

**Sinh trưởng của rừng trồng Đước (*Rhizophora apiculata* Blume)
tại khu vực ven biển của huyện Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau**

Lê Văn Cường*

Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai

**Growth of *Rhizophora apiculata* Blume planted forests
in the coastal area of Ngọc Hien district of Ca Mau province**

Le Van Cuong*

Vietnam National University of Forestry – Dongnai Campus

*Corresponding author: lvcuong@vnuf2.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.2.2025.062-071>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/01/2025

Ngày phản biện: 07/02/2025

Ngày quyết định đăng: 10/03/2025

Từ khóa:

Độ thon thân, hàm sản lượng gỗ, hàm thể tích, rừng Đước Cà Mau, tăng trưởng gỗ.

Keywords:

Rhizophora apiculata forests in Ca Mau, stem taper, timber growth, timber production function, volume function.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích quá trình sinh trưởng của rừng trồng Đước từ cấp tuổi 5 đến 25 năm tại khu vực ven biển Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau. Số liệu nghiên cứu bao gồm 15 ô tiêu chuẩn với kích thước 200 m² và 20 cây giải tích từ cấp D = 6 đến 18 cm. Kết quả nghiên cứu cho thấy mật độ của rừng trồng Đước tại cấp tuổi 5, 10, 20 và 25 năm chỉ còn lại 75%, 57,7%, 27,4% và 21,9% so với mật độ trồng rừng ban đầu. Năng suất gỗ của rừng trồng Đước tại cấp tuổi 10, 20 và 25 năm tương ứng là 18,3 m³/ha/năm; 13,7 m³/ha/năm và 11,9 m³/ha/năm. Suất tăng trưởng sản lượng gỗ của rừng trồng Đước giảm rất nhanh từ cấp tuổi 5 năm (20,0%) đến cấp tuổi 20 năm (2,5%) và cấp tuổi 25 năm (1,5%). Sản lượng gỗ của rừng trồng Đước chuyển từ giai đoạn tăng trưởng nhanh sang giai đoạn tăng trưởng chậm tại cấp tuổi 5 năm. Tuổi thành thực số lượng của rừng trồng Đước là cấp tuổi 10 năm. Những phát hiện từ nghiên cứu này góp phần cơ sở khoa học và thực tiễn để thống kê sản lượng gỗ và phân tích hiệu quả kinh tế đối với rừng Đước trồng tại khu vực.

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the growth process of *Rhizophora apiculata* planted forests from 5-25 years old in the Kien Vang coastal area of Ca Mau Province. The research data included 15 standard plots with a size of 200m² and 20 trees analyzed from level D = 6-18cm. The research results showed that the density of *R. apiculata* planted forests at level A = 5, 10, 20 and 25 years old was only 75%, 57.7%, 27.4% and 21.9% compared to the initial planting density. The timber productivity of *R. apiculata* planted forests at level A = 10, 20, and 25 years old was 18.3m³/ha/year; 13.7m³/ha/year, and 11.9m³/ha/year, respectively. The growth rate of timber production of *R. apiculata* planted forests decreased very rapidly from level A = 5 years (20.0%) to level A = 20 years (2.5%) and level = 25 years (1.5%). Timber production of *R. apiculata* planted forests changed from the fast growth stage to the slow growth stage at level A = 5 years. The age of maturity of *R. apiculata* planted forests was level A = 10 years. The findings from this study contribute to the scientific and practical basis for wood production statistics and economic efficiency analysis of *R. apiculata* planted forests on the site.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phân tích sự biến đổi về sản lượng của rừng ngập mặn theo các vùng địa lý khác nhau là nhiệm vụ quan trọng của lâm học. Các nhà lâm học sử dụng sản lượng rừng không chỉ để đánh giá sức sản xuất của các lập địa, mà còn xây dựng các phương thức lâm sinh [1]. Các nhà kinh tế sử dụng sản lượng rừng để phân tích hiệu quả kinh doanh rừng. Vì thế, kết quả nghiên cứu về sản lượng rừng mang lại ý nghĩa lớn về khoa học và thực tiễn sản xuất.

Rừng Đước (*Rhizophora apiculata* Blume) phân bố tập trung ở khu vực ven biển Tây Nam Bộ. Rừng Đước không chỉ đóng vai trò quan trọng về kinh tế, mà còn cả môi trường và quốc phòng. Trước đây một số tác giả [2-5] đã nghiên cứu về sinh trưởng của rừng Đước ở khu vực ven biển Nam Bộ. Tuy vậy, hiện nay khoa học vẫn còn thiếu các thông tin về sinh trưởng của rừng Đước trồng ở mức địa phương. 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%) [6]. Thống kê tài nguyên và phân tích hiệu quả lâm sinh và kinh tế của rừng Đước trồng đòi hỏi phải có các biểu thể tích thân cây đứng và biểu thể tích gỗ sản phẩm. Tuy vậy, hiện nay ngành lâm nghiệp tỉnh Cà Mau vẫn còn thiếu các loại biểu này. Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, nghiên cứu này được đặt ra nhằm trả lời 2 câu hỏi chính. Một là độ thon và hình dạng thân cây Đước có dạng như thế nào? Hai là sinh trưởng của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển của huyện Ngọc Hiển thay đổi theo tuổi như thế nào? Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm độ thon và hàm sản lượng gỗ ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng từ cấp tuổi 5 đến 25 năm. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để xây dựng các biểu thể tích và phân tích hiệu quả lâm sinh và kinh tế đối với rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và vị trí khu vực nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng Đước trồng thuần loài từ cấp tuổi 5 đến 25 năm. Mật độ trồng rừng Đước ban đầu là 10.000 cây/ha. Rừng Đước trồng đã được tỉa thưa 3 lần ở tuổi 5, 10 và 15 năm. Số liệu về độ thon thân và sản lượng gỗ của rừng Đước trồng được thu thập tại khu vực ven biển Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau. Tọa độ địa lý: 8°39'33" vĩ Bắc và 105°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, mùa khô từ tháng 12 năm trước đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm 26,5°C. Lượng mưa trung bình năm 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.

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

(a) *Xác định các đặc điểm của rừng Đước trồng.*

Số liệu nghiên cứu bao gồm các thành phần sản lượng ở mức cây bình quân (đường kính thân ngang ngực = D (cm) tại vị trí 1,3m kể từ cổ rễ khí sinh; chiều cao toàn thân = H , m; thể tích thân = V , m³) và quần thụ Đước (mật độ = N , cây/ha; tiết diện ngang thân = G , m²/ha; sản lượng gỗ = M , m³/ha). Đặc điểm của rừng Đước trồng được thu thập theo 5 cấp tuổi ($A = 5, 10, 15, 20$ và 25 năm). Mỗi cấp A 3 ô tiêu chuẩn (OTC). Tổng số 5 cấp A là 15 OTC. Diện tích OTC là 200 m² (20×10 m). Trong các OTC, chu vi thân ngang ngực (CV , cm) của từng cây được đo bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm; sau đó quy đổi ra D (cm). Chỉ tiêu H được đo bằng thước đo cao Blume leise với độ chính xác 0,5 m.

(b) *Xác định độ thon thân cây Đước.*

Độ thon thân cả vỏ (D_{hcv} , cm) và không vỏ (D_{hov} , cm) của cây Đước được xác định từ 20

cây mẫu phân bố từ cấp $D = 6 \div 18$ cm; trong đó mỗi cấp A là 4 cây.

Các cây mẫu được chặt hạ cách cổ rễ khí sinh 30 cm. Tất cả cây mẫu được xác định chiều dài toàn thân (H, m) bằng thước dây với độ chính xác 1,0 cm. Thân cây được phân chia thành 10 đoạn với chiều dài bằng nhau (0,1 H). Đường kính thân cả vỏ (D_{CV} , cm) và không vỏ (D_{OV} , cm) tại vị trí ngang ngực (1,3 m kể từ cổ rễ khí sinh), đường kính thân cả vỏ và không

vỏ ở đầu nhỏ (tương ứng D_{1CV} và D_{1OV}) và đầu lớn (tương ứng D_{2CV} và D_{2OV}) của mỗi phân đoạn được xác định bằng thước dây với độ chính xác 1,0 cm. Bảng 1 tổng hợp một số đặc trưng thống kê đối với Dh_{CV} và Dh_{OV} theo cấp D (cm) đối với 20 cây mẫu. Ở Bảng 1, $Dh_{1,3}$, $Dh_{0,5}$ và $D_{0,75}$ tương ứng là Dh tại vị trí chiều dài thân $h = 1,3$ m, $h = 0,5$ H và $h = 0,75$ H kể từ cổ rễ khí sinh.

Bảng 1. Đường kính thân cây cả vỏ và không vỏ theo cấp kính và chiều cao thân cây của Đước

Cấp D (cm)	H (m)	Dh cả vỏ (cm)			Dh không vỏ (cm)		
		$Dh_{1,3}$	$Dh_{0,5}$	$Dh_{0,75}$	$Dh_{1,3}$	$Dh_{0,5}$	$Dh_{0,75}$
6	7,6	5,7	4,9	3,7	5,2	4,5	3,4
8	9,7	7,8	6,6	4,9	7,3	6,2	4,6
10	11,7	10,0	8,2	6,0	9,4	7,7	5,7
12	13,7	12,2	9,6	7,0	11,4	9,0	6,6
14	14,4	14,4	11,0	7,9	13,5	10,3	7,4
16	15,4	16,7	12,3	8,7	15,5	11,4	8,0
18	16,5	19,0	13,5	9,4	17,5	12,4	8,5
20	17,3	21,4	14,7	10,0	19,5	13,3	9,0

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Trình tự xử lý số liệu được thực hiện theo 3 bước. Bước 1: Xây dựng hàm độ thon thân cây Đước. Kết quả ở bước này cung cấp cơ sở khoa học cho việc xác định thể tích thân cây Đước. Bước 2: Xây dựng các hàm sản lượng gỗ ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng. Kết quả ở bước này cung cấp cơ sở khoa học để xác định sản lượng ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng. Bước 3: Phân tích quá trình sinh trưởng của rừng Đước trồng. Kết quả ở bước này cho biết những đặc trưng sinh trưởng của rừng Đước trồng ở những tuổi

khác nhau.

2.3.1. Xây dựng hàm độ thon thân cây Đước

Các hàm độ thon thân cả vỏ (Dh_{CV}) và không vỏ (Dh_{OV}) đối với cây Đước được kiểm định từ 3 hàm dự tuyến 1-3 (Bảng 2) [7, 8]. Ba hàm 1-3 được kí hiệu tương ứng là Lee2003, Thên22-1 và Thên22-2. Ở hàm 1-3, D (cm) là đường kính thân ở vị trí 1,3 m kể từ cổ rễ khí sinh; Dh (cm) là đường kính ở những vị trí khác nhau trên thân; H (m) là chiều dài toàn thân; h (m) là chiều dài từ rễ khí sinh đến những vị trí khác nhau trên thân; $Y = (h/H)$; $X = (H - h)/(H - 1,3)$.

Bảng 2. Các hàm độ thon dự tuyến

Hàm	Các hàm độ thon dự tuyến:	Tác giả
1	$Dh = a_1 D^{a_2} (1 - \sqrt{Y})^{(a_3 Y^2 + a_4 Y + a_5)}$	Lee (2003)
2	$Dh = a_1 (D^3 H)^{a_2} a_3 \sqrt{Y}^{(a_4 Y + a_5 Y^2 + a_6 X + a_7 (D/H))}$	Thên (2022-1)
3	$Dh = a_1 (D^2 H)^{a_2} a_3 \sqrt{Y}^{(a_4 Y + a_5 Y^2 + a_6 X + a_7 (D/H))}$	Thên (2022-2)

2.3.2. Xây dựng hàm sản lượng đối với rừng Đước trồng

(a) Hàm sinh trưởng đường kính và chiều cao của cây bình quân.

So sánh các hàm hồi quy cho thấy sự biến đổi của D và H theo A năm của rừng Đước trồng có dạng đường cong Sigmoid (S-Curve). Vì thế, hàm sinh trưởng D và H ở mức cây bình quân được mô tả theo hàm Korf (1939; Dẫn theo Zeide, 1993) [9] (Hàm 4); trong đó Y = D và H, còn m, b và c là ba tham số.

$$Y = m \exp(-b \times A^{-c}) \quad (4)$$

(b) Hàm ước lượng thể tích của cây bình quân.

Từ hai hàm D_{cv} và D_{ov} thích hợp (SSR_{Min}), ước lượng D_{cv} và D_{ov} theo các cấp $D = 6 \div 20$ cm; trong đó mỗi cấp $D = 2$ cm. Sau đó xác định thể tích thân cây đứng cả vỏ (V_{cv}) và không vỏ (V_{ov}) ở mức cây bình quân của rừng Đước theo công thức 5; trong đó V_j = thể tích cây j, V_{ij} = thể tích phân đoạn i của cây j, V_{nj} = thể tích đoạn ngọn của cây j. Thể tích các phân đoạn (V_{ij}) được xác định theo công thức hình nón cụt (công thức 6); trong đó $L(m) = 0,1 H$, D_1 (cm) = đường kính đầu lớn cả vỏ và không vỏ của mỗi phân đoạn, D_2 (cm) = đường kính đầu nhỏ cả vỏ và không vỏ của mỗi phân đoạn. Thể tích đoạn ngọn của từng cấp D (V_{nj}) được tính theo công thức hình nón (công thức 7); trong đó $g_n = 0,00007854 \times D_n^2$ với D_n = đường kính đáy đoạn ngọn cả vỏ và không vỏ, $L_n(m)$ = chiều dài đoạn ngọn (0,1 H). Sau đó xây dựng các hàm V_{cv} và V_{ov} theo 3 hàm 8÷10; trong đó D là đường kính ở vị trí 1,3 m kể từ cổ rễ khí sinh, H = chiều cao toàn thân, còn b_i , c_i và d_i là các tham số của các hàm hồi quy. Hàm 8 được sử dụng để xác định tổng thể tích thân cây đứng cả vỏ và không vỏ. Hàm 9 được sử dụng để xác định tổng thể tích của các phân đoạn với đường kính thu hoạch ở đầu nhỏ (D_h , m). Thể tích vỏ (V_{vo} , m^3) là hiệu số ($V_{cv} - V_{ov}$). Hình số thân ngang ngược ($F = V_{cv}/V_{viên\ trục}$) ở các cấp D khác nhau được xác định theo hàm 11.

$$V_j = \sum V_{ij} + V_{nj} \quad (5)$$

$$V_{ij} (m^3) = \frac{\pi L}{(3 \times 4 \times 10000)} (D_1^2 + D_2^2 + (D_1 \times D_2)) \quad (6)$$

$$V_{nj} = (1/3) g_{nj} L_n \quad (7)$$

$$V_1 = b_1 + b_2 \times (D^2 H) \quad (8)$$

$$V_2 = \exp(c_1 + c_2 \times \ln(D \times H) + c_3 \times (h/H)^{-c_4}) \quad (9)$$

$$V_3 = \exp(d_1 + d_2 \times \ln(D \times H) + d_3 \times (D_h/D)^{d_4}) \quad (10)$$

$$F = m \exp(-b \times D) + k \quad (11)$$

(c) Xây dựng hàm sản lượng gỗ đối với rừng Đước trồng.

Sản lượng gỗ cây đứng cả vỏ và không vỏ của rừng Đước trồng tại tuổi A năm (M_A , m^3/ha) được xác định theo công thức 12; trong đó N_A là mật độ của rừng Đước trồng tại A năm, còn V_{BQA} là thể tích gỗ cả vỏ và không vỏ của cây bình quân tại A năm. Mật độ của rừng Đước trồng tại A năm được ước lượng theo hàm 13; trong đó b, c và k là ba tham số. Hàm ước lượng hai biến G và M được mô tả theo dạng hàm Sigmoid (Hàm 14); trong đó $Y_A = G$ và M tại A năm.

$$Y_A = N_A \times V_{BQA} \quad (12)$$

$$N_A = b \exp(-c \times A) + k \quad (13)$$

$$Y_A = \exp(b - c/A) \quad (14)$$

2.3.3. Phân tích sinh trưởng của rừng Đước trồng

Sự biến đổi theo A năm của các thành phần sản lượng ở mức cây bình quân (D, H, V, F) và N, G và M ở mức quần thụ được xác định tương ứng bằng cách khảo sát các Hàm 4, 8, 11 và 14. Lượng tăng trưởng bình quân theo định kỳ n năm đối với các thành phần sản lượng của rừng Đước trồng được tính theo công thức 15; trong đó $Y_A = D, H, V, F, N, G$ và M tại A năm, còn n = 5 là số năm định kỳ tính lượng tăng trưởng. Lượng tăng trưởng bình quân đối với các thành phần sản lượng được tính theo công thức 16. Suất tăng trưởng đối với các thành phần sản lượng của rừng Đước trồng được tính theo công thức 17.

$$ZY_A = \frac{Y_A - Y_{(A-n)}}{n} \quad (15)$$

$$\Delta M_A = \frac{Y_A}{A} \quad (16)$$

$$PY_A = \frac{ZY_A}{Y_A} \times 100 \quad (17)$$

2.3.4. Đánh giá sai lệch của các hàm hồi quy

Các hệ số hồi quy và những thống kê sai lệch của các hàm Dh và hàm sinh trưởng (D, H, V, N, G, M) 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 18), tổng sai lệch bình phương (SSR; công thức 19); sai số chuẩn của ước lượng (SEE; công thức 20), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; công thức 21) và sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; công thức 22). Ở công thức 18-22, Y_i và Y_j tương ứng là biến phụ thuộc thực và ước lượng; Y_{Bq} là biến phụ thuộc trung bình thực; n = dung lượng quan sát; p = số tham số của hàm độ thon. Hàm Dh thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSR_{Min} . Các bước phân tích hồi quy và tương quan được thực hiện bằng phần mềm thống kê STATGRAPHICS Centurion XV.I 15.1.02.

$$R^2 = [1 - \frac{\sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_j)^2}{\sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_{Bq})^2}] \times 100 \quad (18)$$

$$SSR = \sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_j)^2 \quad (19)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSR}{n - p}} \quad (20)$$

$$Dh_{CV} = 0,742074(D^3H)^{0,273063}(1,49028 - \sqrt{Y})^{(-0,243737Y + 0,641048Y^2 - 0,673399X + 1,16452(D/H))}$$

$$Dh_{OV} = 0,61086(D^3H)^{0,293283}(1,25762 - \sqrt{Y})^{(-0,423265Y + 0,406145Y^2 - 0,580976X + 0,937572(D/H))}$$

Độ thon thân cây Đước từ cấp $D = 6-18$ cm được biểu diễn ở Hình 1; trong đó trục hoành là chiều cao tương đối ($H/10$). Hiệu số ($Dh_{CV} - Dh_{OV}$) là độ dày vỏ. Hình 2 dẫn ví dụ về độ dày vỏ của cây Đước ở cấp $D = 18$ cm. Nói chung,

$$MAE = |(Y_i - Y_j)/n| \quad (21)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{Y_i} \times 100 \quad (22)$$

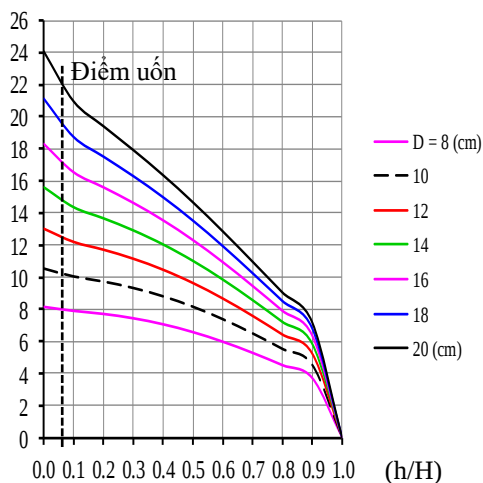
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm độ thon thân cây Đước

Các hàm ước lượng Dh_{CV} (Bảng 3) và Dh_{OV} (Bảng 4) ở mức cây bình quân của rừng Đước trồng từ cấp $A = 5$ đến 25 năm tồn tại với hệ số xác định (R^2) cao nhất ở Hàm 2 (tương ứng $R^2 = 92,8\%$ đối với hàm Dh_{CV} và Dh_{OV}), thấp nhất ở Hàm 1 (tương ứng $R^2 = 92,0\%$ và $92,7\%$ đối với hàm Dh_{CV} và Dh_{OV}). Tổng sai lệch bình phương (SSE) nhận giá trị cao nhất ở hàm Lee03 (tương ứng 93,7 và 81,3 đối với hàm Dh_{CV} và Dh_{OV}), thấp nhất ở Hàm 2 (tương ứng 84,3 và 73,1 đối với hàm Dh_{CV} và Dh_{OV}). Từ những phân tích trên đây cho thấy, theo tiêu chuẩn SR_{Min} , Hàm 2 (Thêm 22-1) là hàm thích hợp để ước lượng Dh_{CV} và Dh_{OV} ở mức cây bình quân của rừng Đước trồng. Từ Bảng 3 và 4, hai hàm Dh_{CV} và Dh_{OV} có dạng như sau:

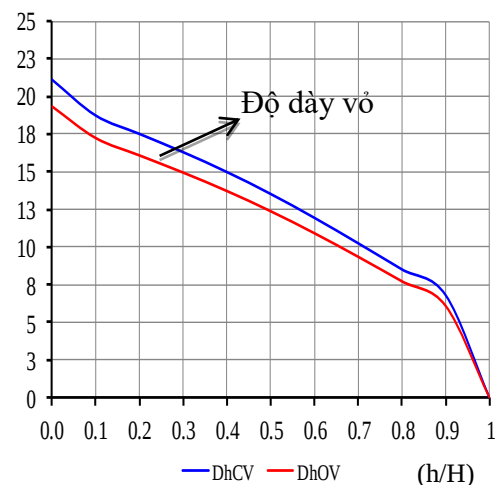
hình dạng thân cây Đước thay đổi theo kích thước thân (D , H) và chiều cao tương đối (h/H); trong đó điểm uốn xuất hiện ở khoảng $0,10 H$ kể từ cổ rễ khí sinh.

Dh_{CV} (cm)



Hình 1. Đồ thị biểu diễn độ thon thân cả vỏ của các cây Đước từ cấp $D = 8-18$ cm

Dh_{CV} và Dh_{OV} (cm)



Hình 2. Đồ thị biểu diễn độ dày vỏ của cây Đước ở cấp $D = 18$ cm

Bảng 3. Các hàm ước lượng độ thon thân cả vỏ của cây Đước trồng

Tham số và sai lệch	Các hàm độ thon dự tuyển		
	(1) Lee2003	(2) Thềm22-1	(3) Thềm22-2
a_1	1,05625	0,742074	0,70928
a_2	1,01037	0,273063	0,35251
a_3	-0,16798	1,490280	1,66140
a_4	0,38915	-0,243737	0,43291
a_5	0,10732	0,641048	0,56440
a_6		-0,673399	-0,62156
a_7		1,164520	1,29190
R^2 (%)	92,0	92,8	92,6
SSR	93,7	84,7	84,7
SEE	1,050	1,010	1,010
MAPE	10,2	9,6	9,7

Bảng 4. Các hàm ước lượng độ thon thân không vỏ của cây Đước trồng

Tham số và sai lệch	Các hàm độ thon dự tuyển:		
	(1) Lee2003	(2) Thềm22-1	(3) Thềm22-2
a_1	0,97795	0,61086	0,62828
a_2	1,01131	0,29328	0,34198
a_3	-0,20616	1,25762	1,75442
a_4	0,44362	-0,42327	1,08995
a_5	0,08677	0,40615	0,38201
a_6		-0,58098	-0,51786
a_7		0,93757	1,36160
R^2 (%)	92,8	92,8	92,8
SSR	81,3	73,1	73,5
SEE	0,978	0,939	0,941
MAPE	10,2	9,5	9,8

3.2. Các hàm sản lượng của rừng Đước trồng

3.2.1. Các hàm sản lượng ở mức cây bình quân

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy đường kính bình quân (D , cm) của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm được ước lượng theo Hàm 23 ($D = 89,7349 \times \exp(-4,469 \times A^{-0,2738})$). Chiều cao (H , m) của cây Đước từ cấp A = 5-25 năm và cấp D = 6-18 cm được ước lượng tương ứng theo Hàm 24 ($H = 43,7376 \times \exp(-43,08927 \times A^{-0,312109})$) và Hàm 25 ($H = 32,7719 \times \exp(-5,09424 \times D^{-0,69343})$). Hàm ước lượng tổng thể tích thân cả vỏ và không vỏ dựa theo hai biến D và H có dạng tương ứng như Hàm 26 ($V_{CV} = -0,00514299 + 0,0000775101 \times (D^2 \times H)^{0,943296}$) và Hàm 27 ($V_{OV} = -0,00883529 + 0,0001564 \times (D^2 \times H)^{0,843196}$). Hàm ước lượng thể tích của các phân đoạn gỗ cả vỏ và không vỏ theo chiều cao tương đối (h/H) của cây Đước tương ứng có dạng như Hàm 28

($V_{hCV} = \exp(-10,1213 + 1,62702 \times \ln(D \times H) - 0,529084 \times (h/H)^{-0,598996})$) và Hàm 29 ($V_{hOV} = \exp(-9,58986 + 1,49931 \times \ln(D \times H) - 0,518583 \times (h/H)^{-0,604187})$). Hàm ước lượng thể tích của các phân đoạn gỗ cả vỏ và không vỏ theo đường kính tương đối (Dh/D) của cây Đước tương ứng có dạng như Hàm 30 ($V_{DhCV} = \exp(-10,8131 + 1,64195 \times \ln(D \times H) - 2,31035 \times (Dh/D)^{7,82681})$) và Hàm 31 ($V_{DhOV} = \exp(-10,2815 + 1,51606 \times \ln(D \times H) - 2,33259 \times (Dh/D)^{7,92659})$). Hình số thân cây Đước từ cấp D = 6-18 cm được ước lượng theo Hàm 32 ($F = -7,53095 \times \exp(-26,5614 \times D^{-0,535375}) + 0,618011$). Các hàm này đều có hệ số xác định rất cao ($R^2 = 97,3\%$ đối với D đến $99,9\%$ đối với V_{CV}) và sai lệch nhỏ ($MAPE < 20\%$). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng D , H , V và F ở mức cây bình quân của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm.

$$D = 89,7349 \times \exp(-4,469 \times A^{-0,2738}) \quad (23)$$

$$r^2 = 97,3\%; \text{SEE} = \pm 0,83; \text{MAE} = 0,49; \text{MAPE} = 5,9\%$$

$$H = 43,7376 \times \exp(-43,08927 \times A^{-0,312109}) \quad (24)$$

$$r^2 = 99,27\%; \text{SEE} = \pm 0,35; \text{MAE} = 0,21; \text{MAPE} = 2,2\%$$

$$H = 32,7719 \times \exp(-5,09424 \times D^{-0,69343}) \quad (25)$$

$$r^2 = 99,74\%; \text{SEE} = \pm 0,2029; \text{MAE} = 0,1034; \text{MAPE} = 0,9\%$$

$$V_{CV} = -0,00514299 + 0,0000775101 \times (D^2 \times H)^{0,943296} \quad (26)$$

$$R^2 = 99,99\%; \text{SEE} = \pm 0,0007; \text{MAE} = 0,0006; \text{MAPE} = 1,1\%$$

$$V_{OV} = -0,00883529 + 0,0001564 \times (D^2 \times H)^{0,843196} \quad (27)$$

$$R^2 = 99,98\%; \text{SEE} = \pm 0,0018; \text{MAE} = 0,0013; \text{MAPE} = 3,7\%$$

$$Vh_{CV} = \exp(-10,1213 + 1,62702 \times \ln(D \times H) - 0,529084 \times (h/H)^{-0,598996}) \quad (28)$$

$$R^2 = 99,83\%; \text{SEE} = \pm 0,0062; \text{MAE} = 0,0044; \text{MAPE} = 6,4\%$$

$$Vh_{OV} = \exp(-9,58986 + 1,49931 \times \ln(D \times H) - 0,518583 \times (h/H)^{-0,604187}) \quad (29)$$

$$R^2 = 99,81\%; \text{SEE} = \pm 0,0054; \text{MAE} = 0,0039; \text{MAPE} = 11,6\%$$

$$VDh_{CV} = \exp(-10,8131 + 1,64195 \times \ln(D \times H) - 2,31035 \times (Dh/D)^{7,82681}) \quad (30)$$

$$R^2 = 99,43\%; \text{SEE} = \pm 0,0117; \text{MAE} = 0,0086; \text{MAPE} = 14,5\%$$

$$VDh_{OV} = \exp(-10,2815 + 1,51606 \times \ln(D \times H) - 2,33259 \times (Dh/D)^{7,92659}) \quad (31)$$

$$R^2 = 99,37\%; \text{SEE} = \pm 0,0096; \text{MAE} = 0,0073; \text{MAPE} = 18,5\%$$

$$F = -7,53095 \times \exp(-26,5614 \times D^{-0,535375}) + 0,618011 \quad (32)$$

$$r^2 = 90,92\%; \text{SEE} = \pm 0,0094; \text{MAE} = 0,0057; \text{MAPE} = 1,0\%$$

3.2.2. Các hàm sản lượng ở mức quần thụ Đước trồng

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy hàm mật độ N (cây/ha), tiết diện ngang cả vỏ (G_{CV} , m^2/ha) và sản lượng gỗ cả vỏ (M_{CV} , m^3/ha) ở mức quần thụ Đước trồng có dạng

như Hàm 33-35 (Bảng 5). Các hàm này đều có hệ số xác định rất cao ($R^2 > 93,0\%$) và sai lệch nhỏ ($\text{MAPE} < 10\%$). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng N, G và M của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm.

Bảng 5. Các hàm sản lượng của quần thụ Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm

Các hàm sản lượng	$R^2(\%)$	$\pm \text{SEE}$	MAPE	Hàm
$N = 14982,3 \times \exp(-0,127135 \times A) + 1563,65$	99,3	354,5	6,3	(33)
$G_{CV} = \exp(3,69915 - 3,33195/A)$	93,1	1,8	4,5	(34)
$M_{CV} = \exp(6,01738 - 8,06932/A)$	99,68	5,5	2,0	(35)

3.2.3. Sản lượng của rừng Đước trồng ở những cấp tuổi khác nhau

Từ các hàm ước lượng D (Hàm 23), H (Hàm 24), V_{CV} (Hàm 26), F (Hàm 32), N (Hàm 33), G_{CV} (Hàm 34) và M_{CV} (Hàm 35), xác định được sản

lượng ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm và dự đoán đến cấp A = 30 năm (Bảng 6). Bảng 7 và Hình 3 tóm tắt tăng trưởng D và H ở mức cây bình quân và M_{CV} của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm.

Bảng 6. Sản lượng của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm

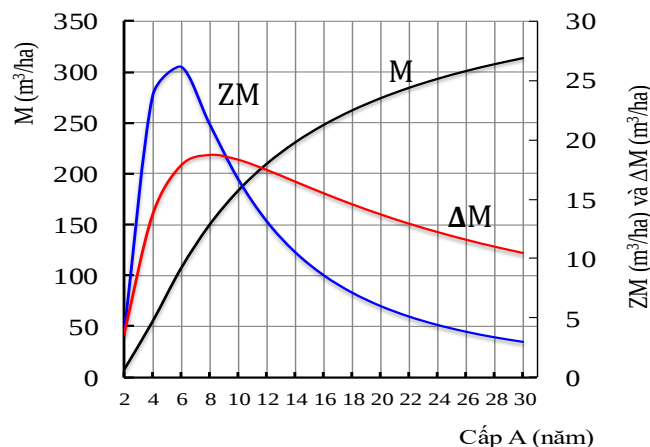
A(năm)	N(cây/ha)	D(cm)	H(m)	F	V(m^3 /cây)	G(m^2 /ha)	M(m^3 /ha)
5	9498	5,1	6,7	0,618	0,00860	20,8	81,7
10	5765	8,3	9,7	0,617	0,03178	29,0	183,2
15	3789	10,7	11,6	0,614	0,06326	32,4	239,7
20	2742	12,5	13,0	0,610	0,10000	34,2	274,2
25	2188	14,1	14,1	0,606	0,13588	35,4	297,3
30	1894	15,4	15,0	0,602	0,16563	36,2	313,7

Đường kính và chiều cao bình quân của rừng Đước trồng thay đổi rõ rệt theo A năm. Lượng tăng trưởng D bình quân theo định kỳ 5 năm giảm dần từ cấp A = 5 năm ($ZD = 1,0$ cm/năm) đến cấp A = 20 năm (0,4 cm/năm) và cấp A = 30 năm (0,3 cm/năm). Lượng tăng trưởng D bình quân năm giảm liên tục từ cấp A = 5 năm ($\Delta D = 1,0$ cm/năm) đến cấp A = 20 năm (0,6 cm/năm) và cấp A = 30 năm (0,5 cm/năm). Lượng tăng trưởng H bình quân theo định kỳ 5 năm giảm dần từ cấp A = 5 năm ($ZH = 1,3$ m/năm) đến cấp A = 20 năm (0,3 m/năm) và cấp A = 30 năm (0,2 m/năm). Lượng tăng trưởng H bình quân năm giảm liên tục từ cấp A = 5 năm ($\Delta H = 1,3$ m/năm) đến cấp A = 20 năm (0,7 m/năm) và cấp A = 30 năm (0,5 m/năm). Lượng tăng trưởng M bình

quân theo định kỳ 5 năm tăng dần từ cấp A = 5 năm ($ZM = 16,3$ m³/ha/năm) và đạt cao nhất tại cấp A = 10 năm (20,3 m³/ha/năm); sau đó giảm nhanh đến cấp A = 30 năm (3,3 m³/ha/năm). Lượng tăng trưởng M bình quân năm tăng dần từ cấp A = 5 năm ($\Delta M = 18,3$ m³/ha/năm) và đạt cao nhất tại cấp A = 10 năm (18,3 m³/ha/năm); sau đó giảm nhanh đến cấp A = 30 năm (10,5 m³/ha/năm). Thời điểm xuất hiện ZM_{Max} và ΔM_{Max} tương ứng tại cấp A = 5 năm và 10 năm. Vì thế, sản lượng gỗ của rừng Đước trồng tại khu vực Kiến Vàng chuyển từ giai đoạn tăng trưởng nhanh sang giai đoạn tăng trưởng chậm tại cấp A = 5 năm. Tuổi thành thực số lượng của rừng Đước trồng tại khu vực Kiến Vàng là cấp A = 10 năm.

Bảng 7. Tăng trưởng đường kính, chiều cao và sản lượng gỗ của rừng Đước trồng

Cấp A (năm)	ZD (cm/năm)	ΔD (cm/năm)	ZH (m/năm)	ΔH (m/năm)	$ZM^{(*)}$ (m ³ /ha/năm)	$\Delta M^{(*)}$ (m ³ /ha/năm)	PM%
5	1,0	1,0	1,3	1,3	16,3	16,3	20,0
10	0,7	0,8	0,6	1,0	20,3	18,3	11,1
15	0,5	0,7	0,4	0,8	11,3	16,0	4,7
20	0,4	0,6	0,3	0,7	6,9	13,7	2,5
25	0,3	0,6	0,2	0,6	4,6	11,9	1,5
30	0,3	0,5	0,2	0,5	3,3	10,5	1,1



Hình 3. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sản lượng gỗ cả vỏ của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm tại khu vực Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau

3.3. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.1. Thảo luận

Nghiên cứu này đã xây dựng các hàm độ thon thân và hàm sản lượng gỗ cả vỏ và không vỏ ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng. Các hàm này đều tồn tại ở mức ý nghĩa

rất cao ($P < 0,01$) và sai lệch nhỏ. Vì thế, chúng có thể được sử dụng để ước lượng và dự đoán độ thon thân, sản lượng gỗ cả vỏ và không vỏ ở mức cây bình quân và quần thụ Đước trồng từ cấp A = 5-25 năm và dự đoán đến cấp A = 30 năm.

Mật độ trồng rừng Đước ban đầu tại khu vực ven biển Kiến Vàng là 10.000 cây/ha. So với mật độ trồng rừng ban đầu (100%), mật độ của rừng Đước trồng tại cấp A = 5, 10, 20 và 25 năm chỉ còn lại 75%, 57,7%, 27,4% và 21,9%. Mật độ của rừng Đước trồng giảm nhanh theo tuổi không chỉ là do tỉa thưa tự nhiên, mà còn do tỉa thưa nhân tạo tại cấp A = 10 và 20 năm. Sinh trưởng của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Kiến Vàng thay đổi rất rõ rệt theo tuổi. Lượng tăng trưởng hàng năm về D và H chỉ tăng nhanh từ sau khi trồng đến cấp A = 5 năm; sau đó giảm rất nhanh từ cấp A = 10 năm đến cấp A = 30 năm. Trong giai đoạn cấp A < 10 năm, lượng tăng trưởng bình quân năm đạt tương ứng trên 0,8 cm về D và trên 1,0m về H. Đại lượng này ở cấp A ≥ 20 năm giảm tương ứng còn dưới 0,6cm về D và dưới 0,7 m về H. Lượng tăng trưởng hàng năm và trung bình năm về M tăng nhanh từ sau khi trồng và đạt cao nhất tại cấp A = 10 năm; sau đó giảm rất nhanh từ cấp A = 10 năm đến cấp A = 30 năm. Năng suất gỗ hàng năm tại cấp A = 10, 20 và 30 năm đạt tương ứng là 20,3 m³/ha/năm, 6,9 m³/ha/năm và 3,3 m³/ha/năm. Năng suất gỗ bình quân năm tại cấp A = 10, 20 và 30 năm đạt tương ứng là 18,3 m³/ha/năm, 13,7 m³/ha/năm và 10,5 m³/ha/năm. Nói chung, năng suất gỗ bình quân năm của rừng Đước trồng tại cấp A = 25 năm ở khu vực ven biển Kiến Vàng (11,9 m³/ha/năm) cao hơn so với khu vực ven biển Cần Giờ thuộc Thành phố Hồ Chí Minh (10,3 m³/ha/năm) [5] và khu vực ven biển tỉnh Bến Tre (6,0 m³/ha/năm) [4].

Phân tích quá trình sinh trưởng của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Kiến Vàng cho thấy suất tăng trưởng M (PM%) giảm rất nhanh từ 20% tại cấp A = 5 năm đến 11,1% tại cấp = 10 năm và 1,5% tại cấp A = 25 năm. Dự đoán suất tăng trưởng M tại cấp A = 30 năm chỉ còn khoảng 1,1%. Rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Kiến Vàng tăng trưởng nhanh ở giai đoạn dưới 10 tuổi là do kích thước của các

cây cá thể còn nhỏ và khoảng cách giữa các cây lớn. Điều đó tạo ra không gian đủ sống cho các cây cá thể. Từ cấp A = 10 năm trở đi, mặc dù đã được tỉa thưa, nhưng mật độ còn lại vẫn ở mức rất cao. Kết quả là rừng Đước vẫn tăng trưởng rất chậm. Giả định giá 1 đơn vị gỗ sản phẩm là không đổi theo kích thước thân. Theo giả định này, suất giá trị gia tăng hàng năm từ cấp A ≥ 20 năm ($I < 2,5\%$) nhỏ hơn rất nhiều so với lãi suất vay vốn trồng rừng ($r > 6\%$). Đây là khó khăn rất lớn đối với hoạt động kinh doanh rừng Đước trồng. Khó khăn này chỉ được giải quyết khi ngành lâm nghiệp nhận được sự hỗ trợ về vốn trồng rừng Đước.

3.3.2. Áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.2.1. Ước lượng độ thon thân cây Đước trồng

Hai thành phần D_{hCV} và D_{hOV} của cây Đước trồng từ cấp D = 6-18 cm được ước lượng tương ứng theo Hàm 2 (Thêm22-1 ở Bảng 3 và 4). Khi xác định D_{hCV} và D_{hOV} của cây Đước trồng, trước hết đo D và H của từng cây trong ô tiêu chuẩn với kích thước 200 m². Sau đó thay thế D, H và chiều cao tương đối (h/H) vào Hàm 2 ở Bảng 3 và 4 để nhận được D_{hCV} và D_{hOV} . Chiều cao từ cổ rễ khí sinh đến các vị trí khác nhau trên thân (h) được xác định theo yêu cầu của sản phẩm. Trong thực hành, trước hết thống kê D của rừng Đước trồng ở các tuổi khác nhau trên các ô tiêu chuẩn. Tiếp theo thống kê số cây theo cấp D đối với các tuổi; trong đó mỗi cấp D = 2 cm, còn H trung bình ở các cấp D được xác định từ Hàm 24. Sau đó xác định D_{hCV} và D_{hOV} của các cấp D bằng cách thay thế cấp D và H trung bình ở các cấp D và chiều cao tương đối (h/H) vào Hàm 2 ở Bảng 3 và 4.

3.3.2.2. Ước lượng sản lượng gỗ của rừng Đước trồng

Đường kính trung bình (D, cm) và chiều cao trung bình (H, m) của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm được ước lượng và dự đoán tương ứng theo Hàm 22 và 23. Tổng thể tích thân cả vỏ (V_{CV} , m³/cây) và không vỏ (V_{OV} ,

m³/cây) ở mức cây bình quân của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm được ước lượng và dự đoán tương ứng theo Hàm 26 và 27; trong đó D và H là giá trị trung bình của rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm. Tỷ lệ vỏ là $(V_{OV}/V_{CV}) \times 100$.

Tổng $V_{h_{CV}}$ vỏ và $V_{h_{OV}}$ từ cổ rễ khí sinh đến chiều cao (h, m) cho trước được xác định bằng cách thay thế tương ứng D, H và (h/H) vào Hàm 28 và 29. Khi thay h = H vào Hàm 28 và 29, kết quả nhận được tổng thể tích thân cây đứng cả vỏ và không vỏ. Khi biết đường kính đầu nhỏ của đoạn gỗ thu hoạch (D_h thu hoạch, cm), thì tổng V_{CV} và V_{OV} thu hoạch được xác định bằng cách thay thế tương ứng D, H và (D_h/H) vào Hàm 30 và 31. Hình số thân cây Đước trồng từ cấp D = 6-18 cm được xác định theo Hàm 32; trong đó D là đường kính tại vị trí 1,3 m kể từ cổ rễ khí sinh.

Sản lượng gỗ = cây đứng cả vỏ (M_{CV}) đối với rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm được xác định theo Hàm 35 hoặc nhân mật độ quần thụ (Hàm 33) với V_{CV} (Hàm 26). Ở Hàm 26, D và H được xác định theo Hàm 23 và 24. Sản lượng gỗ không vỏ (M_{OV}) đối với rừng Đước trồng từ cấp A = 5-30 năm được xác định bằng cách nhân mật độ quần thụ với thể tích không vỏ của cây bình quân (V_{OV}).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng các hàm sản lượng để phân tích quá trình sinh trưởng của rừng Đước trồng từ cấp tuổi 5 đến 25 năm tại khu vực Kiến Vàng thuộc tỉnh Cà Mau. Mật độ của rừng Đước trồng tại cấp tuổi 5, 10, 15, 20 và 25 năm có xu hướng giảm đáng kể so với mật độ trồng rừng ban đầu. Năng suất gỗ của rừng Đước trồng tại cấp tuổi 5, 10, 15, 20 và 25 năm có xu hướng giảm rõ rệt trong quá trình phát triển của rừng từ cấp tuổi 10 năm. Suất tăng trưởng sản lượng gỗ của rừng Đước trồng giảm rất nhanh từ cấp tuổi 5 năm

(20,0%) đến cấp tuổi 20 năm (2,5%) và cấp tuổi 25 năm (1,5%). Sản lượng gỗ của rừng Đước trồng chuyển từ giai đoạn tăng trưởng nhanh sang giai đoạn tăng trưởng chậm tại cấp tuổi 5 năm. Tuổi thành thực số lượng của rừng Đước trồng là cấp tuổi 10 năm. Tác giả kiến nghị các cơ sở lâm nghiệp ở huyện Ngọc Hiển có thể sử dụng kết quả của nghiên cứu này để thống kê sản lượng gỗ và phân tích hiệu quả kinh tế đối với rừng Đước trồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Thèm & Phạm Minh Toại (2024). Giáo trình sinh thái rừng. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Phan Nguyên Hồng (1999). Rừng ngập mặn Việt Nam. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
- [3]. Phạm Trọng Thịnh (2004). Một số yếu tố ảnh hưởng đến sinh trưởng của rừng Đước ở ven biển Nam Bộ. Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển nông thôn. 4: 521-523.
- [4]. Hoàng Văn Thơi, Lê Thanh Quang, Nguyễn Khắc Điều & Viên Ngọc Tuấn Anh (2020). Nghiên cứu đặc điểm sinh trưởng rừng Đước (*Rhizophora apiculata* Blume) trồng trên các lập địa chính tại Bến Tre. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp. 5: 81-92.
- [5]. Phạm Thế Dũng (2018). Đánh giá chất lượng rừng Đước (*Rhizophora apiculata* Blume) trồng thuần loài, đề xuất các giải pháp kỹ thuật lâm sinh và cơ chế quản lý nhằm phát triển bền vững rừng phòng hộ Cần Giở. Trong cuốn sách "Nghiên cứu rừng ngập nước và cây xanh TP. Hồ Chí Minh. Nhà xuất bản Nông nghiệp. 64-85
- [6]. 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.
- [7]. Nguyễn Văn Thèm (2022). Hàm độ thon và sản lượng thân cây Tràm (*Melaleuca cajuputi* Powell) ở khu vực Thạnh Hóa thuộc tỉnh Long An. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 4: 55-64.
DOI: 10.55250/jo.vnuf.2022.4.055-064
- [8]. W. K. Lee, J. H. Seo, Y. M. Son, K. H. Lee & K. V. Gadow (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. Forest Ecology and Management. 172(1): 69-77.
- [9]. Boris Zeide (1993). Analysis of Growth Equations. Forest Science. 39: 594-616.