

Xác định chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng trồng keo lai (*Acacia hybrid*) tại tỉnh Đồng Nai

Nguyễn Văn Thêm¹, Lê Hồng Việt²

¹Hội Khoa học Kỹ thuật Lâm nghiệp TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai

Determining the density index and growth space of *Acacia hybrid* forests in Dong Nai province

Nguyen Van Them¹, Le Hong Viet²

¹Forestry Science and Technology Association of Ho Chi Minh City

²Vietnam National University of Forestry – Dongnai Campus

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.13.5.2024.051-061>

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng trồng keo lai (*Acacia hybrid*) ở những tuổi và chỉ số lập địa khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Chỉ số mật độ (RD) được xác định theo phương pháp [3, 5, 6]. Chỉ số không gian sinh trưởng (RS) được xác định theo phương pháp [8]. Số liệu nghiên cứu được thu thập ở rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa (SI). Chỉ số SI được xác định theo phương pháp [10]. Kết quả nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa logarit cơ số 10 của mật độ (LogN) và logarit cơ số 10 của đường kính quân phương (LogDg) của rừng keo lai là một đường thẳng với độ dốc $b = -1,638$. Chỉ số RD và chỉ số RS thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số SI. Nếu chu kỳ kinh doanh rừng keo lai là 10 năm và tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức 35%RD, thì mật độ để lại nuôi dưỡng là 450 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 65%. Nếu chu kỳ kinh doanh rừng keo lai là 10 năm và tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức 50%RD, thì mật độ để lại nuôi dưỡng là 640 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 50%. Nếu rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức chỉ số RS trên (RS_U), thì số cây để lại nuôi dưỡng là 675 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 42%.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 04/04/2024

Ngày phản biện: 07/05/2024

Ngày quyết định đăng: 10/06/2024

Từ khóa:

Chỉ số không gian sinh trưởng tương đối, chỉ số lập địa, chỉ số mật độ quần thụ, rừng keo lai, tỉa thưa rừng.

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the density index and growth space of *Acacia hybrid* forests at ages and different site indexes in Dong Nai province. The density index (SDI) was determined according to the method [3]. The relative spatial growth index was determined according to the method [8]. Research data were collected in *Acacia hybrid* forests from 2-10 ages on 5 site indexes (SI). Site indexes were determined according to the method [10]. Research results show that the relationship between the base 10 logarithm of density (LogN) and the base 10 logarithm of quadratic diameter (LogDg) of *Acacia hybrid* forests was a straight line with slope $b = -1.6387$. The density index and relative growth space index of *Acacia hybrid* forests change clearly with age and site index. If the business rotation of *Acacia hybrid* forest was 10 years and thinning was done once at age 5 with level 35%RD, then the density left for nurturing was 450 trees/ha and the thinning intensity was 65%. If the business rotation of *Acacia hybrid* forest was 10 years and thinning was done once at age 5 with level 50%RD, then the density left for nurturing was 640 trees/ha and the thinning intensity was 50%. If the business rotation of *Acacia hybrid* forest was 10 years and thinning was done once at age 5 at the RS_U index level, the density left for nurturing was 675 trees/ha and the thinning intensity is 42%.

Keywords:

Acacia hybrid forest, forest thinning, relative growth spatial index, site index, stand density index.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để đảm bảo cho rừng sinh trưởng tốt và ổn định, nhà lâm học cần phải nuôi rừng thông qua xử lý lập địa và tỉa thưa. Tỉa thưa rừng thường hướng đến điều chỉnh mật độ và không gian sinh trưởng tối ưu cho những cây gỗ được để lại tiếp tục nuôi dưỡng [1]. Mật độ cây gỗ là số cây trên đơn vị diện tích 1 ha (N, cây/ha). Mật độ cây gỗ có thể biểu thị thông qua chỉ số mật độ quần thụ (SDI = Stand Density Index) [2-4]. Theo Reineke (1933; dẫn theo [5, 6], khi quần thụ khép tán hoàn toàn, thì mối 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 $b = -1,605$. Nghiên cứu của Zeide [5, 6] cho thấy mối quan hệ Log(N)-Log(Dg) là một đường thẳng với độ dốc $b = -3/2$. Nghiên cứu của Comeau và cộng sự (2010) [7] đối với rừng ở Canada cho thấy độ dốc của hàm Log(N)-Log(Dg) là $b = -1,437$ đối với rừng vân sam Sitka và $b = -1,421$ đối với rừng Douglas-fir. Nói chung, mối quan hệ Log(N)-Log(Dg) thay đổi tùy theo kiểu rừng và lập địa.

Chỉ số mật độ quần thụ thường được xác định theo phương pháp của Reineke (1933; dẫn theo [6]. Reineke (1933) xác định chỉ số mật độ (SDI) từ mối quan hệ Log(N)-Log(Dg). Mật độ của quần thụ với $Dg = 25$ cm được gọi là chỉ số SDI. Giá trị $Dg = 25$ cm được gọi là đường kính quân phương cơ sở (D_{CS} , cm). Chỉ số SDI của quần thụ điều tra được so sánh với chỉ số SDI_{Max} . Chỉ số SDI_{Max} là chỉ số mật độ của quần thụ mà các cây gỗ không giao tán với nhau. Trong quần thụ này, tầng trưởng của cây gỗ và quần thụ là lớn nhất. Mức độ cạnh tranh giữa những cây gỗ trong các quần thụ điều tra được đánh giá theo tỷ lệ giữa chỉ số SDI của quần thụ này với chỉ số SDI_{Max} . Mật độ tương đối (RD = Relative Density) của rừng trồng thuần loài đồng tuổi là tỷ lệ giữa tổng tiết diện ngang (G, m^2/ha) và Dg [3].

Sản lượng của rừng phụ thuộc vào mức độ giao tán của các cây gỗ trong quần thụ. Đó là tỷ lệ giữa diện tích tán của quần thụ trên diện tích có cây gỗ. Theo quan điểm này, chỉ số

không gian tương đối (RS = Relative Spacial Index) của quần thụ là tỷ lệ khoảng cách trung bình của các cây gỗ trong quần thụ với chiều cao trung bình của những cây ưu thế (H_D , m) [8].

Rừng keo lai (*Acacia hybrid*) tại tỉnh Đồng Nai được trồng với mục đích cung cấp gỗ nguyên liệu cho chế biến bột giấy, ván dăm và đồ mộc gia dụng. Một số nghiên cứu [9, 10] đã phân chia chỉ số lập địa (SI = Site Index) và sản lượng gỗ của rừng keo lai (*Acacia hybrid*) theo những lập địa khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Hiện nay vẫn còn thiếu những nghiên cứu về phương pháp nuôi dưỡng rừng keo lai sau khi trồng. Để quản lý mật độ của rừng keo lai sau khi trồng, nhà lâm học cần phải biết mối quan hệ giữa mật độ với kích thước cây gỗ ở những tuổi khác nhau.

Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, mục tiêu của nghiên cứu này là xác định chỉ số mật độ và không gian sinh trưởng của rừng trồng keo lai ở những tuổi và chỉ số lập địa khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để xây dựng phương pháp nuôi dưỡng rừng trồng keo lai ở tỉnh Đồng Nai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng keo lai (*Acacia hybrid*) thuần loài từ 2-10 tuổi. Mật độ trồng rừng ban đầu là 1.667 cây/ha (2×3 m). Sau khi trồng, rừng keo lai không được tỉa thưa. Địa điểm nghiên cứu tại Ban quản lý rừng La Ngà và Ban quản lý rừng Xuân Lộc thuộc tỉnh Đồng Nai. Khu vực nghiên cứu mang đặc tính chung của khí hậu nhiệt đới gió mùa [9, 10]. 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 không khí dao động từ 23,9 đến 29,0°C. Lượng mưa dao động từ 2.400 đến 2.800 mm/năm. Độ ẩm không khí trung bình 80%. Độ cao dao động từ 80 đến 120 m so với mặt biển. Rừng keo lai được trồng trên đất xám phát triển từ phù sa cổ, đất nâu đỏ trên đá bazan và đất đỏ vàng trên đá phiến sét.

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Nghiên cứu này sử dụng lại nguồn số liệu của [9]. Nguồn số liệu này đã được thu thập ở rừng keo lai tại 5 cấp tuổi (A, năm) (A = 2, 4, 6, 8 và 10 năm). Mỗi cấp A được thu thập 10 ô tiêu chuẩn điển hình (OTC). Diện tích OTC là 500m² (25x20m). Các OTC được phân bố đều từ rừng keo lai sinh trưởng rất tốt đến rất xấu. Tổng số 5 cấp tuổi là 50 OTC. Theo [10], rừng keo lai tại tỉnh Đồng Nai được phân chia thành

5 cấp chỉ số lập địa (SI) tại tuổi 10. Chiều cao bình quân của những cây ưu thế (H_D, m) trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo Hàm 1; trong đó r² = hệ số xác định, SEE = sai lệch chuẩn của hàm ước lượng. Hàm ước lượng H_D tại tuổi A theo 5 chỉ số SI có dạng như Hàm 2. Năm cấp chỉ số SI tại tuổi 10 là 16, 19, 22, 25 và 28m; khi hiệu tương ứng là SI₁₆, SI₁₉, SI₂₂, SI₂₅ và SI₂₈.
 $H_D = 42,3957 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179})$ (1)
 $r^2 = 99,66\%; SEE = \pm 4,7$

$$H_D = SI \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times A_0^{-0,650179}) \quad (2)$$

Đường kính bình quân (D, cm), chiều cao bình quân (m), thể tích của cây bình quân (V, m³), mật độ bình quân (N, cây/ha), tiết diện ngang bình quân (G (m²/ha) và trữ lượng gỗ bình quân của rừng keo lai tại tuổi A năm trên

5 chỉ số SI được ước lượng tương ứng theo các Hàm 3-8 (Bảng 1). Ở Bảng 1, R² là hệ số xác định, SEE là sai lệch chuẩn của các hàm ước lượng.

Bảng 1. Các hàm sản lượng của rừng keo lai trên 5 chỉ số lập địa tại tỉnh Đồng Nai

Các hàm sản lượng	R ² (%)	±SEE	Hàm
$D = \exp(0,639476 + 1,00018 \times \ln(SI) - 2,90292 \times A^{-0,49498})$	99,8	0,03	(3)
$H = \exp(0,893052 + 0,99978 \times \ln(SI) - 3,06554 \times A^{-0,50116})$	99,8	0,03	(4)
$V = \exp(-7,32484 + 2,79806 \times \ln(SI) - 8,35365 \times A^{-0,45517})$	99,9	0,0005	(5)
$N = 1685,66 \times \exp(-0,0581583 \times A) + 601,645 / \exp(SI/A)$	98,6	22,4	(6)
$G = \exp(-1,81035 + 1,88423 \times \ln(SI) - 4,33503 \times A^{-0,668809})$	99,8	0,26	(7)
$M = \exp(-1,81876 + 2,70516 \times \ln(SI) - 6,90119 \times A^{-0,747526})$	99,9	0,97	(8)

Nguồn: Theo tài liệu [9]

Ghi chú: D (cm) = Đường kính bình quân; H (m) = Chiều cao bình quân; V (m³) = Thể tích của cây bình quân; N (cây/ha) = Mật độ bình quân của quần thụ; G (m²/ha) = Tiết diện ngang bình quân của quần thụ; M (m³/ha) = Trữ lượng gỗ bình quân của quần thụ; A (năm) = Tuổi của quần thụ.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xác định mối quan hệ giữa mật độ với đường kính quân phương của rừng keo lai

Đại lượng Dg của rừng keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức 9; trong đó N và G được ước lượng tương ứng theo Hàm 6 và 7.

$$Dg \text{ (cm)} = \sqrt{\frac{G}{(N \times 0,00007854)}} \quad (9)$$

Trong nghiên cứu này, đại lượng Dg của rừng keo lai tại tuổi A năm được ước lượng theo hàm Korf (1939) ở dạng Hàm 10; trong đó A là tuổi rừng keo lai, còn b₀-b₂ là các tham số. Giá trị Dg của rừng keo lai tại tuổi cơ sở A₀ = 10 năm được phân chia thành 5 cấp. Hàm phân cấp Dg tại A₀ có dạng như Hàm 11; trong

đó A là tuổi rừng keo lai, A₀ = 10 năm, còn b₀-b₂ là các tham số.

$$Dg = b_0 \times \exp(-b_1 \times A^{-b_2}) \quad (10)$$

$$Dg = D_{CS} \times \exp(-b_1 \times A^{-b_2}) / \exp(-b_1 \times 10^{-b_2}) \quad (11)$$

Mối quan hệ giữa Log(N)-Log(Dg, cm) được mô tả theo hàm tuyến tính (Hàm 12); trong đó a là điểm chặn, còn c là độ dốc. Theo [4, 6], chỉ số mật độ quần thụ của Reineke (SDI) là mật độ quần thụ tại đường kính quân phương cơ sở (D_{CS}, cm). Chỉ số SDI của quần thụ được xác định theo công thức 13; trong đó Dg_A = đường kính quân phương tại tuổi A, D_{CSA} = cấp Dg tại tuổi A₀, tham số b = (2-c), còn tham số c là độ dốc của Hàm 12. Từ công thức 13, mật độ quần thụ tại tuổi A (N_A, cây/ha) được xác định theo công thức 14. Trong nghiên cứu này, D_{CS}

của rừng keo lai được chọn tại A = 10 năm.

$$\text{Log}(N) = a - c \times \text{Log}(Dg) \quad (12)$$

$$\text{SDI}_A = N_A \times (Dg_A / D_{CSA})^b \quad (13)$$

$$N_A = \text{SDI}_A / (Dg_A / D_{CSA})^b \quad (14)$$

2.3.2. Xác định chỉ số mật độ của rừng keo lai theo phương pháp của Curtis (1982)

Theo [3], chỉ số mật độ của rừng keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI (RD_A) được xác định theo công thức 15; trong đó N_A , G_A và Dg_A là mật độ, tiết diện ngang và đường kính trung bình quân phương tại tuổi A. Giá trị N_A và Dg_A được ước lượng tương ứng theo Hàm 6 và 11.

$$RD_A = \frac{G_A}{\sqrt{Dg_A}} \quad (15a)$$

$$RD_A = \frac{(0,00007854 \times N_A \times Dg_A^2)}{\sqrt{Dg_A}} \quad (15b)$$

Chỉ số RD thay đổi theo A theo dạng đường cong Sigmoid. Vì thế, nghiên cứu này xây dựng hàm ước lượng $RD = f(A)$ theo dạng hàm Korf (1939) (Hàm 16). Ở Hàm 16, tham số a_0 là chỉ số RD_{Max} tại tuổi 2, tham số a_1 là độ dốc, tham số a_2 là hình dạng của đường cong $RD = f(A)$.

$$RD = a_0 \times \exp(-a_1 \times A^{-a_2}) \quad (16)$$

Đối với rừng đã khép tán kín và tự tỉa thưa, mật độ hiện còn tại tuổi A (N_{HCA} , cây/ha) được xác định theo công thức 17. Số cây tỉa thưa tại tuổi A (N_{ATT} , cây/ha) được xác định theo công thức 18; trong đó N_0 = mật độ trồng rừng ban đầu, N_{HCA} là mật độ hiện còn tại tuổi A. Cường độ tự tỉa thưa (I%) được xác định theo công thức 19.

$$N_{HCA} = \frac{RD_A}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (17)$$

$$N_{TT} = N_0 - N_{HCA} \quad (18)$$

$$I\% = (N_{TT} / N_{HCA}) \times 100 \quad (19)$$

Theo [3], để rừng khép tán và che phủ kín lập địa, chỉ số RD để lại nuôi dưỡng sau tỉa thưa bằng 35% so với chỉ số RD. Để rừng khép tán và lập địa không bị bỏ trống, chỉ số RD để lại nuôi dưỡng sau tỉa thưa bằng 50% so với chỉ số RD. Trong 2 trường hợp này, số cây hiện còn tại tuổi A được xác định tương ứng theo

công thức 20 và 21; trong đó Dg_A được ước lượng theo Hàm 11, còn chỉ số RD_A được xác định theo Hàm 16. Cường độ tỉa thưa ở 2 trường hợp này là 65% và 50%.

$$N_{(HC35\%)} = \frac{(0,35 \times RD_A)}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (20)$$

$$N_{(HC50\%)} = \frac{(0,5 \times RD_A)}{(0,00007854 \times Dg_A^{3/2})} \quad (21)$$

2.3.3. Xác định chỉ số không gian sinh trưởng của rừng keo lai

Chỉ số không gian tương đối của rừng keo lai tại tuổi A năm trên 5 chỉ số SI (RS_A) được xác định theo phương pháp [8]. Chỉ số RS là tỷ lệ giữa khoảng cách trung bình của các cây với chiều cao của những cây ưu thế (H_D). Chỉ số RS của rừng keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức 22a; trong đó N_A là mật độ của rừng keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI, còn H_{DA} là chiều cao của những cây ưu thế tại tuổi A trên 5 chỉ số SI. Từ công thức 22a, mật độ của rừng keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức 22b.

$$RS_A = \frac{\sqrt{10000 / N_A}}{H_{DA}} \quad (22a)$$

$$N_A (\text{cây/ha}) = \frac{10.000}{(RS_A \times H_{DA})^2} \quad (22b)$$

Chỉ số RS biến đổi theo A dưới dạng đường cong hình chữ J ngược. Vì thế, hàm $RS = f(A)$ được mô tả theo Hàm 23; trong đó m là RS_{Max} tại A = 2 năm, b là hằng số, còn c là tham số hình dạng. Mật độ (N, cây/ha) và H_D không chỉ thay đổi theo A, mà còn theo chỉ số SI. Vì thế, nghiên cứu này xây dựng 5 mô hình biểu diễn sự thay đổi của chỉ số RS theo A đối với rừng keo lai trên 5 chỉ số SI.

$$RS = m \times \exp(b \times A^{-c}) \quad (23)$$

Đối với rừng trồng tự tỉa thưa tự nhiên, chỉ số RS được sử dụng để xác định quy luật suy giảm số cây theo A. Theo [8], tỉa thưa rừng được xác định theo biên độ giữa ranh giới trên của chỉ số RS (RS_U) và ranh giới dưới của chỉ số RS (RS_L). Trong nghiên cứu này, chỉ số RS_U và RS_L được xác định tương ứng theo RS_{Max} và RS_{Min} . Chỉ số RS_U được thiết lập để đảm bảo

cho rừng keo lai sinh trưởng bình thường và che phủ kín lập địa. Chỉ số RS_L được thiết lập để xác định mật độ của rừng keo lai ở mức cao nhất. Nếu giữ mật độ sau tĩa thưa tại tuổi A ở chỉ số RS_{UA} và RS_{LA} , thì số cây còn lại sau tĩa thưa tại tuổi A (N_{UA} và N_{LA}) được xác định theo công thức 24; trong đó H_{DA} là chiều cao của những cây ưu thế tại tuổi A. Số cây tĩa thưa (N_{TT} , cây/ha) tại tuổi A được xác định theo công thức 25; trong đó N_{HC} (cây/ha) là mật độ hiện còn tại tuổi A, còn N_{NDA} ($N_{NDA} = N_{UA}$ và N_{LA} , cây/ha) là số cây để lại nuôi dưỡng sau tĩa thưa tại tuổi A. Cường độ tĩa thưa (%) được xác định theo công thức 26.

$$N_{UA} \text{ (cây/ha)} = \frac{10.000}{(RS_{UA} \times H_{DA})^2} \quad (24a)$$

$$N_{LA} \text{ (cây/ha)} = \frac{10.000}{(RS_{LA} \times H_{DA})^2} \quad (24b)$$

$$N_{TT} \text{ (Cây/ha)} = N_{HC} - N_{NDA} \quad (25)$$

$$\% = (N_{TT}/N_{HC}) \times 100 \quad (26)$$

2.3.4. Đánh giá sai lệch của các hàm hồi quy

Các tham số của hàm hồi quy và những thống kê sai lệch của các hàm 10-14, 16-17 và 23 được xác định theo phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Mức độ chặt chẽ của mối quan hệ giữa các biến phụ thuộc với các biến dự đoán được đánh giá theo hệ số xác định (R^2 ; Công thức 27). Sai lệch của các hàm hồi quy được đánh giá theo 4 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương (SSE; Công thức 28); (2) Sai số ước lượng (SEE; Công thức 29a) và hệ số biến động (CV; Công thức 29b); (3) Sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 30); (4) Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 31). Ở công thức 27-31, Y_i và Y_j tương ứng là biến phụ thuộc thực tế và ước lượng; Y_{bq} là giá trị bình quân thực tế của biến phụ thuộc; n = dung lượng mẫu; 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.

$$R^2 = (1 - (SSE/SST)) \times 100 \quad (27)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_j)^2 \quad (28)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{bq})^2$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}} \quad (29a)$$

$$CV\% = (SEE/Y_{bq}) \times 100 \quad (29b)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n (|Y_i - Y_j|/n) \quad (30)$$

$$MAPE = (1/n) (|Y_i - Y_j|/Y_i) \times 100 \quad (31)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Một số chỉ tiêu sản lượng của rừng keo lai

Chiều cao bình quân của các cây ưu thế (H_D , cm) ở rừng keo lai từ tuổi 2-10 trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo Hàm 2. Bốn chỉ tiêu sản lượng (D, H, N, G) của rừng keo lai được ước lượng theo các Hàm 3, 4, 6 và 7 (Bảng 1). Từ các Hàm 6 và 7, xác định được D_g của rừng keo lai từ tuổi 2-10 trên 5 cấp chỉ số SI. Bảng 2 tổng hợp những đặc trưng thống kê đối với D_g của rừng keo lai.

Những phân tích hồi quy cho thấy hàm ước lượng D_g của rừng keo lai từ 2-10 tuổi có dạng như Hàm 32. Hàm này nhận hệ số xác định rất cao và sai lệch rất nhỏ là vì D_g được ước lượng theo Hàm 6 và 7. Số liệu ở Bảng 2 cho thấy đại lượng D_g của rừng keo lai tại tuổi $A_0 = 10$ năm dao động từ 12-21 cm; trung bình 17,0 cm. Nếu phân chia D_g tại tuổi 10 năm thành 5 cấp với mỗi cấp 2,5 cm, thì 5 cấp đường kính cơ sở (D_{CS} , cm) nhận giá trị tương ứng là 12, 14,5, 17,0, 19,5 và 22,0 cm. Hàm ước lượng D_g của rừng keo lai tại tuổi A theo 5 cấp D_{CS} có dạng như Hàm 33. Giá trị D_g tại tuổi 10 năm là đường kính cơ sở (D_{CS} , cm). Bảng 3 tổng hợp D_g của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 cấp chỉ số SI. Bảng 4 tổng hợp một số chỉ tiêu sản lượng của rừng keo lai từ 2-10 tuổi.

$$D_g = 56,6891 \times \exp(-3,05683 \times A^{-0,395272}) \quad (32)$$

$$r^2 = 99,98\%; SEE = \pm 0,05; MAE = 0,035; MAPE = 5,2\%.$$

$$D_g = D_{CS} \times \exp(-3,05683 \times A^{-0,395272}) / \exp(-3,05683 \times 10^{-0,395272}) \quad (33)$$

Bảng 2. Đặc trưng thống kê đường kính quân phương của rừng keo lai tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	Dg (cm)	Min	Max	±SEE	CV%
2	5,5	4,1	7,0	1,2	20,8
4	9,7	7,2	12,2	2,0	20,3
6	12,6	9,2	15,9	2,6	21,0
8	14,8	10,7	18,7	3,2	21,4
10	17,0	12,0	21,2	3,6	21,9

Ghi chú: A (năm) = tuổi; Dg(cm) = Đường kính quân phương; Min và Max = Đường kính quân phương nhỏ nhất và lớn nhất, SEE = sai lệch chuẩn của Dg; CV% = Hệ số biến động của Dg.

Bảng 3. Đường kính quân phương của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa

A (năm)	Giá trị Dg (cm) tại tuổi A (năm) đối với 5 chỉ số SI				
	16	19	22	25	28
2	4,0	4,9	5,7	6,5	7,4
4	7,0	8,5	9,9	11,4	12,9
6	9,1	11,0	12,9	14,8	16,7
8	10,7	12,9	15,2	17,4	19,6
10	12,0	14,5	17,0	19,5	22,0

Bảng 4. Một số chỉ tiêu sản lượng của rừng keo lai tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	D (cm)	Dg (cm)	H (m)	H _D (m)	N (cây/ha)	G (m ² /ha)
2	5,3	5,7	6,2	6,8	1501	3,7
4	9,7	9,9	11,6	13,1	1340	10,3
6	12,6	12,9	15,4	17,1	1208	15,4
8	14,8	15,2	18,2	19,9	1103	19,4
10	16,5	17,0	20,4	22,0	1015	22,5

3.2. Chỉ số mật độ của rừng keo lai trên 5 chỉ số lập địa

3.2.1. Chỉ số mật độ của rừng keo lai theo phương pháp của Reineke (1933)

Những phân tích hồi quy cho thấy hàm ước lượng chỉ số mật độ (SDI) của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số SI được tổng hợp ở

Bảng 5. Các hàm này tồn tại với hệ số R² rất cao (>99,9%) và sai lệch rất nhỏ là vì chúng được ước lượng từ các hàm mật độ (Hàm 6) và đường kính quân phương (Hàm 33). Khi thay thế N và Dg vào các Hàm 34-39, xác định được chỉ số SDI của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số SI (Bảng 6).

Bảng 5. Hàm ước lượng chỉ số mật độ của rừng keo lai trên 5 chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	Các hàm chỉ số SDI	R ² (%)	±SEE	Hàm
16	$SDI_{12} = N_{16} \times (Dg_{16}/12)^{1,64445}$	99,99	0,282	(34)
19	$SDI_{14,5} = N_{19} \times (Dg_{19}/14,5)^{1,64447}$	99,99	0,174	(35)
22	$SDI_{17} = N_{22} \times (Dg_{22}/17)^{1,64394}$	99,99	0,158	(36)
25	$SDI_{19,5} = N_{25} \times (Dg_{25}/19,5)^{1,64355}$	99,99	0,399	(37)
28	$SDI_{22} = N_{28} \times (Dg_{28}/22)^{1,64481}$	99,99	0,398	(38)
Bình quân	$SDI_{BQ} = N_{BQ} \times (Dg_{BQ}/17)^{1,63866}$	99,98	2,651	(39)

Ghi chú: SI (m) = Chỉ số lập địa tại tuổi 10 năm (SI = 16, 19, 22, 25 và 28m); SDI_(12; 14,5; 17; 19,5; 22) = Chỉ số mật độ tại D_{CS}; N_{SI} (cây/ha) = Mật độ của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 cấp chỉ số lập địa; Dg_{SI} (cm) = Đường kính quân phương của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 cấp chỉ số lập địa.

Bảng 6. Chỉ số mật độ (SDI) của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa

A (năm)	Chỉ số SDI của rừng keo lai tại tuổi A (năm) trên 5 chỉ số SI					
	16	19	22	25	28	Bình quân
2	246	252	249	247	250	249
4	555	557	550	553	555	554
6	781	771	765	762	759	768
8	944	920	913	900	890	913
10	1064	1032	1009	992	979	1015

3.2.2. Chỉ số mật độ RD của rừng keo lai theo phương pháp của Curtis (1982)

Những đặc trưng thống kê đối với chỉ số RD của rừng keo lai được dẫn ra ở Bảng 7. Nói chung, chỉ số RD của rừng keo lai gia tăng theo tuổi và biến động khá lớn (CV > 28,0%). Hiện tượng này xảy ra là do hai đại lượng G và Dg biến đổi khá lớn theo A và chỉ số SI. Những phân tích hồi quy cho thấy hàm ước lượng chỉ số RD của rừng keo lai theo A trên 5 chỉ số SI có dạng như Hàm 40-45 (Bảng 8). Các hàm này có hệ số xác định rất cao ($R^2 = 99,9\%$) và sai lệch nhỏ (MAPE < 1,0%). Sai lệch của các hàm này rất nhỏ là vì chỉ RD tại tuổi A trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo Hàm 7 và 33. Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng chỉ số RD của rừng keo lai theo A trên 5 chỉ số SI. Từ các Hàm 40-45, xác định được chỉ số mật độ RD của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số SI (Bảng 9). Để rừng keo lai luôn khép tán và che phủ kín lập địa, mật độ để lại nuôi dưỡng ở giới hạn dưới và giới hạn trên được xác định

theo hai mức 35%RD và 50%RD. Theo công thức 20 và 21, xác định được mật độ để lại nuôi dưỡng và cường độ tỉa thưa rừng keo lai ở mức 35%RD và 50%RD (Bảng 10). Ở Bảng 10, số liệu ở cột 2 và 3 là mật độ hiện còn và tỷ lệ suy giảm mật độ của rừng keo lai ở giai đoạn trước tỉa thưa; số liệu ở cột 4 và 6 tương ứng là mật độ của rừng keo lai để lại nuôi dưỡng ở mức 35%RD và 50%RD; số liệu ở cột 5 và 7 tương ứng là cường độ tỉa thưa (I%) ở mức 35%RD và 50%RD.

3.3. Chỉ số không gian sinh trưởng của rừng keo lai

Từ Hàm 2 và 6, theo công thức 22, xác định được chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 cấp chỉ số SI. Đặc trưng thống kê đối với chỉ số RS của rừng keo lai được tổng hợp ở Bảng 11. Nói chung, chỉ số RS của rừng keo lai gia tăng theo tuổi và biến động khá lớn (CV > 20%). Hiện tượng này xảy ra là vì N và H_D biến đổi theo A và chỉ số SI.

Bảng 7. Đặc trưng thống kê chỉ số mật độ RD của rừng keo lai từ 2-10 tuổi

A (năm)	RD	Min	Max	±SEE	CV%
2	1,531	0,994	2,097	0,439	28,6
4	3,189	2,066	4,369	0,912	28,6
6	4,207	2,723	5,770	1,206	28,7
8	4,879	3,158	6,696	1,399	28,7
10	5,352	3,463	7,341	1,534	28,7

Ghi chú: A (năm) = tuổi rừng keo lai; RD = Chỉ số mật độ; Min và Max = Chỉ số RD nhỏ nhất và lớn nhất, SEE = sai lệch chuẩn của chỉ số RD; CV% = Hệ số biến động của Chỉ số RD.

Bảng 8. Các hàm ước lượng chỉ số RD đối với rừng keo từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số SI

Chỉ số SI(m)	Các hàm chỉ số RD = f(A)	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
16	$RD_{16} = 5,83682 \times \exp(-3,04073 \times A^{-0,766848})$	99,99	0,004	0,13	(40)
19	$RD_{19} = 7,23883 \times \exp(-3,0267 \times A^{-0,782024})$	99,99	0,005	0,14	(41)
22	$RD_{22} = 8,70732 \times \exp(-3,01755 \times A^{-0,795672})$	99,99	0,007	0,17	(42)
25	$RD_{25} = 10,2525 \times \exp(-3,0121 \times A^{-0,806986})$	99,99	0,010	0,20	(43)
28	$RD_{28} = 11,8643 \times \exp(-3,00939 \times A^{-0,81693})$	99,99	0,013	0,22	(44)
Bình quân	$RD_{BQ} = 8,77316 \times \exp(-3,0177 \times A^{-0,798341})$	99,99	0,008	0,18	(45)

Bảng 9. Chỉ số mật độ RD của rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa

A (năm)	Chỉ số RD tại tuổi A (năm) trên 5 chỉ số SI					
	16	19	22	25	28	Bình quân
2	0,977	1,245	1,531	1,833	2,150	1,547
4	2,042	2,601	3,199	3,832	4,499	3,235
6	2,704	3,435	4,216	5,043	5,914	4,262
8	3,149	3,991	4,890	5,842	6,842	4,943
10	3,470	4,391	5,372	6,409	7,499	5,428

Bảng 10. Mật độ của rừng keo lai ở giai đoạn trước và sau khi tỉa thưa ở mức 35%RD và 50%RD

A (năm)	Mật độ trước tỉa thưa		Mật độ nuôi dưỡng (N, cây/ha) theo			
	(N, cây/ha)	%	N _{35%RD}	I(%)	N _{50%RD}	I(%)
	(1)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2	1509	9,5	528	65	755	50
4	1356	18,7	475	65	678	50
6	1216	27,0	426	65	608	50
8	1108	33,6	388	65	554	50
10	1021	38,7	357	65	511	50

Những phân tích hồi quy cho thấy hàm ước lượng chỉ số RS, RS_L và RS_U bình quân của rừng keo lai có dạng như Hàm 46-48. Hàm ước lượng chỉ số RS của rừng keo lai trên 5 chỉ số

SI có dạng như Hàm 49-53 (Bảng 12). Từ các hàm 49-53, xác định được chỉ số RS đối với rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 cấp chỉ số SI (Bảng 13).

$$RS_{BQ} = 0,108037 \times \exp(2,42569 \times A^{-0,898228}) \quad (46)$$

$$r^2 = 99,9\%; \text{SEE} = \pm 0,0003; \text{MAE} = 0,0002; \text{MAPE} = 0,12\%.$$

$$RS_L = 0,0868878 \times \exp(2,41612 \times A^{-0,962493}) \quad (47)$$

$$r^2 = 99,9\%; \text{SEE} = \pm 0,0008; \text{MAE} = 0,0005; \text{MAPE} = 0,42\%.$$

$$RS_U = 0,135592 \times \exp(2,4467 \times A^{-0,855338}) \quad (48)$$

$$r^2 = 99,9\%; \text{SEE} = \pm 0,0009; \text{MAE} = 0,0005; \text{MAPE} = 0,22\%.$$

Bảng 11. Đặc trưng thống kê chỉ số RS đối với rừng keo lai từ 2-10 tuổi

A (năm)	RS	Min	Max	±SEE	CV%
2	0.397	0.300	0.524	0,089	22,4
4	0.217	0.164	0.286	0,048	22,3
6	0.175	0.133	0.229	0,038	21,7
8	0.157	0.120	0.205	0,034	21,4
10	0.148	0.114	0.192	0,031	20,9

Ghi chú: A (năm) = tuổi rừng keo lai; RS = Chỉ số không gian sinh trưởng; Min và Max = Chỉ số RS nhỏ nhất và lớn nhất, SEE = sai lệch chuẩn của chỉ số RS; CV% = Hệ số biến động của Chỉ số RS.

Bảng 12. Các hàm ước lượng chỉ số RS đối với rừng keo từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số SI

Chỉ số SI (m)	Các hàm chỉ số RS	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
16	$RS_{16} = 0,135593 \times \exp(2,4467 \times A^{-0,855347})$	99,99	0,0009	0,22	(49)
19	$RS_{19} = 0,118621 \times \exp(2,43404 \times A^{-0,88731})$	99,99	0,0009	0,32	(50)
22	$RS_{22} = 0,1052 \times \exp(2,41316 \times A^{-0,906064})$	99,99	0,0011	0,41	(51)
25	$RS_{25} = 0,094903 \times \exp(2,41292 \times A^{-0,931628})$	99,99	0,0008	0,38	(52)
28	$RS_{28} = 0,08689 \times \exp(2,4163 \times A^{-0,962546})$	99,99	0,0008	0,41	(53)

Bảng 13. Chỉ số RS đối với rừng keo lai từ 2-10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa

A (năm)	Chỉ số RS tại tuổi A (năm) trên 5 chỉ số SI					Bình quân
	16	19	22	25	28	
2	0,524	0,442	0,381	0,336	0,300	0,397
4	0,286	0,242	0,209	0,184	0,164	0,217
6	0,230	0,195	0,169	0,150	0,134	0,176
8	0,205	0,174	0,152	0,134	0,120	0,157
10	0,191	0,163	0,142	0,126	0,113	0,147

Từ các Hàm 46-48, công thức 22 và 24-26, xác định được chỉ số RS, RS_L, RS_U bình quân và số cây tía thưa bình quân (N_{TT}, cây/ha) đối với rừng keo lai từ 2-10 tuổi (Bảng 14). Ở Bảng 14, số liệu ở cột 1 (N_A, cây/ha) là mật độ của rừng keo lai được ước lượng theo Hàm 22b, trong đó H_{DA} và RS_A được ước lượng tương ứng theo Hàm 2 và 46; số liệu ở cột 3 và 5 tương ứng là RS_L và RS_U; số liệu ở cột 4 và 6 là mật độ bình quân của rừng keo lai từ 2-10 tuổi tương ứng với RS_L và RS_U; số liệu ở cột 7 và 8 tương ứng là số cây tía thưa bình quân (N_{TT}, cây/ha) và cường độ tía thưa bình quân (%) của rừng keo lai từ 2-10 tuổi được xác định theo RS_U. Cường độ tía thưa bình quân (%) đối với rừng keo lai thay đổi rất nhỏ theo tuổi là vì các biến N_A, N_L, RS_L và RS_U được

tính quân chung cho 5 chỉ số SI.

3.3. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.1. Thảo luận

(a) Sự thay đổi của mối quan hệ Log(N)-Log(Dg): Khi nghiên cứu quy luật tự tía thưa của rừng thuần loài và hỗn giao khác nhau, nhiều tác giả [5-7] nhận thấy mối quan hệ Log(N)-Log(Dg) thay đổi tùy theo kiểu rừng và lập địa. Đối với rừng keo lai tại tỉnh Đồng Nai, mối quan hệ Log(N)-Log(Dg) là một đường thẳng. Độ dốc của hàm này thay đổi rất nhỏ theo chỉ số SI; trung bình b = -1,6387. Hiện tượng này xảy ra là vì: (1) Mật độ của rừng keo lai thay đổi không lớn theo chỉ số lập địa; (2) Hàm phân cấp Dg được chọn với độ dốc bằng nhau.

Bảng 14. Chỉ số RS, mật độ và cường độ tía thưa đối với rừng keo lai từ 2-10 tuổi

A (năm)	N _A (cây/ha)	RS _L	N _L (cây/ha)	RS _U	N _U (cây/ha)	N _{TT} (cây/ha)	%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2	1388	0,300	2428	0,524	796	592	42,7
3	1324	0,201	2330	0,353	758	566	42,8
4	1235	0,164	2162	0,286	711	525	42,5
5	1167	0,145	2027	0,251	675	492	42,0
6	1110	0,134	1914	0,230	646	464	41,8
7	1062	0,126	1818	0,215	621	440	41,5
8	1023	0,120	1741	0,205	601	422	41,2
9	986	0,116	1670	0,197	582	404	41,0
10	959	0,113	1616	0,191	568	391	40,8

(b) *Chỉ số mật độ đối với rừng keo lai*: Khi xác định chỉ số mật độ đối với các kiểu rừng, Reineke (1933) đề xuất đường kính cơ sở (D_{CS} , cm) là 25 cm. Đối với rừng keo lai, nếu ước lượng D_g theo Hàm 32, thì $D_{CS} = 25\text{cm}$ xuất hiện ở tuổi 28 năm. Ở Việt Nam, chu kỳ kinh doanh rừng keo lai gỗ lớn được đề xuất là 10-15 năm. Vì thế, khi xác định chỉ số SDI đối với rừng keo lai, nghiên cứu này đề xuất chọn D_{CS} tại $A_0 = 10$ năm trên 5 chỉ số SI ($D_{SC16-28}$) tương ứng là 12, 14,5, 17, 19,5 và 22cm; trung bình $D_{CS} = 17$ cm. Việc chọn D_{CS} theo 5 cấp như trên không ảnh hưởng đến việc xác định chỉ số SDI và mật độ hiện còn của rừng keo lai. Chỉ số SDI được xác định đối với rừng keo lai đã khép tán kín và chưa qua tỉa thưa. Khi áp dụng vào thực tế, chỉ số SDI của rừng keo lai thực tế (điều tra) được so sánh với chỉ số SDI_{Max} của rừng keo lai. Theo chỉ số SDI, chủ rừng khó xác định những chỉ tiêu trong tỉa thưa rừng keo lai. Nguyên nhân là vì chủ rừng khó xác định được chỉ số SDI_{Max} . Trái lại, theo chỉ số RD của Curtis (1982)[3], chủ rừng xác định dễ dàng giới hạn dưới và giới hạn trên của mật độ đảm bảo cho rừng keo lai vẫn khép tán kín và lập địa không bị bỏ trống.

(c) *Xác định mật độ để lại nuôi dưỡng và cường độ tỉa thưa đối với rừng keo lai*: Theo phương pháp [3, 8], nghiên cứu này chỉ ra rằng chỉ số RD và chỉ số RS thay đổi rõ rệt theo A và chỉ số SI. Giả định chu kỳ kinh doanh đối với rừng keo lai gỗ lớn là 10 năm. Rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5. Theo giả định này, nếu chỉ số RD tại tuổi 5 được giữ ở mức 35%RD, thì mật độ để lại nuôi dưỡng là 450 cây/ha và cường độ tỉa thưa (I%) là 65%. Nếu chỉ số RD tại tuổi 5 được giữ ở mức 50%RD, thì số cây để lại nuôi dưỡng là 640 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 50%. Theo chỉ số không gian tương đối (RS), nếu rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức chỉ số RS_U , thì số cây để lại nuôi dưỡng là 675 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 42% (Bảng 14). Theo hai phương pháp này, rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại

tuổi 5 với cường độ rất mạnh ($I > 35\%$). Những cây bị tỉa thưa không chỉ bao gồm những cây thuộc cấp sinh trưởng IV và V, mà còn một phần cây cấp III theo phân cấp của Kraft (1889; Dẫn theo [1]). Những cây để lại nuôi dưỡng thuộc cấp sinh trưởng trung bình, tốt và rất tốt. Các mức mật độ sau tỉa thưa được giữ ổn định đến kỳ khai thác chính ($A = 10$ năm).

3.3.2. Áp dụng kết quả nghiên cứu

(a) *Xác định chiều cao cây ưu thế (H_D , m) và đường kính quân phương (D_g , cm) của rừng keo lai*: Chỉ tiêu H_D và D_g của rừng keo lai được xác định theo 2 bước.

Bước 1: Xác định A và chỉ số SI của rừng keo lai theo đề xuất của [10].

Bước 2: Khi biết A và chỉ số SI, sử dụng Hàm 2 và 33 để xác định tương ứng H_D và D_g .

(b) *Xác định mật độ (N , cây/ha) và tiết diện ngang (G , m^2/ha) của rừng keo lai*: Khi biết A và chỉ số SI của của rừng keo lai, hai biến N và G được xác định tương ứng theo Hàm 6 và 7.

(c) *Xác định chỉ số mật độ của rừng keo lai*. Khi biết N và D_g ở mỗi A và chỉ số SI, thì chỉ số mật độ SDI được xác định theo các Hàm 34-39. Khi biết A và SI của rừng keo lai, thì chỉ số mật độ RD được xác định theo các Hàm 40-45.

(d) *Xác định chỉ số không gian sinh trưởng tương đối (RS) của rừng keo lai*. Khi biết A và chỉ số SI của rừng keo lai, thì chỉ số RS , RS_L và RS_U được xác định theo Hàm 46-48. Chỉ số RS của rừng keo lai trên 5 chỉ số SI được xác định theo Hàm 49-53.

(d) *Xác định mật độ để lại nuôi dưỡng (N_{ND} , cây/ha) và cường độ tỉa thưa (I%) đối với rừng keo lai*: Trong thực hành, trước hết chủ rừng cần xác định chính xác chu kỳ kinh doanh và số lần tỉa thưa đối với rừng keo lai trên 5 chỉ số SI. Để đơn giản, tác giả kiến nghị chỉ số mật độ của rừng keo lai được xác định theo phương pháp [3]. Sau đó áp dụng công thức 17-21 và Hàm 40-45 để xác định chỉ số RD, số cây tỉa thưa (N_{TT} , cây/ha), số cây nuôi dưỡng (N_{ND} , cây/ha) và cường độ tỉa thưa (I%) đối với rừng keo lai trên 5 chỉ số SI.

4. KẾT LUẬN

Mối quan hệ $\text{Log}(N)\text{-Log}(Dg)$ của rừng keo lai là một đường thẳng với độ dốc $b = -1,6387$. Chỉ số mật độ và chỉ số không gian sinh trưởng tương đối của rừng keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số lập địa. Nếu chu kỳ kinh doanh rừng keo lai là 10 năm và tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức 35%RD, thì mật độ để lại nuôi dưỡng là 450 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 65%. Nếu rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức 50%RD, thì mật độ để lại nuôi dưỡng là 640 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 50%. Theo chỉ số không gian tương đối (RS), nếu rừng keo lai được tỉa thưa 1 lần tại tuổi 5 ở mức chỉ số RS_U , thì số cây để lại nuôi dưỡng là 675 cây/ha và cường độ tỉa thưa là 42%. Tác giả kiến nghị các cơ quan nghiên cứu cần tiếp tục phân tích mối quan hệ $\text{Log}(N)\text{-Log}(Dg)$, chỉ số mật độ và chỉ số không gian sinh trưởng đối với rừng keo lai ở những tuổi lớn hơn 10 năm. Ngoài ra, những nghiên cứu về kỹ thuật nuôi rừng keo lai cũng cần được quan tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Thêm Nguyễn Văn (2004). Lâm sinh học. Nxb. Nông nghiệp, Tp. Hồ Chí Minh.

[2]. Drew T. J. & Flewelling J. W. (1979). Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science*. 25(3): 32-518.

[3]. Curtis R. O (1982). A simple index of stand density for Douglas-fir. *Forest Science*. 28(1): 4-92.

[4]. Long J. N (1985). A practical approach to density management, *The Forestry Chronicle*. 61(1): 7-23.

[5]. Zeide B (1987). Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. *Forest Science*. 33(2): 37-517.

[6]. Zhang L, Bi H, Gove J. H & Heath L. S (2005). A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line, *Canadian Journal of Forest Research*. 35(6): 4-1507.

[7]. Comeau P. G., White M., Kerr G. & Hale S. E. (2010). Maximum density-size relationships for Sitka spruce and coastal Douglas-fir in Britain and Canada, *Forestr.* 83, (5), tr. 461-8.

[8]. Schröder J & Gadov K. V (1999). Testing a new competition index for Maritime pine in Northwestern Spain, *Canadian Journal of Forest Research*. 29(2): 3-280.

[9]. Nguyễn Văn Thêm & Trần Thị Ngoan (2020). Hàm thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai (*Acacia auriculiformis** mangium) trên ba cấp đất tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 4: 59-68.

[10]. Nguyễn Văn Thêm (2023). Xây dựng các hàm sản lượng và phân tích biến động sản lượng gỗ của rừng Keo lai (*Acacia hybrid*) theo những lập địa khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển*. 22 (5): 22-35.