

XÂY DỰNG CÁC HÀM CHỈ SỐ MẬT ĐỘ VÀ KHÔNG GIAN SINH TRƯỞNG ĐỐI VỚI RỪNG ĐƯỚC (*Rhizophora apiculata* Blume) TRỒNG TẠI KHU VỰC VEN BIỂN NGỌC HIỂN THUỘC TỈNH CÀ MAU

Lê Văn Cường

Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai

TÓM TẮT

Nuôi dưỡng rừng trồng là một nhiệm vụ quan trọng của lâm học nhằm đảm bảo rằng những cây cá thể mong muốn nhận được đủ không gian, ánh sáng, nước và chất dinh dưỡng cần thiết để phát triển mạnh. Mục đích của nghiên cứu này là cung cấp các hàm để ước lượng nhanh các chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng đối với rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiến thuộc tỉnh Cà Mau. Số liệu nghiên cứu được thu thập ở rừng Đước trồng từ 10 - 25 năm; trong đó mỗi tuổi là 3 ô tiêu chuẩn với diện tích 400 m². Chỉ số mật độ (SDI) được xác định theo phương pháp của Reineke (1933) và Curtis (1982). Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) được xác định theo phương pháp của Schröder và Gadow (1999). Kết quả nghiên cứu cho thấy: (1) Quan hệ Log(N) - Log(Dg) của rừng Đước trồng từ tuổi 10 - 25 năm có dạng tuyến tính. (2) Chỉ số mật độ (SDI) của rừng Đước trồng được xác định tại cấp tuổi A = 25 năm; trong đó Dg là 20 cm và độ dốc b = 1,538. Chỉ số SDI của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $SDI = 3.177,86 \times \exp(-14,6974 \times A^{-1,1441})$. (3) Chỉ số mật độ tương đối (RD) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $RD = 48,9322 \times \exp(-6,36089 \times A^{-0,535219})$. (4) Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $RS = 0,0758799 \times \exp(4,70405 \times A^{-0,8861})$. Kết quả của nghiên cứu cung cấp một số thông tin có giá trị làm cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xác định các chỉ tiêu kỹ thuật trong chặt nuôi dưỡng đối với rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiến thuộc tỉnh Cà Mau.

Từ khóa: Rừng Đước, chỉ số mật độ quần tụ, chỉ số không gian sinh trưởng tương đối, tỉa thưa rừng, cường độ tỉa thưa rừng.

DEVELOPING FUNCTIONS TO ESTIMATE DENSITY AND GROWING SPACE INDEXES FOR *Rhizophora apiculata* Blume PLANTATIONS IN NGOC HIEN COASTAL AREA OF CA MAU PROVINCE

Le Van Cuong

Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus

ABSTRACT

Plantation tending is an important task of silviculture to ensure that desirable individual trees receive adequate space, light, water, and nutrients necessary to thrive. This study aims to develop functions for the rapid estimation of density and growth space indices for *Rhizophora apiculata* plantations in the Ngoc Hien coastal area of Ca Mau province. Research data were collected in *R. apiculata* plantations from 10 to 25 years olds; in which each age group was 3 standard plots with an area of 400 m². The density index (SDI) was determined according to the methods of Reineke (1933) and Curtis (1982). The relative growth space index was determined according to the methods of Schröder and Gadow (1999). The research results showed that: (1) The Log(N) - Log(Dg) relationship of *R. apiculata* plantations from 10 to 25 years olds was a straight line. (2) The SDI of the *R. apiculata* plantations was determined at class A = 25 years; in which Dg was 20 cm and the slope b = 1.538. The SDI index of the *R. apiculata* plantations from classes A = 10 - 30 years can be predicted by the function $SDI = 3,177.86 \times \exp(-14.6974 \times A^{-1.1441})$. (3) The relative density index (RD) of the *R. apiculata* plantations from level A = 10 - 30 years can be predicted by the function $RD = 48.9322 \times \exp(-6.36089 \times A^{-0.535219})$. (4) The relative growth space index (RS) of the *R. apiculata* plantations from level A = 10 - 30 years can be predicted by the function $RS = 0.0758799 \times \exp(4.70405 \times A^{-0.8861})$. The findings of this study offer valuable insights that serve as a scientific and practical foundation for establishing technical criteria for tending the *R. apiculata* plantations in the Ngoc Hien coastal area of Ca Mau province.

Keywords: *Rhizophora apiculata* plantations, stand density index, relative growth spatial index, forest thinning, forest thinning intensity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sau khi trồng, rừng cần được nuôi dưỡng để đạt đến mục tiêu mong muốn. Nuôi dưỡng rừng bao gồm nhiều biện pháp khác nhau; trong đó, chặt tía thưa rừng là biện pháp đơn giản nhất. Chặt tía thưa rừng là điều chỉnh khoảng cách giữa các cây gỗ và giảm mật độ quần thụ từ giai đoạn tuổi non đến giai đoạn gần thành thục (Nguyễn Văn Thêm và Phạm Minh Toại, 2024).

Để xây dựng các chỉ tiêu kỹ thuật trong chặt nuôi dưỡng rừng trồng, nhà lâm học cần biết rõ cấu trúc quần thụ, quy luật giảm mật độ theo tuổi và tình trạng sức sống của quần thụ. Mật độ quần thụ biểu thị số cây trên một đơn vị diện tích (N, cây/ha). Mật độ quần thụ có thể biểu thị bằng chỉ số mật độ quần thụ (SDI = Stand Density Index) (Curtis, 1982; Long, 1985; Zeide, 1987; 2005). Khi quần thụ khép tán hoàn toàn, quan hệ giữa logarit cơ số 10 của mật độ (LogN) và logarit cơ số 10 của đường kính trung bình quân phương (LogDg) là một đường thẳng với độ dốc $b = -1,605$ (Long, 1985; Zeide, 1987). Reineke (1933) (Long, 1985; Zeide, 1987) đề xuất chỉ số SDI là mật độ của quần thụ tại thời điểm mà $Dg = 25 \text{ cm}$. Giá trị Dg này được quy ước là đường kính quân phương cơ sở (D_{CS} , cm). Nghiên cứu của Zeide (1987; 2005) cho thấy, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ là một đường thẳng với độ dốc $b = -3/2$. Philip và đồng tác giả (1987; 2005) cho rằng, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ là một đường thẳng với độ dốc $b = (-1,8) - (-1,4)$ tùy theo kiểu rừng, lập địa và hoạt động lâm sinh. Curtis (1982) xác định mật độ tương đối của quần thụ ($RD = \text{Relative Density}$) dựa theo tỷ lệ giữa tiết diện ngang (G , m^2/ha) và Dg của quần thụ. Schröder và Gadow (1999) xác định chỉ số không gian tương đối ($RS = \text{Relative Spacial Index}$) của quần thụ là tỷ lệ giữa khoảng cách trung bình của các cây gỗ và chiều cao của những cây ưu thế (H_D , m) trong quần thụ. Trong thực hành, các nhà lâm học thường sử dụng ba chỉ số SDI, RD và RS để xác định những chỉ tiêu kỹ thuật trong chặt nuôi dưỡng rừng.

Rừng Đước (*Rhizophora apiculata* Blume) tại khu vực ven biển Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau được trồng với mục đích cung cấp gỗ để xây dựng và làm đồ mộc gia dụng, kết hợp bảo vệ môi trường ven biển (Ban Quản lý rừng phòng hộ Kiến Vàng, 2019). Trước đây, một số tác giả (Nguyễn Thị Hà *et al.*, 2017; Vinh *et al.*, 2019; Bao *et al.*, 2022) đã xác định sinh khối và sản lượng gỗ của rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau. Hiện nay, vẫn còn thiếu những căn cứ khoa học để xây dựng phương thức nuôi dưỡng rừng Đước trồng ở khu vực này. Xuất phát từ đó, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm ước lượng chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp một số thông tin cơ bản làm cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xác định các chỉ tiêu kỹ thuật trong chặt nuôi dưỡng rừng Đước trồng.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng Đước trồng thuần loài trong giai đoạn từ 10 - 25 năm. Mật độ trồng rừng Đước ban đầu là 10.000 cây/ha. Các rừng Đước trồng được nghiên cứu thuộc Ban Quản lý Rừng phòng hộ (BQLRPH) Đất Mũi, huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau. Tọa độ địa lý: $8^{\circ}41'21'' - 8^{\circ}47'00''$ vĩ độ Bắc; $104^{\circ}49'4'' - 104^{\circ}58'00''$ kinh độ Đông. Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa thuộc tiểu vùng khí hậu bán đảo Cà Mau. Một năm có 2 mùa mưa và khô rõ rệt. Mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 11. Mùa khô kéo dài từ tháng 12 năm trước đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ bình quân là $26,5^{\circ}\text{C}/\text{năm}$. Lượng mưa bình quân là 2.350 mm/năm và số ngày mưa bình quân là 180 ngày. Độ ẩm bình quân là 85%/năm. Lượng bốc hơi bình quân là 1.004 mm/năm. Tốc độ gió bình quân là 3,8 - 6,9 m/s/năm. Khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của hai chế độ: bán nhật triều biển Đông và nhật triều biển Tây. Mỗi ngày có một con nước lớn và một con nước ròng, biên

độ dao động từ 80 - 120 cm. Khu vực nghiên cứu có địa hình bằng phẳng với độ chênh cao không đáng kể so với mặt nước biển. Đất 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

Vào tháng 11 đến tháng 12 năm 2024, nghiên cứu đã xác định được các rừng Đước trồng theo 5 cấp tuổi (A = 10, 12, 15, 20 và 25 năm) bằng cách sử dụng hồ sơ lịch sử trồng rừng. Mỗi cấp A bố trí 3 ô tiêu chuẩn tạm thời (OTC). Diện tích OTC là 400 m² (20 × 20 m). Tổng số 5 cấp A là 15 OTC. Trong các OTC, thống kê số cây (N, cây/OTC), đo chu vi thân ngang ngực (CV, cm) kể từ cổ rễ khí sinh đối với tất cả các cây Đước bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm; sau đó quy đổi ra đường kính ngang ngực (D, cm). Chiều cao toàn thân (H, m) của các cây Đước

được đo bằng thước đo cao Blume leise với độ chính xác 0,5 m.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Phân cấp sinh trưởng của các cá thể trong các rừng Đước trồng

Những cây hình thành thành rừng Đước trồng ở các cấp A = 10 - 25 năm được phân chia thành 5 cấp sinh trưởng từ I - V (bảng 1). Cấp I là những cây sinh trưởng rất tốt. Cấp II là những cây sinh trưởng tốt. Cấp III là những cây sinh trưởng bình thường. Cấp IV là những cây sinh trưởng kém. Cấp V là những cây sinh trưởng rất kém hoặc đã chết nhưng chưa bị đổ gãy trên sàn rừng. Các cấp sinh trưởng được phân chia theo hệ số đường kính thân cây (Kd). Hệ số Kd được xác định theo công thức 1; trong đó D_i và D_{BQ} tương ứng là đường kính của cây i và đường kính bình quân của rừng Đước ở mỗi cấp A (năm).

$$Kd = \frac{D_i}{D_{BQ}} \quad (1)$$

Bảng 1. Phân cấp sinh trưởng của các cá thể trong các rừng Đước trồng

Cấp sinh trưởng	Tên gọi	Chỉ số Kd
I	Sinh trưởng rất tốt	>1,3
II	Sinh trưởng tốt	1,1 - 1,3
III	Sinh trưởng bình thường	0,9 - 1,1
IV	Sinh trưởng kém	0,7 - 0,9
V	Sinh trưởng rất kém hoặc đã chết	<0,7

2.3.2. Xây dựng các hàm sản lượng của rừng Đước trồng

(a) *Xác định các chỉ tiêu sản lượng của rừng Đước trồng.* Đó là tiết diện ngang (G, m²/ha), đường kính quân phương (Dg, cm), chiều cao của các cây ưu thế (H_{DA}, m) và trữ lượng gỗ (M, m³/ha) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 25 năm. Ba đại lượng G, Dg và M được tính tương ứng theo công thức 2 - 4; trong đó N là mật độ của quần thụ trên OTC, S = 10.000 m², s là diện tích OTC = 400 m², F (hình số thân cây) được ước lượng theo Hàm 5 (Lê Văn Cường, 2025). Chỉ tiêu H_D là giá trị trung bình cộng giản đơn

của 10 cây có H từ lớn nhất trở xuống. Ở Hàm 4, SEE là sai số chuẩn của ước lượng, MAE là sai số tuyệt đối trung bình, MAPE là sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm.

$$G \text{ (m}^2\text{/ha)} = \sum_{i=1-N} (0,00007854 \times D^2) \times (S/s) \quad (2)$$

$$Dg \text{ (cm)} = \sqrt{\frac{G}{(N \times 0,00007854)}} \quad (3)$$

$$M \text{ (m}^3\text{/ha)} = G \times H \times F \quad (4)$$

r² = 90,92%; SEE = ± 0,0094; MAE = 0,0057; MAPE = 1,0%.

$$F = -7,53095 \times \exp(-26,5614 \times D^{-0,535375}) + 0,618011 \quad (5)$$

(b) *Xây dựng các hàm sản lượng của rừng Đước trồng.* Sự biến đổi của mật độ quần thụ (N , cây/ha) theo cấp A (năm) được ước lượng theo Hàm 6; trong đó b_0 , b_1 và k là ba tham số. Các chỉ tiêu sản lượng của rừng Đước trồng được ước lượng theo hàm Korf (1929) (Nguyễn Văn Thêm và Lê Hồng Việt, 2024) (Hàm 7); trong đó $Y = D, Dg, H, H_D, G$ và M .

$$N_A = b_0 \times \exp(-b_1 \times A) + k \quad (6)$$

$$Y = m \times \exp(-b \times A^{-c}) \quad (7)$$

2.3.3. Xác định các chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng

(1) *Xác định chỉ số mật độ của rừng Đước trồng theo phương pháp của Reineke (1933).* Theo phương pháp này, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg, \text{cm})$ của rừng Đước từ cấp $A = 10 - 25$ năm được mô tả bằng Hàm 8; trong đó a là điểm chặn, còn c là độ dốc. Chỉ số mật độ quần thụ (SDI) là mật độ quần thụ tại đường kính quân phương cơ sở (Dg_{CS} , cm). Chỉ số mật độ tại A năm (SDI_A) được xác định theo công thức 9; trong đó N_A là mật độ quần thụ tại A năm, Dg_A là đường kính quân phương tại A năm, Dg_{CSA} là Dg tại $A = 25$ năm, tham số $b = (2 - c)$, tham số c là độ dốc của Hàm 8. Từ công thức 9, mật độ quần thụ tại A năm (N_A , cây/ha) được xác định theo công thức 10.

$$\text{Log}(N_A) = a - c \times \text{Log}(Dg_A) \quad (8)$$

$$SDI_A = N_A \times (Dg_A / Dg_{CSA})^b \quad (9)$$

$$N_A = SDI_A / (Dg_A / Dg_{CSA})^b \quad (10)$$

(2) *Xác định chỉ số mật độ tương đối của rừng Đước trồng theo phương pháp của Curtis (1982).* Chỉ số mật độ tương đối của quần thụ tại A năm (RD_A) được xác định theo công thức 11; trong đó N_A , G_A và Dg_A tương ứng là mật độ, tiết diện ngang và đường kính quân phương của quần thụ tại A năm. Trong nghiên cứu này, ba đại lượng N_A , G_A và Dg_A của rừng Đước trồng tại cấp $A = 10 - 25$ năm được ước lượng tương ứng theo Hàm 6 và 7. Từ đồ thị thực nghiệm cho thấy, chỉ số RD tăng dần theo A của rừng Đước trồng dưới dạng đường cong Sigmoid. Vì thế, hàm ước lượng $RD = f(A)$ được mô tả theo hàm

Korf (1929) (Hàm 12); trong đó $a_0 - a_2$ là các tham số, tham số a_1 là độ dốc, tham số a_2 là hình dạng của đường cong $RD = f(A)$. Số lượng cây Đước hiện còn sống tại A năm (N_{HCA} , cây/ha) được ước lượng theo công thức 13. Số cây Đước bị đào thải tự nhiên từ khi trồng đến A năm (N_{CA} , cây/ha) được xác định theo công thức 14; trong đó N_0 (cây/ha) là mật độ trồng rừng ban đầu ($N = 10.000$ cây/ha), N_{HCA} là mật độ hiện còn tại A năm. Tỷ lệ số cây tía thưa tự nhiên từ khi trồng đến cấp A năm ($I_{CA}\%$) được xác định theo công thức 15. Khi biết cường độ chặt tía thưa tại cấp A năm là $I_A\%$, thì số cây chặt tía thưa tại A năm (N_{TTA} , cây/ha) được xác định theo công thức 16; trong đó Dg_A và RD_A được ước lượng tương ứng theo Hàm 7 và 12. Mật độ quần thụ để lại nuôi dưỡng tại cấp A năm (N_{NDA} , cây/ha) được xác định theo công thức 17.

$$RD_A = \frac{G_A}{\sqrt{Dg_A}} \quad (11)$$

$$RD = a_0 \times \exp(-a_1 \times A^{-a_2}) \quad (12)$$

$$N_{HCA} = \frac{RD_A}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (13)$$

$$I_{CA}\% = (N_{CA} / N_0) \times 100 \quad (14)$$

$$N_{TTA} = \frac{(I_A\% \times RD_A)}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (15)$$

$$N_{NDA} = N_{HCA} - N_{TTA} \quad (16)$$

(3) *Xác định chỉ số không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng.* Theo Schröder và Gadow (1999), chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của quần thụ tại A năm được xác định theo công thức 18; trong đó N_A và H_{DA} tương ứng là mật độ của quần thụ và chiều cao của những cây ưu thế tại A năm. Từ công thức 18, mật độ của quần thụ tại A năm (N_A , cây/ha) được xác định theo công thức 19. Từ đồ thị thực nghiệm cho thấy, chỉ số RS giảm dần theo A của quần thụ Đước dưới dạng đường cong hình chữ J ngược. Vì thế, sự biến đổi của RS theo A (năm) của rừng Đước trồng được ước lượng theo hàm Korf (1929) (Hàm 20); trong đó $b_0 - b_2$ là các tham số.

$$RS_A = \frac{\sqrt{10.000 / N_A}}{H_{DA}} \quad (18)$$

$$N_A (\text{cây/ha}) = \frac{10.000}{(RS_A \times H_{DA})^2} \quad (19)$$

$$RS = b_0 \times \exp(b_1 \times A^{-b_2}) \quad (20)$$

Chỉ số RS được sử dụng để xác định quy luật giảm số cây theo tuổi của quần thể. Theo Schröder và Gadow (1999), số cây tía thưa tiềm năng được xác định theo biên độ giữa ranh giới dưới của chỉ số RS (RS_L) và ranh giới trên của chỉ số RS (RS_U). Mật độ quần thể để lại nuôi dưỡng tại A năm tương ứng với RS_L (N_{LA}) và RS_U (N_{UA}) được xác định tương ứng theo công thức 21 và 22; trong đó H_{DA} là chiều cao của những cây ưu thế tại A năm. Số cây tía thưa tại A năm (N_{TTA} , cây/ha) được xác định theo công thức 23; trong đó N_{HCA} (cây/ha) là số cây hiện còn sống tại A năm, còn N_{NDA} ($N_{NDA} = N_{LA}$ và N_{UA} , cây/ha) là số cây để lại nuôi dưỡng sau khi tía thưa tại A năm. Cường độ tía thưa theo số cây (I%) tại A năm được xác định theo công thức 24.

$$N_{LA} (\text{cây/ha}) = \frac{10.000}{(RS_{LA} \times H_{DA})^2} \quad (21)$$

$$N_{UA} (\text{cây/ha}) = \frac{10.000}{(RS_{UA} \times H_{DA})^2} \quad (22)$$

$$N_{TTA} (\text{cây/ha}) = N_{HCA} - N_{NDA} \quad (23)$$

$$I\% = (N_{TTA} / N_{HCA}) \times 100 \quad (24)$$

2.3.3. Đánh giá sai lệch của các hàm hồi quy

Các tham số và các thống kê sai lệch của các Hàm 6, 7 và 20 được xác định theo 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 (Công thức 25), tổng sai lệch bình phương (SSR; công thức 26); sai số chuẩn của ước lượng (Công thức 27), sai số tuyệt đối trung bình (Công thức 28) và sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (Công thức 29). Ở công thức 25 - 29, Y_i và Y_j tương ứng là biến phụ thuộc thực tế và ước lượng; Y_{Bq}

là biến phụ thuộc thực tế bình quân; n = dung lượng quan sát; p = số tham số của các 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.

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_j)^2}{\sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_{Bq})^2} \right] \times 100 \quad (25)$$

$$SSR = \sum_{(i=1, n)} (Y_i - Y_j)^2 \quad (26)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSR}{n - p}} \quad (27)$$

$$MAE = \frac{|(Y_i - Y_j)|}{n} \quad (28)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{Y_i} \times 100 \quad (29)$$

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân cấp sinh trưởng của rừng Đước trồng

Tình trạng sinh trưởng của các cá thể hình thành rừng Đước trồng ở cấp A = 10, 15, 20 và 25 năm được tổng hợp ở bảng 2 và 3. Mật độ của rừng Đước trồng ở tuổi 10 là 4.408 cây/ha (100%); trong đó số cây thuộc cấp sinh trưởng từ tốt đến trung bình (Cấp I - III) là 2.825 cây/ha (64,1%), còn lại số cây thuộc cấp sinh trưởng kém và rất kém (Cấp IV - V) là 1.583 cây/ha (35,9%). Mật độ của rừng Đước trồng ở tuổi 15 là 3.517 cây/ha (100%); trong đó số cây thuộc cấp sinh trưởng từ tốt đến trung bình (Cấp I - III) là 2.251 cây/ha (64,0%), còn lại số cây thuộc cấp sinh trưởng kém và rất kém (Cấp IV - V) là 1.266 cây/ha (36,0%). Mật độ của rừng Đước trồng ở tuổi 20 là 3.067 cây/ha (100%); trong đó số cây thuộc cấp sinh trưởng từ tốt đến trung bình (Cấp I - III) là 2.387 cây/ha (77,8%), còn lại số cây thuộc cấp sinh trưởng kém và rất kém (Cấp IV - V) là 680 cây/ha (22,2%). Mật độ của rừng Đước trồng ở tuổi 25 là 2.108 cây/ha (100%); trong đó số cây thuộc cấp sinh trưởng từ tốt đến trung bình (Cấp I - III) là 1.633 cây/ha (77,5%), còn lại số cây thuộc cấp sinh trưởng kém và rất kém (Cấp IV - V) là 475 cây/ha (22,5%). Từ những phân tích trên đây cho thấy, các cá thể

của rừng Đước trồng tại các cấp A có sự phân hóa mạnh về cấp sinh trưởng. Tỷ lệ số cây sinh trưởng kém và rất kém ở cấp A = 10, 15, 20 và 25 tương ứng là 35,9%, 36,0%, 22,2% và 22,5%. Hiện tượng phân hóa mạnh về cấp sinh trưởng là do mật độ rừng Đước trồng ban đầu có mật độ rất cao (10.000 cây/ha), cây trồng ban đầu không thuần nhất và các cá thể cạnh tranh mạnh mẽ với nhau. Vì thế, điều chỉnh sự phân hóa về cấp sinh trưởng của các thể ở rừng Đước trồng thông qua tỉa thưa là biện pháp cần thiết.

Bảng 2. Phân cấp sinh trưởng và mật độ rừng trồng Đước theo cấp tuổi

Cấp sinh trưởng	Mật độ (cây/ha) theo cấp A (năm)			
	10	15	20	25
I	450	342	183	150
II	742	684	392	292
III	1.633	1.225	1.812	1.191
IV	1.316	933	505	400
V	267	333	175	75
Tổng số	4.408	3.517	3.067	2.108

Bảng 3. Tỷ lệ số cây trong 5 cấp sinh trưởng của rừng Đước trồng

Cấp sinh trưởng	Tỷ lệ cây (%) theo cấp A (năm)			
	10	15	20	25
I	10,2	9,7	6,0	7,1
II	16,8	19,4	12,8	13,9
III	37,0	34,8	59,1	56,5
IV	29,9	26,5	16,5	19,0
V	6,1	9,5	5,7	3,6
Tổng số	100	100	100	100

3.2. Các hàm sản lượng đối với rừng Đước trồng

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy, các hàm ước lượng sản lượng của rừng Đước trồng có dạng như Hàm 30 - 36 (bảng 4). Các hàm này đều có hệ số xác định rất cao ($R^2 > 95,0\%$) và sai lệch nhỏ ($MAPE < 6,5\%$). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng và dự đoán sản lượng (N, D, Dg, H, H_D, G và M) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm tại khu vực ven biển Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau (bảng 5).

Bảng 4. Các hàm sản lượng đối với rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 25 năm

Các hàm sản lượng	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
$N = 7.490,83 \times \exp(-0,0321217 \times A) - 1102,73$	96,5	229,2	4,1	(30)
$D = 152,168 \times \exp(-8,04702 \times A^{-0,426835})$	98,0	1,0	4,0	(31)
$Dg = 3.000,96 \times \exp(-9,12122 \times A^{-0,186322})$	98,6	0,8	2,9	(32)
$H = 156,824 \times \exp(-6,49051 \times A^{-0,330545})$	95,3	1,2	6,2	(33)
$H_D = 175,761 \times \exp(-5,6916 \times A^{-0,30668})$	95,9	1,2	3,5	(34)
$G = 587,285 \times \exp(-10,1485 \times A^{-0,48599})$	99,9	0,6	1,0	(35)
$M = 296,390 \times \exp(-16,3434 \times A^{-0,308846})$	99,7	19,3	5,1	(36)

Bảng 5. Dự đoán sản lượng của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm

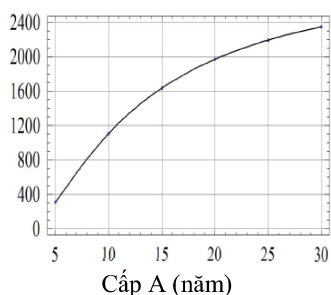
A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	Dg (cm)	H (m)	H _D (m)	G (m ² /ha)	M (m ³ /ha)
10	4.330	7,5	7,9	7,6	10,6	21,4	96,9
15	3.524	12,1	12,2	11,1	14,7	38,6	249,2
20	2.838	16,2	16,2	14,1	18,1	55,1	454,9
25	2.253	19,8	20,1	16,7	21,1	70,3	700,4
30	1.755	23,1	23,7	19,0	23,7	84,1	975,4

3.3. Chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng

3.3.1. Chỉ số mật độ của rừng Đước trồng

Theo phương pháp của Reineke (1933), quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ đối với rừng Đước trồng từ cấp $A = 10 - 25$ năm có dạng Hàm 37. Hàm này có hệ số tương quan rất cao ($r = -0,954$) và sai lệch rất nhỏ ($\text{MAPE} = 1,0\%$); trong đó độ dốc $c = -0,4624$. Từ công thức 9, xác định được chỉ số SDI_A của rừng Đước trồng từ cấp $A = 10 - 25$ năm (Công thức 38); trong đó Dg được ước lượng theo Hàm 32, còn $Dg_{25} = 20$ cm (bảng 5), số mũ $1,538$ (làm tròn) $= 2 - 0,46249$ (Độ dốc của Hàm 37). Phân tích hồi quy cho thấy, hàm ước lượng chỉ số $\text{SDI} = f(A)$ có dạng như Hàm 39. Hàm này được sử dụng để dự đoán chỉ số SDI của rừng Đước trồng từ cấp $A = 5 - 30$ năm (hình 1). Từ công thức 10, mật độ của rừng Đước trồng tại cấp $A = 10 - 30$ năm được dự đoán theo công thức 40; trong đó Dg được ước lượng theo Hàm 32, $Dg_{25}(\text{cm}) = 20$ cm, số mũ $1,538$ (làm tròn) $= 2 - 0,46249$ (Độ dốc ở Hàm 37).

Chỉ số SDI



Hình 1. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của chỉ số SDI theo cấp A (năm) của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Ngọc Hiển

3.3.2. Chỉ số không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng

Từ công thức 18, xác định được chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng Đước trồng từ cấp $A = 10 - 25$ năm tại khu vực ven biển Ngọc Hiển; trong đó N_A và H_{DA} được dự đoán tương ứng theo Hàm 30 và 34 (bảng 4).

$$\text{Log}(N) = 4,0084 - 0,46249 \times \text{Log}(Dg) \quad (37)$$

$$r = -0,954; \text{SEE} = \pm 0,05; \text{MAE} = 0,035; \text{MAPE} = 1,0\%.$$

$$\text{SDI}_A = N_A / (Dg / Dg_{25})^{1,538} \quad (38)$$

$$\text{SDI} = 3177,86 \times \exp(-14,6974 \times A^{-1,1441}) \quad (39)$$

$$r^2 = 99,2\%; \text{SEE} = \pm 89; \text{MAE} = 57,1; \text{MAPE} = 5,1\%.$$

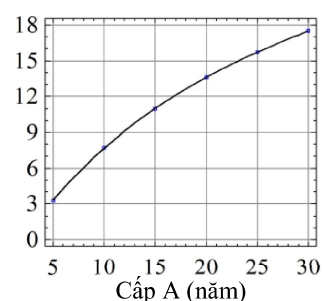
$$N_A = \text{SDI}_A / (Dg_A / Dg_{25})^{1,538} \quad (40)$$

Theo phương pháp của Curtis (1982), chỉ số RD của rừng Đước trồng từ cấp $A = 10 - 25$ năm được xác định theo công thức 11. Phân tích hồi quy cho thấy, hàm ước lượng chỉ số $\text{RD} = f(A)$ có dạng như Hàm 41. Hàm này có hệ số tương quan rất cao ($r^2 = 99,99\%$) và sai lệch rất nhỏ ($\text{MAPE} = 0,10\%$). Vì thế, Hàm 41 được sử dụng để dự đoán chỉ số RD của rừng Đước trồng (hình 2).

$$\text{RD} = 48,9322 \times \exp(-6,36089 \times A^{-0,535219}) \quad (41)$$

$$r^2 = 99,99\%; \text{SEE} = \pm 0,02; \text{MAE} = 0,006; \text{MAPE} = 0,1\%.$$

Chỉ số RD



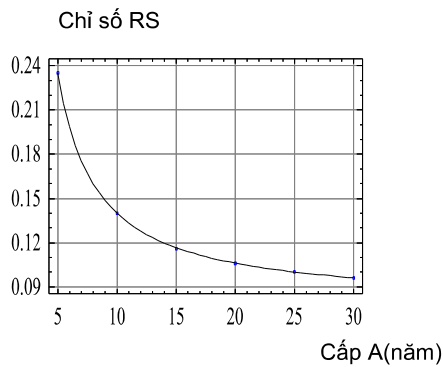
Hình 2. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của chỉ số RD theo cấp A (năm) của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Ngọc Hiển

Phân tích hồi quy cho thấy, hàm ước lượng chỉ số RS của rừng Đước trồng từ cấp $A = 10 - 25$ năm có dạng như Hàm 42. Hàm này có hệ số xác định rất cao ($R^2 = 94,5\%$) và sai lệch nhỏ ($\text{MAPE} = 2,7\%$). Vì thế, Hàm 42 được sử dụng để dự đoán chỉ số RS của rừng Đước trồng từ cấp $A = 5 - 30$ năm (hình 3).

$$RS = 0,758799 \times \exp(4,70405 \times A^{-0,8861}) \quad (42)$$

$$r^2 = 94,5\%; \text{ SEE} = \pm 0,005; \text{ MAE} = 0,003;$$

$$\text{MAPE} = 2,7\%.$$



Hình 3. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của chỉ số RS theo cấp A = 5 - 30 năm của rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Ngọc Hiển

3.4. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.4.1. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ của rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiển từ cấp A = 10 - 25 năm có dạng hàm tuyến tính với độ dốc $b = -1,538$. Theo Reineke (1933) (Long, 1985; Zeide, 1987), khi rừng trồng thuần loài đồng tuổi đã khép tán kín, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ tồn tại ở dạng đường thẳng với độ dốc $b = -1,605$. Theo nghiên cứu của nhiều tác giả (Long, 1985; Zeide, 1987, 2005; Philip *et al.*, 2010) cho thấy, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ đối với nhiều kiểu rừng khác nhau cũng có dạng hàm tuyến tính với độ dốc $b = (-1,8) - (-1,4)$. Đối với rừng trồng keo lai (*Acacia hybrid*) từ 2 - 10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa ($SI = 16, 19, 22, 25, 28$ m) tại tỉnh Đồng Nai, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ có dạng hàm tuyến tính với độ dốc thay đổi rất nhỏ từ $b = (-1,6448) - (-1,6435)$; trung bình là $b = -1,6387$ (Nguyễn Văn Thêm và Lê Hồng Việt, 2024). Nói chung, khi rừng trồng thuần loài đồng tuổi đã khép tán kín, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ có dạng hàm tuyến tính với độ dốc thay đổi tùy theo loài cây gỗ, lập địa và hoạt động lâm sinh.

Nghiên cứu này xác định chỉ số mật độ đối với rừng Đước trồng tại khu vực ven biển Ngọc Hiển theo chỉ số RD của Curtis (1982) và chỉ số SDI của Reineke (1933). Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng Đước trồng được xác định theo phương pháp của Schröder và Gadov (1999). Kết quả nghiên cứu cho thấy, chỉ số RD và chỉ số SDI của rừng Đước trồng đều tăng rõ rệt theo cấp A dưới dạng đường cong Sigmoid. Trái lại, chỉ số RS giảm rõ rệt theo cấp A dưới dạng đường cong hình chữ J ngược. Vì thế, nghiên cứu này đã xây dựng hàm $SDI = f(A)$ ở dạng Hàm 39, hàm $RD = f(A)$ ở dạng Hàm 41 và hàm $RS = f(A)$ ở dạng Hàm 42. Ba hàm này được sử dụng để ước lượng và dự đoán ba chỉ số SDI, RD và RS của rừng Đước trồng chỉ dựa theo tuổi (năm).

3.4.2. Đề xuất áp dụng kết quả nghiên cứu

(a) *Xác định chỉ tiêu kỹ thuật trong nuôi dưỡng rừng Đước trồng.* Trong nuôi dưỡng rừng trồng, các nhà lâm học quan tâm đến các chỉ tiêu kỹ thuật sau đây: (1) Thời điểm bắt đầu và kết thúc tỉa thưa; (2) Kỳ dân cách giữa 2 lần tỉa thưa liên tiếp trên cùng một khoảnh rừng; (3) Số cây để lại nuôi dưỡng (N_{ND} , cây/ha) và số cây tỉa thưa (N_{TT} , cây/ha); (4) Cường độ tỉa thưa ($I\%$); (5) Tiêu chuẩn của những cây bị tỉa thưa (cây chặt) và những cây để lại tiếp tục nuôi dưỡng (cây chừa).

(b) *Cơ sở khoa học của tỉa thưa rừng Đước trồng.* Kết quả nghiên cứu cho thấy, rừng Đước tại khu vực ven biển Ngọc Hiển được trồng với mật độ ban đầu 10.000 cây/ha. Từ cấp A = 10 - 25 năm, các cây gỗ hình thành rừng Đước trồng có sự phân hóa rất mạnh. Tỷ lệ số cây sinh trưởng kém và rất kém ở cấp A = 10, 15, 20 và 25 năm tương ứng là 35,9%, 36,0%, 22,2% và 22,5% (bảng 2 và 3). Nguyên nhân cơ bản là do rừng Đước trồng ở giai đoạn này có mật độ rất cao (bảng 5). Mật độ của rừng Đước trồng ở A = 10 năm là 4.330 cây/ha, 20 năm là 2.838 cây/ha và 30 năm là 1.755 cây/ha. Do mật độ rất cao, nên tán lá và hệ rễ của các cây gỗ sẽ giao

nhau. Hiện tượng này dẫn đến chúng cạnh tranh mạnh mẽ với nhau. Kết quả các cây gỗ có phân hóa về cấp sinh trưởng. Vì thế, để giúp cho rừng Đước sinh trưởng tốt và ổn định, nuôi dưỡng chúng bằng cách chặt tỉa thưa là biện pháp cần thiết. Lần chặt tỉa thưa lần thứ 1 được đề xuất tại tuổi 10 năm. Các lần chặt tỉa thưa tiếp theo có thể được thực hiện theo định kỳ 5 - 10 năm. Căn cứ vào tình trạng phân hóa và tỉa thưa tự nhiên của rừng Đước trồng, nghiên cứu này đề xuất cường độ tỉa thưa theo số cây (I%) tại cấp A = 10, 15, 20 và 25 năm ở mức trung bình (I = 20 - 25%), còn ở mức cao là 30%. Theo đề xuất này, số cây hiện còn sống (N_{HC}, cây/ha), số cây để lại nuôi dưỡng (N_{ND}, cây/ha) và số cây tỉa thưa (N_{TT}, cây/ha) tại cấp A = 10 - 30 năm được xác định theo ba phương pháp.

Phương pháp 1: Xác định số cây để lại nuôi dưỡng và số cây tỉa thưa theo chỉ số SDI của Reineke (1933). Theo phương pháp này, khi sử dụng cường độ tỉa thưa I = 20% và 30%, số cây tỉa thưa tại A năm (N_{TTA}, cây/ha) được xác định tương ứng theo công thức 43 và 44; trong đó Dg_A được ước lượng theo Hàm 32, chỉ số SDI_A được xác định theo Hàm 39, còn số 20 ở mẫu số là Dg (cm) tại cấp A = 25 năm. Số cây để lại nuôi dưỡng tại A năm là N_{NDA} (cây/ha) = (N_{HCA} - N_{TTA}). Bảng 6 tổng hợp chỉ số SDI, số cây hiện còn sống (N_{HC}, cây/ha), số cây để lại nuôi dưỡng (N_{ND}, cây/ha) và số cây tỉa thưa (N_{TT}, cây/ha) tại cấp A = 10 - 25 năm tương ứng với cường độ tỉa thưa I = 0,20×SDI và I = 0,30×SDI.

$$N_{(TT0,2SDI)} = (0,20 \times SDI_A) / (Dg_A / 20)^{1,538} \quad (43)$$

$$N_{(NTT0,3SDI)} = (0,30 \times SDI_A) / (Dg_A / 20)^{1,538} \quad (44)$$

Bảng 6. Chỉ tiêu chặt nuôi dưỡng rừng Đước trồng theo chỉ số SDI của Reineke (1933)

Cấp A (năm)	Chỉ số SDI	N _{HC} (cây/ha)	Tỉa thưa theo I = 0,20×SDI		Tỉa thưa theo I = 0,30×SDI	
			N _{ND} (cây/ha)	N _{TT} (cây/ha)	N _{ND} (cây/ha)	N _{TT} (cây/ha)
10	1.107	4.330	3.407	923	2.946	1.384
15	1.637	3.524	2.822	702	2.471	1.053
20	1.972	2.838	2.294	544	2.022	815
25	2.196	2.253	1.816	437	1.598	655
30	2.354	1.755	1.393	362	1.212	543

Ghi chú: N_{HC} = Số cây hiện còn; N_{ND} = Số cây để lại nuôi dưỡng, N_{TT} = Số cây tỉa thưa.

Phương pháp 2: Xác định số cây để lại nuôi dưỡng và số cây tỉa thưa theo chỉ số RD của Curtis (1982). Theo phương pháp này, số cây tỉa thưa tại A năm (N_{TTA}, cây/ha) được xác định tương ứng theo công thức 45; trong đó Dg_A được ước lượng theo Hàm 32, RD_A được xác định theo Hàm 41, còn I% là cường độ tỉa thưa. Khi

sử dụng I = 0,20RD_A và I = 0,30RD_A, thì số cây Đước để lại nuôi dưỡng tại A năm là N_{NDA} (cây/ha) = (N_{HCA} - N_{TTA}) (bảng 7). Hình 4 tổng hợp số cây Đước để lại nuôi dưỡng tại cấp A = 10 - 30 năm tương ứng với I = 0,10 - 0,45RD.

$$N_{TT} = \frac{(I\% \times RD_A)}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (45)$$

Bảng 7. Chỉ tiêu chặt nuôi dưỡng rừng Đước trồng theo chỉ số RD của Curtis (1982)

Cấp A (năm)	Chỉ số RD	N _{HC} (cây/ha)	Tỉa thưa theo I = 0,20×RD		Tỉa thưa theo I = 0,30×RD	
			N _{ND} (cây/ha)	N _{TT} (cây/ha)	N _{ND} (cây/ha)	N _{TT} (cây/ha)
10	7,7	4.330	3.453	877	3.014	1.316
15	11,0	3.524	2.865	659	2.536	988
20	13,6	2.838	2.308	530	2.043	795
25	15,7	2.253	1.808	445	1.586	667
30	17,5	1.755	1.370	385	1.178	577

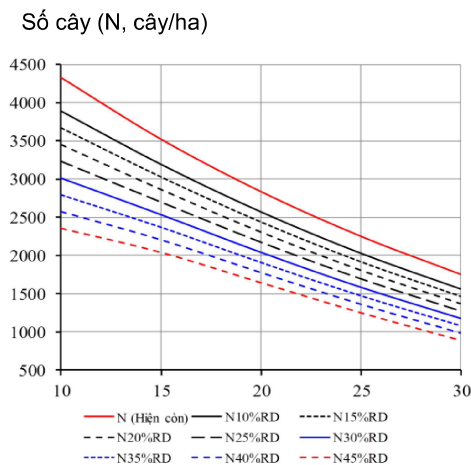
Ghi chú: N_{HC} = Số cây hiện còn; N_{ND} = Số cây để lại nuôi dưỡng; N_{TT} = Số cây tỉa thưa.

Phương pháp 3: Xác định số cây để lại nuôi dưỡng và số cây tía thưa theo chỉ số không gian tương đối (RS) của Schröder và Gadow (1999). Theo phương pháp này, nghiên cứu đề xuất số cây Đước để lại nuôi dưỡng cao nhất bằng số cây hiện còn sống tại mỗi cấp A. Trong trường hợp này, rừng Đước trồng luôn khép tán kín và $RS_U = RS$. Số cây để lại nuôi dưỡng tại cấp A = 10 - 30 năm được xác định theo công thức 46. Nếu rừng Đước được tía thưa, thì số cây để lại nuôi dưỡng tại cấp A = 10 - 30 năm được xác định theo công thức 47; trong đó $RS_L = K \times RS$. Khi rừng Đước trồng tại cấp A = 10 - 30 năm được tía thưa với cường độ I = 20% và 30% số cây, thì hệ số K = 1,2 và 1,3. Trong 2 trường hợp này, số cây tía thưa tại A năm là N_{TTA} (cây/ha) = $(N_{HCA} - N_{NDA})$. Hình 5 tổng hợp số cây hiện còn

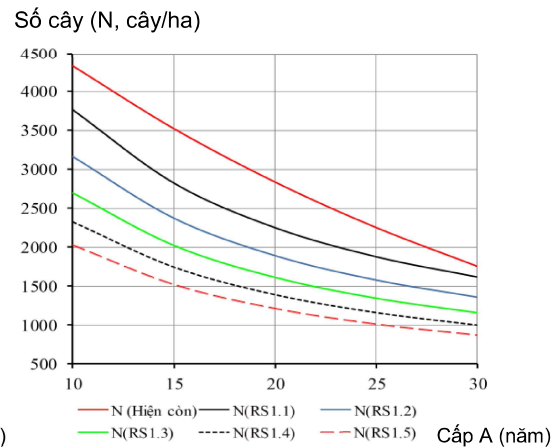
sống (N_{HC} , cây/ha) và số cây để lại nuôi dưỡng (N_{ND} , cây/ha) tại cấp A = 10 - 30 năm tương ứng với $RS_U = RS$ và $RS_L = 1,1 - 1,5RS$. Bảng 7 tổng hợp chỉ số RS, số cây hiện còn sống (N_{HC} , cây/ha), số cây để lại nuôi dưỡng (N_{ND} , cây/ha) và số cây tía thưa (N_{TT} , cây/ha) tại cấp A = 10 - 30 năm tương ứng với $RS_U = RS$ và $RS_L = 1,2RS$. Từ số liệu ở bảng 8 cho thấy, nếu sử dụng chỉ số $RS_L = 1,2RS$ để xác định N_{ND} và N_{TT} (cây/ha) đối với rừng Đước trồng tại cấp A = 10 - 25 năm, thì cường độ tía thưa trung bình theo số cây là 30%.

$$N_{ND(RSU)} = \frac{10.000}{[(RS) \times H_D]^2} \tag{46}$$

$$N_{ND(RSL)} = \frac{10.000}{[(K \times RS) \times H_D]^2} \tag{47}$$



Hình 4. Đồ thị biểu diễn số cây Đước để lại nuôi dưỡng tại cấp A = 10 - 30 năm tương ứng với cường độ tía thưa I = 10 - 45%RD



Hình 5. Đồ thị biểu diễn số cây Đước để lại nuôi dưỡng tại cấp A = 10 - 30 năm tương ứng với cường độ tía thưa I = 1,0 - 1,5RS

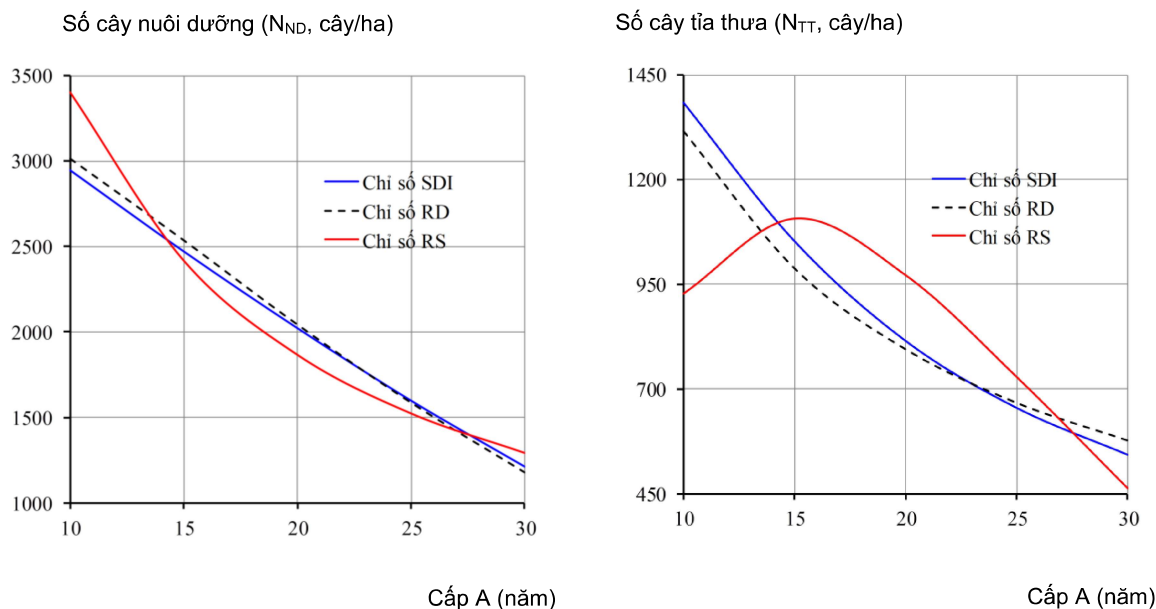
Bảng 8. Chỉ tiêu chặt nuôi dưỡng rừng Đước trồng theo chỉ số không gian sinh trưởng (RS) của Schröder và Gadow (1999)

Cấp A (năm)	Chỉ số RS	N_{HC} (cây/ha)	$RS_U = RS$			$RS_L = 1,2RS$		
			N_{ND}	N_{TT}	I%	N_{ND}	N_{TT}	I%
10	0,140	4.330	4.557	0	0	3.165	1.165	27
15	0,116	3.524	3.417	107	3,0	2.373	1.151	33
20	0,106	2.838	2.724	114	4,0	1.892	946	33
25	0,100	2.253	2.271	0	0	1.577	676	30
30	0,096	1.755	1.956	0	0	1.358	397	23

Ghi chú: N_{HC} = Số cây hiện còn; N_{ND} = Số cây để lại nuôi dưỡng; N_{TT} = Số cây tía thưa.

Nói chung, nếu tính cường độ tía thưa theo $I = 0,30SDI$ và $I = 1,2RS$ thì sai khác trung bình về số cây để lại nuôi dưỡng đối với rừng Đước trồng tại cấp A = 10 - 30 năm là 2,0%. So với 2 phương pháp này, sai lệch trung bình về số cây để lại nuôi dưỡng được tính theo phương pháp của Schröder và Gadow (1999) là nhỏ hơn 10%

(hình 6). Về cơ bản, số cây để lại nuôi dưỡng và số cây tía thưa được xác định theo 3 phương pháp này phù hợp với tình trạng phân hóa và tía thưa của rừng Đước trồng tại cấp A = 10 - 30 năm (bảng 2 và 3). Những cây bị loại bỏ thông qua chặt tía thưa đối với rừng Đước trồng thuộc cấp sinh trưởng kém và rất kém.



Hình 6. Đồ thị so sánh số cây để lại nuôi dưỡng (a) và số cây tía thưa (b) đối với rừng Đước trồng tại cấp A = 10 - 30 năm được tính theo ba phương pháp: Reineke (1933), Curtis (1982) và Schröder-Gadow (1999)

IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng các hàm ước lượng chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng Đước trồng ở khu vực ven biển Ngọc Hiến thuộc tỉnh Cà Mau. Chỉ số mật độ (SDI) được xác định theo phương pháp của Reineke (1933) và Curtis (1982). Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) được xác định theo phương pháp của Schröder và Gadow (1999). Đối với rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 25 năm, quan hệ $\text{Log}(N) - \text{Log}(Dg)$ là một đường thẳng. Chỉ số SDI của rừng Đước trồng được xác định tại cấp A = 25 năm; trong đó Dg là 20 cm và độ

đốc $b = -1,538$. Chỉ số SDI của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $SDI = 3.177,86 \times \exp(-14,6974 \times A^{-1,1441})$. Chỉ số mật độ tương đối (RD) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $RD = 48,9322 \times \exp(-6,36089 \times A^{-0,535219})$. Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng Đước trồng từ cấp A = 10 - 30 năm có thể dự đoán theo hàm $RS = 0,0758799 \times \exp(4,70405 \times A^{-0,8861})$. Kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng để tính toán các chỉ tiêu kỹ thuật trong chặt nuôi dưỡng đối với rừng Đước trồng tại khu vực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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, rừng sản xuất tại Ban Quản lý rừng phòng hộ Kiến Vàng giai đoạn 2019 - 2025.
2. 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 .
3. Curtis, R. O. 1982. A Simple index of stand density for douglas - fir. Forest Science 28(1): 92 - 94.
4. 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.
5. Nguyễn Thị Hà, Viên Ngọc Nam, 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.
6. Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. Forestry Chronicle 62: 23 - 27.
7. Philip, G.C, Miriam, W, Gary, K & Sophie, E.H. 2010. Maximum density - size relationships for Sitka spruce and coastal Douglas - fir in Britain and Canada. Forestry 83(5): 461 - 468.
8. Schröder, J., Gadow, K.V. 1999. Testing a new competition index for *Maritime pine* in northwestern Spain. Canadian Journal of Forest Research 29 280 - 283.
9. Nguyễn Văn Thêm, Phạm Minh Toại, 2024. Sinh thái rừng. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
10. Nguyễn Văn Thêm, Lê Hồng Việt. 2024. Xác định chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng trồng keo lai (*Acacia hybrid*) tại tỉnh Đồng Nai. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp 13(5): 51 - 61.
11. 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 Vietnam). Forest Ecology and Management 434: 131 - 141.
12. Zeide, B. 1987. Analysis of the 3/2 power law of self - thinning. Forestry Science 33: 517 - 537.
13. Zeide, B. 2005. How to measure stand density. Trees 19: 1 - 14.

Email tác giả liên hệ: cuongvfu.90@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/04/2025

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 01/05/2025; 13/05/2025

Ngày duyệt đăng: 17/05/2025