

SINH KHỐI VÀ TRỮ LƯỢNG CACBON TRÊN MẶT ĐẤT ĐỐI VỚI RỪNG TRỒNG ĐƯỚC (*Rhizophora apiculata* Blume) TẠI KHU VỰC VEN BIỂN KIẾN VÀNG, HUYỆN NGỌC HIỂN, TỈNH CÀ MAU

Lê Văn Cường

Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai

*Tác giả liên hệ: lvcuong@vnuf2.edu.vn

Nhận bài: 23/03/2025 Hoàn thành phản biện: 17/04/2025 Chấp nhận bài: 18/04/2025

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày sinh khối và trữ lượng cacbon trên mặt đất của rừng trồng đước tại khu vực ven biển Kiên Vàng, tỉnh Cà Mau. Đặc điểm của rừng trồng đước từ tuổi 5-25 năm đã được thu thập từ 15 ô tiêu chuẩn tạm thời với kích thước 200 m². Sinh khối cây bình quân được xác định từ 30 cây mẫu. Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng đước ở tuổi 10, 20 và 30 năm tương ứng là 201,2 tấn/ha, 306,7 tấn/ha và 340,2 tấn/ha. Tỷ lệ sinh khối thân trung bình ở cấp A = 10, 20 và 30 năm là 79,3%, còn lại 20,7% là sinh khối cành, lá và rễ. Sinh khối của rừng trồng đước chuyển từ giai đoạn tích lũy nhanh sang giai đoạn tích lũy chậm tại cấp tuổi 5 năm. Suất tăng trưởng sinh khối của rừng trồng đước giảm rất nhanh từ cấp tuổi 5 năm (20%) đến cấp tuổi 20 năm (2,7%) và cấp tuổi 30 năm (0,9%). Khối lượng cacbon chứa trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng đước tăng dần từ cấp tuổi 5 năm (50,4 tấn/ha) đến cấp tuổi 20 năm (144,1 tấn/ha) và cấp tuổi 30 năm (164,1 tấn/ha). **Từ khóa:** Rừng đước, Sinh khối, Trữ lượng cacbon, Cây bình quân, Ngọc Hiển-Cà Mau

ABOVEGROUND BIOMASS AND CARBON STOCKS OF *Rhizophora apiculata* Blume PLANTATIONS IN KIEN VANG COASTAL AREA, NGOC HIEN DISTRICT, CA MAU PROVINCE

Le Van Cuong

Vietnam National University of Forestry – Dongnai Campus

*Corresponding author: lvcuong@vnuf2.edu.vn

Received: 23/03/2025

Revised: 17/04/2025

Accepted: 18/04/2025

ABSTRACT

This paper presented the above-ground biomass and carbon stocks of *Rhizophora apiculata* Blume plantations in the Kien Vang coastal area of Ca Mau province. The traits of *R. apiculata* plantations aged 5-25 years were collected from 15 temporary standard plots with a size of 200 m². The average tree biomass was determined from 30 sample trees. The research results showed that the total above-ground biomass of *R. apiculata* plantations at the ages of 10, 20, and 30 years was 201.2 tons/ha, 306.7 tons/ha, and 340.2 tons/ha, respectively. The average stem biomass ratio at classes A = 10, 20, and 30 years was 79.3%, and the remaining 20.7% was branch, leaf, and root biomass. The biomass of *R. apiculata* plantations changed from the rapid accumulation stage to the slow accumulation stage at age class 5 years. The biomass growth rate of *R. apiculata* plantations decreased very rapidly from age class 5 years (20%) to age class 20 years (2.7%) and age class 30 years (0.9%). The amount of carbon stored in the above-ground biomass of *R. apiculata* plantations increased gradually from age class 5 years (50.4 tons/ha) to age class 20 years (144.1 tons/ha) and age class 30 years (164.1 tons/ha).

Keywords: *Rhizophora apiculata* forests, Biomass, Carbon stocks, Average tree, Ngoc Hien - Ca Mau

1. MỞ ĐẦU

Biến đổi khí hậu là mối quan tâm của các quốc gia trên thế giới. Sự biến đổi khí hậu dẫn đến những hậu quả rất xấu đối với đời sống của con người và các sinh vật khác. Để hạn chế sự biến đổi khí hậu, các quốc gia phải cùng nhau cắt giảm sự phát thải khí nhà kính, hạn chế khai thác rừng và chuyển rừng sang các mục đích sử dụng khác (IPCC, 2006). Chức năng cơ bản của rừng là hấp thụ và dự trữ cacbon (C) trong sinh khối (Kimmings, 1998). Vì thế, rừng đóng vai trò quan trọng trong chu trình carbon trên trái đất. Sinh khối và dự trữ cacbon thay đổi tùy theo loài cây gỗ và kiểu rừng. Trong một loài cây gỗ, sinh khối và dự trữ cacbon thay đổi theo tuổi và điều kiện lập địa. Xác định sinh khối và khả năng hấp thụ dioxit C (CO_2) và dự trữ C của các loài cây gỗ và kiểu rừng khác nhau là nhiệm vụ quan trọng của các nhà sinh thái học và lâm học. Những kiến thức về sinh khối và trữ lượng C của rừng không chỉ giúp ích cho việc đánh giá chức năng sinh thái của rừng, mà còn là cơ sở khoa học của các phương thức lâm sinh và quản lý rừng.

Tổng diện tích rừng trồng của tỉnh Cà Mau tính đến năm 2023 là 65.449,3 ha (100%); trong đó huyện Ngọc Hiển có 23.624,97 ha (36,1%) (Ủy ban nhân dân tỉnh Cà Mau, 2023). Thống kê sinh khối và khả năng hấp thụ CO_2 và trữ lượng C của rừng được đòi hỏi phải có các hàm thống kê sinh khối ở cây cá thể và quần thụ. Trước đây một số tác giả (Bao và cs., 2022; Nguyễn Thị Hà và cs., 2017; Vinh và cs., 2019) đã xây dựng các hàm sinh khối đối với rừng được ở khu vực ven biển Nam Bộ. Sinh khối và trữ lượng C của rừng trồng được không chỉ thay đổi theo tuổi và kích thước cây, mà còn cả điều kiện lập địa và phương thức lâm sinh (trồng rừng và nuôi rừng) (Nguyễn Văn Thêm và Phạm Minh Toại, 2024). Hiện nay vẫn còn thiếu các

thông tin về sản lượng gỗ và sinh khối ở cây bình quân và quần thụ được trồng ở những khu vực khác nhau thuộc vùng ven biển của tỉnh Cà Mau. Vì thế, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm sinh khối và phân tích quá trình biến đổi sinh khối của rừng trồng được ở khu vực ven biển Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau. Kết quả của nghiên cứu này không chỉ là cơ sở khoa học để thống kê và đánh giá sinh khối và trữ lượng C của rừng trồng được, mà còn xây dựng mô hình chuyển hóa năng lượng và vật chất của rừng trồng được ở khu vực ven biển tỉnh Cà Mau.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng được (*Rhizophora apiculata* Blume) trong gian đoạn từ 5 đến 25 tuổi. Mật độ trồng rừng được ban đầu là 10.000 cây/ha. Nghiên cứu được thực hiện tại khu vực ven biển Kiến Vàng, huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau. Tọa độ địa lý: $8^\circ 39' 33''$ vĩ Bắc và $105^\circ 03' 54''$ kinh Đông. Khu vực nghiên cứu mang đặc điểm chung của khí hậu nhiệt đới gió mùa. Hàng năm khí hậu phân chia thành hai mùa mưa và khô rõ rệt. Mùa mưa kéo dài 6 tháng (từ tháng 5 đến tháng 11), còn mùa khô từ tháng 12 năm trước đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm là $26,5^\circ\text{C}$. Lượng mưa trung bình năm là 2390 mm. Độ ẩm không khí trung bình năm là 85,9%. Đất tại khu vực nghiên cứu thuộc nhóm đất mặn thường xuyên trên phù sa mới bồi tụ chưa ổn định; thành phần cơ giới chính là thịt và sét mềm đến sét chặt (Ban Quản Lý Rừng Phòng Hộ Kiến Vàng, 2019).

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Sinh khối của cây bình quân và quần thụ được trồng được thu thập từ hai nguồn số liệu. Nguồn số liệu thứ nhất là các hàm sản lượng gỗ của rừng trồng được ở khu vực ven biển Kiến Vàng của Lê Văn Cường

(2025) (Hàm 1-5; Bảng 1). Ở Bảng 1, $D(\text{cm})$, $H(\text{m})$ và $V_T(\text{m}^3)$ tương ứng là đường kính thân ngang ngực kể từ cổ rễ khí sinh (rễ chân nôm), chiều cao toàn thân và thể

tích thân cây bình quân; N và M tương ứng là mật độ và sản lượng gỗ cây đứng của rừng trồng được từ cấp tuổi 5-25 năm, A (năm) là tuổi rừng.

Bảng 1. Các hàm sản lượng đối với rừng trồng được.

Các hàm sản lượng	$R^2(\%)$	$\pm\text{SEE}$	MAPE	Hàm
$D = 89,7349 \times \exp(-4,469 \times A^{-0,2738})$	97,3	0,83	5,9	(1)
$H = 43,7376 \times \exp(-43,08927 \times A^{-0,312109})$	99,2	0,35	2,2	(2)
$V_T = -0,00514299 + 0,0000775101 \times (D^2 \times H)^{0,943296}$	99,9	0,0007	1,1	(3)
$N = 14982,3 \times \exp(-0,127135 \times A) + 1563,65$	99,3	354	6,3	(4)
$M = \exp(6,01738 - 8,06932/A)$	99,7	5,5	2,0	(5)

$R^2(\%)$ = Hệ số xác định; SEE = Sai lệch chuẩn; MAPE = Sai số trung bình theo phần trăm.

Nguồn số liệu sơ cấp là sinh khối trên mặt đất của cây bình quân từ cấp $A = 5-25$ năm. Tổng sinh khối trên mặt đất (B_{To} , kg), sinh khối thân (B_T , kg), sinh khối cành (B_C , kg), sinh khối lá (B_L , kg) và sinh khối rễ khí sinh (B_R , kg) được xác định theo 2 bước. Bước 1: Xác định B_T khô (kg/cây) dựa theo quan hệ $B_T = V_T \times \text{WD}$; trong đó V_T là thể tích thân cây đứng, WD là tỷ trọng gỗ khô tuyệt đối. Đại lượng V_T được ước lượng theo Hàm 3 ở Bảng 1, còn $\text{WD} = 900 \text{kg/m}^3$ (Lê Thanh Chiến, 2010). Bước 2: Xác định B_C , B_L và B_R của cây bình quân. Ba thành phần sinh khối này được xác định theo 5 cấp $A = 5-25$ năm; trong đó mỗi cấp A là 6 cây bình quân. Tổng số 5 cấp A là 30 cây. Mỗi cấp A bố trí 3 ô tiêu chuẩn với kích thước 200m^2 ($20 \times 10\text{m}$). Cây bình quân có D tương đương với cây có tiết diện ngang bình quân (g_{Bq} , m^2). Giá trị $g_{\text{Bq}} = 0,00007854 \times D_{\text{QFA}}^2$; trong đó D_{QFA} là đường kính quân phương tại vị trí 1,3m kể từ mặt đất của cây thứ i tại A năm. Giá trị D_{QF} (cm) $= \sqrt{D_i^2/n}$; trong đó D_i là đường kính tại vị

trí 1,3m kể từ mặt đất của cây thứ i tại A năm, còn n là số cây trong ô tiêu chuẩn. Những cây mẫu phải sinh trưởng bình thường, thân thẳng, tán lá tròn, không bị cụt ngọn và không bị sâu hại. Để đo B_C , B_L và B_R , trước hết chặt hạ các cây mẫu. Tiếp theo đo $D(\text{cm})$ và $H(\text{m})$ của mỗi cây mẫu bằng thước dây với độ chính xác 0,1cm. Sau đó tách riêng rẽ cành, lá và rễ và cân với độ chính xác 0,2kg. Để xác định sinh khối khô tuyệt đối, mỗi thành phần B_C tươi, B_L tươi và B_R tươi được thu thập 0,5kg. Các mẫu lá, cành và rễ tươi được sấy ở phòng thí nghiệm tương ứng với nhiệt độ 75°C và 105°C trong 3 giờ. Sau đó cân trọng lượng sinh khối khô bằng cân tiểu li với độ chính xác 0,1g. Quá trình này kết thúc khi trọng lượng không đổi. Cuối cùng xác định tỷ lệ sinh khối khô ($B_{\text{Khô}}$) và tươi ($B_{\text{Tươi}}$) của các thành phần ($P_i = (100B_{\text{Khô}}/B_{\text{Tươi}})$) để chuyển sinh khối tươi thành sinh khối khô. Giá trị P_i đối với cành, lá và rễ tương ứng là 61,5%, 30,8% và 59,7%. Bảng 2 tổng hợp sinh khối của 30 cây bình quân của rừng trồng được từ cấp $A = 5-25$ năm.

Bảng 2. Sinh khối khô của 30 cây bình quân của rừng trồng được từ cấp $A = 5-25$ năm

Sinh khối	Số cây	Trung bình (kg/cây)	Min	Max	SEE	CV%
Tổng số	30	85,16	2,71	197,06	57,62	67,7
Thân	30	63,27	0,82	149,17	43,63	69,0
Cành	30	8,40	0,69	19,51	5,42	64,5
Lá	30	2,41	0,40	4,64	1,23	51,2
Rễ	30	5,54	0,39	12,78	3,70	66,8

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng các hàm sinh khối của rừng trồng được

(a) *Xây dựng các hàm sinh khối của cây bình quân.* Sự biến đổi của các thành phần sinh khối của cây bình quân theo A năm (B_{iA} , kg) được mô tả theo hàm Chapman-Richards (1929) (Zeide, 1993) (Hàm 6); trong đó b_i là các tham số. Khi không biết tuổi của rừng, các thành phần B_i được ước lượng theo 2 biến D và H ở dạng hàm 7; trong đó hai biến D và H được ước lượng tương ứng theo Hàm 1 và 2 ở Bảng 1. Khi biết V_T tại A năm (V_{TA} , m³), các thành phần sinh khối tại A năm (B_{iA} , kg/cây) được ước lượng theo công thức 8; trong đó BEF_{iA} là hệ số điều chỉnh sinh khối tại A năm. Ở công thức 8, V_{TA} là thể tích của cây bình quân tại A năm và được xác định theo Hàm 3 ở Bảng 1, còn $BEF_{iA} = B_{iA}/V_{TA}$. Giá trị B_{iA} được ước lượng theo Hàm 6. Sau đó xây dựng hàm ước lượng các hệ số BEF_{iA} theo hàm 9. Hàm 6 được sử dụng để phân tích quá trình tích lũy sinh khối theo tuổi của cây bình quân. Sử dụng Hàm 8 cho phép chuyển V_{TA} thành các B_{iA} .

$$B_{iA} = b_0 \times (1 - \exp(-b_1 \times A))^{b_2} \quad (6)$$

$$B_i = b_0 + b_1 \times (D^2 H)^{b_2} \quad (7)$$

$$B_{iA} = V_{TA} \times BEF_{iA} \quad (8);$$

$$BEF_{iA} = b_0 \times \exp(-b_1 \times D_A) + k \quad (9)$$

(b) *Xây dựng các hàm sinh khối của rừng trồng được.* Các thành phần sinh khối của rừng trồng được tại A năm (B_i , tấn/ha) được xác định theo công thức 10; trong đó B_{iBQ} (kg/cây) là các thành phần sinh khối của cây bình quân, còn N_A là mật độ của rừng trồng được tại A năm. Các giá trị N_A được ước lượng theo Hàm 4 ở Bảng 1.

$$B_{iA} = (B_{iBQ} \times N_A) / 1000 \quad (10)$$

Sự biến đổi của các thành phần sinh khối của rừng trồng được theo A năm được mô tả theo hàm 6. Khi biết sản lượng gỗ cây đứng tại A năm (M_A , m³/ha), thì các thành phần sinh khối tại A năm (B_{iA} , tấn/ha) được ước lượng theo công thức 11; trong đó BEF_{iA} là hệ số điều chỉnh sinh khối tại A năm. Ở công thức 11, M_A là sản lượng gỗ của rừng trồng được tại A năm (Hàm 5 ở Bảng 1), còn $BEF_{iA} = B_{iA}/M_A$. Sau đó xây dựng hàm ước lượng các hệ số BEF_{iA} theo hàm 12. Hàm 6 được sử dụng để phân tích quá trình tích lũy sinh khối theo tuổi của rừng được. Sử dụng Hàm 11 và 12 cho phép chuyển M_A thành các B_{iA} .

$$B_{iA} = M_A \times BEF_{iA} \quad (11);$$

$$BEF_{iA} = b_0 \times \exp(-b_1 \times M_A) + k \quad (12)$$

2.3.2. Đánh giá sai lệch của các hàm hồi quy

Các hệ số hồi quy và thống kê sai lệch của các hàm sinh khối ở cây bình quân và quần thụ được trồng được xác định bằng phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Mức độ tin cậy của các hàm hồi quy được đánh giá theo hệ số xác định (R^2 ; Công thức 13), tổng sai lệch bình phương (SSR; Công thức 14); sai số chuẩn của ước lượng (SEE; Công thức 15), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 16) và sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 17). Ở công thức 13-17, B_i và B_j tương ứng là sinh khối thực và ước lượng; B_{BQ} là sinh khối thực trung bình; n = dung lượng quan sát; p = số tham số của hàm hồi quy. Các bước phân tích hồi quy và tương quan được thực hiện bằng phần mềm thống kê STATGRAPHICS Centurion XV.I 15.1.02.

$$R^2 = [1 - \frac{\sum_{(i=1, n)} (B_i - B_j)^2}{\sum_{(i=1, n)} (B_i - B_{BQ})^2}] \times 100 \quad (13)$$

$$SSR = \sum_{(i=1, n)} (B_i - B_j)^2 \quad (14)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSR}{n - p}} \quad (15)$$

$$MAE = \frac{|(B_i - B_j)|}{n} \quad (16)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{B_i} \times 100 \quad (17)$$

2.3.3. Phân tích tăng trưởng sinh khối của rừng trồng được

Sự biến đổi tổng sinh khối theo A năm của rừng trồng được được xác định bằng cách khảo sát hàm $B_{iA} = f(A)$. Lượng tăng trưởng sinh khối bình quân theo định kỳ n năm được tính theo công thức 18; trong

$$ZB_A = \frac{B_A - B_{(A-n)}}{n} \quad (18)$$

$$\Delta B_A = \frac{B_A}{A} \quad (19)$$

$$PB_A = \frac{ZB_A}{B_A} \times 100 \quad (20)$$

2.3.4. Xác định trữ lượng C và hấp thụ dioxit C tương đương của rừng trồng được

Trữ lượng C trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại A năm (M_{CA} , tấn/ha) được xác định theo công thức 21; trong đó B_{iA} (tấn/ha) là các thành phần sinh khối của rừng trồng được tại A năm, $P =$

$$M_{CA} = B_{iA} \times P \quad (21)$$

$$M_{CO_2A-e} = M_C \times 3,67 \quad (22)$$

đó B_A và B_{A-n} tương ứng là sinh khối tại A năm và A-n năm về trước, còn $n = 5$ là số năm định kỳ tính lượng tăng trưởng. Lượng tăng trưởng sinh khối bình quân năm được tính theo công thức 19. Suất tăng trưởng sinh khối của rừng trồng được được tính theo công thức 20.

0,47 là tỷ lệ C trung bình trong 1 tấn sinh khối của các cây gỗ nhiệt đới (IPCC, 2006). Khối lượng CO_2 tương đương được rừng trồng được hấp thụ tại A năm (M_{CO_2A-e} , tấn/ha) được xác định theo công thức 22; trong đó $3,67 = (44/12)$ là hệ số chuyển đổi hàm lượng C thành hàm lượng CO_2 .

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Các hàm sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng được

3.1.1. Các hàm sinh khối dựa theo tuổi của rừng trồng được

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm ước lượng sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng được từ cấp A = 5-25 năm có dạng như Hàm 23-29

(Bảng 3). Các hàm này tồn tại với hệ số xác định rất cao ($R^2 = 99,75\%$ đối với B_L đến $99,98\%$ đối với B_C) và sai lệch nhỏ ($MAPE = 1,5\%$ đối với B_{CLR} đến $17,9\%$ đối với B_T). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng và dự đoán sinh khối trên mặt đất cây bình quân của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau.

Bảng 3. Các hàm sinh khối ở cây bình quân của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiến Vàng

Các hàm sinh khối (kg/cây)	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
$B_{T0} = 622,623 \times (1 - \exp(-0,02607 \times A))^{1,93332}$	99,91	2,0	16,7	(23)
$B_T = 551,777 \times (1 - \exp(-0,02406 \times A))^{1,92175}$	99,85	2,1	17,9	(24)
$B_C = 66,3723 \times (1 - \exp(-0,0239207 \times A))^{1,8162}$	99,98	0,1	3,0	(25)
$B_L = 61,8436 \times (1 - \exp(-0,00332 \times A))^{1,09273}$	99,75	0,1	4,8	(26)
$B_{CL} = 85,8317 \times (1 - \exp(-0,020964 \times A))^{1,65546}$	99,97	0,1	2,7	(27)
$B_R = 196,182 \times (1 - \exp(-0,00688467 \times A))^{1,60073}$	99,88	0,2	7,8	(28)
$B_{CLR} = 108,823 \times (1 - \exp(-0,0273895 \times A))^{1,83918}$	99,98	0,1	1,5	(29)

$BCLR = \text{Tổng sinh khối cành + lá + rễ}$; $R^2(\%) = \text{Hệ số xác định}$; $SEE = \text{Sai số chuẩn}$;

$MAPE = \text{Sai lệch tuyệt đối trung bình theo phần trăm}$.

3.1.2. Các hàm sinh khối dựa theo 2 biến dự đoán D và H

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm ước lượng sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng được từ cấp A = 5-25 năm với 2 biến dự đoán D và H có dạng như Hàm 30-36 (Bảng 4). Các

hàm này tồn tại với hệ số xác định rất cao ($R^2 = 99,99\%$) và sai lệch nhỏ ($MAPE = 0,41\%$ đối với B_L đến $0,63\%$ đối với B_{CLR}). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng và dự đoán sinh khối trên mặt đất cây bình quân của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng.

Bảng 4. Các hàm sinh khối ở cây bình quân của rừng trồng Được với 2 biến dự đoán D và H

Các hàm sinh khối (kg/cây)	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
$B_{T0} = -4,35162 + 0,08477 \times (D^2H)^{0,945777}$	99,99	0,51	0,58	(30)
$B_T = -4,56188 + 0,068655 \times (DH)^{0,945445}$	99,99	0,41	0,56	(31)
$B_C = 0,0425148 + 0,0075 \times (D^2H)^{0,962328}$	99,99	0,05	0,53	(32)
$B_L = 0,01658 + 0,015512 \times (D^2H)^{0,696366}$	99,99	0,01	0,41	(33)
$B_{CL} = 0,162734 + 0,013935 \times (D^2H)^{0,911845}$	99,99	0,06	0,61	(34)
$B_R = 0,0264582 + 0,003331 \times (D^2H)^{1,01277}$	99,99	0,03	0,59	(35)
$B_{CLR} = 0,211052 + 0,016115 \times (D^2H)^{0,94724}$	99,99	0,10	0,63	(36)

$BCLR = \text{Tổng sinh khối cành + lá + rễ}$; $R^2(\%) = \text{Hệ số xác định}$; $SEE = \text{Sai số chuẩn}$;

$MAPE = \text{Sai lệch tuyệt đối trung bình theo phần trăm}$.

3.1.3. Các hàm ước lượng hệ số BEF đối với cây bình quân

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm ước lượng hệ số BEF ở cây bình quân của rừng trồng Được từ cấp A = 5-25 năm với biến dự đoán D và (DH) có dạng như Hàm 37-43 (Bảng 5). Các hàm

này tồn tại với hệ số xác định rất cao ($R^2 = 99,72\%$ đối với BEF_L đến $99,96\%$ đối với BEF_{T0}) và sai lệch nhỏ ($MAPE = 1,3\%$ đối với BEF_{T0} đến $13,5\%$ đối với BEF_L). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng và dự đoán hệ số BEF ở cây bình quân của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng.

Bảng 5. Các hàm ước lượng hệ số BEF ở cây bình quân của rừng trồng được với 2 biến dự đoán D và H

Các hàm sinh khối (kg/cây)	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
$BEF_{T0} = 2580,84 \times \exp(-1,47181 \times D) + 1,131$	99,96	0,029	1,3	(37)
$BEF_T = 1628,14 \times \exp(-1,42018 \times D) + 0,894$	99,95	0,025	1,5	(38)
$BEF_C = 223,839 \times \exp(-1,38768 \times D) + 0,119$	99,95	0,006	2,7	(39)
$BEF_L = 80,6743 \times \exp(-1,22962 \times D) + 0,0341$	99,72	0,007	13,5	(40)
$BEF_{CL} = 17,242 \times \exp(-0,1131 \times DH) + 0,155$	99,79	0,013	5,5	(41)
$BEF_R = 9,3744 \times \exp(-0,12026 \times DH) + 0,078$	99,91	0,004	2,9	(42)
$BEF_{CLR} = 23,969 \times \exp(-0,11769 \times DH) + 0,233$	99,85	0,014	3,7	(43)

$BCLR = \text{Tổng sinh khối cành + lá + rễ}$; $R^2(\%) = \text{Hệ số xác định}$; $SEE = \text{Sai số chuẩn}$;

$MAPE = \text{Sai lệch tuyệt đối trung bình theo phần trăm}$.

3.2. Các hàm sinh khối trên mặt đất của rừng trồng đước

3.2.1. Các hàm sinh khối dựa theo tuổi của rừng trồng đước

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm ước lượng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng đước từ cấp A = 5-25 năm có dạng như Hàm 44-50 (Bảng 6). Các hàm này tồn tại với hệ số xác định rất cao ($R^2 = 97,28\%$ đối với B_L đến $99,38\%$ đối với B_{T0}) và sai lệch nhỏ (MAPE = 1,5% đối với B_{CLR} đến 17,9% đối với B_T). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng và dự đoán sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng đước từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng.

3.2.2. Các hàm ước lượng hệ số BEF đối với rừng trồng Đước

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm ước lượng BEF đối với rừng trồng đước từ cấp A = 5-25 năm với biến dự đoán M có dạng như Hàm 51-57 (Bảng 7). Các hàm này tồn tại với hệ số xác định rất cao ($R^2 = 91,66\%$ đối với BEF_T đến $99,14\%$ đối với BEF_{CL}) và sai lệch nhỏ (MAPE = 1,1% đối với BEF_{T0} đến 1,9% đối với BEF_L). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng hệ số BEF đối với rừng trồng đước từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng.

Bảng 6. Các hàm sinh khối của rừng trồng đước tại khu vực ven biển Kiến Vàng

Các hàm sinh khối (tấn/ha)	$R^2(\%)$	$\pm SEE$	MAPE	Hàm
$B_{T0} = 375,752 \times (1 - \exp(-0,09712 \times A))^{1,31242}$	99,38	7,27	2,8	(44)
$B_T = 307,3 \times (1 - \exp(-0,0895167 \times A))^{1,26611}$	99,37	5,93	2,9	(45)
$B_C = 37,8842 \times (1 - \exp(-0,105392 \times A))^{1,24398}$	99,25	0,78	2,6	(46)
$B_L = 8,61318 \times (1 - \exp(-0,438011 \times A))^{2,12425}$	97,28	0,14	1,2	(47)
$B_{CL} = 45,4796 \times (1 - \exp(-0,123761 \times A))^{1,1711}$	98,97	1,02	2,4	(48)
$B_R = 28,8578 \times (1 - \exp(-0,057432 \times A))^{0,86404}$	98,96	0,60	3,1	(49)
$B_{CLR} = 70,985 \times (1 - \exp(-0,120222 \times A))^{1,34223}$	99,28	1,42	2,4	(50)

$R^2(\%)$ = Hệ số xác định; SEE = Sai số chuẩn; $MAPE$ = Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm.

Bảng 7. Các hàm ước lượng hệ số BEF đối với rừng trồng đước tại khu vực ven biển Kiến Vàng

Các hàm sinh khối (tấn/ha)	$R^2(\%)$	$\pm SEE$	MAPE	Hàm
$BEF_{T0} = 0,88484 \times \exp(-0,0218633 \times M) + 1,111$	94,71	0,018	1,1	(51)
$BEF_T = 0,868158 \times \exp(-0,0270258 \times M) + 0,885$	91,66	0,017	1,2	(52)
$BEF_C = 0,104982 \times \exp(-0,0130926 \times M) + 0,114$	97,98	0,001	1,3	(53)
$BEF_L = 0,144032 \times \exp(-0,0101755 \times M) + 0,022$	99,72	0,001	1,9	(54)
$BEF_{CL} = 0,204313 \times \exp(-0,00974 \times M) + 0,134$	99,14	0,003	1,4	(55)
$BEF_R = 0,109776 \times \exp(-0,0172095 \times M) + 0,075$	96,82	0,002	1,9	(56)
$BEF_{CLR} = 0,196469 \times \exp(-0,01063 \times M) + 0,215$	98,52	0,004	1,2	(57)

$R^2(\%)$ = Hệ số xác định; SEE = Sai số chuẩn; $MAPE$ = Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm.

3.3. Sinh khối của rừng trồng đước tại khu vực ven biển Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau

3.3.1. Sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng đước

Các thành phần sinh khối trên mặt đất cây bình quân của rừng trồng đước từ cấp A = 5-30 năm được ước lượng theo các Hàm 23-29 (Bảng 8-10). Hình 1 biểu diễn tăng trưởng tổng sinh khối (B_{T0}) ở cây bình quân của rừng trồng đước từ cấp A = 5-30 năm.

Bảng 8. Sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng đước

Cấp A (năm)	Thành phần sinh khối (kg/cây)					
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Rễ	Cành + lá + rễ
5	10,70	8,41	1,26	0,70	0,87	2,48
10	36,18	28,47	3,99	1,47	2,56	7,86
15	70,34	55,60	7,52	2,27	4,77	14,71
20	109,18	86,80	11,46	3,08	7,36	22,24
25	150,00	119,97	15,57	3,90	10,24	29,94
30	190,96	153,65	19,68	4,71	13,35	37,50

Bảng 9. Tỷ lệ sinh khối của các bộ phận ở cây bình quân của rừng trồng đước

Cấp A (năm)	Thành phần sinh khối (kg/cây)					
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Rễ	Cành + lá + rễ
5	100	74,9	11,2	6,2	7,7	25,1
10	100	78,0	10,9	4,0	7,0	22,0
15	100	79,2	10,7	3,2	6,8	20,8
20	100	79,8	10,5	2,8	6,8	20,2
25	100	80,1	10,4	2,6	6,8	19,9
30	100	80,3	10,3	2,5	7,0	19,7
Bình quân	100	78,8	10,7	3,6	7,0	21,3

Bảng 8 - 10 cho thấy B_{T0} của cây bình quân tăng liên tục từ cấp A = 5 năm (10,70 kg/cây) đến cấp A = 10 năm (36,18 kg/cây), 20 năm (109,18 kg/cây) và 30 năm (190,96 kg/cây). So với B_{T0} (100%), tỷ lệ B_T tăng dần từ cấp A = 5 năm (74,5%) đến cấp A = 30 năm (80,3%). Tỷ lệ trung bình đối với sinh khối thân, cành, lá và rễ từ cấp A = 5-30 năm tương ứng là 78,8%, 10,7%, 3,6% và 7,0%. Lượng tăng trưởng bình quân theo định kỳ 5 năm (ZB_{T0} , kg/cây/năm) tăng dần từ cấp A = 5 năm (2,14 kg/cây/năm) và đạt cao nhất ở cấp A = 25 năm (8,16

kg/cây/năm); sau đó giảm dần đến cấp A = 30 năm (8,19 kg/cây/năm). Vì thế, sinh khối ở cây bình quân của rừng trồng đước tại khu vực ven biển Kiến Vàng chuyển từ giai đoạn tích lũy nhanh sang giai đoạn tích lũy chậm tại cấp A = 25 năm. Lượng tăng trưởng bình quân năm (ΔB_{T0} , kg/cây/năm) tăng liên tục từ cấp A = 5 năm (2,14 kg/cây/năm) đến cấp A = 30 năm (6,37 kg/cây/năm). Suất tăng trưởng sinh khối giảm rất nhanh từ cấp A = 5 năm (20%) đến cấp A = 10 năm (14,1%) và cấp A = 30 năm (4,3%).

Bảng 10. Tăng trưởng tổng sinh khối trên mặt đất ở cây bình quân của rừng trồng đước

Cấp A (năm)	B_{T0} (kg/cây)	ZB_{T0} (kg/cây/năm)	ΔB_{T0} (kg/cây/năm)	$PB_{T0}\%$
5	10,70	2,14	2,14	20,0
10	36,18	5,10	3,62	14,1
15	70,34	6,83	4,69	9,7
20	109,18	7,77	5,46	7,1
25	150,00	8,16	6,00	5,4
30	190,96	8,19	6,37	4,3

3.3.2. Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được

Bằng cách khảo sát các Hàm 44-50 ở Bảng 5, xác định được tăng trưởng của các

thành phần sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm (Bảng 11-13).

Bảng 11. Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được ở khu vực ven biển Kiên Vàng

Cấp A (năm)	Thành phần sinh khối (tấn/ha)					
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Rễ	Cành+lá+rễ
5	107,24	84,54	12,48	6,69	8,70	27,87
10	201,23	158,05	22,23	8,39	14,11	44,73
15	265,29	209,49	28,44	8,59	17,96	54,99
20	306,69	243,87	32,25	8,61	20,76	61,61
25	332,86	266,40	34,53	8,61	22,82	65,97
30	349,21	281,01	35,90	8,61	24,35	68,86

Bảng 12. Tỷ lệ sinh khối của các bộ phận đối với rừng trồng được

Cấp A (năm)	Thành phần sinh khối (tấn/ha)					
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Rễ	Cành+lá+rễ
5	100	75,2	11,1	6,0	7,7	24,8
10	100	77,9	11,0	4,1	7,0	22,1
15	100	79,2	10,8	3,2	6,8	20,8
20	100	79,8	10,6	2,8	6,8	20,2
25	100	80,2	10,4	2,6	6,9	19,8
30	100	80,3	10,3	2,5	7,0	19,7
Bình quân	100,0	78,8	10,7	3,5	7,0	21,2

Bảng 13. Tăng trưởng tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được

Cấp A (năm)	B_{T0} (tấn/ha)	ZB_{T0} (tấn/ha/năm)	ΔB_{T0} (tấn/ha/năm)	$PB_{T0}\%$
5	107,24	21,45	21,45	20,0
10	201,23	18,80	20,12	9,3
15	265,29	12,81	17,69	4,8
20	306,69	8,28	15,33	2,7
25	332,86	5,23	13,31	1,6
30	349,21	3,27	11,64	0,9

Bảng 11-13 cho thấy B_{T0} của rừng trồng được tăng nhanh từ cấp A = 5 năm (107,24 tấn/ha) đến cấp A = 20 năm (306,69 tấn/ha) và 30 năm (349,21 tấn/ha). So với B_{T0} (100%), tỷ lệ B_T tăng dần từ cấp A = 5 năm (75,2%) đến cấp A = 30 năm (80,3%). Tỷ lệ trung bình đối với sinh khối thân, cành, lá và rễ từ cấp A = 5-30 năm tương ứng là 78,8%, 10,7%, 3,6% và 7,0%. Lượng tăng trưởng bình quân theo định kỳ 5 năm (ZB_{T0} , tấn/ha/năm) giảm liên tục từ cấp A = 5 năm (21,45 tấn/ha/năm) đến cấp A = 30 năm (3,27 tấn/ha/năm) (Hình 2). Vì thế, sinh khối của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiên Vàng chuyển từ giai đoạn tích lũy nhanh sang giai đoạn tích lũy chậm tại cấp A = 5 năm. Lượng tăng trưởng tổng sinh khối bình quân năm (ΔB_{T0} , tấn/ha/năm)

giảm liên tục từ cấp A = 5 năm (21,45 tấn/ha/năm) đến cấp A = 30 năm (11,64 tấn/ha/năm). Suất tăng trưởng sinh khối của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiên Vàng giảm rất nhanh từ cấp A = 5 năm (20%) đến cấp A = 20 năm (2,7%) và cấp A = 30 năm (0,9%).

3.3.3. Đề xuất phương pháp xác định sinh khối của rừng trồng được

(a) *Xác định sinh khối cây bình quân của rừng trồng được.* Sinh khối cây bình quân của rừng trồng được được xác định theo 3 bước. Bước 1: Thống kê đặc điểm của rừng trồng được ở các tuổi trên các ô tiêu chuẩn tạm thời (OTC) với kích thước 200m² (20 m × 10 m). Số lượng OTC được xác định theo yêu cầu của thống kê tài

nguyên rừng. Trong các OTC, xác định tuổi của rừng trồng được theo lý lịch rừng. Tiếp theo xác định mật độ của rừng trồng được (N, cây), D(cm) và H(m) của các cây cá thể trong các OTC ở các tuổi. Sau đó tính D, H, V_T và N bình quân ở các tuổi theo phương pháp trung bình cộng giản đơn. Bước 2: Xác định các thành phần sinh khối của cây bình quân (B_i , kg/cây). Các thành phần B_i của cây bình quân có thể được ước lượng và dự đoán theo 3 phương pháp. Phương pháp 1: Ước lượng và dự đoán các B_i dựa theo tuổi (A, năm) của rừng trồng được (Hàm 23÷29 ở Bảng 3). Phương pháp 2: Ước lượng và dự đoán các B_i dựa theo D(cm) và H(cm) của rừng trồng được (Hàm 30÷36 ở Bảng 4). Phương pháp 3: Ước lượng và dự đoán các B_i dựa theo hệ số BEF của cây bình quân (Hàm 37÷43 ở Bảng 5); trong đó D và H là giá trị trung bình tại A năm.

(b) *Ước lượng và dự đoán sinh khối của rừng trồng được.* Các thành phần sinh khối của rừng trồng được có thể được xác định theo 3 phương pháp. Phương pháp 1: Xác định các thành phần sinh khối của rừng trồng được dựa theo công thức B_{iA} (tấn/ha) = $N_A \times B_{iBQA}$; trong đó N_A là mật độ trên 1ha, còn B_{iBQA} là sinh khối của cây bình quân tại A năm. Mật độ của rừng trồng tại A năm (N_A , cây/ha) được ước lượng và dự đoán theo Hàm 4 ở Bảng 1. Các thành phần B_{iA} (B_{T0} , B_T , B_C , B_L , B_{CL} , B_R và B_{CLR}) của cây bình quân được ước lượng và dự đoán

tương ứng theo các Hàm 23÷29 ở Bảng 3. Phương pháp 2: Xác định các thành phần sinh khối của rừng trồng được dựa các hàm $B_i = f(A)$ (Hàm 44÷50 ở Bảng 6). Phương pháp 3: Xác định các thành phần sinh khối của rừng trồng được dựa theo quan hệ $B_{iA} = BEF_{iA} \times M_A$. Trong trường hợp này, giá trị M_A được ước lượng và dự đoán theo Hàm 5 ở Bảng 1, còn BEF_i được tính theo các Hàm 51÷57 ở Bảng 7. Tổng sinh khối của rừng trồng trong khu vực nghiên cứu được xác định bằng cách cộng dồn sinh khối của rừng trồng ở các tuổi khác nhau.

3.4. Trữ lượng C và hấp thụ dioxit C tương đương của rừng trồng được

Trữ lượng C (M_C , tấn/ha) trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng được dẫn ra ở Bảng 14. Lượng hấp thụ CO_2 tương đương (M_{CO_2-e} , tấn/ha) của rừng trồng được từ cấp A = 5-30 năm được dẫn ra ở Bảng 15. Từ đó cho thấy, M_C trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tăng dần từ cấp A = 5 năm (50,4 tấn/ha) đến cấp A = 20 năm (144,1 tấn/ha) và cấp A = 30 năm (164,1 tấn/ha). So với tổng M_C trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được (100%), giá trị này trong sinh khối thân là 79,4%, còn lại 20,6% trong sinh khối cành, lá và rễ. M_{CO_2-e} của rừng trồng được ở cấp A = 5, 10, 20 và 30 năm tương ứng lần lượt là 183,5 tấn/ha, 344,3 tấn/ha, 524,7 tấn/ha và 597,4 tấn/ha.

Bảng 14. Trữ lượng carbon trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiến Vàng

Cấp A (năm)	Dự trữ C trong sinh khối (M_C , tấn/ha)					
	Tổng số		Thân		Cành + Lá + Rễ	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
5	50,4	100	39,7	78,8	10,7	21,2
10	94,6	100	74,3	78,5	20,3	21,5
15	124,7	100	98,5	79,0	26,2	21,0
20	144,1	100	114,6	79,5	29,5	20,5
25	156,4	100	125,2	80,0	31,2	20,0
30	164,1	100	132,1	80,5	32,1	19,5

Bảng 15. Khối lượng dioxit carbon tương đương hấp thụ để tạo ra sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiến Vàng

Cấp A (năm)	Hấp thụ dioxit C tương đương (M_{CO_2-e} , tấn/ha)					
	Tổng số		Thân		Cành + Lá + Rễ	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
5	183,5	100	144,6	78,8	38,8	21,2
10	344,3	100	270,4	78,5	73,9	21,5
15	453,9	100	358,4	79,0	95,5	21,0
20	524,7	100	417,2	79,5	107,5	20,5
25	569,5	100	455,8	80,0	113,7	20,0
30	597,4	100	480,8	80,5	116,7	19,5

Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng sinh khối của rừng được trồng ở tuổi 10, 20 và 30 năm tại khu vực Kiến Vàng tương ứng là 201,2 tấn/ha, 306,7 tấn/ha và 340,2 tấn/ha. Khối lượng cacbon dự trữ trong tổng sinh khối trên mặt đất của rừng được trồng ở tuổi 10, 20 và 30 năm tương ứng là 94,6 tấn/ha, 144,1 tấn/ha và 164,1 tấn/ha. Phần lớn sinh khối và trữ lượng C trong sinh khối thân (79,4%), còn lại 20,6% trong sinh khối cành, lá và rễ. Vì thế, nếu sử dụng phương thức khai thác trắng, thì phần lớn các chất khoáng chứa trong sinh khối được chuyển ra khỏi hệ sinh thái rừng được. Sự hao hụt các chất khoáng không chỉ làm giảm sản lượng gỗ và sinh khối của rừng được trồng ở các chu kỳ sau, mà còn làm tăng phát thải khí nhà kính vào không khí.

Tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiến vàng được ước lượng theo các hàm sinh khối của

nghiên cứu này khác với các hàm sinh khối của các tác giả khác (Bảng 16). Theo hàm sinh khối của Vinh và cs. (2019), tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại cấp A = 10 và 15 năm ở khu vực ven biển Kiến Vàng tương ứng lớn hơn 20% và 8,2% so với hàm sinh khối của nghiên cứu này. Trái lại, so với hàm sinh khối của nghiên cứu này, tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại cấp A = 25 và 30 năm tương ứng nhỏ hơn 7,2% và 6,2%. Nếu sử dụng các hàm sinh khối của Bao và cs. (2022), thì kết quả nhận được tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được ở khu vực ven biển Kiến Vàng tại cấp A = 10, 20 và 30 năm tương ứng nhỏ hơn 75,4%, 10,5% và 3,0% so với hàm sinh khối của nghiên cứu này. Sai khác giữa các phương pháp này là do sự khác nhau về phương pháp thu mẫu và phương pháp xây dựng hàm sinh khối (Bao và cs., 2022).

Bảng 16. Tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng được tại khu vực ven biển Kiến vàng được ước lượng theo hàm sinh khối của các tác giả khác nhau

Cấp A (năm)	Phương pháp ước lượng và dự đoán sinh khối của rừng trồng được		
	Nghiên cứu này	Vinh và cs. (2019)	Bao và cs. (2022)
10	201,2	251,4	114,7
15	265,3	288,9	214,1
20	306,7	299,8	277,4
25	332,9	310,5	315,5
30	349,2	328,8	339,2

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng các hàm sinh khối để thống kê và đánh giá sinh khối, trữ lượng C và khả năng hấp thụ dioxit C tương đương của rừng trồng đước từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau. Các thành phần sinh khối ở cây bình quân của rừng trồng đước có thể được ước lượng và dự đoán theo 3 phương pháp: (1) $B_{IA} = f(A)$; (2) $B_{IA} = f(D_A, H_A)$; (3) $B_{IA} = BEF_{IA} \times M_A$. Các thành phần sinh khối của rừng trồng đước có thể được ước lượng và dự đoán theo 3 phương pháp. Phương pháp 1: B_{IA} (tấn/ha) = $N_A \times B_{IBQA}$; trong đó N_A là mật độ trên 1ha, còn B_{IBQA} là sinh khối của cây bình quân tại A năm. Phương pháp 2: B_{IA} (tấn/ha) = $f(A)$. Phương pháp 3: B_{IA} (tấn/ha) = $BEF_{IA} \times M_A$. Tổng sinh khối của rừng trồng đước ở cấp A = 10, 20 và 30 năm tại khu vực Kiến Vàng tương ứng là 201,2 tấn/ha, 306,7 tấn/ha và 340,2 tấn/ha. Tỷ lệ sinh khối thân trung bình ở cấp A = 10, 20 và 30 năm là 79,3%, còn lại 20,7% là sinh khối cành, lá và rễ. Sinh khối của rừng trồng đước chuyển từ giai đoạn tích lũy nhanh sang giai đoạn tích lũy chậm sau cấp A = 30 năm. Suất tăng trưởng sinh khối của rừng trồng đước giảm rất nhanh từ cấp A = 5 năm (20%) đến cấp A = 20 năm (2,7%) và cấp A = 30 năm (0,9%). Trữ lượng C trong sinh khối của rừng trồng đước ở tuổi 10, 20 và 30 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng tương ứng là 50,4 tấn/ha, 144,1 tấn/ha và 164,1 tấn/ha. Kiến nghị các cơ sở lâm nghiệp ở huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau có thể sử dụng kết quả của nghiên cứu này để thống kê và dự đoán sinh khối và trữ lượng C của rừng trồng đước từ cấp tuổi 5 đến 30 năm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

- Ban Quản Lý Rừng Phòng Hộ Kiến Vàng. (2019). Báo cáo Thuyết minh phương án quản lý rừng bền vững đối với rừng phòng hộ và rừng sản xuất giai đoạn 2019-2023.
- Lê Thanh Chiên. (2010). *Nghiên cứu sử dụng hiệu quả gỗ Đước để sản xuất đồ mộc, than hoạt tính*. Viện khoa học lâm nghiệp Việt Nam. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Công nghệ Lâm nghiệp với phát triển rừng bền vững và biến đổi khí hậu năm 2010, trang 412-425.
- Lê Văn Cường. (2025). Sinh trưởng của rừng trồng đước (*Rhizophora apiculata* Blume) tại khu vực ven biển của huyện Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, 14(2), 62-71.
- Nguyễn Thị Hà, Viên Ngọc Nam và Nguyễn Thị Hoa. (2017). Giá trị tích lũy C của rừng đước tại tỉnh Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, 6, 101-107.
- Nguyễn Văn Thềm và Phạm Minh Toại. (2024). Sinh thái rừng. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Ủy ban nhân dân tỉnh Cà Mau. (2023). Quyết định số 347/QĐ-UBND về việc công bố hiện trạng rừng tỉnh Cà Mau năm 2023.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

- Bao, T. Q., Ha, N. T., Nguyet, B. T. M., Hoan, V. M., Viet, L. H., & Hung, D. V. (2022). Aboveground biomass and carbon stock of *Rhizophora apiculata* forest in Ca Mau, Vietnam. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(1), 403-414.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Green House Gases Inventory. Volume 4 "Agriculture, Forestry and Other Land Use". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva.
- Kimmins, J.P. (1998). Forest ecology. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 750 pp.
- Vinh, T.V., Marchand, C., Linh, T.V.K., Vinh, D.D., & Allenbach, M. (2019). Allometric models to estimate above-ground biomass and carbon stocks in *Rhizophora apiculata* tropical managed mangrove forests (Southern Viet Nam). *Forest Ecology and Management*, 434, 131-141.
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest Science*, 39, 594-616.