ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ LẬP ĐỊA ĐẾN KHẢ NĂNG LƯU TRỮ CÁC BON Ở CÁC KIỂU RỪNG KHÁC NHAU TẠI KHU DỰ TRỮ SINH QUYỂN ĐỒNG NAI

Nguyễn Văn Thịnh[1,*], Phạm Tiến Dũng[1], Phạm Văn Duẩn[2], Trần Việt Hà[3], Lê Tuấn Anh[3], Nguyễn Huy Hoàng[1], Nguyễn Văn Tuấn[1], Nguyễn Văn Bích[1], Nguyễn Việt Cường[1], Nguyễn Thị Thu Phương[1], Trần Thị Mai Sen[3], Phạm Thị Quỳnh[3]

TÓM TẮT

Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố lập địa đến khả năng lưu trữ các bon của rừng là rất quan trọng để góp phần quản lý rừng hiệu quả, giảm thiểu biến đổi khí hậu và để xác định các khu vực có nguy cơ mất khả năng lưu trữ các bon. Nghiên cứu được thực hiện tại Khu Dự trữ Sinh quyển Đồng Nai bằng cách sử dụng phương pháp phân tích đa biến để xác định ảnh hưởng của các yếu tố lập địa đến khả năng lưu trữ các bon. Các chỉ tiêu đầu vào gồm: Dữ liệu điều tra tài nguyên rừng từ 76 OTC có diện tích 2.000 m^2 kết hợp với các dữ liệu thu thập (nhiệt độ, lượng mưa, loại đất, độ dày tầng đất, độ dốc, độ cao so với mực nước biển, kiểu rừng, độ tàn che). Kết quả cho thấy, các yếu tố lập địa có ảnh hưởng khác nhau đến khả năng lưu trữ các bon. Các yếu tố nhiệt độ, loại đất, độ dày tầng đất, độ cao tuyệt đối so với mực nước biển, độ tàn che có ảnh hưởng rõ rệt tới khả năng tích lũy các bon của rừng (chỉ số Sig. khi phân tích bằng tiêu chuẩn Kruskal - Wallis lần lượt là 0,043; 0,004; 0,002; 0,002 và 0,002). Trong khi đó lượng mưa, độ dốc không ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng tích lũy các bon của các lâm phần (chỉ số Sig. khi phân tích bằng tiêu chuẩn Kruskal - Wallis lần lượt là 0,077; 0,06). Kết quả xác định ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố lập địa đến trữ lượng các bon rừng cho thấy, yếu tố thổ nhưỡng (loại đất và độ dày tầng đất) có ảnh hưởng rõ rệt (Sig. = 0,002). Trong khi đó, tổng hợp của yếu tố khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ), địa hình (độ dốc, độ cao so với mực nước biển) đều không có ảnh hưởng (Sig. lần lượt là 0,879; 0,768). Đồng thời, kết quả xác định tổng hợp các yếu tố cũng không ghi nhận sự ảnh hưởng rõ rệt đến trữ lượng các bon (Asymp. Sig. = 0,989).

Từ khóa: *Lập địa, sinh khối, trữ lượng các bon, trạng thái rừng, kiểu rừng.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu biến đổi khí hậu bằng cách hấp thụ các bon, giúp giảm lượng khí nhà kính trong khí quyển [1], [2]. Việc lưu trữ các bon trong rừng xảy ra thông qua một quá trình gọi là quá trình cô lập các bon, trong đó cây cối hấp thụ các bon dioxide từ khí quyển và lưu trữ nó trong sinh khối, đất và các chất hữu cơ khác của chúng. Lượng các bon được lưu trữ trong rừng có thể khác nhau tùy thuộc vào các yếu tố như khí hậu, địa hình, thổ nhưỡng, kiểu rừng, loài cây và thực tiễn quản lý. Rừng được ước tính lưu trữ nhiều các bon hơn bất kỳ hệ sinh thái trên cạn nào khác [3]. Do đó, hiểu được các yếu tố ảnh hưởng đến việc lưu trữ các bon trong rừng là rất quan trọng để giảm thiểu biến đổi khí hậu hiệu quả.

Khu Dự trữ Sinh quyển (KDTSQ) Đồng Nai được thành lập năm 2011 với tổng diện tích gần 1 triệu ha, trải rộng trên 5 tỉnh: Đồng Nai, Bình Dương, Bình Phước, Đắk Nông và Lâm Đồng. KDTSQ Đồng Nai có 3 kiểu rừng chính: Rừng kín thường xanh, rừng kín nửa rụng lá, rừng hỗn giao gỗ tre nứa [4], [5]. Khu vực này được đánh giá là một trong những bể chứa sinh khối các bon khổng lồ, giúp điều hòa không khí cho khu vực Đông Nam bộ và Tây Nguyên. Tuy nhiên, việc trải dài trên một diện tích rộng lớn, với sự đan xen giữa khu vực rừng được bảo vệ và khu vực dân cư sinh sống nên các diện tích rừng của KDTSQ Đồng Nai đối mặt với nhiều nguy cơ suy thoái nếu không có biện pháp quản lý, bảo tồn hiệu quả [4].

[1] Viện Nghiên cứu Lâm sinh
[2] Viện Sinh thái rừng và Môi trường
[3] Trường Đại học Lâm nghiệp
[*] Email nguyenthinhfsiv@gmail.com

Việc phân tích ảnh hưởng của các yếu tố lập địa đến khả năng lưu trữ các bon của rừng tự nhiên có vai trò rất quan trọng để quản lý rừng hiệu quả, giảm thiểu biến đổi khí hậu và để xác định các khu vực có thể có nguy cơ mất khả năng lưu trữ các bon [6]. Đánh giá được các yếu tố ảnh hưởng lập địa đến việc lưu trữ các bon trong rừng, các nhà quản lý có thể hướng tới các biện pháp quản lý rừng hiệu quả hơn trong nỗ lực bảo tồn tốt hơn và một tương lai bền vững hơn [7]. Mặt khác, nghiên cứu ảnh hưởng của lập địa cũng có thể giúp xác định những khu vực có nguy cơ mất khả năng lưu trữ các bon do biến đổi khí hậu, mất rừng hoặc các mối đe dọa khác, qua đó có thể phát triển các chiến lược giảm thiểu hiệu quả và hướng tới việc bảo tồn khả năng lưu trữ các bon có giá trị của các khu rừng trong KDTSQ Đồng Nai.

2. TƯ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tư liệu sử dụng trong nghiên cứu

- Các yếu tố tự nhiên có thể ảnh hưởng đến đến khả năng lưu trữ các bon của rừng, gồm: điều kiện lập địa, độ dốc, hướng phơi; các yếu tố vật lý và hóa học của đất, độ sâu tầng đất; khối lượng vật rơi rụng; độ tàn che; chiều cao thảm cây bụi; độ che phủ của tầng cây bụi.

- Các kiểu rừng, gồm: Rừng tự nhiên lá rộng thường xanh (LRTX); rừng tự nhiên lá rộng nửa rụng lá (LRNRL) và rừng tự nhiên hỗn giao gỗ với tre nứa (HG).

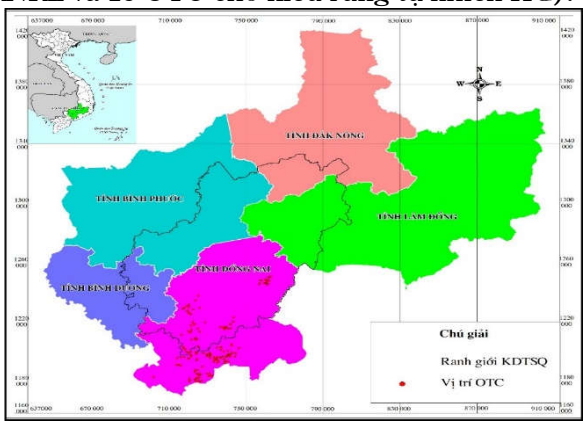
2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thu thập số liệu

Lập địa là một phạm vi lãnh thổ nhất định với tất cả những yếu tố của ngoại cảnh ảnh hưởng tới sinh trưởng của thực vật. Lập địa theo nghĩa hẹp gồm 3 thành phần: khí hậu, địa hình, thổ nhưỡng. Đơn vị cơ bản trong phân loại lập địa là dạng lập địa và nhóm dạng lập địa [6]. Để xác định các yếu tố lập địa có khả năng ảnh hưởng đến khả năng tích lũy trữ lượng các bon, nghiên cứu đã tiến hành điều tra và thu thập các số liệu sau:

- Kiểu rừng và trạng thái rừng: Được kế thừa từ kết quả nghiên cứu của đề tài: "*Nghiên cứu khả năng lưu trữ các bon của các kiểu rừng tại KDTSQ Đồng Nai*". Sử dụng phương pháp rút mẫu điển hình, mỗi trạng thái rừng sẽ lựa chọn ngẫu nhiên ít nhất 3 lâm phần để lập ô tiêu chuẩn (OTC) tạm thời điều tra chi tiết. Các trạng thái rừng được xác định theo phụ lục 01 của Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT [8].

- Bố trí các OTC A, B và C dựa trên theo phương pháp đại diện cho các trạng thái rừng của UNFCCC (2015) [9]. Tại các kiểu rừng khác nhau, nghiên cứu thiết lập các OTC có diện tích 2.000 m^2 (OTC A) có kích thước 50 x 40 m để đo đếm các chỉ tiêu sinh trưởng (đường kính $D_{1,3}$ và chiều cao vút ngọn Hvn), điều tra đa dạng và xác định tên các loài cây gỗ, thu thập hình ảnh 3D của các loài cây gỗ có đường kính $D_{1,3} \geq 5$ cm trong các OTC A. Đo đếm sinh khối tầng cây bụi và thảm tươi trong các OTC B (200 m^2); đo đếm sinh khối vật rơi rụng trong các OTC C (25 m^2). Tổng số OTC A được điều tra là 76 ô (bao gồm: 35 OTC cho kiểu rừng tự nhiên LRTX, 26 OTC cho kiểu rừng tự nhiên LRNRL và 15 OTC cho kiểu rừng tự nhiên HG).



Hình 1. Ranh giới KDTSQ Đồng Nai và bố trí các OTC nghiên cứu

- Các chỉ tiêu khí hậu: Sử dụng các dữ liệu của bộ số liệu nhiệt độ trung bình, nhiệt độ tối cao, nhiệt độ tối thấp, lượng mưa cho giai đoạn từ năm 2000 – 2018, độ phân giải 2,5 phút (21 km^2) và bộ số liệu dự báo kịch bản khí hậu cho giai đoạn 2021 – 2040, độ phân giải 2,5 phút (21 km^2) của Tổ chức Khí tượng Thế giới. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng số liệu đo được tại các trạm khí tượng thủy văn trong 3 năm 2019, 2020, 2021 [10], [11], [12], [13], [14] để kiểm tra độ chính xác. Các dữ liệu khí hậu (bao gồm: lượng mưa, nhiệt độ) được tổng hợp trong thời gian 10 năm, từ 2011 – 2021 cho từng OTC.

- Bản đồ thổ nhưỡng của 5 tỉnh Đồng Nai, Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Dương, Bình Phước được thu thập thông qua Viện Quy hoạch và Thiết kế

Nông nghiệp năm 2021, kết hợp với số liệu các mẫu đất của đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước: *"Nghiên cứu đánh giá diễn thế phục hồi hệ sinh thái rừng và đề xuất giải pháp bảo tồn tại KDTSQ Đồng Nai"* [4]. Các yếu tố thổ nhưỡng (bao gồm: loại đất, độ dày tầng đất) được thu thập cho từng OTC.

- Bản đồ hiện trạng rừng KDTSQ Đồng Nai được kế thừa từ kết quả xác định diễn biến rừng của 5 tỉnh Đồng Nai, Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Dương, Bình Phước năm 2021.

2.2.2. Phương pháp xử lý số liệu

- Xác định sinh khối và trữ lượng các bon lâm phần

- Tổng sinh khối trên mặt đất trong OTC = sinh khối tầng cây cao + sinh khối cây bụi, thảm tươi + sinh khối vật rơi rụng.

- Tổng sinh khối cây cá lẻ của tầng cây cao, bao gồm các bộ phận thân, cành và lá, được xác định qua công thức:

$B_{tc} = B_t + B_c + B_{lá}$

Trong đó: B_{tc} là sinh khối của cây cá lẻ (kg); B_t là sinh khối của thân (kg); B_{ct} là sinh khối của cành (kg); $B_{lá}$ là sinh khối của lá (kg).

+ Sinh khối thân và cành được xác định bằng khối lượng riêng của thân, cành và thể tích của thân. Công thức tính sinh khối của toàn bộ thân cây và cành như sau:

$$B_{t\ hoặc\ c} = V_{t\ hoặc\ c} \times P_{t\ hoặc\ c}$$

Trong đó: $B_{t\ hoặc}$ c là sinh khối thân hoặc cành; $V_{t\ hoặc}$ c là thể tích thân gỗ hoặc cành; $P_{t\ hoặc}$ c là khối lượng riêng cơ bản thân gỗ hoặc cành.

+ Thể tích thân hoặc cành cây ($V_{t\ hoặc}$ c) được xác định thông qua sử dụng phần mềm Geomagic Studio. Các bước như sau:

Bước 1: Import file (dữ liệu cây cá lẻ) đã scan vào phần mềm MAGNET Collage.

Bước 2: Trích xuất cây cần lấy thông số thể tích thân và cành.

Bước 3: Lọc nhiễu để tạo cây xương cá cho từng cây cá lẻ tầng cây cao.

Bước 4: Thiết kế ngược cây từ file cây xương cá vừa lọc ở bước 3.

Bước 5: Sử dụng các công cụ trong phần mềm để đo đếm, tính toán và trích xuất các thông số thể tích cần thiết từ kết quả ở bước 4.

+ Đếm toàn bộ số cành cấp 1 (sơ cấp, tính từ thân cây chính) từ hình ảnh 3D. Tổng số lượng cành trên từng cây và thể tích cành lớn (Vcl) được xác định và đo đếm thông qua hình ảnh dữ liệu Scan và sử dụng phần mềm Geomagic Studio.

+ Sinh khối bộ phận lá cây cá lẻ: được tính thông qua mối quan hệ giữa sinh khối lá tươi với đường kính đầu cành của cành theo dạng phương trình: $B_{lá} = \beta_0 + ĐK_{đầu\ cành} \times \beta_1$

Trong đó: $B_{lá}$ là sinh khối lá; $ĐK_{đầu\ cành}$ là đường kính đầu cành; β_0, β_1 là hệ số của phương trình tương quan tuyến tính được xây dựng từ số liệu đường kính đầu cành và sinh khối lá tươi trên từng cành.

+ Tổng sinh khối tầng cây cao trong OTC được tính dựa vào sinh khối cây cá lẻ của nhóm loài ưu thế và phân bố số cây theo cấp kính của từng OTC.

- Sinh khối tươi tầng cây bụi, thảm tươi (tấn/ha) = Sinh khối tươi/ô mẫu (tấn) x 10^4/Diện tích ô mẫu (m^2).

- Sinh khối vật rơi rụng (tấn/ha) = Sinh khối tươi/ô mẫu (tấn) x 10^4/Diện tích ô mẫu (m^2).

- Tổng sinh khối dưới mặt đất trong lâm phần: BGB = 20% x AGB [15].

- Tổng trữ lượng các bon trong sinh khối cây gỗ, cây bụi thảm tươi, thảm mục: Sử dụng hệ số các bon mặc định của Ủy ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu để tính trữ lượng các bon trong từng bể chứa các bon trên 1 ha rừng, hệ số quy đổi này là 0,47 [15].

- Xác định ảnh hưởng của các yếu tố lập địa

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích đa biến để xác định ảnh hưởng của các yếu tố hoàn cảnh đến khả năng lưu trữ các bon. Trong đó từng OTC đo đếm sẽ được xác định các chỉ tiêu về khí tượng, đất đai, địa hình.

Sử dụng phần mềm Excel 2019, SPSS 20.0 để xử lý và phân tích số liệu. Phần mềm Mapinfor 15.0 được sử dụng để xác định các giá trị của từng chỉ tiêu khí tượng, đất đai, địa hình tại từng OTC

theo các tọa độ tâm ô tương ứng. Tiêu chuẩn Kruskal - Wallis được sử dụng để xác định sự ảnh hưởng giữa từng yếu tố lập địa đến lượng lưu trữ các bon của lâm phần. Tiêu chuẩn Bonferroni và Duncan được sử dụng để xác định sự ảnh hưởng của tổng hợp các yếu tố lập địa đến lượng lưu trữ các bon.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của các yếu tố khí hậu

3.1.1. Nhiệt độ

Nhiệt độ trung bình hàng năm tại KDTSQ Đồng Nai biến động trong khoảng từ 26,2 - 30,6°C. Tại các khu vực có các trạng thái rừng phân bố, nhiệt độ trung bình khu vực có kiểu rừng tự nhiên LRTX đạt thấp nhất (trung bình 26,6°C), kiểu rừng tự nhiên LRNRL đạt giá trị cao nhất (trung bình 28,6°C). Nhiệt độ cao nhất theo tháng ghi nhận được từ 38,5 - 39,1°C. Nhiệt độ thấp nhất theo tháng ghi nhận được là 11,7°C đối với cả khu vực (Bảng 1).

Bảng 1. Nhiệt độ, lượng mưa trung bình theo kiểu rừng, trạng thái

TT	Kiểu rừng/trạng thái	Trữ lượng các bon (tấn/ha)	Nhiệt độ trung bình (°C)	Nhiệt độ tối cao (°C)	Nhiệt độ tối thấp (°C)	Lượng mưa trung bình (mm)	Lượng mưa tối cao (mm)	Lượng mưa tối thấp (mm)
I	LRTX	135,98	26,6	39,1	11,7	2.461,6	3.309,0	1.603,9
1	TXG	204,69	26,2	39,6	11,7	2.460,3	3.309,0	1.540,0
2	TXB	160,75	26,8	38,5	11,7	2.482,8	3.309,0	1.462,0
3	TXN	115,71	27,3	39,6	11,7	2.482,8	3.309,0	1.763,4
4	TXK	62,29	26,2	38,8	11,7	2.420,6	3.309,0	1.650,2
II	LRNRL	131,38	28,6	39,6	11,7	1.739,0	3.309,0	1.020,7
1	RLG	210,87	27,3	39,6	11,7	1.984,6	3.309,0	1.020,7
2	RLB	136,85	28,5	39,6	11,7	1.815,2	3.309,0	1.020,7
3	RLN	109,27	30,6	39,6	11,7	1.963,5	3.309,0	1.020,7
4	RLK	68,08	28,1	39,6	11,7	1.592,6	3.309,0	1.020,7
III	Hỗn giao	91,05	27,7	39,6	11,7	2.274,2	3.309,0	1.480,5
1	HG1	103,12	27,8	39,6	11,7	2.288,1	3.309,0	1.450,8
2	HG2	78,88	27,5	39,6	11,7	2.260,3	3.309,0	1.510,2

Nguồn: Niên giám Thống kê các tỉnh Đồng Nai, Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Dương, Bình Phước năm 2021.

Ghi chú: LRTX: Kiểu rừng lá rộng thường xanh; LRNRL: Kiểu rừng lá rộng nửa rụng lá; TXG: Rừng LRTX giàu; TXB: Rừng LRTX trung bình; TXN: Rừng LRTX nghèo, TXK: Rừng LRTX nghèo kiệt; RLG: Rừng LRNRL giàu; RLB: Rừng LRNRL trung bình; RLN: Rừng LRNRL nghèo; RLK: Rừng LRNRL nghèo kiệt; HG1: Rừng hỗn giao gỗ - tre nứa tự nhiên núi đất; HG2: Rừng hỗn giao tre nứa - gỗ tự nhiên núi đất.

Kết quả xác định nhiệt độ ghi nhận tại các điểm OTC điều tra cho thấy, có sự khác biệt về khả năng tích lũy các bon tại các nền nhiệt độ khác nhau (kết quả kiểm tra sự khác biệt theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis cho giá trị Asymp. Sig. = 0,043). Các OTC phân bố tại khu vực có nền nhiệt độ thấp có xu hướng tích lũy các bon cao hơn so với các OTC phân bố tại khu vực có nhiệt độ cao. Tại kiểu rừng LRTX, trạng thái rừng giàu phân bố ở khu vực có nền nhiệt độ trung bình thấp nhất (26,2°C) và tăng dần đối với các trạng thái có trữ lượng các bon thấp hơn (ngoại trừ trạng thái rừng nghèo kiệt). Tương tự, tại kiểu rừng LRNRL, trạng thái rừng giàu phân bố tại khu vực có nền nhiệt độ thấp (27,3°C) và tăng dần đối với các trạng thái có trữ lượng các bon thấp hơn. Bên cạnh đó, kiểu rừng tự nhiên LRTX (thường phân bố tại khu vực có nền nhiệt độ thấp hơn) có lượng các bon tích lũy cao hơn (trung bình 135,98 tấn/ha) so với kiểu rừng tự nhiên

LRNRL (trung bình 131,38 tấn/ha) và kiểu rừng tự nhiên hỗn giao (trung bình 91,05 tấn/ha).

3.1.2. Lượng mưa

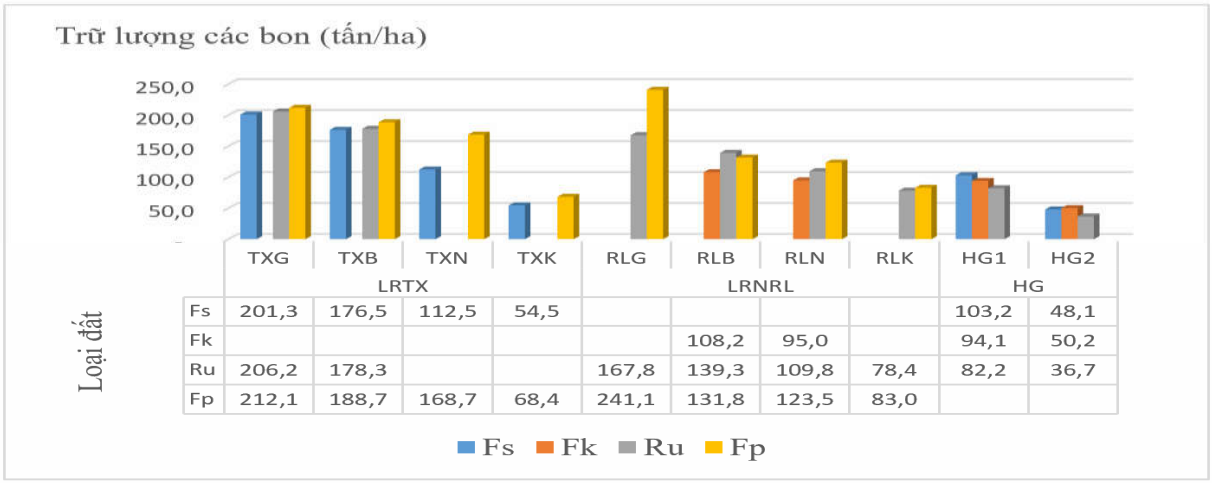
Lượng mưa trung bình năm tại khu vực biến động trong khoảng từ 1.592,6 - 2.482,8 mm (Bảng 1). Lượng mưa tối cao ghi nhận được tại các khu vực là 3.309,0 mm. Lượng mưa tối thấp ghi nhận được tại các khu vực là 1.020,7 - 1.603,9 mm.

Mặc dù KDTSQ Đồng Nai nằm trong vùng khí hậu có sự khác biệt rõ rệt giữa hai mùa (mùa mưa và mùa khô), tuy nhiên lượng mưa tại các khu vực trong KDTSQ có trữ lượng các bon khác nhau không có sự khác biệt rõ rệt (Asymp. Sig. theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis = 0,077). Các khu vực có kiểu rừng LRTX phân bố ghi nhận lượng mưa trung bình lớn nhất đạt 2.461,6 mm/năm, lượng mưa tối thấp đạt 1.603,9 mm/năm, lượng mưa tối cao đạt 3.309,0 mm/năm. Các khu vực có kiểu rừng LRNRL ghi nhận lượng mưa trung bình thấp nhất đạt 1.739,0 mm/năm, lượng mưa tối thấp đạt 1.020,7 mm/năm, lượng mưa tối cao đạt 3.309,0 mm/năm. Tuy nhiên, trong cùng một kiểu rừng, lượng mưa ghi nhận từ các khu vực có trữ lượng rừng khác nhau không có sự khác nhau đáng kể (Bảng 1).

3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố thổ nhưỡng

3.2.1. Loại đất

Kết quả xác định trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo loại đất được trình bày tại hình 2.



Hình 2. Trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo loại đất

Ghi chú: Fs: Đất đỏ vàng trên đá sét; Fk: Đất nâu đỏ trên đá Bazan; Fp: Đất nâu vàng trên phù sa cổ; Ru: Đất nâu thẫm trên sản phẩm phân hóa của đá bọt và bazan.

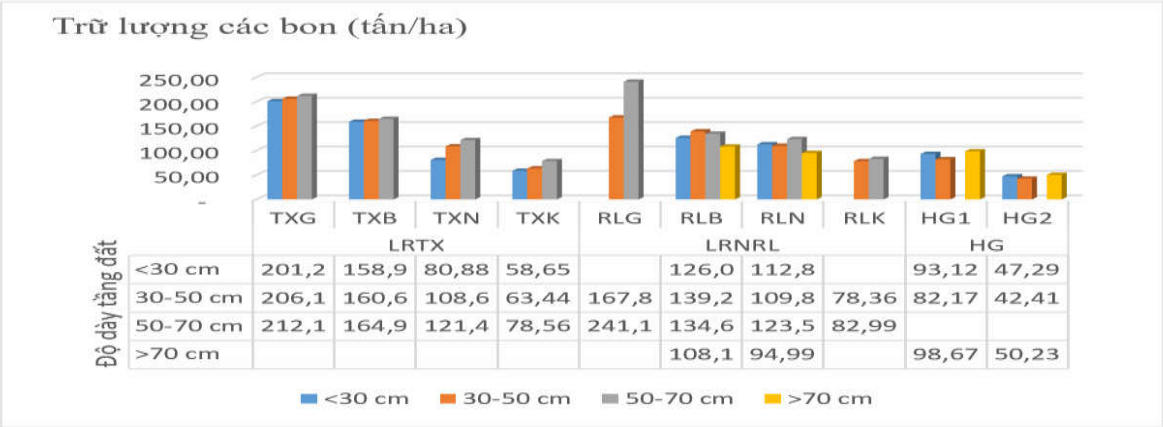
Có 4 loại đất chính được xác định trong khu vực bố trí các OTC điều tra, gồm: (i) đất đỏ vàng trên đá sét; (ii) đất nâu đỏ trên đá Bazan; (iii) đất nâu thẫm trên sản phẩm của đá bọt và Bazan; (iv) đất nâu vàng trên phù sa cổ. Trong đó, loại đất đỏ vàng trên đá sét chỉ xuất hiện tại kiểu rừng LRTX và rừng HG; đất nâu đỏ trên đá Bazan chỉ xuất hiện tại kiểu rừng LRNRL và HG; đất nâu vàng trên phù sa cổ chỉ xuất hiện tại kiểu rừng LRTX và LRNRL. Loại đất nâu thẫm trên sản phẩm của đá bọt và Bazan xuất hiện trên cả 3 kiểu rừng (Hình 2). Kết quả kiểm tra sự khác biệt về trữ lượng các bon phân theo các loại đất khác nhau theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis cho thấy loại đất có ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,004) đến khả năng tích lũy các bon của các kiểu rừng.

Các lâm phần phân bố trên loại đất nâu vàng trên phù sa cổ (Fp) có trữ lượng các bon lớn nhất so với các loại đất còn lại. Cụ thể, tại trạng thái rừng gỗ tự nhiên núi đất LRTX giàu (TXG), các ô đo đếm lập trên loại đất nâu vàng trên phù sa cổ cho trữ lượng các bon trung bình 212,1 tấn/ha, các ô đo đếm lập trên loại đất nâu thẫm trên sản phẩm phân hóa của đá bọt và bazan cho trữ lượng các bon trung bình 206,2 tấn/ha, các ô đo đếm lập trên loại đất đỏ vàng trên đá sét cho trữ lượng các bon trung bình 201,3 tấn/ha. Kết quả này tương tự cho các trạng thái khác (TXB, TXN, TXK, RLG, RLN, RLK). Đặc điểm của loại đất nâu vàng trên phù sa

cổ là dày, tơi xốp, khá bằng phẳng, có nguồn nước hoặc gần nguồn nước nên cây rừng sinh trưởng và phát triển tốt hơn so với các loại đất còn lại trong khu vực.

3.2.2. Độ dày tầng đất

Nghiên cứu phân chia độ dày tầng đất theo 5 cấp tùy theo kết quả điều tra và mô tả phẫu diện đất. Kết quả xác định trữ lượng các bon phân theo độ dày tầng đất được trình bày tại hình 3. Kết quả cho thấy, độ dày tầng đất của các phẫu diện chủ yếu nằm trong khoảng từ dưới 30 – 70 cm (kiểu rừng LRTX và LRNRL). Kết quả kiểm tra sự khác biệt về trữ lượng các bon phân theo các mức độ dày tầng đất khác nhau theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis cho thấy, độ dày tầng đất có ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,002) đến khả năng tích lũy các bon của các lâm phần. Các OTC đo đếm trên khu vực có độ dày tầng đất từ 50 – 70 cm cho trữ lượng các bon lớn nhất tại cả 3 kiểu rừng LRTX, LRNRL, HG (Hình 3). Trong khi đó, trữ lượng các bon đạt giá trị thấp nhất tại các OTC đo đếm trên khu vực có độ dày tầng đất <30 cm (đối với kiểu rừng LRTX) và >70 cm (đối với kiểu rừng LRNRL và HG).

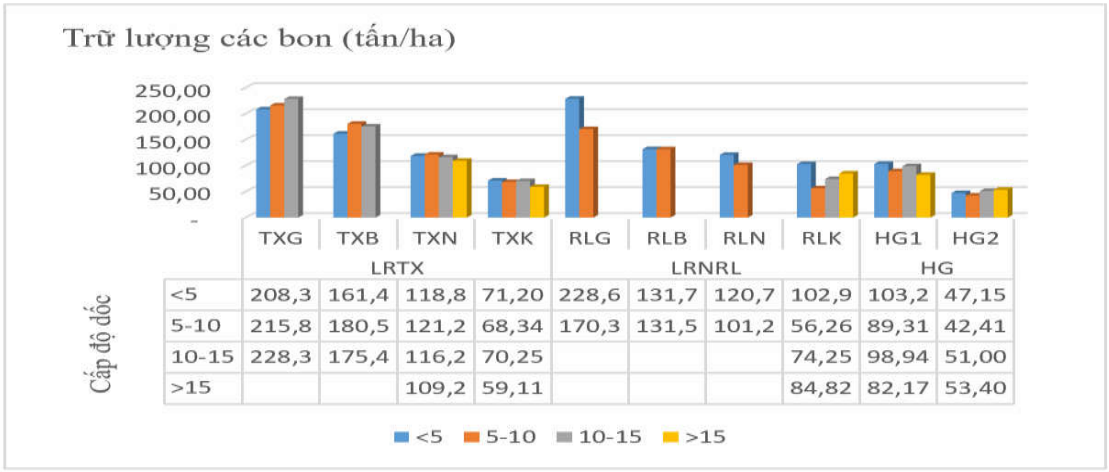


Hình 3. Trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo độ dày tầng đất

3.3. Ảnh hưởng của các yếu tố địa hình

3.3.1. Độ dốc

Địa hình tại khu vực nghiên cứu tương đối bằng phẳng. Kết quả điều tra các OTC cho thấy, tại các kiểu rừng tự nhiên LRTX và LRNRL, độ dốc trung bình của các lâm phần dao động từ 0 - 10°. Tại kiểu rừng HG gỗ - tre nứa, độ dốc có sự biến động cao hơn, từ 0 - 25° (Hình 4).



Hình 4. Trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo độ dốc

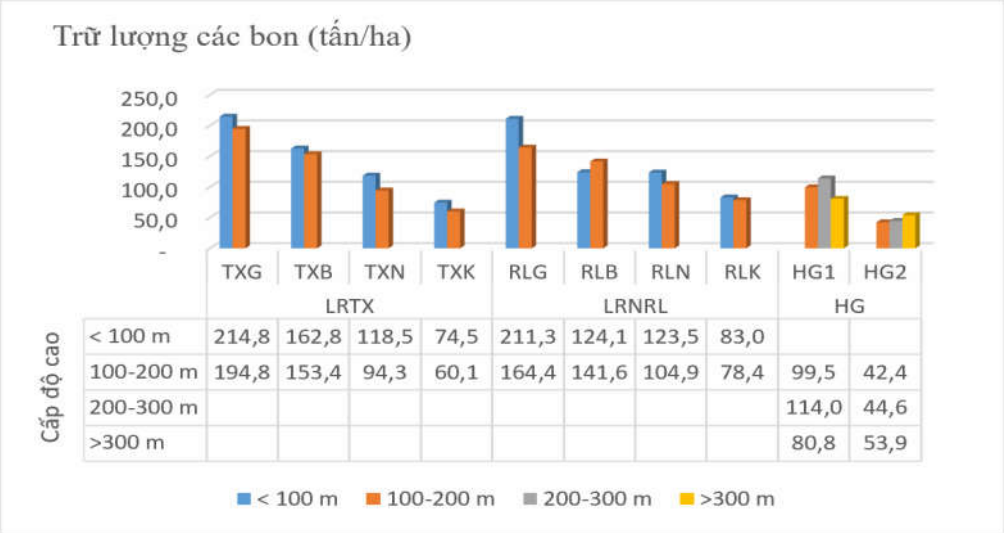
Kết quả kiểm tra sự khác biệt về trữ lượng các bon phân theo các mức độ dốc khác nhau theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis cho thấy độ dốc không có ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,06) đến khả năng tích lũy các bon của các lâm phần. Điều này là do địa hình khu vực điều tra tương

đối bằng phẳng. Giữa các OTC điều tra hoặc giữa các trạng thái không có sự khác biệt rõ rệt về địa hình, độ dốc.

3.3.2. Độ cao so với mực nước biển

Độ cao so với mực nước biển đo tại các khu vực bố trí OTC tương đối thấp (Hình 5). Tại các kiểu rừng LRTX và LRNRL, độ cao tuyệt đối so với mực nước biển của các OTC thu thập nằm trong khoảng từ 0 – 200 m. Trong khi đó, tại kiểu rừng HG, độ cao biến động trong khoảng từ 100 – 400 m so với mực nước biển.

Kết quả kiểm tra sự khác biệt về trữ lượng các bon phân theo các mức độ cao khác nhau theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis và tiêu chuẩn tiêu chuẩn Duncan và **Bonferoni** cho thấy độ cao có ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,002) đến khả năng tích lũy các bon của các kiểu rừng. Tại kiểu rừng LRTX và kiểu rừng LRNRL, các OTC đo đếm tại khu vực có độ cao dưới 100 m so với mực nước biển có trữ lượng các bon trung bình cao hơn so với các khu vực có độ cao trên 100 m so với mực nước biển (Hình 5). Trong khi tại kiểu rừng HG, các OTC đo đếm tại khu vực có độ cao từ 200 – 300 m so với mực nước biển có trữ lượng các bon trung bình lớn nhất.



Hình 5. Trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo độ cao

3.4. Ảnh hưởng của thảm thực vật

3.4.1. Kiểu rừng

Thảm thực vật bao gồm nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến trữ lượng các bon của cây như kiểu rừng, độ tàn che của tầng cây cao, mức độ giao tán… Nghiên cứu này được thực hiện trên 3 kiểu rừng chính với các trạng thái khác nhau. Kết quả xác định trữ lượng các bon lâm phần tại các kiểu rừng và trạng thái khác nhau trong KDTSQ Đồng Nai được trình bày tại bảng 2.

- *Kiểu rừng tự nhiên LRTX:* Trữ lượng các bon tích lũy trong lâm phần có xu hướng tăng theo từng cấp trạng thái rừng. Tại trạng thái rừng LRTX nghèo kiệt, lượng các bon lâm phần đạt giá trị thấp nhất (62,29 tấn/ha) và đạt giá trị lớn nhất tại trạng thái rừng LRTX giàu (204,69 tấn/ha). Trữ lượng các bon tập trung nhiều nhất tại tầng cây cao (47,85 – 160,52 tấn/ha, đạt tỷ lệ từ 76,81 – 78,83% tổng trữ lượng lâm phần), thấp nhất tại tầng cây bụi, thảm tươi (0,98 – 1,01 tấn/ha, đạt tỷ lệ từ 0,49 – 1,57 % tổng trữ lượng lâm phần).

- *Kiểu rừng tự nhiên LRNRL:* Rừng có tổ thành chính là các loài thuộc họ Xoan, họ Long não, họ Đậu... Trữ lượng các bon ở các OTC trong kiểu rừng này có xu hướng tăng theo từng cấp trạng thái rừng. Tại trạng thái rừng LRNRL nghèo kiệt, lượng các bon lâm phần đạt giá trị thấp nhất (68,08 tấn/ha) và đạt giá trị lớn nhất tại trạng thái rừng LRNRL giàu (210,87 tấn/ha). Trữ lượng các bon tập trung nhiều nhất tại tầng cây cao (53,12 – 168,68 tấn/ha, đạt tỷ lệ từ 76,88 – 79,98% tổng trữ lượng lâm phần), thấp nhất tại tầng cây bụi, thảm tươi (0,97 – 1,05 tấn/ha, đạt tỷ lệ từ 0,46 – 1,47% tổng trữ lượng lâm phần).

- *Kiểu rừng tự nhiên HG:* Trữ lượng các bon trong các OTC đạt giá trị thấp hơn (78,88 tấn/ha) so với trạng thái rừng HG gỗ - tre nứa (103,12 tấn/ha). Trong cùng một trạng thái, rừng có trữ lượng càng lớn thì trữ các bon lâm phần có giá trị càng lớn. Điều này là do trữ lượng các bon tập trung nhiều nhất tại tầng cây cao. Do vậy, khi tầng cây cao có trữ lượng rừng càng lớn thì trữ lượng các bon của lâm phần càng lớn.

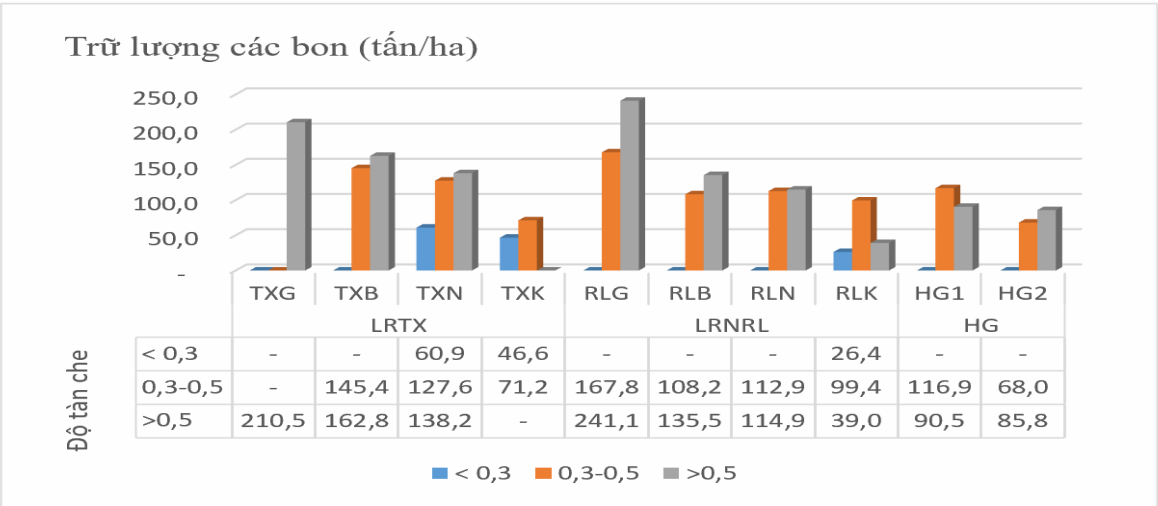
Bảng 2. Trữ lượng các bon lâm phần tại các kiểu rừng và trạng thái khác nhau

Kiểu rừng	Trạng thái	Tổng trữ lượng các bon lâm phần (tấn/ha)	Trữ lượng các bon các bộ phận trong lâm phần (tấn/ha)			
			Tầng cây cao (tấn/ha)	Cây bụi (tấn/ha)	Vật rơi rụng (tấn/ha)	Dưới mặt đất (tấn/ha)
LRTX	TXG	204,69	160,52	0,99	4,22	38,95
	TXB	160,75	126,72	1,01	2,44	30,59
	TXN	115,71	90,92	1,01	1,77	22,02
	TXK	62,29	47,85	0,98	1,61	11,85
LRNRL	RLG	210,87	168,68	0,97	1,09	40,13
	RLB	136,85	109,03	0,99	0,80	26,04
	RLN	109,27	84,01	1,05	3,42	20,79
	RLK	68,08	53,12	1,00	1,01	12,96
HG	HG1	103,12	81,37	0,99	1,14	19,62
	HG2	78,88	61,31	0,98	1,58	15,01

Các kiểu rừng và trạng thái rừng khác nhau có khả năng tích lũy các bon khác nhau. Cụ thể như sau:

3.4.2. Độ tàn che

Độ tàn che của tầng cây cao tại các trạng thái rừng trong KDTSQ Đồng Nai biến động trong khoảng từ 0,2 - 0,8 (Hình 6). Trong đó, độ tàn che của tầng cây cao xuất hiện phổ biến nhất ở ngưỡng 0,3 - 0,5 và ngưỡng > 0,5. Độ tàn che dưới 0,3 chỉ xuất hiện tại các trạng thái rừng nghèo và nghèo kiệt, có trữ lượng các bon thấp.



Hình 6. Trữ lượng các bon tại các kiểu rừng và trạng thái phân theo độ tàn che

Kết quả kiểm tra sự khác biệt theo tiêu chuẩn Kruskal - Wallis cho thấy độ tàn che của tầng cây cao có ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,002) đến khả năng tích lũy các bon của các lâm phần. Lâm phần có độ tàn che càng cao thì trữ lượng các bon tích lũy càng lớn và ngược lại. Tại trạng thái rừng LRTX trung bình, lâm phần có độ tàn che > 0,5 cho trữ lượng các bon trung bình 162,8 tấn/ha, trong

khi lâm phần có độ tàn che 0,3 – 0,5 cho trữ lượng các bon trung bình 145,4 tấn/ha. Tại trạng thái rừng LRTX nghèo, lâm phần có độ tàn che > 0,5 cho trữ lượng các bon trung bình 138,2 tấn/ha, trong khi lâm phần có độ tàn che 0,3 – 0,5 cho trữ lượng các bon trung bình 127,6 tấn/ha, lâm phần có độ tàn che < 0,3 cho trữ lượng các bon trung bình 60,9 tấn/ha. Kết quả này tương tự đối với các trạng thái rừng TXK, RLG, RLB, RLN, HG2.

3.5. Ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố lập địa

Để xác định mối quan hệ tổng hợp của các yếu tố này đến trữ lượng các bon của lâm phần, nghiên cứu sử dụng tiêu chuẩn Duncan và Bonferoni với các biến số được đưa vào, gồm: nhiệt độ, lượng mưa, loại đất, độ dày tầng đất, độ cao tuyệt đối so với mức nước biển, độ tàn che. Kết quả cho thấy, tổng hợp hai yếu tố thổ nhưỡng (loại đất và độ dày tầng đất) có ảnh hưởng rõ rệt (Sig. = 0,002) đến trữ lượng các bon của lâm phần. Trong khi đó, tổng hợp của yếu tố khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ), địa hình (độ dốc, độ cao so với mực nước biển) đều không có ảnh hưởng rõ rệt đến trữ lượng các bon của lâm phần (Sig. lần lượt là 0,879; 0,768). Kết quả xác định tổng hợp các yếu tố cũng không ghi nhận sự ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,989) đến trữ lượng các bon.

3.6. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, các yếu tố lập địa có ảnh hưởng khác nhau đến khả năng lưu trữ các bon tại các trạng thái rừng trong KDTSQ Đồng Nai. Các yếu tố nhiệt độ, loại đất, độ dày tầng đất, độ cao tuyệt đối so với mức nước biển, độ tàn che có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng tích lũy các bon của lâm phần. Các yếu tố còn lại bao gồm lượng mưa, độ dốc không có ảnh hưởng rõ rệt. Tuy nhiên, lượng mưa có ảnh hưởng gián tiếp đến trữ lượng các bon của các lâm phần của các kiểu rừng khác nhau.

Lượng mưa đóng một vai trò quan trọng trong việc tích lũy các bon của rừng. Trong những năm gần đây, mưa lớn xảy ra bất thường hơn về thời gian, địa điểm, tần suất và cường độ. Mưa lớn không chỉ xảy ra trong mùa mưa mà còn cả trong mùa khô. Số ngày mưa lớn (ngày có lượng mưa ≥50 mm) có xu thế giảm ở khu vực Đông Nam bộ và Tây Nguyên [16]. Lượng mưa nhiều hơn, thời gian khô hạn ngắn hơn và ít khốc liệt hơn và nhiệt độ cao hơn dẫn đến tốc độ tăng trưởng của cây cao hơn [17]. Mặt khác, tại KDTSQ Đồng Nai, lượng mưa là yếu tố chính phân khu vực thành các kiểu khí hậu khác nhau, dẫn tới hình thành các kiểu thảm thực vật rừng khác như như kiểu rừng LRTX, kiểu rừng LRNRL, kiểu rừng HG. Tùy vào các đặc điểm lâm học của thành phần loài cây mà những kiểu rừng này có khả năng tích lũy sinh khối khác nhau.

Các yếu tố địa hình và thổ nhưỡng có ảnh hưởng đến khả năng tích lũy các bon của rừng. Khi độ cao tăng lên, nhiệt độ và lượng mưa có thể thay đổi, ảnh hưởng đến thành phần và sự phát triển của rừng. Rừng ở độ cao cao hơn có thể có nhiệt độ mát hơn, mùa sinh trưởng ngắn hơn và thành phần loài khác nhau so với rừng ở độ cao thấp hơn. Mặt khác, các loại đất khác nhau có khả năng lưu trữ và giữ lại chất hữu cơ khác nhau, ảnh hưởng đến sự tích tụ các bon. Điều này phù hợp với các nghiên cứu của De Castilho và cs (2006) [18], Xiao Wang và cs (2022) [19], khi cho rằng sinh khối lâm phần có liên quan tích cực đến kết cấu đất (tỷ lệ phần trăm của đất sét) hoặc độ cao, nhưng không nhạy cảm với độ dốc.

Thảm thực vật rừng góp phần sản xuất sinh khối, đây là một yếu tố quan trọng trong việc lưu trữ các bon. Thảm thực vật rừng, bao gồm cây cối, cây bụi và thực vật dưới tán, trải qua quá trình quang hợp, một quá trình mà chúng hấp thụ các bon dioxide từ khí quyển và biến nó thành chất hữu cơ. Mật độ cây và sinh khối càng lớn thì càng có nhiều các bon dioxide có thể được cô lập thông qua quá trình quang hợp, dẫn đến tăng tích lũy các bon. Các khu rừng đa dạng với nhiều loài cây và loại thực vật thường thể hiện khả năng tích lũy các bon cao hơn so với các khu rừng ít đa dạng hơn. Nghiên cứu của Võ Đại Hải, Đặng Thịnh Triều (2012) [1], Vũ Đức Quỳnh (2014) [2], Bảo Huy (2012) [3] đều cho rằng, trong cùng một kiểu rừng nhưng tại các trạng thái khác nhau, thành phần loài cây và cấu trúc rừng khác nhau đều có thể ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng tích lũy các bon.

4. KẾT LUẬN

Nhiệt độ trung bình hàng năm tại KDTSQ Đồng Nai biến động trong khoảng từ 26,2 - 30,6^{o}C. Kết quả xác định nhiệt độ ghi nhận tại các điểm OTC điều tra cho thấy có sự khác biệt rõ rệt về khả năng tích lũy các bon tại các kiểu nền nhiệt độ khác nhau. Trong khi đó, lượng mưa có ảnh hưởng gián tiếp đến khả năng dự trữ các bon của lâm phần. Từ phân bố cường độ và lượng mưa theo từng khu vực mà phân thành các kiểu rừng khác nhau (rừng tự nhiên LRTX, rừng tự nhiên LRNRL, rừng tự nhiên HG).

Các yếu tố địa hình và thổ nhưỡng khác nhau có ảnh hưởng đến khả năng tích lũy các bon của rừng. Các yếu tố loại đất, độ dày tầng đất và độ cao so với mực nước biển ghi nhận mức ảnh hưởng rõ rệt tới khả năng tích lũy các bon của rừng. Trong khi đó độ dốc không có ảnh hưởng rõ rệt (Sig. = 0,06) đến khả năng tích lũy các bon của các lâm phần.

Các kiểu rừng và trạng thái rừng khác nhau có khả năng tích lũy các bon khác nhau. Kiểu rừng LRTX và kiểu rừng LRNRL cho khả năng tích lũy các bon cao hơn kiểu rừng HG gỗ tre nứa. Trong khi đó, độ tàn che của rừng ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng tích lũy các bon của rừng (Sig. = 0,002).

Kết quả xác định ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố lập địa đến trữ lượng các bon rừng cho thấy: Tổng hợp hai yếu tố thổ nhưỡng (loại đất và độ dày tầng đất) có ảnh hưởng rõ rệt (Sig. = 0,002) đến trữ lượng các bon của lâm phần. Trong khi đó, tổng hợp của yếu tố khí hậu (lượng mưa và nhiệt độ), địa hình (độ dốc, độ cao so với mực nước biển) đều không có ảnh hưởng rõ rệt đến trữ lượng các bon của lâm phần (Sig. lần lượt là 0,879; 0,768). Kết quả xác định tổng hợp các yếu tố cũng không ghi nhận sự ảnh hưởng rõ rệt (Asymp. Sig. = 0,989) đến trữ lượng các bon.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Võ Đại Hải, Đặng Thịnh Triều (2012). *Nghiên cứu khả năng hấp thụ các bon của rừng tự nhiên hỗn giao, bán thường xanh và rụng lá ở Tây Nguyên*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, Bộ Nông nghiệp và PTNT.

2. Vũ Đức Quỳnh (2014). *Nghiên cứu khả năng hấp thụ các bon của rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, bán thường xanh và rụng lá ở Tây Nguyên.* Luận án tiến sĩ Khoa học lâm nghiệp, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.

3. Bảo Huy và cs (2012). *Xác định lượng CO_2 hấp thụ của rừng hỗn giao vùng Tây Nguyên làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu khí phát thải từ suy thoái và mất rừng*. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ. Bộ Giáo dục và Đào tạo.

4. Trần Lâm Đồng và cs (2018). *Nghiên cứu đánh giá diễn thế phục hồi hệ sinh thái rừng và đề xuất giải pháp bảo tồn tại Khu Dự trữ Sinh quyển Đồng Nai.* Báo cáo tổng kết đề tài cấp Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ.

5. Ban Quản lý Khu Dự trữ Sinh quyển Đồng Nai (2022). *Báo cáo điều tra danh lục và hiện trạng một số loài quan trọng, có giá trị bảo tồn và giá trị kinh tế tại Khu Dự trữ Sinh quyển Đồng Nai.*

6. Ngô Đình Quế (2011). Phân chia lập địa lâm nghiệp. Giáo trình Trường Đại học Lâm nghiệp, Hà Nội.

7. Lingyuan Yan, Shengwang Meng, Fengting Yang, Xiaoqin Dai and Huimin Wang (2023). *Changes in Forest Vegetation các bon Storage and Its Driving Forces in Subtropical Red Soil Hilly Region over the Past 34 Years: A Case Study of Taihe County, China*. Forest.

8. Bộ Nông nghiệp và PTNT (2018). *Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16/11/2018 quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng*.

9. UNFCCC (2015). *Measurements for Estimation of Cacrbon Stocks in Afforestation and Reforestation Project Activities under the Clean Development Mechanism*. Rapid cacrbon stock appraisal.

10. Cục Thống kê tỉnh Đồng Nai (2022). *Niên giám Thống kê tỉnh Đồng Nai năm 2021*. Nxb Thống kê.

11. Cục Thống kê tỉnh Bình Dương (2022). *Niên giám Thống kê tỉnh Bình Dương năm 2021*. Nxb Thống kê.

12. Cục Thống kê tỉnh Bình Phước (2022). *Niên giám Thống kê tỉnh Bình Phước năm 2021*. Nxb Thống kê.

13. Cục Thống kê tỉnh Lâm Đồng (2022). *Niên giám Thống kê tỉnh Lâm Đồng năm 2021*. Nxb Thống kê.

14. Cục Thống kê tỉnh Đắk Nông (2022). *Niên giám Thống kê tỉnh Đắk Nông năm 2021*. Nxb Thống kê.

15. IPCC (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.

16. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2021*. Nxb Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

17. Toledo, M., Poorter, L., Pea-Claros, M., Alarcón, A., Bongers, F. (2011) *Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance*. J. Ecol. 2011, 99, 254 - 264.

18. De Castilho, C. V., Magnusson, W. E., de Araújo, R. N. O. (2006) Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *For. Ecol. Manag.* 2006, *234*, 85-96.

19. Xiao Wang, Xiaonan Huang, Yanhui Wang, Pengtao Yu, Jianbin Guo (2022). *Impacts of Site Conditions and Stand Structure on the Biomass Allocation of Single Trees in Larch Plantations of Liupan Mountains of Northwest China*, *Forests* 2022, *13* (2), 177; https:// doi.org/ 10.3390/ f13020177.

EFFECTS OF GEOGRAPHICAL FACTORS ON CARBON STORAGE IN DIFFERENT FOREST TYPES AND FOREST STATES IN DONG NAI BIOSPHERE RESERVE

Nguyen Van Thinh[1], Pham Tien Dung[1], Pham Van Duan[2], Tran Viet Ha[3], Le Tuan Anh[3], Nguyen Huy Hoang[1], Nguyen Van Tuan[1], Nguyen Van Bich[1], Nguyen Viet Cuong[1], Nguyen Thi Thu Phuong[1], Tran Thi Mai Sen[3], Pham Thi Quynh[3]

[1]Silviculture Research Institute (SRI)

[2]Institute for Forest Ecology and Environment (IFEE)

[3]Vietnam National University of Forestry

Summary

Analyzing the influence of site factors on a forest's ability to store carbon is crucial for effective forest management, climate change mitigation, and for identifying areas at risk of loss of carbon storage. The study was conducted in Dong Nai Biosphere Reserve using multivariate analysis to determine the influence of site factors on carbon storage capacity. Input indicators include: Forest resource survey data from 76 sample plots with an area of 2,000 m^2 combined with collected data (temperature, rainfall, soil type, soil layer thickness, slope), altitude above sea level, forest types and forest status, canopy cover of forests). The results show that site factors had different effects on carbon storage. The factors of temperature, soil type, soil layer thickness, absolute height above sea level, and canopy cover had a significant effect on the carbon accumulation capacity of forests (Sig. index when analyzed by Kruskal - Wallis criteria are 0.43; 0.004; 0.002; 0.002 and 0.002, respectively. Meanwhile, rainfall and slope do not significantly affect the carbon accumulation capacity of the stands (Sig. index when analyzed by Kruskal - Wallis standard is 0.077; 0.06), respectively. The results of determining the combined influence of site factors on forest carbon stock show that: Soil factor (soil type and thickness of soil layer) had a clear influence (Sig. = 0.002). Meanwhile, the combination of climate factors (precipitation and temperature), topography (slope, altitude above sea level) had no influence (Sig. is 0.879; 0.768, respectively). At the same time, the results of the combined determination of factors also did not show a clear influence on the carbon stock (Asymp. Sig. = 0.989).

Keywords: *Site, carbon, forest state, forest type.*

Người phản biện: PGS.TS. Lê Xuân Tuấn

Ngày nhận bài: 26/7/2023

Ngày thông qua phản biện: 23/8/2023

Ngày duyệt đăng: 6/9/2023