

Sinh khối và trữ lượng các-bon của một số trạng thái rừng tự nhiên tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Đồng Sơn - Kỳ Thượng, tỉnh Quảng Ninh

Vũ Tiến Hưng, Cao Thị Thu Hiền*, Phạm Thế Anh, Bùi Thị Vân, Phạm Gia Thanh

Trường Đại học Lâm nghiệp

Biomass and carbon stocks of selected natural forest conditions in Dong Son – Ky Thuong Nature Reserve, Quang Ninh province

Vu Tien Hung, Cao Thi Thu Hien*, Pham The Anh, Bui Thi Van, Pham Gia Thanh

Vietnam National University of Forestry

*Corresponding author: hienctt@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.8.2026.026-034>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 21/07/2026

Ngày phản biện: 04/09/2026

Ngày quyết định đăng: 28/09/2026

Từ khóa:

Các-bon rừng, Quảng Ninh, rừng tự nhiên, sinh khối trên mặt đất, trữ lượng các-bon.

Keywords:

Aboveground biomass, carbon stock, forest carbon, natural forest, Quang Ninh province.

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Đồng Sơn - Kỳ Thượng, tỉnh Quảng Ninh nhằm đánh giá sinh khối trên mặt đất (Aboveground Biomass - AGB), trữ lượng các-bon của các trạng thái rừng tự nhiên và so sánh kết quả ước tính giữa các phương trình sinh khối. Dữ liệu được thu thập từ 41 ô tiêu chuẩn 1.000 m², trong đó đo đường kính ngang ngực ($D_{1.3}$), chiều cao và thành phần loài của tất cả cây gỗ có $D_{1.3} \geq 6$ cm. Sinh khối được tính theo ba phương trình gồm AGB1 (Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS, 2024), AGB2 và AGB3 (Vũ Tiến Hưng, 2015). Kết quả cho thấy sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon đều tăng dần từ trạng thái rừng nghèo kiệt đến rừng giàu. Cả ba phương trình đều phản ánh nhất quán xu thế này; trong đó AGB2 cho giá trị sinh khối cao nhất, tiếp theo là AGB3 và AGB1. Theo AGB1, sinh khối trung bình đạt 26,392; 61,979; 96,072 và 187,256 t ha⁻¹, tương ứng với trữ lượng các-bon là 16,994; 39,908; 61,861 và 120,574 t C ha⁻¹. Kiểm định Friedman cho thấy sự khác biệt giữa ba phương trình có ý nghĩa thống kê (Sig. < 0,05), mặc dù mức chênh lệch không lớn và xu thế biến động giữa các trạng thái rừng được phản ánh nhất quán.

ABSTRACT

This study was conducted in Dong Son - Ky Thuong Nature Reserve, Quang Ninh province, Vietnam, to evaluate aboveground biomass (AGB), carbon stocks of natural forest types, and compare biomass estimates obtained from different allometric equations. Data were collected from 41 sample plots, each covering 1,000 m², where diameter at breast height (DBH), tree height, and species composition were measured for all trees with DBH ≥ 6 cm. Aboveground biomass was estimated using three equations: AGB1 (Decision No. 145/QĐ-KL-CĐS, 2024), and AGB2 and AGB3 developed by Vu Tien Hung (2015). The results showed that aboveground biomass and carbon stocks increased progressively from very poor forests to rich forests. All three equations consistently reflected this trend, with AGB2 producing the highest biomass estimates, followed by AGB3 and AGB1. Based on AGB1, the mean aboveground biomass values were 26.392, 61.979, 96.072, and 187.256 t ha⁻¹, corresponding to carbon stocks of 16.994, 39.908, 61.861, and 120.574 t C ha⁻¹, respectively. The Friedman test indicated statistically significant differences among the three biomass estimation equations (Sig. < 0.05), although the differences were relatively small and all equations consistently captured the variation in biomass across forest conditions.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu ngày càng gia tăng, rừng tự nhiên giữ vai trò quan trọng trong hấp thụ và lưu giữ các-bon, góp phần giảm phát thải khí nhà kính và duy trì cân

bằng hệ sinh thái. Sinh khối trên mặt đất (Aboveground Biomass - AGB) là chỉ tiêu được sử dụng phổ biến để ước tính trữ lượng các-bon rừng và thường được xác định thông qua các phương trình tương quan giữa sinh khối với

đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao cây và tỷ trọng gỗ [1, 2]. Các phương pháp này đã được chứng minh có độ tin cậy cao trong nhiều kiểu rừng nhiệt đới, bao gồm cả rừng thường xanh tại Việt Nam [3, 4]. Tuy nhiên, độ chính xác của các phương trình này phụ thuộc đáng kể vào điều kiện sinh thái và đặc điểm cấu trúc rừng của từng khu vực, do đó việc đánh giá khả năng áp dụng của các mô hình trong từng vùng sinh thái là cần thiết để giảm sai số trong ước tính sinh khối và các-bon [5].

Khu Bảo tồn thiên nhiên (KBTTN) Đồng Sơn - Kỳ Thượng, tỉnh Quảng Ninh có nhiều trạng thái rừng tự nhiên, bao gồm rừng giàu, rừng trung bình, rừng nghèo và rừng nghèo kiệt. Sự khác biệt về trạng thái rừng tạo điều kiện để đánh giá sinh khối và trữ lượng các-bon trong khu vực nghiên cứu. Do chịu tác động của khai thác rừng trong quá khứ và áp lực từ sinh kế cộng đồng, các trạng thái rừng tại đây phân hóa rõ rệt, dẫn đến sự khác biệt lớn về sinh khối và trữ lượng các-bon.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về cấu trúc rừng, đa dạng sinh học và phương trình sinh khối cho rừng tự nhiên ở Việt Nam, việc đánh giá đồng thời sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon theo từng trạng thái rừng tại KBTTN Đồng Sơn - Kỳ Thượng vẫn còn hạn chế. Nhiều phương trình ước tính sinh khối trên mặt đất hiện đang được sử dụng cho rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở Việt Nam, bao gồm phương trình được ban hành theo Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS (2024) [3] và các phương trình đã công bố trước đó. Tuy nhiên, do sự khác biệt về cơ sở xây dựng và biến đầu vào, kết quả ước tính giữa các phương trình có thể không đồng nhất. Vì vậy, việc so sánh các phương trình trên cùng một bộ số liệu là cần thiết nhằm đánh giá mức độ khác biệt và cung cấp cơ sở lựa chọn phương trình phù hợp cho điều kiện nghiên cứu.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu được thực hiện nhằm: (i) xác định sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon của các trạng thái rừng tự nhiên tại KBTTN Đồng Sơn - Kỳ Thượng; (ii) đánh giá sự khác biệt giữa ba phương trình ước tính sinh khối đang được sử dụng; (iii) cung cấp cơ sở khoa học phục vụ lựa chọn phương pháp tính sinh khối trong điều tra rừng, đồng thời bổ sung dữ liệu phục vụ

quản lý tài nguyên rừng, giảm phát thải khí nhà kính và xây dựng các chương trình REDD+ trong khu vực nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập thông tin, tư liệu liên quan phục vụ điều tra rừng

Thu thập, tổng hợp và kế thừa có chọn lọc các tài liệu, số liệu hiện có về điều kiện tự nhiên, hiện trạng tài nguyên rừng và kết quả các nghiên cứu liên quan tại KBTTN Đồng Sơn - Kỳ Thượng. Các tài liệu này được sử dụng làm cơ sở xây dựng phương án điều tra và phân tích kết quả nghiên cứu.

2.2. Phương pháp rút mẫu

Nghiên cứu áp dụng phương pháp lấy mẫu phân tầng theo trạng thái rừng nhằm bảo đảm các trạng thái rừng tự nhiên đều được đại diện trong quá trình điều tra. Các trạng thái rừng được phân chia theo quy định hiện hành về điều tra, kiểm kê rừng, gồm rừng giàu, rừng trung bình, rừng nghèo và rừng nghèo kiệt.

Trên cơ sở diện tích phân bố, mức độ biến động cấu trúc lâm phần và khả năng tiếp cận thực địa, nghiên cứu bố trí tổng cộng 41 ô tiêu chuẩn hình chữ nhật (20 m × 50 m; diện tích 1.000 m²), gồm 10 ô ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh giàu, 18 ô ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh trung bình, 8 ô ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh nghèo và 5 ô ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh nghèo kiệt. Quy cách ô tiêu chuẩn, phương pháp đo đếm và ghi phiếu ngoại nghiệp được thực hiện theo Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS (2024)[3]. Số lượng ô ở từng trạng thái được phân bố theo diện tích và mức độ phân bố của từng trạng thái rừng trong khu vực nghiên cứu, bảo đảm mỗi trạng thái có đủ số mẫu phục vụ phân tích thống kê và so sánh.

2.3. Điều tra ô đo đếm ngoài thực địa

Trong mỗi ô tiêu chuẩn, điều tra toàn bộ cây gỗ có $D_{1.3} \geq 6$ cm. Các chỉ tiêu điều tra gồm đường kính ngang ngực ($D_{1.3}$) (được đo bằng thước kẹp kính), chiều cao vút ngọn (được đo bằng máy đo cao Blume-Leiss) và tên loài; việc đo đếm, xác định loài và ghi phiếu ngoại nghiệp được thực hiện theo Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS (2024). Việc thu thập và đo đếm số liệu thực địa được tiến hành từ tháng 02 đến tháng 06 năm 2026 tại KBTTN Đồng Sơn - Kỳ Thượng, tỉnh Quảng Ninh.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

a) Phân loại trạng thái rừng

Các trạng thái rừng được phân loại theo quy định tại Thông tư số 16/2023/TT-BNNPTNT ngày 15 tháng 12 năm 2023 sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16 tháng 11 năm 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 [6].

b) Tính toán trữ lượng các-bon rừng

Trữ lượng các-bon rừng được xác định trên cơ sở trữ lượng cây đứng đã điều tra theo từng trạng thái rừng, không thực hiện điều tra riêng đối với chỉ tiêu các-bon. Việc tính toán chỉ xem

$$AGB_{go} = 277,273 \times (D_{1.3}^2 \times H_{mt}/10000)^{0,947} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Trong đó:

+ AGB_{go} là sinh khối trên mặt đất của cây gỗ đang xét (tấn);

+ $D_{1.3}$ là đường kính tại vị trí cách mặt đất 1,3 m của cây gỗ đang xét (cm);

+ H_{mt} là chiều cao men thân của cây gỗ đang xét (m) ($H_{mt} = H_{vn} \times 1,04$) (2)

- Tính AGB bình quân/ha của cây gỗ trong ô đo đếm j thuộc trạng thái rừng thứ i theo công thức:

$$AGB_{go}/ha = \frac{10000}{S_{OTC}} \times \sum_{k=1}^{N_{i,j}} AGB_{gok} \quad (3)$$

Trong đó:

+ AGB_{go}/ha là AGB bình quân/ha của cây gỗ trong ô đo đếm thứ j thuộc trạng thái rừng thứ i ($t \cdot ha^{-1}$) ($AGB1$);

+ S_{OTC} là diện tích của ô đo đếm;

+ $N_{i,j}$ là số cây gỗ trong ô đo đếm j thuộc trạng thái rừng thứ i ;

+ AGB_{gok} là AGB của cây gỗ thứ k trong ô đo đếm j thuộc trạng thái rừng thứ i (tấn).

Ngoài ra, sinh khối tươi trên mặt đất (AGB) của mỗi ô tiêu chuẩn được tính thêm theo hai phương trình sau [4]:

$$AGB2 = -1,0840 + 0,7557 \cdot M \quad (4)$$

$$AGB3 = 0,74 \cdot M \quad (5)$$

Trong đó:

M là trữ lượng lâm phần, m^3/ha .

Sự khác biệt về sinh khối giữa các trạng thái rừng được đánh giá bằng kiểm định phi tham số Kruskal - Wallis đối với giá trị sinh khối ước tính theo phương trình $AGB1$ (theo Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS, 2024) [3], sau đó sử dụng phép so sánh hậu nghiệm Dunn có hiệu chỉnh Bonferroni khi kết quả kiểm định có ý nghĩa thống

xét lượng các-bon tích lũy trong sinh khối tươi của cây gỗ, bao gồm sinh khối trên mặt đất và sinh khối dưới mặt đất. Các thành phần sinh khối khác như cây bụi, cây tái sinh, dây leo, thảm tươi và các dạng thực vật phụ trợ khác không thuộc phạm vi tính toán.

Trữ lượng rừng, trữ lượng các-bon rừng của từng lô rừng được tính tại công thức (16), (17) và (26) trong Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS ngày 18 tháng 6 năm 2024 về việc ban hành "Sổ tay hướng dẫn kỹ thuật điều tra rừng" [3].

- Tính AGB cho từng cây gỗ cá thể bằng công thức sau (UN-REDD, 2014):

kê (Sig. < 0,05). Sự khác biệt giữa ba phương trình ước tính sinh khối được đánh giá bằng kiểm định Friedman do các giá trị được tính trên cùng một ô tiêu chuẩn; khi có ý nghĩa thống kê, các cặp phương trình được so sánh bằng kiểm định Wilcoxon Signed-Rank kết hợp hiệu chỉnh Bonferroni. Toàn bộ số liệu được xử lý bằng phần mềm SPSS 20.0 với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$.

- Tính AGB bình quân/ha trong sinh khối tươi của trạng thái rừng thứ i theo công thức sau:

$$AGBha_i = \frac{1}{N_i} \times \sum_{j=1}^{N_i} AGBha_{i,j} \quad (6)$$

Trong đó:

+ $AGBha_i$ là AGB bình quân/ha trong sinh khối tươi của trạng thái rừng thứ i ;

+ N_i là tổng số ô đo đếm thuộc trạng thái rừng thứ i ;

+ $AGBha_{i,j}$ là AGB bình quân/ha trong sinh khối tươi của ô đo đếm thứ j thuộc trạng thái rừng thứ i .

- Tính trữ lượng các-bon bình quân/ha trong sinh khối tươi của trạng thái rừng thứ i theo công thức sau:

$$Cha_i = AGBha_i \times (1 + R_i) \times CF \quad (7)$$

Trong đó:

+ Cha_i là trữ lượng các-bon bình quân/ha trong sinh khối tươi của trạng thái rừng thứ i ;

+ $AGBha_i$ là AGB bình quân/ha trong sinh khối tươi của trạng thái rừng thứ i ;

+ CF là tỷ lệ các-bon trong sinh khối rừng trên mặt đất, lấy mặc định bằng 0,47;

+ R_i là tỷ số sinh khối dưới mặt đất so với sinh khối trên mặt đất (không thứ nguyên) của trạng thái rừng thứ i . Sử dụng giá trị R mặc định theo IPCC là 0,37 [7].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thông tin thống kê các biến số của ô tiêu chuẩn tính sinh khối

Các chỉ tiêu thống kê của các biến số sử dụng để tính sinh khối theo từng trạng thái rừng được tổng hợp trong Bảng 1.

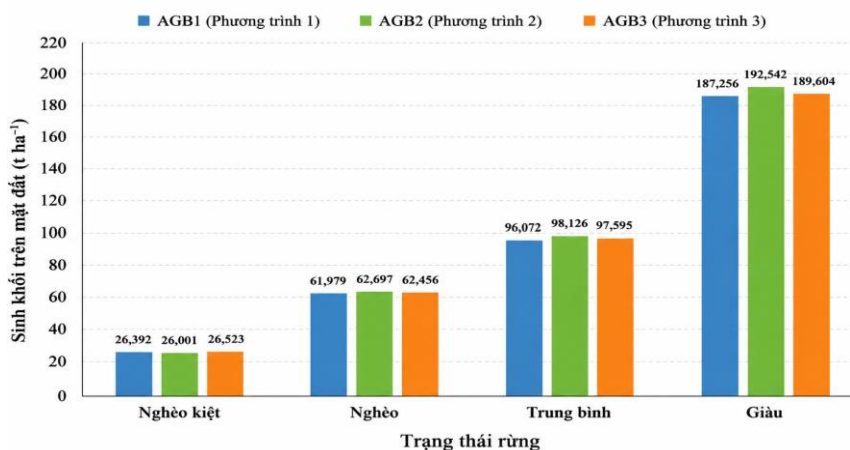
Bảng 1. Tóm tắt thông tin thống kê các biến số của ÔTC tính sinh khối

Trạng thái	Chỉ tiêu thống kê	Mật độ (cây/ha)	$\bar{D}_{1,3}$ (cm)	$\bar{H}_{VN}$ (m)	Trữ lượng (m^3/ha)	AGB1 (t/ha)	AGB2 (t/ha)	AGB3 (t/ha)
Nghèo kiệt	Trung bình	742	11,62	6,65	35,841	26,392	26,001	26,523
	Min	560	10,49	5,52	33,381	24,597	24,142	24,702
	Max	920	12,68	7,74	40,294	29,520	29,366	29,818
	Sai tiêu chuẩn	152	0,84	0,87	3,052	2,168	2,307	2,259
Nghèo	Trung bình	1.999	10,96	7,28	84,400	61,979	62,697	62,456
	Min	840	9,21	6,31	59,872	43,806	44,161	44,305
	Max	2.980	12,33	8,35	98,483	72,451	73,339	72,877
	Sai tiêu chuẩn	773	1,17	0,85	14,855	10,880	11,226	10,992
Trung bình	Trung bình	2.144	12,18	7,97	130,875	96,072	97,818	96,848
	Min	1.270	9,55	6,58	104,970	77,390	78,242	77,678
	Max	3.170	14,79	10,99	166,620	121,862	124,831	123,299
	Sai tiêu chuẩn	687	1,47	1,18	17,323	12,619	13,091	12,819
Giàu	Trung bình	2015	14,69	10,70	256,221	187,256	192,542	189,604
	Min	1.270	11,59	8,23	201,823	148,291	151,434	149,349
	Max	2.800	18,48	13,10	345,725	251,999	260,180	255,836
	Sai tiêu chuẩn	537	2,18	1,88	48,254	34,607	36,465	35,708

Bảng 1 cho thấy các chỉ tiêu cấu trúc lâm phần và sinh khối đều tăng theo mức độ phát triển của trạng thái rừng. Đường kính bình quân, chiều cao vút ngọn và trữ lượng lâm phần đều tăng từ trạng thái rừng nghèo kiệt đến rừng giàu, phản ánh quá trình tích lũy sinh khối cùng với sự phát triển của lâm phần. Kết quả tính toán theo cả ba phương trình cho thấy sinh khối trên mặt đất (AGB) có cùng xu thế biến động, với giá trị trung bình tăng từ khoảng 26 t ha⁻¹ ở rừng nghèo kiệt lên khoảng 190 t ha⁻¹ ở rừng giàu. Trong cả bốn trạng thái rừng, AGB2 luôn cho giá trị cao nhất, tiếp đến là AGB3 và

AGB1; tuy nhiên, mức chênh lệch giữa các phương trình tương đối nhỏ, dao động từ khoảng 0,5 t ha⁻¹ ở rừng nghèo kiệt đến khoảng 5,3 t ha⁻¹ ở rừng giàu. Kết quả này cho thấy cả ba phương trình đều phản ánh nhất quán xu thế gia tăng sinh khối theo chất lượng trạng thái rừng, mặc dù sự sai khác giữa các phương trình có xu hướng tăng ở các lâm phần có trữ lượng cao.

Để trực quan hóa xu hướng biến động và mức độ khác biệt giữa ba phương trình ước tính sinh khối, kết quả được trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Sinh khối trên mặt đất (AGB) ước tính theo ba phương trình cho các trạng thái rừng tự nhiên

Hình 1 minh họa trực quan sự tương đồng về xu hướng biến động sinh khối giữa ba phương trình ở các trạng thái rừng. Khoảng cách giữa các giá trị ước tính có xu hướng tăng theo sinh khối của lâm phần nhưng vẫn duy trì ở mức nhỏ, cho thấy ba phương trình cho kết quả nhất quán về xu hướng biến động, mặc dù có sự khác biệt nhất định về giá trị ước tính tuyệt đối.

3.2. Kiểm định sự khác biệt về sinh khối giữa các trạng thái rừng

Mặc dù giá trị sinh khối trên mặt đất có xu hướng tăng từ trạng thái rừng nghèo kiệt đến

rừng giàu, cần tiến hành kiểm định thống kê để xác định liệu sự khác biệt quan sát được giữa các trạng thái rừng có ý nghĩa thống kê hay không. Do đó, nghiên cứu sử dụng kiểm định Kruskal–Wallis để đánh giá sự khác biệt về sinh khối trên mặt đất (AGB1) giữa bốn trạng thái rừng tự nhiên. Do trữ lượng các-bon được tính trực tiếp từ sinh khối theo hệ số chuyển đổi cố định nên nghiên cứu chỉ thực hiện kiểm định đối với sinh khối.

Kết quả kiểm định sự khác biệt về sinh khối trên mặt đất (AGB1) giữa bốn trạng thái rừng được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả kiểm định theo tiêu chuẩn Kruskal–Wallis

Chỉ tiêu	AGB1
χ^2	35,686
Bậc tự do	3
Sig.	0,000

Bảng 2 là kết quả kiểm định Kruskal–Wallis cho thấy sinh khối trên mặt đất khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa bốn trạng thái rừng (Sig. < 0,05). Sự khác nhau về sinh khối trên mặt đất giữa các trạng thái rừng cho thấy mức độ tích lũy sinh khối có sự biến động theo trạng thái rừng. Tuy nhiên, do các trạng thái rừng trong nghiên cứu được phân chia chủ yếu dựa trên chỉ tiêu trữ lượng, kết quả này chỉ cho phép

đánh giá sự khác nhau về sinh khối giữa các trạng thái rừng, chưa đủ cơ sở để kết luận trạng thái rừng là yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tích lũy sinh khối.

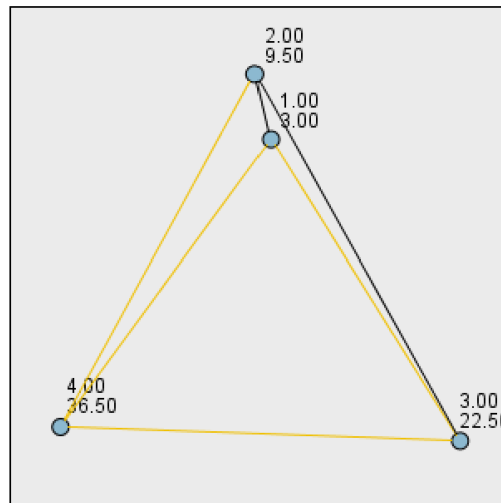
Để xác định cụ thể các cặp trạng thái rừng có sự khác biệt về sinh khối, kết quả so sánh hậu nghiệm bằng kiểm định Dunn được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả so sánh cặp bằng kiểm định Dunn

Cặp trạng thái rừng	Sig.	Kết luận
Nghèo kiệt - Nghèo	0,341	Không khác biệt
Nghèo kiệt - Trung bình	0,008	Khác biệt
Nghèo kiệt - Giàu	0,000	Khác biệt
Nghèo - Trung bình	0,064	Không khác biệt
Nghèo - Giàu	0,000	Khác biệt
Trung bình - Giàu	0,018	Khác biệt

Kết quả so sánh hậu nghiệm (Bảng 3 và Hình 2) cho thấy sự khác biệt chủ yếu xuất hiện giữa các trạng thái rừng có mức độ phát triển cách biệt, đặc biệt giữa rừng giàu với rừng trung bình, rừng nghèo và rừng nghèo kiệt. Trong khi đó, một số cặp trạng thái liền kề có mức sinh

khối tương đối gần nhau có thể không có sự khác biệt thống kê. Kết quả này phản ánh quá trình tích lũy sinh khối diễn ra liên tục theo diễn thế phục hồi của rừng tự nhiên và phù hợp với quy luật phát triển của cấu trúc lâm phần.



Hình 2. So sánh về sinh khối giữa các trạng thái rừng

(1: Trạng thái rừng nghèo kiệt; 2: trạng thái rừng nghèo; 3: trạng thái rừng trung bình; 4: trạng thái rừng giàu; 3,00; 9,50; 22,50; 36,50 là hạng trung bình của các trạng thái rừng)

3.3. So sánh kết quả ước tính sinh khối giữa các phương trình

Để đánh giá ảnh hưởng của việc lựa chọn phương trình sinh khối đến kết quả ước tính trữ lượng các-bon rừng, sinh khối tươi trên mặt đất (AGB) của các ô tiêu chuẩn được tính toán theo ba phương trình khác nhau, gồm phương trình hướng dẫn trong Quyết định số 145/QĐ-KL-

CĐS (AGB1) và hai phương trình được đề xuất của tác giả Vũ Tiến Hưng [4] (AGB2 và AGB3). Trong nghiên cứu này, kiểm định Friedman đã được thực hiện.

Kết quả kiểm định Friedman nhằm đánh giá sự khác biệt giữa ba phương trình ước tính sinh khối trong từng trạng thái rừng được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả kiểm định theo tiêu chuẩn Friedman

Chỉ tiêu	Trạng thái rừng			
	Nghèo kiệt	Nghèo	Trung bình	Giàu
	Giá trị			
χ^2	10,00	13,00	36,00	20,00
Bậc tự do	2	2	2	2
Sig.	0,007	0,002	0,000	0,000

Bảng 4 về kiểm định Friedman cho thấy có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các phương trình ước tính sinh khối (các giá trị Sig. < 0,05). Sự khác biệt giữa các phương trình sinh khối phản ánh mức độ phù hợp khác nhau của từng mô hình đối với điều kiện lập địa, cấu trúc lâm phần và phạm vi dữ liệu được sử dụng khi xây dựng phương trình. Vì vậy, việc lựa chọn phương trình sinh khối có thể ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả ước tính trữ lượng các-bon và cần được cân nhắc khi áp dụng cho rừng tự nhiên tại khu vực nghiên cứu.

Do kiểm định Friedman cho thấy sự khác biệt tổng thể giữa ba phương trình có ý nghĩa thống kê (Sig. < 0,05), nghiên cứu tiếp tục sử dụng phép kiểm Wilcoxon Signed-Rank để xác định các cặp phương trình có sự khác biệt.

Kết quả so sánh từng cặp phương trình bằng

kiểm định Wilcoxon Signed-Rank theo từng trạng thái rừng được trình bày trong Bảng 5, kết hợp với biểu đồ thứ hạng trung bình của kiểm định Friedman (Hình 3) cho thấy mức độ khác biệt giữa các phương trình ước tính sinh khối thay đổi theo từng trạng thái rừng.

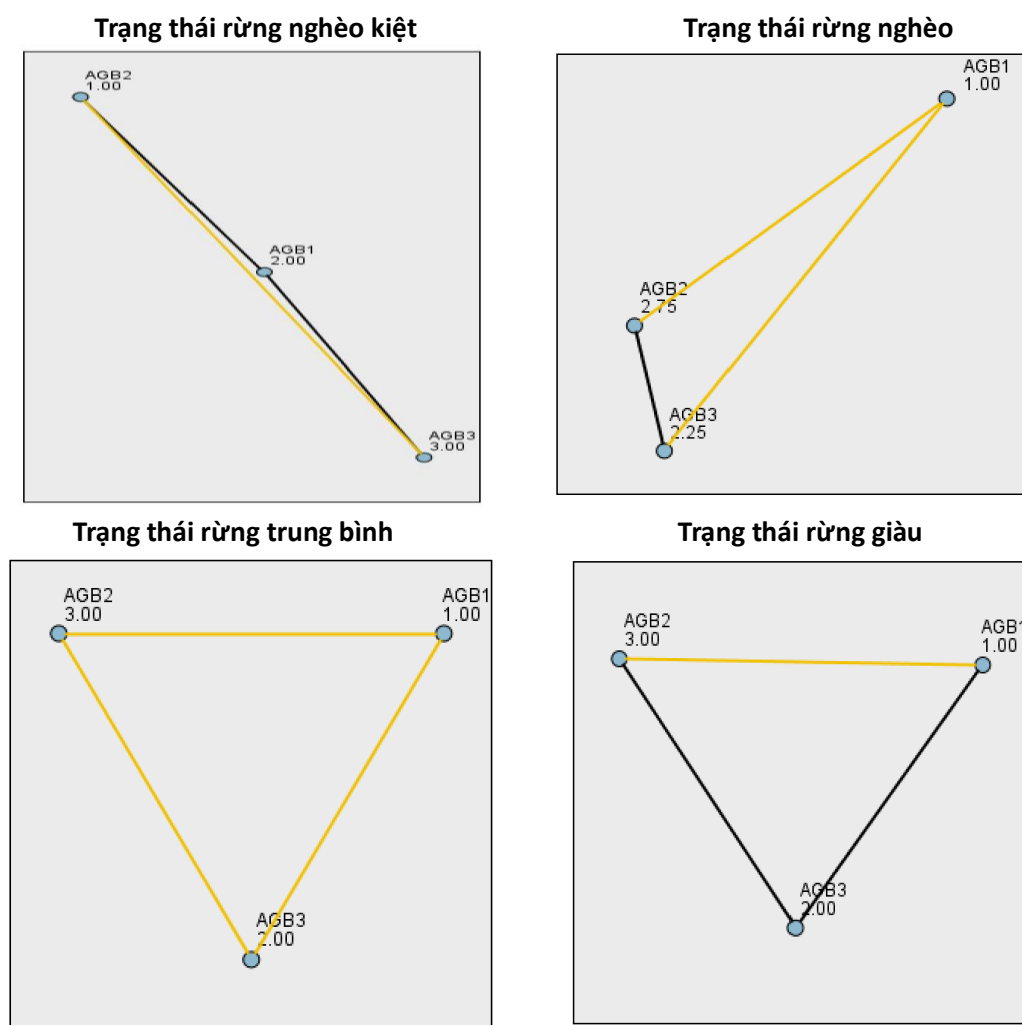
Kết quả kiểm định Wilcoxon Signed-Rank (Bảng 5) cho thấy mức độ khác biệt giữa các phương trình ước tính sinh khối phụ thuộc vào trạng thái rừng. Ở trạng thái rừng trung bình, tất cả các cặp phương trình đều khác biệt có ý nghĩa thống kê (Sig. < 0,05), điều này có thể do đây là giai đoạn chuyển tiếp về cấu trúc lâm phần và sinh khối, khi sự khác biệt về hệ số hồi quy và biến đầu vào của từng phương trình được thể hiện rõ hơn trong quá trình ước tính. Vì vậy, cùng một bộ số liệu nhưng ba phương trình cho kết quả phân biệt rõ ràng hơn so với

các trạng thái rừng còn lại. Đối với các trạng thái rừng nghèo kiệt, rừng nghèo và rừng giàu, chỉ có một hoặc hai cặp phương trình khác biệt có ý nghĩa thống kê, phản ánh sự tương đồng tương đối giữa các phương trình trong các điều kiện này. AGB2 có xu hướng cho giá trị sinh khối cao hơn AGB1 và AGB3 ở tất cả các trạng thái

rừng. Sự khác biệt này có thể liên quan đến phạm vi dữ liệu dùng để xây dựng phương trình; AGB2 được phát triển từ dữ liệu rừng tự nhiên lá rộng thường xanh vùng Đông Bắc Việt Nam [4], trong khi AGB1 được xây dựng phục vụ điều tra rừng trên phạm vi toàn quốc.

Bảng 5. Kết quả so sánh cặp bằng kiểm định Wilcoxon Signed-Rank

Trạng thái rừng	Cặp phương trình	Sig.	Kết luận
Nghèo kiệt	AGB1 - AGB2	0,342	Không khác biệt
	AGB1 - AGB3	0,342	Không khác biệt
	AGB2 - AGB3	0,005	Khác biệt
Nghèo	AGB1 - AGB2	0,001	Khác biệt
	AGB1 - AGB3	0,037	Khác biệt
	AGB2 - AGB3	0,952	Không khác biệt
Trung bình	AGB1 - AGB2	0,000	Khác biệt
	AGB1 - AGB3	0,008	Khác biệt
	AGB2 - AGB3	0,008	Khác biệt
Giàu	AGB1 - AGB2	0,000	Khác biệt
	AGB1 - AGB3	0,076	Không khác biệt
	AGB2 - AGB3	0,076	Không khác biệt



Hình 3. So sánh các phương trình ước tính sinh khối theo trạng thái rừng

Hình 3 minh họa trực quan sự thay đổi thứ hạng trung bình của ba phương trình theo từng trạng thái rừng, phù hợp với kết quả kiểm định Wilcoxon ở Bảng 5. Mức độ phân tách giữa các phương trình rõ nhất ở trạng thái rừng trung bình và nhỏ nhất ở trạng thái rừng nghèo kiệt. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của việc lựa chọn phương trình ước tính sinh khối phụ thuộc vào trạng thái rừng, trong khi xu thế biến động sinh khối giữa các trạng thái vẫn được phản ánh nhất quán bởi cả ba phương trình.

Trong phạm vi nghiên cứu này chưa có số liệu sinh khối thực đo để đánh giá sai số tuyệt đối của từng phương trình, do đó chưa đủ cơ

sở xác định phương trình nào có độ chính xác cao hơn. Vì vậy, việc lựa chọn phương trình cần căn cứ vào mục đích sử dụng: AGB1 phù hợp với điều tra, kiểm kê rừng theo quy định hiện hành [3], trong khi AGB2 và AGB3 thích hợp cho các nghiên cứu chuyên sâu hoặc so sánh kết quả ước tính sinh khối.

3.4. Trữ lượng các-bon theo các trạng thái rừng

Trữ lượng các-bon của các trạng thái rừng được tính từ sinh khối trên mặt đất theo hệ số chuyển đổi quy định tại Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS (2024). Giá trị sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon trung bình theo từng trạng thái rừng được tổng hợp trong Bảng 6.

Bảng 6. Sinh khối trên mặt đất (AGB) và trữ lượng các-bon trung bình theo trạng thái rừng tự nhiên

Trạng thái rừng	AGB bình quân/ha (AGB _{h(i)})	Trữ lượng các-bon bình quân/ha (Ch _{h(i)})
Nghèo kiệt	26,392	16,994
Nghèo	61,979	39,908
Trung Bình	96,072	61,861
Giàu	187,256	120,574

Bảng 6 cho thấy trữ lượng các-bon tăng dần theo mức độ phát triển của trạng thái rừng, phù hợp với xu thế gia tăng của sinh khối trên mặt đất. Theo phương trình AGB1, trữ lượng các-bon tăng từ 16,994 t C ha⁻¹ ở trạng thái rừng nghèo kiệt lên 120,574 t C ha⁻¹ ở trạng thái rừng giàu, tương ứng với mức tăng của sinh khối từ 26,392 lên 187,256 t ha⁻¹. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về mối quan hệ giữa sinh khối và khả năng lưu giữ các-bon của rừng tự nhiên [1, 2, 5]. Xu hướng gia tăng sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon từ trạng thái rừng nghèo kiệt đến rừng giàu trong nghiên cứu này cũng phù hợp với kết quả của nhiều nghiên cứu về rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở Việt Nam. Quốc Minh Dũng và cộng sự (2023) [8], khi nghiên cứu rừng lá rộng thường xanh tại Vườn quốc gia Phia Oắc – Phia Đén, cho thấy sinh khối trên mặt đất có mối quan hệ chặt chẽ với đặc điểm cấu trúc lâm phần. Tương tự, Bùi Thị Vân và cộng sự (2026)

[9], khi nghiên cứu các trạng thái rừng tự nhiên tại KBTTN đất ngập nước Vân Long, cũng ghi nhận sinh khối và trữ lượng các-bon có sự khác biệt giữa các trạng thái rừng. Mặc dù giá trị tuyệt đối giữa các nghiên cứu không hoàn toàn giống nhau do sự khác nhau về điều kiện lập địa, trạng thái rừng, cấu trúc lâm phần, thành phần loài và phương trình ước tính sinh khối được sử dụng, xu hướng biến động ghi nhận trong nghiên cứu này là tương đồng với các công bố trước đây.

Sự gia tăng trữ lượng các-bon giữa các trạng thái rừng phản ánh quá trình tích lũy sinh khối trong diễn thế phục hồi của rừng tự nhiên. Khi cấu trúc lâm phần phát triển, sự gia tăng về đường kính, chiều cao và trữ lượng cây gỗ làm tăng khả năng hấp thụ và lưu giữ CO₂ trong sinh khối thực vật. Điều này cho thấy trạng thái rừng là yếu tố có ảnh hưởng quan trọng đến tiềm năng lưu giữ các-bon của hệ sinh thái rừng.

4. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã ước tính sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon của rừng tự nhiên lá rộng thường xanh tại KBTTN Đồng Sơn - Kỳ Thượng theo ba phương trình AGB1, AGB2 và AGB3. Kết quả cho thấy sinh khối trên mặt đất và trữ lượng các-bon đều tăng dần từ trạng thái rừng nghèo kiệt đến rừng giàu. Theo AGB1, sinh khối trung bình đạt 26,392; 61,979; 96,072 và 187,256 t ha⁻¹, tương ứng với trữ lượng các-bon là 16,994; 39,908; 61,861 và 120,574 t C ha⁻¹.

- Kết quả so sánh cho thấy cả ba phương trình đều phản ánh nhất quán xu hướng biến động sinh khối giữa các trạng thái rừng, tuy nhiên có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về giá trị ước tính (Sig. < 0,05). AGB2 thường cho giá trị sinh khối cao nhất, tiếp theo là AGB3 và AGB1; mức chênh lệch giữa các phương trình tăng dần theo sinh khối của lâm phần và rõ hơn ở các trạng thái rừng có trữ lượng trung bình và giàu. Điều này cho thấy việc lựa chọn phương trình có thể ảnh hưởng đến kết quả ước tính sinh khối và trữ lượng các-bon, đặc biệt đối với các lâm phần có sinh khối lớn.

- Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn phương trình ước tính sinh khối đối với rừng tự nhiên lá rộng thường xanh tại khu vực nghiên cứu. Trong đó, AGB1 phù hợp khi thực hiện điều tra, kiểm kê rừng theo hướng dẫn hiện hành; AGB2 và AGB3 có thể được xem xét trong các nghiên cứu chuyên sâu hoặc khi cần đánh giá, so sánh kết quả ước tính giữa các phương trình. Tuy nhiên, do nghiên cứu chưa kiểm chứng với sinh khối thực tế, chưa đủ cơ sở để khẳng định phương trình nào có độ chính xác cao nhất; vì vậy cần tiếp tục nghiên cứu kiểm chứng để lựa chọn phương trình tối ưu cho khu vực nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 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., Péllissier 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.
- [2]. 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.
- [3]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2024). Quyết định số 145/QĐ-KL-CĐS ngày 18 tháng 6 năm 2024 về việc ban hành "Sổ tay hướng dẫn kỹ thuật điều tra rừng".
- [4]. Vũ Tiến Hưng (2015). Xây dựng cơ sở khoa học cho điều tra sinh khối và carbon cây đứng rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở Việt Nam. Luận án tiến sĩ. Trường Đại học Lâm nghiệp.
- [5]. Nam V. T., Van Kuijk M. & Anten N. P. R. (2016). Allometric equations for aboveground and belowground biomass estimations in an evergreen forest in Vietnam. *PLoS ONE*. 11(6): 1 - 19.
- [6]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2023). Thông tư số 16/2023/TT-BNNPTNT ngày 15 tháng 12 năm 2023 sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16 tháng 11 năm 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.
- [7]. Fittkau E. J. & Klinge H. (1973). On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*. 5(1): 2-14.
- [8]. Quốc Minh Dũng, Nguyễn Thị Hương Ly, Lê Anh Thanh & Nguyễn Văn Quý (2023). Cấu trúc, đa dạng loài và sinh khối trên mặt đất của rừng lá rộng thường xanh ở Vườn quốc gia Phia Oắc – Phia Đén. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp*. 12(6): 27-35.
- [9]. Bùi Thị Vân, Vũ Tiến Hưng, Cao Thị Thu Hiền, Phạm Thế Anh, Phạm Văn Duẩn & Phạm Gia Thanh (2026). Sinh khối và trữ lượng các-bon một số trạng thái rừng tự nhiên trên núi đá vôi tại Khu Bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước Vân Long, tỉnh Ninh Bình. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 15(4): 58–68. DOI: 10.55250/jo.vnuf.15.4.2026.058-068