

## 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

Vũ Tiến Hưng, Bùi Thị Vân\*, Cao Thị Thu Hiền, Phạm Thế Anh, Phạm Văn Duẩn, Phạm Gia Thanh  
Trường Đại học Lâm nghiệp

### Biomass and carbon stocks of selected natural forest types on limestone mountains in the Van Long Wetland Nature Reserve, Ninh Binh province

Vu Tien Hung, Bui Thi Van\*, Cao Thi Thu Hien, Pham The Anh, Pham Van Duan, Pham Gia Thanh  
Vietnam National University of Forestry

\*Corresponding author: vanbt@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.4.2026.058-068>

#### TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định sinh khối và trữ lượng các-bon (C) của 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. Tổng cộng 90 ô tiêu chuẩn được lập và phân chia theo trữ lượng thành bốn trạng thái rừng: trung bình (TXDB), nghèo (TXDN), nghèo kiệt (TXDK) và chưa có trữ lượng (TXDP). Sinh khối được tính toán theo phương trình allometric phù hợp với rừng nhiệt đới trên núi đá vôi; trữ lượng các-bon xác định theo hệ số chuyển đổi 0,47. Kết quả cho thấy sinh khối trung bình dao động từ 7,1–165,4 tấn/ha và trữ lượng các-bon tương ứng 3,3–77,7 tấn C/ha. Trong đó, trạng thái TXDB có sinh khối và khả năng tích lũy các-bon cao nhất, thấp nhất là TXDP. Tầng cây gỗ đóng góp phần lớn (chiếm 70–90%) tổng lượng CO<sub>2</sub> toàn lâm phần, minh chứng cho vai trò trung tâm của cây gỗ lớn trong việc cô lập các-bon. Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> thể hiện xu thế giảm rõ rệt theo thứ tự TXDB → TXDN → TXDK → TXDP; là xu thế hoàn toàn phù hợp với cấu trúc lâm phần quan sát. Điều này phản ánh và cho thấy cấu trúc rừng là yếu tố quyết định trực tiếp đến mức độ hấp thụ CO<sub>2</sub> trong khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu góp phần cung cấp dữ liệu định lượng phục vụ quản lý rừng bền vững, tính toán tín chỉ các-bon và xây dựng các giải pháp phục hồi rừng núi đá vôi tại Vân Long.

#### ABSTRACT

The study was conducted to determine the biomass and carbon (C) stocks of several natural forest states on limestone mountains in Van Long Wetland Nature Reserve, Ninh Binh province. A total of 90 standard plots were established and divided according to stock into four forest states: medium state (TXDB), poor state (TXDN), extremely poor state (TXDK) and no stock (TXDP). Biomass was calculated using an allometric equation suitable for tropical forests on limestone mountains; carbon stocks were determined using a conversion factor of 0.47. The results showed that the average biomass ranged from 7.1–165.4 tons/ha and the corresponding carbon stock was 3.3–77.7 tons C/ha. In which, the TXDB state had the highest biomass and carbon accumulation capacity, the lowest was TXDP. The woody layer contributed the majority (70–90%) of the total CO<sub>2</sub> in the entire forest stand, demonstrating the central role of large trees in carbon sequestration. The CO<sub>2</sub> absorption capacity showed a clear decreasing trend in the order TXDB → TXDN → TXDK → TXDP; a trend that is completely consistent with the forest stand structure. This reflects and shows that forest structure is a factor that directly determines the level of CO<sub>2</sub> absorption in the study area. The study contributes to providing quantitative data for sustainable forest management, calculating carbon credits and developing solutions for restoring limestone forests in Van Long.

#### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 07/11/2025

Ngày phản biện: 09/12/2025

Ngày quyết định đăng: 12/01/2026

#### Từ khóa:

các-bon, CO<sub>2</sub>, núi đá vôi, rừng tự nhiên, sinh khối, Vân Long.

#### Keywords:

Biomass, carbon, CO<sub>2</sub>, limestone mountains, natural forest, Van Long.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thế kỷ 21 “Biến đổi khí hậu” đang được coi là từ khoá quan trọng của mỗi quốc gia và nó cũng đã trở thành thách thức lớn nhất của nhân loại. Điều này đặt ra yêu cầu các quốc gia phải hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng 0 (Net Zero) của các quốc gia vào giữa thế kỷ, nhằm hạn chế mức tăng nhiệt độ toàn cầu [1]. Mục tiêu của Net Zero đòi hỏi “không giảm mà tăng” – không chỉ cắt giảm tối đa lượng khí nhà kính phát thải, mà còn phải tăng cường khả năng hấp thụ để cân bằng phần phát thải còn lại, đi đôi với tăng cường khả năng hấp thụ các-bon tự nhiên, trong đó rừng được coi là bể hấp thụ các-bon trên cạn lớn nhất [2].

Với ý nghĩa và vai trò đó của rừng, việc thành lập các Vườn Quốc gia (VQG), Khu Bảo tồn (KBT) là một cách quan trọng nhất để bảo tồn hệ sinh thái và phát huy những giá trị to lớn mà rừng mang lại, tuy nhiên rất hiếm khi việc thành lập này mang ý nghĩa nhằm giảm thiểu biến đổi khí hậu (hấp thụ và lưu trữ khí CO<sub>2</sub>). Việc hấp thụ các-bon của rừng không chỉ mang lại lợi ích về mặt khí hậu và môi trường mà còn tạo ra giá trị kinh tế thông qua các quỹ các-bon. Các quỹ các-bon ưu đãi này được trao cho các quốc gia đang phát triển nhằm hỗ trợ họ giảm phát thải khí nhà kính bằng cách quản lý rừng một cách hiệu quả hoặc thực hiện các hoạt động trồng mới và tái trồng rừng (IPCC, 2013) [3]. Khoản thanh toán này dựa trên lượng các-bon được cô lập, và lượng các-bon này phải được xác nhận bằng các nghiên cứu khoa học (IPCC, 2006). Bên cạnh đó, xác định được trữ lượng các-bon tại các VQG, KBT sẽ nâng cao vai trò của các VQG, KBT đó trong bối cảnh BĐKH và góp phần tạo nguồn tài chính bền vững cho công tác quản lý và bảo vệ rừng, đặc biệt trong bối cảnh thị trường các-bon sôi động như hiện nay [4].

Khu Bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước (BTTNĐNN) Vân Long là hệ sinh thái rừng – núi đá vôi đặc thù và có giá trị cao về đa dạng sinh học, đồng thời là khu Ramsar của thế giới. Đây

là khu vực có nhiều sinh cảnh đa dạng, đặc biệt có các khối núi đá vôi xen lẫn các vùng đất ngập nước. Chính sự biệt lập địa lý đã tạo nên tính đặc hữu và đa dạng riêng biệt cho vùng núi đá vôi này. Vân Long cũng là khu vực núi đá vôi với địa hình phức tạp, nhiều vách đá dựng đứng, hang động, khe núi sâu. Điều kiện này gây khó khăn cho việc tiếp cận, khảo sát thực địa và thu thập dữ liệu định lượng về sinh khối (ví dụ: đo chiều cao cây, đường kính, thu mẫu...) [5]. Rừng ở đây phát triển trên lớp đất mỏng, nghèo dinh dưỡng, khiến mật độ cây thấp và sinh khối gỗ không cao so với các hệ sinh thái rừng khác như rừng kín thường xanh trên đất feralit. Sinh khối thấp nên nghiên cứu định lượng không mang lại nhiều giá trị so với chi phí và công sức thực hiện. Ngoài ra, nhiều khu vực thuộc phân khu bảo vệ nghiêm ngặt hạn chế điều tra và yêu cầu giảm tác động thực địa, hạn chế Hmở tuyến nên không cho phép chặt hạ cây để xây dựng phương trình chuẩn. Do đó, sinh khối chủ yếu tính bằng phương trình gián tiếp, điều này khiến các nghiên cứu sinh khối ít được triển khai vì dữ liệu đối chứng không đủ. Và từ đó làm cho các hoạt động nghiên cứu khoa học đi sâu về cấu trúc, sinh khối và các-bon rừng trên núi đá vôi tại khu vực Vân Long rất ít gần như là chưa có. Việc xác định sinh khối và trữ lượng các-bon của rừng núi đá vôi tại Vân Long không chỉ có ý nghĩa khoa học mà còn có giá trị thực tiễn cao. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần bổ sung cơ sở dữ liệu về sinh khối và các-bon cho khu vực Bắc Bộ, làm căn cứ phục vụ đánh giá giá trị dịch vụ môi trường rừng, từ đó hỗ trợ công tác quản lý, bảo tồn và phát triển rừng theo hướng bền vững, ứng phó biến đổi khí hậu ở địa phương cũng như tại các vùng núi đá vôi khác của Việt Nam.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phương pháp thu thập số liệu

Tiến hành lập 90 ô tiêu chuẩn (OTC) ngẫu nhiên điển hình cho các trạng thái rừng gỗ tự nhiên núi đá. Việc xác định số lượng OTC cho

mỗi trạng thái rừng tại Khu BTTNĐNN Vân Long được thực hiện dựa trên diện tích phân bố thực tế, mức độ đồng nhất của thảm thực vật, đặc điểm cấu trúc rừng và mức độ biến động sinh khối giữa các trạng thái. Trong đó: phía Tây Bắc (30 OTC); phía Đông Bắc (20 OTC); phía Nam (15 OTC) và núi Ba Chon (10 OTC), Đồng Quyển (6 OTC), Mèo Cào (3 OTC), Cô Tiên (6 OTC). Diện tích mỗi OTC là 500 m<sup>2</sup> (25 m x 20 m)

Trong mỗi OTC lập 05 dạng bản (ODB) cấp 1 ở các vị trí 4 góc và tâm OTC, mỗi ODB cấp 1 có diện tích 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m). Trong các ODB cấp 1 tiến hành lập 05 ODB cấp 2 tại 5 vị trí (tâm và 4 góc) của ODB cấp 1, mỗi ODB cấp 2 có diện tích 1 m<sup>2</sup> (1 m x 1 m)

*\*Điều tra tầng cây cao:* Điều tra toàn bộ các cây có đường kính ngang ngực (D<sub>1.3</sub>) từ 6 cm trở lên, đo D<sub>1.3</sub> bằng thước dây đo vanh có độ chính xác đến 0,5mm; Chiều cao vút ngọn (H<sub>vn</sub>) được đo bằng thước đo cao Blume leiss. Đếm của toàn bộ số cây trong OTC để xác định mật độ (N).

*\*Điều tra tầng cây bụi thảm tươi và thảm mục:* Được thu thập từ các ODB cấp 1 và cấp 2, thu gom và cân toàn bộ thảm tươi, thảm mục

và vật rơi rụng trong ODB bằng cân đồng hồ có độ chính xác đến 50 g.

**2.2. Phương pháp xử lý số liệu**

- Phân loại các trạng thái rừng: Theo thông tư số 33/2018 và 16/2023/TT- BNNPTNT của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng. Phân chia rừng tự nhiên khu vực nghiên cứu theo trữ lượng. Tính toán các chỉ tiêu điều tra cấu trúc lâm phần bao gồm: Mật độ (N, cây/ha),  $\bar{D}_{1.3}$ (cm),  $\bar{H}_{vn}$ (m), tổng tiết diện ngang (G, m<sup>2</sup>/ha) và trữ lượng (M, m<sup>3</sup>/ha).

- Sinh khối các trạng thái rừng: sử dụng 5 phương trình để tính sinh khối trên mặt đất. Việc lựa chọn phương trình sinh khối cho nghiên cứu được dựa trên các tiêu chí khoa học sau: đối tượng và điều kiện xây dựng phương trình; phạm vi kích thước mẫu (DBH, H<sub>vn</sub>); kiểu rừng, loài cây chủ đạo và điều kiện sinh thái; mức độ tương đồng về cấu trúc rừng và lập địa với khu nghiên cứu; độ chính xác và sai số báo cáo bởi tác giả gốc; mức độ được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu tương tự. Các dạng phương trình tính sinh khối và trữ lượng các bon thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1. Các dạng phương trình tính sinh khối sử dụng trong nghiên cứu**

TT	Dạng phương trình	R	Nguồn
PT1	$AGB = 0,1142 \times D^{2,4451}$	0,96	UN-REDD
PT2	$AGB = 0,0547 \times D^{2,1148} \times H^{0,6131}$	0,96	UN-REDD
$AGB = 277,273 \times (DBH^2 \times H_{mt}/10000)^{0,947} \times 10^{-3}$			
PT3	Tính chiều cao men thân (H <sub>mt</sub> ) của các cây gỗ ô điều tra dựa trên chiều cao vút ngọn (Viện Điều tra quy hoạch rừng năm 1995) theo công thức: $H_{mt} = H_{vn} \times 1,04$	0,92	GIZ [6]
PT4	$SK (tươi) = 0,2616 \times D_{1.3}^{2,3955}$	0,977	Bảo Huy (2008)
	$SK (khô) = 0,454 \times SK (tươi)^{1,032}$	0,993	
	$CO2 = 0,167 \times D^{2,4803}$	0,968	
$B = 0,5 \times A ; \quad C = 1,33 \times B ; \quad D = 1,2 \times C ; \quad E = 1,5 \times D$			
PT5	A là tổng trữ lượng lâm phần $A = D_{1.3} * H_{vn} * f * 10$ (f=0,45) B là sinh khối gỗ khô (tấn/ha); C là tổng sinh khối trên mặt đất (tấn/ha), D là tổng sinh khối (tấn/ha), E là tổng lượng các bon hấp thụ (tấn/ha)		NIRI

Mục tiêu sử dụng 5 phương trình trên để so sánh và đánh giá mức độ chênh lệch giữa các

phương trình, từ đó có thể lựa chọn phương trình tối ưu cho từng trạng thái rừng đồng thời

kiểm chứng độ tin cậy của phương trình khi áp dụng trong điều kiện rừng trên núi đá vôi, tăng độ chắc chắn của ước tính sinh khối và các-bon và làm cơ sở cho thảo luận khoa học và đề xuất hướng nghiên cứu phù hợp.

Sinh khối dưới mặt đất (Khối lượng tươi/khô được quy đổi về tấn/ha) theo phương trình  $BGB = AGB \times RS$ . Trong đó RS bằng 0,246 nếu  $AGB > 125$  tấn khô/ha, RS bằng 0,323 nếu  $AGB \leq 125$  tấn khô/ha.

Tính sinh khối lớp cây bụi thảm tươi:

$$SK_{tt} = KLTT (ODB) \times \frac{10000}{1000} \text{ (tấn/ha)}$$

$$SK_{tk} = 0,987 * SK_{tt}^{0,9104} \text{ (tấn/ha)}$$

Tính sinh khối thảm mục và vật rơi rụng:

$$SK_{kt} = KLTk (ODB) \times \frac{10000}{1000} \text{ (tấn/ha)}$$

$$SK_{kk} = 0,6327 * SK_{kt} + 2,1399 \text{ (tấn/ha)}$$

- Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> các trạng thái rừng:

Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của tầng cây gỗ.

$$TB = AGB + BGB \text{ và } TC = TB \times CF \times 44/12$$

Trong đó:

TB là tổng sinh khối của ô đo đếm;

TC là tổng trữ lượng các-bon của ô đo đếm;

AGB là sinh khối trên mặt đất, BGB là sinh khối dưới mặt đất.

So sánh sinh khối các-bon của tầng cây gỗ: Sử dụng kiểm định Kruskal-Wallis dùng để so sánh nhằm xác định xem có sự khác biệt đáng kể giữa các nhóm về biến kết quả hay không.

Nếu có sự khác biệt, kiểm định hậu kiểm Dunn (Dunn's test) được sử dụng để xác định các cặp nhóm khác biệt.

Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của cây bụi, thảm tươi, thảm mục và vật rơi rụng được tính theo công thức:

$$C = 50\% * SK_{tk} \text{ (tấn/ha);}$$

$$CO_2 = 3,67 * C \text{ (tấn/ha)}$$

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Sinh khối các trạng thái rừng tự nhiên khu vực nghiên cứu

##### 3.1.1. Sinh khối tầng cây gỗ

Kết quả thống kê diện tích các trạng thái rừng (theo quy định của thông tư số 33/2018 và thông tư số 16/2023/TT-BNNPTNT) tại Khu BTTNĐNN Vân Long thể hiện tại Bảng 2.

**Bảng 2. Hiện trạng các trạng thái rừng khu vực nghiên cứu**

TT	Ký hiệu	Tên trạng thái	Trữ lượng M (m <sup>3</sup> /ha)	Tổng diện tích (ha)	Tổng OTC
1	TXDB	Rừng gỗ tự nhiên núi đá trung bình	104,8 - 177,4	42,4	7
2	TXDN	Rừng gỗ tự nhiên núi đá nghèo	51,9 - 98,0	317,4	18
3	TXDK	Rừng gỗ tự nhiên núi đá nghèo kiệt	14,3 - 49,1	1.405,7	59
4	TXDP	Rừng gỗ tự nhiên núi đá chưa có trữ lượng	3,6 - 5,8	158,7	6
<b>Tổng</b>				<b>1.924,2</b>	

Hầu hết rừng trong khu vực nghiên cứu là rừng nghèo, đã có thời gian dài chịu sự tác động của con người và các yếu tố môi trường, nên trữ lượng thấp và rất thấp. Kết quả điều tra, đánh giá cho thấy: 100% hiện trạng rừng tự

nhiên núi đá của khu vực này là rừng cây gỗ và trữ lượng rừng hiện tại đang ở mức thấp. Sinh khối tầng cây gỗ qua các trạng thái được thể hiện ở Bảng 3.

**Bảng 3. Sinh khối tầng cây gỗ qua các trạng thái rừng**

Trạng thái	Trên mặt đất (AGB) - tấn/ha					Dưới mặt đất (BGB) - tấn/ha				
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5
TXDB	125,05	83,12	77,67	106,68	97,29	22,63	24,87	22,96	29,13	27,46
TXDN	64,49	43,97	42,24	54,61	50,57	20,8	14,2	14,87	18,2	16,33
TXDK	23,29	13,99	13,34	18,87	16,85	10,75	7,75	7,54	9,33	8,67
TXDP	10,57	8,02	7,63	8,99	8,78	4,06	3,24	3,11	3,55	3,48

Trạng thái rừng trung bình TXDB có sinh khối cao nhất ở tất cả các phương trình từ PT1–PT5; giá trị PT1 đạt tới 125,05 tấn/ha, cao hơn trạng thái TXDN khoảng 2 lần và gấp 4 – 12 lần trạng thái TXDK và TXDP. Qua số liệu ở bảng 3 cho thấy sinh khối trên mặt đất và dưới mặt đất có sự khác biệt rất lớn giữa bốn trạng thái rừng và xu thế sinh khối tầng cây gỗ giữa các trạng thái rừng biến thiên theo giá trị tăng lên của các chỉ tiêu cấu trúc đặc trưng như  $D_{1.3}$ ,  $H_{vn}$ ,  $H_{mt}$ ,  $G$ .

Phương trình 1 luôn cho giá trị sinh khối cao nhất ở cả 4 trạng thái, phương trình PT3 và PT2 cho giá trị thấp hơn PT1 khoảng 35 – 38%, sự sai khác về giá trị ước tính sinh khối qua PT2 – PT3 thường nhỏ. Phương trình PT5 và PT4 có xu hướng sinh khối giảm nhẹ so với PT1, cho giá trị thấp hơn PT1 khoảng 15 – 23%

Sinh khối dưới mặt đất (rễ) chiếm khoảng 18 – 25% so với sinh khối trên mặt đất (AGB) của các trạng thái rừng, kết quả này phù hợp với

đặc điểm rừng núi đá vôi có tầng đất mỏng, bộ rễ phát triển theo khe nứt.

Năm phương trình đều phản ánh xu hướng giảm sinh khối rừng từ trạng thái TXDB → TXDN → TXDK → TXDP, nhưng biến động giá trị sinh khối tầng cây gỗ của các phương trình tính được thể hiện qua kết quả là khác nhau, ở những trạng thái rừng đồng nhất, cây nhỏ thì các dạng phương trình đều cho kết quả gần nhau. Ở những trạng thái rừng như TXDB, nhiều cây có  $D > 25 - 30$  cm do đó các phương trình PT1 và PT4 có giá trị cao hơn. Những sự khác biệt này giúp đánh giá mức độ phù hợp của từng phương trình với từng trạng thái ở khu vực nghiên cứu.

**3.1.2. Sinh khối cây bụi, thảm tươi và thảm mục**

Kết quả tính sinh khối cây bụi, thảm tươi và thảm mục tại khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 4.

**Bảng 4. Sinh khối thảm mục, thảm tươi của các trạng thái rừng tự nhiên**

Trạng thái	Thảm tươi (tấn/ha)		Thảm mục (tấn/ha)	
	SKtt	SKtk	SKkt	SKkk
TXDB	12,14	9,54	8,51	7,52
TXDN	6,07	5,09	7,33	5,82
TXDK	7,71	6,32	6,70	6,38
TXDP	5,16	4,37	7,43	6,84

Số liệu ở Bảng 4 cho thấy giá trị sinh khối thảm tươi (SKtt, SKtk) và thảm mục (SKkt, SKkk) của bốn trạng thái rừng tự nhiên trên núi đá vôi. Kết quả phản ánh rõ đặc điểm cấu trúc, mức độ che phủ, điều kiện vi khí hậu và tốc độ phân giải hữu cơ khác nhau giữa các trạng thái với từng giá trị sinh khối cụ thể như sau:

Trạng thái TXDB (rừng trung bình) có sinh khối thảm tươi và thảm mục cao nhất trong tất cả các trạng thái. Trạng thái TXDN (rừng nghèo) đứng thứ hai, nhưng thấp hơn trạng thái TXDB một cách đáng kể. Trạng thái TXDK (rừng nghèo kiệt) có giá trị trung gian, phản ánh trạng thái rừng phục hồi yếu. Trạng thái TXDP (rừng phục hồi – cây bụi, cỏ) có giá trị thấp nhất ở cả thảm tươi và thảm mục. Nhìn chung mức độ suy giảm sinh khối

theo thứ tự: TXDB → TXDN → TXDK → TXDP.

TXDB có hệ sinh thái ổn định nhất với đặc trưng rừng có trữ lượng trung bình nên thảm tươi và thảm mục đều cao so với 3 trạng thái rừng còn lại. TXDN và TXDK có sinh khối trung bình, phản ánh mức độ phục hồi khác nhau. TXDP sinh khối thấp nhất, kết quả này phù hợp với trạng thái rừng bị suy thoái mạnh, ít tán che, đất mỏng. Nhưng thảm mục có thể tích tụ do phân giải chậm.

**3.2. Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> các trạng thái rừng tự nhiên**

**3.2.1. Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của tầng cây gỗ**

Kết quả đánh giá khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của tầng cây gỗ qua các trạng thái rừng ở từng dạng phương trình được thể hiện trong Bảng 5.

**Bảng 5. Ước tính tổng lượng các-bon tàng cây gỗ trong các trạng thái rừng**

Trạng thái	Tổng lượng CO <sub>2</sub> hấp thụ của tàng cây gỗ qua các dạng phương trình (tấn/ha)				
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5
TXDB	147,68	107,99	100,63	135,81	124,75
TXDN	85,29	58,17	57,11	72,81	66,90
TXDK	34,04	21,74	20,88	28,20	25,52
TXDP	14,63	11,26	10,74	12,54	12,26

Số liệu ở Bảng 5 cho thấy, xếp hạng khả năng tích lũy CO<sub>2</sub> (cao → thấp) theo trạng thái rừng: Tàng cây gỗ của rừng TXDB có khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> cao nhất trong tất cả các trạng thái. Tiếp theo lần lượt là TXDN → TXDK → TXDP, phản ánh mức độ giảm dần về cấu trúc, mật độ, kích thước cây và trữ lượng sinh khối. Xu thế này lặp lại ở tất cả 5 phương trình, chứng tỏ sự khác biệt là ổn định và có ý nghĩa sinh thái, không phụ thuộc vào công thức tính. Với giá trị khoảng cách tương đối giữa các trạng thái: TXDB trung bình hấp thụ ≈1,8 × TXDN, ≈4,7 × TXDK, ≈10 × TXDP. Trữ lượng CO<sub>2</sub> của tàng cây gỗ tính trung bình ở 5 phương trình đối với từng trạng thái rừng như sau:

TXDB (rừng trữ lượng trung bình): Trung bình ≈ 123,4 tấn CO<sub>2</sub>/ha. TXDN (rừng nghèo – phục hồi): Trung bình ≈ 68,1 tấn CO<sub>2</sub>/ha. TXDK (rừng nghèo kiệt): Trung bình ≈ 26,1 tấn CO<sub>2</sub>/ha. TXDP (rừng chưa có trữ lượng): Trung bình ≈ 12,3 tấn CO<sub>2</sub>/ha.

Xếp hạng theo giá trị phương trình thì lượng CO<sub>2</sub> hấp thụ tính theo PT1 cho giá trị lớn nhất ở tất cả trạng thái, tiếp theo là PT4 → PT5 → PT2 → PT3 (thứ tự này duy trì tương đối ổn định qua 4 trạng thái). Tàng cây gỗ đóng góp từ 70–90% tổng CO<sub>2</sub> toàn lâm phần, phù hợp quy luật sinh thái rừng tự nhiên nhiệt đới. Sự khác biệt CO<sub>2</sub> rõ rệt giữa 4 trạng thái rừng là có và ổn định. Để khẳng định sự khác biệt này có chắc chắn hay không cần thực hiện kiểm định giả thuyết thống kê phù hợp để kết luận. Trạng thái TXDB là vùng giàu các-bon nhất, TXDN ở mức trung bình, TXDK và TXDP là đối tượng ưu tiên phục hồi.

**3.2.2. So sánh sinh khối các-bon của tàng cây gỗ**

**3.2.2.1. So sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình qua các trạng thái rừng**

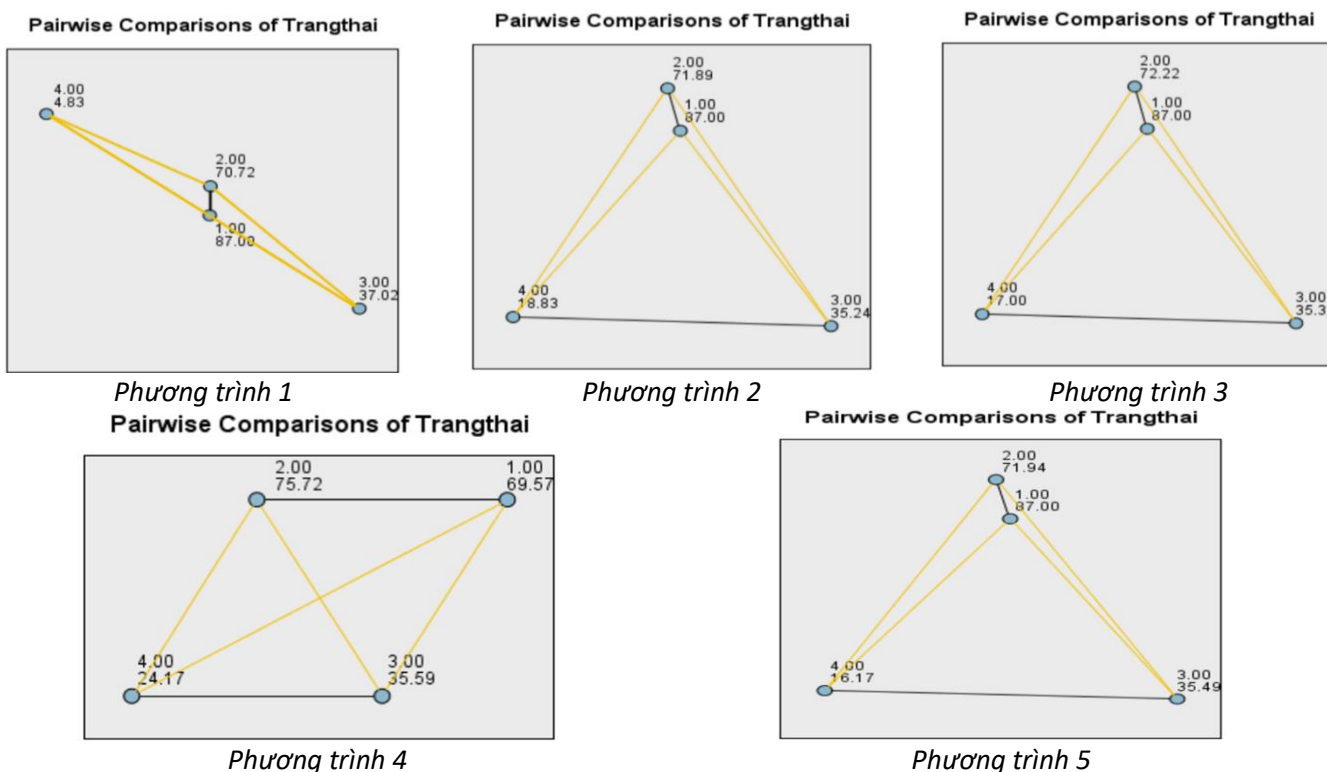
Kết quả so sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình qua các trạng thái rừng tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 6.

**Bảng 6. Kết quả so sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình qua các trạng thái**

Trạng thái	Chỉ tiêu	Phương trình				
		PT1	PT2	PT3	PT4	PT5
Hạng trung bình của trạng thái	TXDB	87	87	87	69,57	87
	TXDN	70,72	71,89	72,22	75,72	71,94
	TXDK	37,02	35,24	35,32	35,59	35,49
	TXDP	4,83	18,83	17,00	24,17	16,17
	<b>χ<sup>2</sup></b>	<b>55,202</b>	<b>55,202</b>	<b>52,593</b>	<b>42,517</b>	<b>52,331</b>
	<b>Sig.</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Kết quả ở Bảng 6 cho thấy, các phương trình đều phân biệt rõ 4 trạng thái rừng. PT1, PT2, PT3, PT5 cho kết quả ổn định, phù hợp thực tiễn. PT4 có xu hướng ước lượng cao bất thường đối với TXDP và TXDN, cũng như thấp hơn ở TXDB. PT1, PT2, PT3 và PT5 nên được ưu tiên sử dụng để ước tính CO<sub>2</sub> cho rừng tự nhiên

núi đá vôi Vân Long. PT4 không nên dùng vì không đảm bảo thứ bậc sinh khối CO<sub>2</sub> đúng theo cấu trúc rừng. Kết quả của phương pháp hậu kiểm là kiểm định Dunn (Dunn’s test) đã so sánh sinh khối các-bon cho từng cặp trạng thái ở các phương trình được thể hiện trong Hình 1.



**Hình 1. So sánh sinh khối các-bon theo từng cặp phương trình bằng kiểm định Dunn**  
 (1, 2, 3, 4 là trạng thái rừng TXDB, TXDN, TXDK, TXDP;  
 87 - 70,72 - 37,02 và 4,83 lần lượt là thứ hạng trung bình của từng trạng thái rừng ở PT1;  
 87 - 71,89 - 35,24 và 18,83 lần lượt là thứ hạng trung bình của từng trạng thái rừng ở PT2;  
 87 - 72,22 - 35,32 và 17 lần lượt là thứ hạng trung bình của từng trạng thái rừng ở PT3;  
 69,57 - 75,72 - 35,59 và 24,17 lần lượt là thứ hạng trung bình của từng trạng thái rừng ở PT4;  
 87 - 71,94 - 35,49 và 16,17 lần lượt là thứ hạng trung bình của từng trạng thái rừng ở PT5)

Có ít nhất một số cặp trạng thái có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về sinh khối các-bon theo kiểm định Dunn. Trạng thái TXDB thường có giá trị cao nhất, tạo nên sự khác biệt rõ rệt so với TXDK trong hầu hết các phương trình. Một số cặp (như TXDB – TXDN) cho thấy không có sự khác biệt lớn. Phương trình 4 thể hiện sai khác có ý nghĩa thống kê rõ nhất giữa các trạng thái, phương trình 1 ít tạo ra khác biệt thống kê giữa các trạng thái.

Các phương trình còn lại (2, 3, 5) có mức phân biệt trung bình, tập trung ở sự khác biệt giữa TXDN và TXDK.

**3.2.2.2. So sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình trong cùng trạng thái**

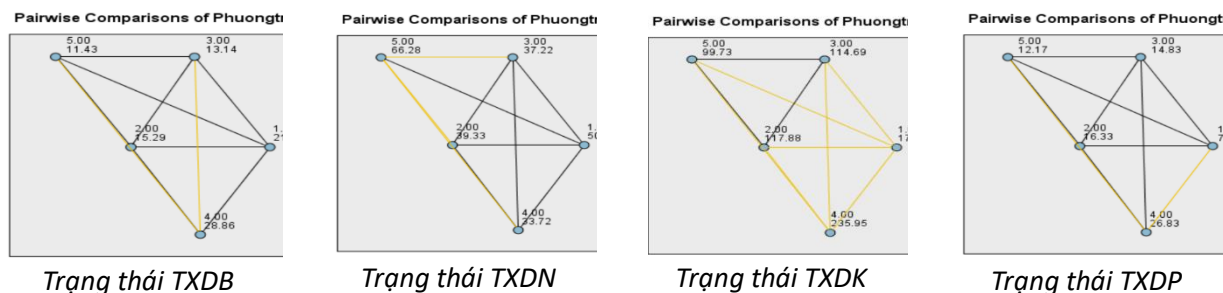
Kết quả so sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình trong cùng trạng thái rừng tại khu BTTN Đất ngập nước Vân Long được thể hiện trong Bảng 7.

**Bảng 7. Kết quả so sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các phương trình trong cùng trạng thái**

Phương trình		Trạng thái			
Chỉ tiêu		TXDB	TXDN	TXDK	TXDP
Hạng trung bình của phương trình	PT1	21,29	50,94	171,75	7,33
	PT2	15,29	39,33	117,88	16,33
	PT3	13,14	37,22	114,69	14,83
	PT4	28,86	33,72	235,95	26,83
	PT5	11,43	66,28	99,73	12,17
<b>χ<sup>2</sup></b>		<b>13,521</b>	<b>18,636</b>	<b>102,530</b>	<b>16,056</b>
<b>Sig.</b>		<b>0,009</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>

Kết quả ở Bảng 7 cho thấy, PT4 thường cho kết quả cao nhất ở các trạng thái TXDB, TXDK, TXDP, trong khi ở TXDN PT5 cho giá trị lớn nhất. TXDK có  $\chi^2$  lớn nhất nên sự khác biệt giữa các phương trình ở trạng thái này là lớn nhất.

Kết quả của phương pháp hậu kiểm là kiểm định Dunn (Dunn's test) đã so sánh sinh khối các-bon cho từng cặp phương trình được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. So sánh sinh khối Các-bon theo từng cặp trạng thái bằng kiểm định Dunn

(1, 2, 3, 4, 5 là các phương trình PT1, PT2, PT3, PT4, PT5

28,86 - 21,29 - 15,29 - 13,14 và 11,43 lần lượt là thứ hạng TB của các PT ở trạng thái TXDB

66,28 - 50,94 - 39,33 - 37,22 và 33,72 lần lượt là thứ hạng TB của các PT ở trạng thái TXDN

171,75-117,88-114,69-235,95 và 99,73 lần lượt là thứ hạng TB của các PT ở trạng thái TXDK

26,83- 16,33- 12,17- 14,83 và 7,33 lần lượt là thứ hạng TB của các PT ở trạng thái TXDP)

- PT4 là phương trình cho kết quả CO<sub>2</sub> lệch nhất ở tất cả các trạng thái: Luôn tạo ra đường vàng với hầu hết các PT khác. Chênh lệch hạng rất lớn, đặc biệt ở TXDK và TXDB. PT4 không phù hợp với rừng tự nhiên núi đá vôi khu vực nghiên cứu vì luôn khác biệt mạnh với các PT khác ở mọi trạng thái. PT1 – PT2 – PT3 – PT5 có sự tương đồng cao: Nhiều cạnh đen giữa chúng thể hiện không có khác biệt thống kê. Nhóm PT1–PT2–PT3–PT5 đáng tin cậy hơn, phù hợp cấu trúc rừng. Đối với các phân tích CO<sub>2</sub> cho rừng núi đá vôi, nên sử dụng: PT1, PT2, PT3 hoặc PT5. Đây là nhóm phương trình ổn định và phù hợp với rừng tự nhiên núi đá vôi khu vực nghiên cứu.

- TXDK có mức dao động mạnh nhất: Các phương trình cho kết quả rất khác nhau. Điều này phù hợp thực tế: rừng nghèo kiệt có cấu trúc khác thường so với cấu trúc trạng thái rừng ổn định trữ lượng, sinh khối thấp nên phương trình hồi quy dễ sai khác. TXDP và TXDN ổn định hơn: Chênh lệch thấp hơn TXDK. Các phương trình cho ước lượng tương đối đồng nhất hơn.

**3.2.2.3. So sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các OTC trong cùng trạng thái và cùng phương trình**

Kết quả so sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của các OTC trong cùng trạng thái rừng và cùng phương trình tại khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 8.

Bảng 8. So sánh khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> các OTC trong cùng trạng thái và cùng phương trình

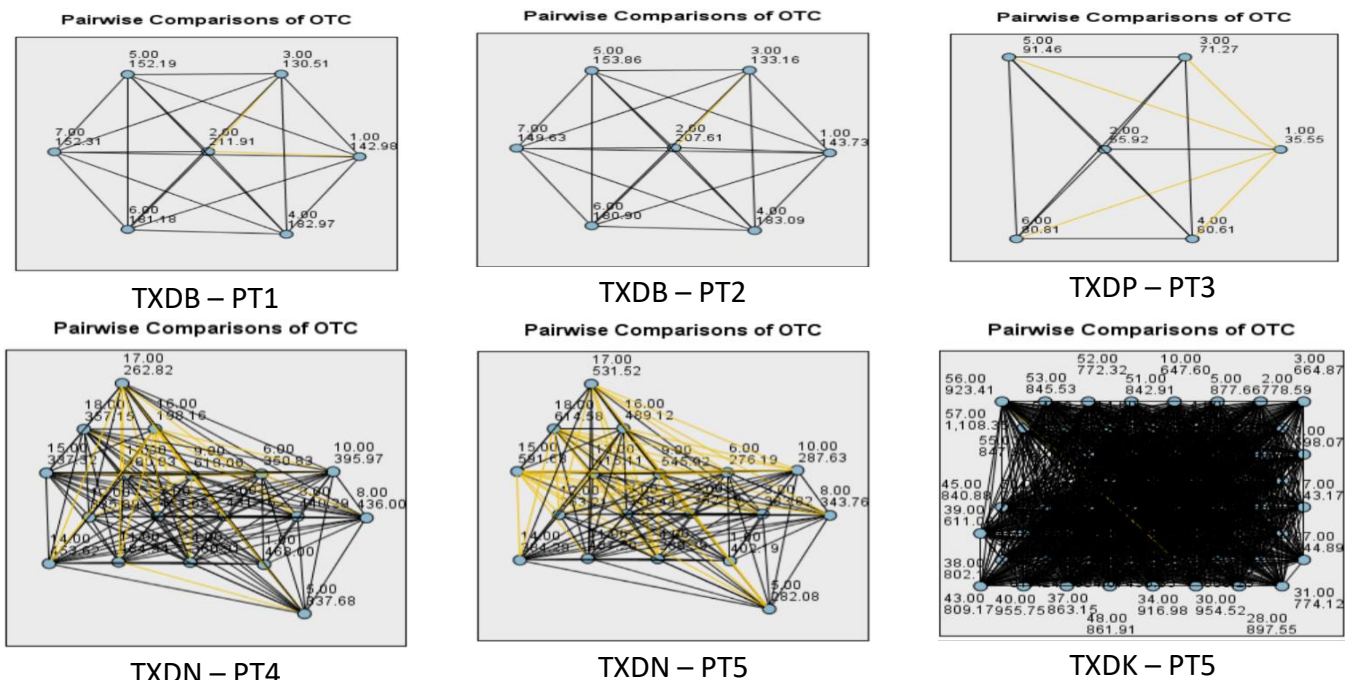
OTC	PT1		PT2		PT3		PT4		PT5	
	$\chi^2$	Sig.	$\chi^2$	Sig.	$\chi^2$	Sig.	$\chi^2$	Sig.	$\chi^2$	Sig.
TXDB	21,647	0,001	19,295	0,004	18,188	0,006	20,147	0,003	21,647	0,001
TXDN	76,491	0,000	68,827	0,000	65,163	0,000	132,443	0,000	151,336	0,000
TXDK	108,84	0,000	120,63	0,000	129,96	0,000	108,84	0,000	128,13	0,000
TXDP	26,63	0,000	10,429	0,064	11,88	0,036	7,865	0,164	11,93	0,036

Kết quả Bảng 8 cho thấy, hầu hết có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về sinh khối các-bon giữa các OTC trong cùng một phương trình của cùng 1 trạng thái rừng (do Sig. theo tiêu chuẩn

Kruskal-Wallis đều nhỏ hơn so với mức ý nghĩa 0,05), ngoại trừ giá trị của phương trình 2 và phương trình 4 tại trạng thái TXDP, sinh khối các-bon không khác nhau giữa các phương

trình (Sig. > 0,05). Dù sử dụng cùng một phương trình (PT) và cùng một trạng thái rừng (TXDB, TXDN, TXDK, TXDP), trữ lượng CO<sub>2</sub> giữa các OTC vẫn khác nhau. Điều này là hoàn toàn bình thường và phù hợp với đặc điểm rừng tự

nhiên. Kết quả của phương pháp hậu kiểm là kiểm định Dunn (Dunn's test) đã so sánh sinh khối các-carbon cho từng cặp OTC. Kết quả thu được như Hình 3.



Hình 3. So sánh sinh khối các-carbon theo từng cặp OTC trong cùng trạng thái, cùng phương trình

Kết luận, trữ lượng CO<sub>2</sub> giữa các OTC trong cùng một trạng thái rừng, cùng một phương trình ước tính có sự khác biệt đáng kể là hoàn toàn phù hợp với đặc điểm rừng tự nhiên. Sự sai khác này chủ yếu xuất phát từ tính không đồng nhất về cấu trúc lâm phần, tổ thành loài, điều kiện sinh thái và lịch sử tác động khác nhau tại từng vị trí. Ngoài ra, sai số đo đạc và sự nhạy

cảm khác nhau của các phương trình sinh khối cũng góp phần làm gia tăng sự biến động CO<sub>2</sub> giữa các OTC.

**3.2.3. Khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của cây bụi, thảm tươi, thảm mục và vật rơi rụng**

Kết quả đánh giá khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của cây bụi, thảm tươi, thảm mục và vật rơi rụng được thể hiện trong Bảng 9.

Bảng 9. Sinh khối lớp thảm tươi, thảm mục các trạng thái rừng tự nhiên

Trạng thái	Thảm tươi		Thảm mục	
	SKk	CO <sub>2</sub>	SKk	CO <sub>2</sub>
TXDB	9,54	1,75	7,52	1,38
TXDN	5,09	0,93	5,82	1,07
TXDK	6,32	1,16	6,38	1,17
TXDP	4,37	0,80	6,84	1,26

Số liệu ở Bảng 9 cho thấy, lượng CO<sub>2</sub> hấp thụ trong thảm tươi dao động từ 0,80 – 1,75 tấn CO<sub>2</sub>/ha, thấp hơn rõ rệt so với tầng cây gỗ nhưng vẫn đóng góp một phần nhất định vào tổng hấp thụ các-carbon của hệ sinh thái rừng núi đá vôi. Lượng CO<sub>2</sub> hấp thụ trong thảm mục dao

động 1,07 – 1,38 tấn CO<sub>2</sub>/ha, nhìn chung cao hơn hoặc tương đương với thảm tươi do sự tích lũy vật rơi rụng và tốc độ phân hủy chậm trên các điều kiện đất mỏng, pH thấp của núi đá vôi.

### 3.3. Đề xuất một số giải pháp nâng cao khả năng tích lũy các bon của rừng

#### (1) Bảo vệ và duy trì rừng hiện có

Bảo vệ nghiêm ngặt các trạng thái rừng trung bình và rừng nghèo (TXDB, TXDN) để duy trì lượng sinh khối và CO<sub>2</sub> ổn định. Giám sát và hạn chế tác động từ du lịch, khai thác tài nguyên và cháy rừng, đặc biệt ở các khu vực có cây gỗ lớn, nơi tích lũy các-bon cao. Ngăn chặn xâm nhập, khai thác cây gỗ quý như Sảng nhưng và Re – các loài có chỉ số quan trọng (IV%) cao, góp phần duy trì cấu trúc rừng. Hạn chế tổn thất sinh khối và các-bon do cháy rừng, đặc biệt ở các khu vực rừng cận biên.

#### (2) Tối ưu hóa cấu trúc rừng

Bảo tồn và phát triển tầng cây gỗ lớn: Các nghiên cứu đã chỉ ra tầng cây gỗ chiếm tỷ trọng lớn trong trữ lượng các-bon; duy trì các cây giàu sinh khối sẽ tăng tổng lượng các-bon rừng. Khuyến khích phát triển đa tầng rừng, đặc biệt tăng mật độ cây gỗ lớn, khuyến khích rừng có tầng cây gỗ, cây bụi và thảm mục đồng bộ để tận dụng tối đa khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> và tích lũy các-bon trong các tầng khác nhau. Nhằm tăng sinh khối trên mặt đất (AGB) – tầng chiếm tỷ trọng cao trong trữ lượng các-bon.

#### (3) Quản lý thảm tươi và thảm mục

Bảo tồn thảm mục – thành phần ổn định nhất trong chu trình vật chất và tích lũy CO<sub>2</sub>, đặc biệt ở các trạng thái rừng TXDB và TXDK. Tăng cường vật chất hữu cơ bằng việc giữ lại lá rụng, cành khô, hạn chế san ủi và khai thác thảm mục. Thảm mục là nơi tích trữ các-bon lâu dài, cần hạn chế khai thác hoặc phá vỡ. Duy trì độ ẩm và vi khí hậu dưới tán rừng, hỗ trợ phân giải vật chất hữu cơ, thúc đẩy tích lũy BGB (sinh khối dưới mặt đất) – tỷ lệ BGB/AGB chiếm 18 – 25%.

#### (4) Ứng dụng mô hình sinh khối và kiểm kê các-bon

Lựa chọn phương trình ước tính sinh khối phù hợp từng trạng thái rừng:

PT4: phù hợp cho rừng trưởng thành (TXDB, TXDN) để ước tính CO<sub>2</sub> cao, phản ánh đúng

tiềm năng tích lũy. PT2–PT3–PT5: phù hợp cho rừng nghèo, rừng phục hồi (TXDK, TXDP), ổn định và tránh ước lượng vượt thực tế.

TXDB (rừng trung bình, nhiều cây lớn): Ưu tiên PT1 (nhạy với đường kính lớn, phù hợp rừng có cây lớn). Có thể dùng PT1 làm giá trị chủ đạo, nhưng nên kiểm đối chứng tại hiện trường trước khi áp dụng duy nhất. Tránh dùng PT4 làm tham chiếu chính vì PT4 có xu hướng bất thường.

TXDN (rừng nghèo, phục hồi): Ưu tiên PT2 hoặc PT3 (ổn định, dùng các biến D và H phù hợp cho rừng nghèo). PT5 đôi khi cho giá trị cao ở TXDN – dùng thận trọng hoặc kết hợp trung bình.

TXDK (rừng nghèo kiệt): Do biến động giữa các PT lớn ( $\chi^2$  rất cao), khuyến nghị sử dụng giá trị trung bình của PT1, PT2, PT3, PT5 và ưu tiên thực hiện kiểm chứng thực nghiệm (mẫu chặt hạ một số ô điển hình) để xây dựng hệ số cục bộ. PT4 không tin cậy ở trạng thái này.

TXDP (rừng tái sinh/bụi cỏ): Dùng PT2 hoặc PT3; PT1 thường cho giá trị thấp ở TXDP, PT4 cho giá trị cao vượt trội – do vậy tránh PT4. Nếu cần ước tính chính xác để lập kế hoạch phục hồi, ưu tiên PT2/PT3 và kết hợp đánh giá thảm tươi/thảm mục.

## 4. KẾT LUẬN

Kiểu rừng kín thường xanh mưa mùa nhiệt đới tại Khu BTTNĐNN Vân Long có trữ lượng thấp biến động từ 3,6 m<sup>3</sup>/ha đến 177,4 m<sup>3</sup>/ha, thuộc 04 loại: Rừng gỗ tự nhiên núi đá trung bình, nghèo, nghèo kiệt và rừng chưa có trữ lượng.

Kết quả nghiên cứu sinh khối tầng cây gỗ của các trạng thái rừng tự nhiên tại khu vực cho thấy sự khác biệt rất rõ rệt giữa bốn trạng thái rừng (TXDB, TXDN, TXDK, TXDP), phản ánh đúng quy luật diễn thế và mức độ phục hồi sinh thái của rừng trên núi đá vôi. Trạng thái TXDB – rừng trung bình phát triển tốt – có sinh khối cao nhất cả trên mặt đất (AGB) và dưới mặt đất (BGB), với giá trị AGB dao động từ 77,67 đến 125,05 tấn/ha và BGB từ 22,63 đến 29,13 tấn/ha. Điều này xuất phát từ cấu trúc rừng ổn

định, số lượng cây đường kính lớn nhiều và mặt tán dày. Ngược lại, trạng thái TXDP – rừng phục hồi sau suy thoái – có sinh khối thấp nhất, chỉ đạt 7,63–10,57 tấn/ha AGB và 3,11–4,06 tấn/ha BGB; phản ánh cấu trúc cây nhỏ, mật độ thưa và sinh trưởng kém. Tổng thể, xu hướng giảm sinh khối theo trình tự TXDB → TXDN → TXDK → TXDP là hoàn toàn phù hợp với diễn thế và mức độ suy thoái – phục hồi của rừng tự nhiên.

Kết quả so sánh sinh khối – CO<sub>2</sub> giữa các phương trình trong cùng trạng thái rừng cho thấy ảnh hưởng lớn của mô hình ước tính. PT4 thường cho giá trị CO<sub>2</sub> cao nhất ở cả 4 trạng thái; ví dụ TXDB đạt 59,38 tấn/ha, TXDN đạt 28,69 tấn/ha, TXDK đạt 11,02 tấn/ha, và TXDP đạt 4,04 tấn/ha. Ngược lại, PT1 và PT3 cho giá trị thấp hơn đáng kể, trong một số trường hợp chênh lệch tới 30–40% so với PT4. Trong trạng thái nghèo kiệt TXDK, kiểm định Kruskal–Wallis cho giá trị  $\chi^2 = 102,53$ , Sig. = 0,000, là minh chứng rõ ràng nhất cho sự khác biệt mạnh giữa các phương trình. Các phương trình PT2, PT3 và PT5 cho kết quả ổn định hơn và ít dao động hơn giữa các OTC và giữa các trạng thái. Ở cấp độ so sánh giữa các trạng thái rừng trong khu vực nghiên cứu, xu thế hấp thụ CO<sub>2</sub> giảm dần từ TXDB → TXDN → TXDK → TXDP là hoàn toàn phù hợp với cấu trúc lâm phần quan sát.

Tổng hợp toàn bộ kết quả cho thấy rằng cấu trúc rừng là yếu tố chi phối lớn nhất đến sinh khối và CO<sub>2</sub>, trong khi lựa chọn phương trình

ước tính là yếu tố quyết định đến độ chính xác. PT4 cho giá trị cao và độ phân tách mạnh nhưng có nguy cơ ước lượng vượt thực tế; ngược lại, PT2–PT3–PT5 ổn định và phù hợp với rừng nghèo, rừng phục hồi. Do đó, việc chọn phương trình phải dựa trên đặc điểm sinh thái, cấu trúc của từng trạng thái rừng nhằm đảm bảo độ tin cậy cho nghiên cứu sinh khối – CO<sub>2</sub> và ứng dụng trong kiểm kê các-bon rừng.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Bảo Huy, Võ Hùng, Nguyễn Thị Thanh Hương & Cao Thị Lý (2014). Sinh khối và các-bon của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. 1-2: 195-202.
- [2]. Phạm Thu Thủy, Tăng Thị Kim Hồng & Nguyễn Chiến Cường (2022). Thị trường các-bon rừng tại Việt Nam: Cơ sở pháp lý, cơ hội và thách thức. CIFOR, Báo cáo số 237: 1-34. DOI: 10.17528/cifor/008797.
- [3]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). IPCC.
- [4]. Nguyễn Việt Lương, Tô Trọng Tú, Trình Xuân Hồng, Lê Trần Chấn, Tống Phúc Tấn & Nguyễn Hữu Tứ (2018). Tiềm năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của một số kiểu rừng tại VQG & Khu Dự trữ sinh quyển Việt Nam. Tạp chí Môi trường. Số chuyên đề II.  
Truy cập từ: <https://tapchimoitruong.vn/chuyen-muc-3/>
- [5]. Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2021). Phương án quản lý bền vững rừng đặc dụng, Ban quản lý khu bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước Vân Long, Gia Viễn, Ninh Bình.
- [6]. Bộ Hợp tác Kinh tế và Phát triển CHLB Đức – BMZ (2025). Đánh giá trữ lượng tại BQL RPH Đồng Xuân, Phú Yên. Dự án SFM–GIZ, Bộ Nông nghiệp & Môi trường Việt Nam.