). Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. 57(12): 2316-2328.
- [52]. Oluwajuwon T.V., Chazdon, R. L., Ota, L., Gregorio, N. & Herbohn, J. (2024). Bibliometric and literature synthesis on assisted natural regeneration: An evidence base for forest and landscape restoration in the tropics. *Frontiers in Forests and Global Change*. 7. DOI: 10.3389/ffgc.2024.1412075.