Xác định sản lượng gỗ rừng trồng Thông ba lá *(Pinus kesiya* Royle ex Gordon*)* trên những lập địa khác nhau tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng

Nguyễn Văn Thêm[1], Nguyễn Văn Nhẫn[2], Lê Hồng Việt[3], Nguyễn Văn Quý[3*]
[1]Hội Khoa học Kỹ thuật Lâm nghiệp TP. Hồ Chí Minh
[2]Ban Quản lý rừng Đại Ninh, huyện Đức Trọng, tỉnh Lâm Đồng
[3]Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai

Determining the timber production of pine plantations (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) on different sites in the Duc Trong area of Lam Dong province

Nguyen Van Them[1], Nguyen Van Nhan[2], Le Hong Viet[3], Nguyen Van Quy[3*]
[1]Forestry Science and Technology Association of Ho Chi Minh City
[2]Dai Ninh Forest Management Board at Duc Trong district of Lam Dong province
[3]Vietnam National University of Forestry – Dongnai Campus
**Corresponding author: quynvfu@gmail.com*

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.3.2025.078-088

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 16/12/2024
Ngày phản biện: 21/01/2025
Ngày quyết định đăng: 24/02/2025

Từ khóa:
Chỉ số lập địa, lập địa rừng, rừng Thông ba lá, sản lượng gỗ, tăng trưởng gỗ.

Keywords:
Forest site, plantation of Pinus kesiya, site index, timber growth, timber yield.

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu về sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên những lập địa khác nhau tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Chất lượng lập địa của rừng trồng Thông ba lá được đánh giá theo 5 cấp chiều cao ưu thế (H_D, m); trong đó H_D tại tuổi 30 năm là 5 chỉ số lập địa (SI). Đặc điểm của rừng trồng Thông ba lá từ tuổi 5-30 năm trên 5 cấp chỉ số SI đã được thu thập từ 90 ô tiêu chuẩn tạm thời với kích thước 1000 m^2. Kết quả nghiên cứu cho thấy sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi 30 năm trên chỉ số SI_{30} (1.038,2 m^3/ha hay 100%) lớn hơn so với SI_{26} (739,0 m^3/ha), SI_{22} (497,0 m^3/ha), SI_{18} (308,6 m^3/ha) và SI_{14} (169,9 m^3/ha) tương ứng là 28,8%, 52,1%, 70,3% và 83,6%. Cấp tuổi 10 là thời điểm đường kính và chiều cao của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số SI chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Cấp tuổi 25 là thời điểm sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số SI chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Năng suất gỗ trung bình của rừng trồng Thông ba lá 30 tuổi trên 5 chỉ số SI tương ứng là 34,6; 24,6; 16,5; 10,3 và 5,7 (m^3/ha/năm). Tuổi thành thục số lượng của rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng trên 5 cấp chỉ số SI là 50 năm.

ABSTRACT

This paper presents the results of research on the production of Pinus keysiya plantations on different sites in Duc Trong area of Lam Dong province. Site quality was assessed according to 5 classes of dominant height (H_D, m); in which H_D at the age of 30 years was the site index. Characteristics of Pinus keysiya plantations from 5-30 years old on 5 site indices were collected from 90 temporary standard plots with a size of 1000 m^2. The research results have shown that the timber production of the 30-year-old Pinus kesiya plantation on the SI_{30} (1,038.2 m^3/ha or 100%) was greater than that of SI_{26} (739.0 m^3/ha), SI_{22} (497.0 m^3/ha), SI_{18} (308.6 m^3/ha) and SI_{14} (169.9 m^3/ha) by 28.8%, 52.1%, 70.3% and 83.6%, respectively. Age class 10 was the period when the diameter and height of Pinus keysiya plantations changed from the fast growth stage to the slow growth stage. Age class 25 was the period when the timber production of

Pinus keysiya plantations changed from the fast growth stage to the slow growth stage. The average timber productivity of 30-year-old Pinus keysiya plantations on 5 site classes was 34.6; 24.6; 16.5; 10.3 and 5.7 (m^3/ha/year), respectively. The age of quantitative maturity for Pinus keysiya plantations in Duc Trong area on 5 site index classes was 50 years.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sản lượng gỗ ở mức cây cá thể và quần thụ là mối quan tâm của lâm học và điều tra rừng [1, 2]. Điều kiện sống của rừng được xác định thông qua điều kiện lập địa. Lập địa là tổng hợp các điều kiện môi trường (khí hậu, đất, địa hình, hoạt động của sinh vật) ảnh hưởng đến cây gỗ và rừng. Vì thế, chất lượng của lập địa rừng có thể được đánh giá thông qua chỉ số lập địa (Site Index = SI). Chỉ số SI là chiều cao của những cây ưu thế (H_D, m) tại tuổi cơ sở (A_0, năm). Nghiên cứu sự biến đổi sản lượng của rừng trồng trên những lập địa khác nhau là nhiệm vụ cơ bản của lâm học. Nghiên cứu ảnh hưởng của lập địa đến sản lượng rừng cung cấp thông tin để xây dựng các phương thức lâm sinh [2].

Tổng diện tích rừng trồng của tỉnh Lâm Đồng là 77.157,66 ha (100%) [3]; trong đó rừng trồng Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) tại khu vực Đức Trọng là 9.359,99 (12,1%). Trước đây nhiều tác giả ([4-7]) đã nghiên cứu sản lượng gỗ của rừng Thông ba lá ở Việt Nam. Kết quả của những nghiên cứu này đã góp phần làm rõ đặc tính của rừng trồng Thông ba lá. Tuy vậy, hiện nay vẫn còn thiếu các hàm sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên những chỉ số SI khác nhau ở mức địa phương. Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích sự biến đổi sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên những lập địa khác nhau tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để xây dựng các phương thức lâm sinh, thống kê sản lượng và phân tích hiệu quả kinh tế đối với rừng trồng Thông ba lá trên những lập địa khác nhau ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng Thông ba lá *(Pinus kesiya* ex Gordon*)* trong gian đoạn từ 4 đến 30 tuổi. Mật độ trồng rừng Thông ba lá ban đầu là 2.200 đến 3.300 cây/ha. Nghiên cứu được thực hiện tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Tọa độ địa lý: $108^0$22’13’’-$108^0$30’24’’ kinh độ Đông; $11^0$46’15’’-$11^0$55’27’’ vĩ độ Bắc. Độ cao địa hình từ 1.000-1.700m so với mặt nước biển. Độ dốc trên 20^0. Rừng Thông ba lá được trồng trên đất vàng đỏ phát triển trên đá granit. Khu vực nghiên cứu thuộc vùng khí hậu ôn hòa núi cao. Nhiệt độ không khí trung bình năm là 18^0C, cao nhất 18,9^{0}C, thấp nhất là 16,9^{0}C. Lượng mưa trung bình năm là 1.823 mm, cao nhất 2.357mm, thấp nhất 1.354 mm. Độ ẩm không khí trung bình năm là 84%, cao nhất 88%, thấp nhất 80% [10].

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Nghiên cứu này xác định các chỉ tiêu sản lượng ở mức cây bình quân (đường kính ngang ngực = D (cm) tại vị trí 1,3 m kể từ mặt đất; chiều cao toàn thân = H, m; thể tích thân = V, m^3) và quần thụ Thông ba lá (mật độ = N, cây/ha; tiết diện ngang thân = G, m^2/ha; sản lượng gỗ = M, m^3/ha). Các chỉ tiêu sản lượng của rừng trồng Thông ba lá đã được thu thập từ tuổi A = 4-30 năm; sau đó phân chia thành 6 cấp A với mỗi cấp A = 5 năm (A = 5, 10... 30). Tình trạng sinh trưởng của rừng trồng Thông ba lá ở mỗi cấp A được phân chia thành 5 cấp: rất tốt (1), tốt (2), trung bình (3), xấu (4) và rất xấu (5). Mỗi cấp A được thu thập 15 ô tiêu chuẩn trạm thời (OTC); trong đó mỗi tình trạng sinh trưởng của rừng trồng Thông ba lá là 3 OTC. Tổng số 6 cấp tuổi và 5 cấp sinh trưởng của rừng trồng Thông ba lá là 90 OTC. Diện tích OTC là 1.000 m^2 (25×40 m). Trong các OTC, xác định tuổi rừng theo hồ sơ trồng rừng hoặc đếm số

vòng năm tại D ngang ngực; đo D(cm) và H(m) của từng cây tương ứng bằng thước kẹp kính với độ chính xác 0,5 cm và thước Blume leise. Đối với mỗi trạng thái rừng ở tuổi 25-30 năm, giải tích 5 cây bình quân và 9 cây ưu thế. Tổng số 5 cấp sinh trưởng là 25 cây bình quân và 45 cây ưu thế. Cây bình quân có D tương đương với cây có tiết diện ngang bình quân (g_{Bq}, m^2). Cây ưu thế có H lớn nhất (H_D, m) và D lớn nhất (D_D, cm) trong OTC. Số liệu giải tích từ các cây ưu thế được sử dụng để phân chia rừng trồng Thông ba lá thành các cấp chỉ số SI. Số liệu giải tích từ các cây bình quân được sử dụng để phân tích quá trình sinh trưởng D, H và V ở mức cây bình quân. Những cây giải tích có thân thẳng và tròn đều; tán lá tròn; không bị cụt ngọn; sinh trưởng bình thường. Các cây giải tích được chặt hạ cách mặt đất 20-30 cm. Chiều dài thân được đo bằng thước dây với độ chính xác 1,0 cm. Sau đó phân chia thân cây giải tích thành các phân đoạn với chiều dài (L) 100 cm; đoạn ngọn có chiều dài (L_n) trên dưới 100 cm. Đối với các phân đoạn, cưa các thớt ở đầu lớn và đáy đoạn ngọn. Đường kính và bề rộng của các vòng năm trên các thớt được xác định bằng thước Panme với độ chính xác 0,1 mm. Bảng 1 tổng hợp đặc trưng thống kê H_D của rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng.

Bảng 1. Chiều cao cây ưu thế của rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

A (năm)	n (cây)	H_D (m)	H_{DMin}	H_{DMax}	±SEE(1)	CV%(2)
4	45	4,3	2,3	6,3	1,2	29,3
10	45	11,6	7,1	16,5	3,0	26,2
16	45	16,4	10,1	23,0	4,2	25,5
20	45	18,8	11,7	26,3	4,7	25,0
26	45	21,2	13,3	29,6	5,2	24,4
30	45	21,9	14,0	31,0	5,4	24,6

(1) SEE = Sai lệch chuẩn của số trung bình; (2) CV% = Hệ số biến động.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng hàm chiều cao ưu thế của rừng trồng Thông ba lá

(a) Xây dựng hàm ước lượng H_D bình quân chung của rừng trồng Thông ba lá. Hàm H_D = f(A) được xây dựng theo hàm Chapman-Richards (1959)[8] (Hàm 1); trong đó a_i là các tham số.

$$H_D = a_0\times(1-\exp(-a_1\times A^{-a2}))^{a3} \quad (1)$$

Theo định nghĩa, chỉ số SI là H_D tại tuổi cơ sở (A_0, năm) (Hàm 2).

$$SI = a_0\times(1-\exp(-a_1\times A_0^{-a2}))^{a3} \quad (2)$$

Chia hàm 1 cho hàm 2, nhận được hàm H_D ở dạng hàm 3.

$$H_D=SI\times(1-\exp(-a_1\times A^{-a2}))^{a3}/(1-\exp(-a_1\times A_0^{-a2}))^{a3} \quad (3)$$

(b) Xác định tuổi cơ sở (A_0, năm) để phân chia các chỉ số SI. Ở khu vực nghiên cứu, cấp tuổi cao nhất của rừng trồng Thông ba lá là 30 năm. Vì thế, giá trị A_0 được chọn tại tuổi 30 năm.

(c) Phân chia các cấp chỉ số SI. Chất lượng lập địa của rừng trồng Thông ba lá được phân chia thành 5 cấp; trong đó cấp I, II, III, IV và V tương ứng là lập địa rất tốt, tốt, trung bình, xấu và rất xấu. Năm cấp lập địa này được đánh giá theo 5 cấp chỉ số SI tại A_0 = 30 năm.

(d) Xây dựng các hàm H_D = f(A) theo 5 cấp chỉ số SI. Các hàm H_D của 5 cấp chỉ số SI được xây dựng từ 30 cây ưu thế theo hàm 1.

(e) Kiểm định khả năng ứng dụng của các hàm H_D để phân chia các cấp chỉ số SI. Khả năng ứng dụng của 5 hàm H_D đối với 5 cấp chỉ số SI được kiểm định từ 15 cây ưu thế không tham gia xây dựng hàm H_D; trong đó mỗi cấp chỉ số SI là 3 cây. Mức độ phù hợp giữa hàm H_D ở mỗi cấp chỉ số SI so với hàm H_D của 3 cây kiểm tra được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính bậc 1. Để đạt mục đích này, trước hết mô tả 5 hàm H_D trên 5 cấp chỉ số SI và 5 hàm H_D ước lượng từ những cây kiểm tra bằng hàm Korf

(1939) [8]. Tiếp đến tuyến tính hóa các hàm này theo dạng hàm 4. Sau đó so sánh điểm chặn (a) và độ dốc (b) của các hàm này. Giả thuyết: Điểm chặn (a) và độ dốc (b) của các hàm này là không khác nhau. Khi P > 0,05, thì giả thuyết H_0 được chấp nhận. Trái lại, khi P < 0,05, thì các hàm H_D ở mỗi cấp chỉ số SI là khác nhau.

$$Ln(Ln(m/H_D)) = Ln(a_1) - a_2 \times Ln(A) \quad (4)$$

Đặt $Ln(Ln(m/H_D)) = Y$; $Ln(a_1) = a$; $a_2 = b$ và $Ln(A) = X$. Từ đó $Y = a - b \times X$.

(f) Xây dựng biểu H_D và đường cong chỉ số SI. Giá trị H_D của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi A được xác định bằng cách thay thế A và A_0 vào các hàm H_D tương ứng với 5 chỉ số SI. Sau đó xây dựng đồ thị biểu diễn sự biến đổi của H_D và chỉ số SI; trong đó trục tung là H_D và SI, còn trục hoành là cấp A (năm).

(g) Kiểm định sai lệch giữa H_D của biểu chỉ số SI trong nghiên cứu này (Phương pháp 1) và H_D trong biểu cấp đất của sổ tay điều tra quy hoạch rừng (Phương pháp 2) [5]. Sự khác nhau giữa 2 phương pháp này được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính bậc 1. Giả thuyết H_0: Điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính bậc 1 này là không khác nhau. Khi P > 0,05, thì giả thuyết H_0 được chấp nhận. Ngược lại, nếu P < 0,05, thì điểm chặn và độ dốc của các hàm này là khác nhau.

2.3.2. Xây dựng các hàm sản lượng của rừng trồng Thông ba lá theo các chỉ số lập địa

(a) Xây dựng hàm sinh trưởng D, H và V ở mức cây bình quân trên 5 chỉ số SI. Ba hàm này được xây dựng theo hàm 5 [9]; trong đó Y = D, H và V, SI = chỉ số lập địa, Ln = logarit cơ số Neper, A = tuổi rừng, còn b_i là các tham số của các hàm sản lượng.

$$Y = \exp(b_0 + b_1 \times Ln(SI) - b_2 \times A^{-b3}) \quad (5)$$

(b) Xây dựng hàm hình số thân ngang ngực (F) ở mức cây bình quân. Hàm F được xây dựng theo hàm 6; trong đó D và H tương ứng là D và H của cây bình quân, còn c_i là các tham số. Hàm 6 được sử dụng để xác định thể tích (V, m^3) của cây bình quân theo công thức $V = g \times H \times F_{1.3}$; trong đó g là tiết diện ngang, F là hình số, D và H tương ứng là D và H của cây bình quân tại A năm.

$$F = c_0 \times (D^{c1} \times H^{c2}) \quad (6)$$

(c) Xây dựng các hàm tiết diện ngang (G, m^3/ha) và sản lượng gỗ cây đứng cả vỏ (M, m^3/ha) của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI. Hai đại lượng G và M tại tuổi A trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức 7; trong đó N_A là mật độ tại tuổi A năm, $Y_{Bq} = g_{Bq}$ và V_{BqA} tương ứng là tiết diện ngang và thể tích thân cây bình quân tại tuổi A năm. Hàm $N_A = f(A)$ trên 5 chỉ số SI được xây dựng theo dạng hàm 8 [9]; trong đó d_i là các tham số, SI = chỉ số lập địa. Mô hình sinh trưởng G và M của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI được xây dựng theo hàm 5 [9]; trong đó Y = G và M tại A năm.

$$Y_A = N_A \times Y_{BqA} \quad (7)$$

$$N_A = d_0 \times \exp(-d_1 \times A) + d_2/\exp(SI/A) \quad (8)$$

(d) Khảo sát tăng trưởng D, H ở mức cây bình quân và M của rừng trồng Thông ba lá. Trước hết sử dụng các hàm sản lượng ở dạng hàm 5 để ước lượng D, H, V ở mức cây bình quân, G và M của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI. Sau đó xác định lượng tăng trưởng bình quân hàng năm theo định kỳ n năm của các biến sản lượng (Y = D, H, D, V,G, M) theo công thức 9; trong đó A là tuổi rừng, còn n = 5 là số năm định kỳ tính lượng tăng trưởng. Lượng tăng trưởng bình quân của các biến sản lượng Y sau A năm được xác định theo công thức 10.

$$ZY_A = \frac{Y_A - Y_{A-n}}{n} \quad (9)$$

$$\Delta Y_A = \frac{Y_A}{A} \quad (10)$$

2.3.3. Đánh giá sai lệch của các hàm sản lượng

Các tham số hồi quy và những thống kê sai lệch của các hàm H_D và sản lượng ở mức cây bình quân và quần thụ Thông ba lá (Hàm 1, 5, 6, 8) 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 sản lượng với các biến dự đoán được đánh giá theo hệ số xác định (R^2; Công thức 11). Sai lệch của các hàm hồi quy được đánh giá theo tổng

sai lệch bình phương (SSE; Công thức 12), sai số ước lượng (SEE; Công thức 13), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 14), sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 15). Ở công thức 11-15, Y_i và Y_J tương ứng là sản lượng thực tế và ước lượng; Y_{Bq} là sản lượng thực tế bình quân; 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.

$$R^2 = (1 - (SSE/SST))\times 100 \quad (11)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}(Yi - Yj)^2 \quad (12)$$

$$SST = \sum_{i=1}^{n}(Yi - YBq)^2$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}} \quad (13)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{n}((|Yi - Yj|)/n) \quad (14)$$

$$MAPE = (1/n)(|Y_i - Y_J|/Y_i)\times 100 \quad (15)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Biểu chỉ số lập địa đối với rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

3.1.1. Xây dựng hàm H_D và hàm chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá

Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy hàm ước lượng H_D của rừng trồng Thông ba lá từ 4 đến 30 tuổi có dạng như Hàm 16. Hàm này có hệ số xác định rất cao (r^2 = 99,86%) và sai lệch rất nhỏ (MAPE = 2,9%) chứng tỏ nó có thể được sử dụng để ước lượng H_D của rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng. Từ Hàm 16, xác định được hàm chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi A_0 (Hàm 17).

$$H_D = 24{,}5436\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607} \quad (16)$$

$$r^2 = 99{,}86\%;\ SEE = \pm 1{,}3;\ MAE = 0{,}20;\ MAPE = 2{,}9\%$$

$$H_D = SI\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times A_0))^{1{,}4607} \quad (17)$$

3.1.2. Phân chia các cấp chỉ số SI đối với rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Tại khu vực Đức Trọng, cấp A cao nhất của rừng trồng Thông ba lá là 30 năm. Vì thế, nghiên cứu này chọn tuổi cơ sở A_0 = 30 năm để phân chia các cấp chỉ SI đối với rừng trồng Thông ba lá. Biên độ H_D tại A = 30 năm dao động từ 14 đến 31 m hay 18 m (làm tròn) (Bảng 1). Nếu phân chia H_D tại A_0 = 30 năm thành 5 cấp và mỗi cấp là 4 m, thì 5 chỉ số SI tương ứng là 30, 26, 22, 18 và 14 m. Các chỉ số SI này được kí hiệu tương ứng là SI_{30}, SI_{26}, SI_{22}, SI_{18} và SI_{14}. Các chỉ số SI được phân chia thành 5 cấp; trong đó giới hạn trên-giữa-dưới của chỉ số SI thuộc cấp I, II, III, IV và V tương ứng là 32-30-28; 28-26-24; 24-22-20; 20-18-16; 16-14-12. Các hàm ước lượng H_D trung bình của 5 cấp chỉ số SI này có dạng như Hàm 18-22 (Bảng 2).

Bảng 2. Các hàm chiều cao cây ưu thế trên 5 chỉ số lập địa của rừng trồng Thông ba lá

Chỉ số SI	Các hàm H_D theo 5 chỉ số SI	Hàm
30	$H_{D30} = 30\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times 30))^{1{,}4607}$	(18)
26	$H_{D26} = 26\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times 30))^{1{,}4607}$	(19)
22	$H_{D22} = 22\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times 30))^{1{,}4607}$	(20)
18	$H_{D18} = 18\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times 30))^{1{,}4607}$	(21)
14	$H_{D14} = 14\times(1-\exp(-0{,}0891323\times A))^{1{,}4607}/(1-\exp(-0{,}0891323\times 30))^{1{,}4607}$	(22)

3.1.3. Kiểm định sự phù hợp cùa các hàm chỉ số SI

Bằng cách tuyến tính hóa từng hàm chỉ số SI ở Bảng 2 và H_D của 3 cây kiểm tra ở mỗi cấp chỉ số SI tương ứng, xác định được điểm chặn (a) và độ dốc (b) của các hàm hồi quy tuyến tính (Bảng 3). Số liệu ở Bảng 3 cho thấy điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của các hàm chỉ số SI (SI_{30}, SI_{26}, SI_{22}, SI_{18} và SI_{14}) và 5 hàm H_D của các cây kiểm tra khác nhau không rõ rệt (P >

0,10). Điều đó chứng tỏ các Hàm 18-22 là các hàm thích hợp để xây dựng biểu H_D và đường cong chỉ số SI đối với rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng.

Bảng 3. So sánh sự khác nhau về điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của 5 hàm chỉ số SI và H_D của những cây kiểm tra trên 5 cấp chỉ số SI

Cấp chỉ số SI	Hàm H_D kiểm tra		Hàm H_D ước lượng		Mức ý nghĩa	
	$a^{(1)}$	$b^{(2)}$	$a'^{(1)}$	$b'^{(2)}$	P_a	P_b
30	1,6785	-0,5991	1,6562	-0,5976	0.058	0,894
26	1,6796	-0,5515	1,6353	-0,5394	0,056	0,175
22	1,6796	-0,5027	1,6268	-0,4855	0,085	0,577
18	1,6319	-0,4277	1,6306	-0,4344	0,054	0,437
14	1,6511	-0,3782	1,6481	-0,3846	0,052	0,473

Ghi chú: (1) và (2) Điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính.

3.1.4. Xây dựng biểu H_D và đường cong chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá

Biểu H_D(m) và các đường cong chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá được xây dựng bằng cách thay thế A năm vào các Hàm 18-22 ở Bảng 2. Bảng 4 tóm tắt các giá trị H_D từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI. Đồ thị biểu diễn H_D tương ứng với 5 chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá được xây dựng với trục tung là H_D và SI, còn trục hoành là A năm (Hình 1).

Bảng 4. Chiều cao trung bình của những cây ưu thế đối với rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng

Cấp A (năm)	Các giá trị H_D (m) theo 5 chỉ số SI:				
	30	26	22	18	14
5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5
10	15,4	13,3	11,3	9,2	7,2
15	21,3	18,5	15,6	12,8	10,0
20	25,4	22,1	18,7	15,3	11,9
25	28,2	24,4	20,7	16,9	13,2
30	30,0	26,0	22,0	18,0	14,0

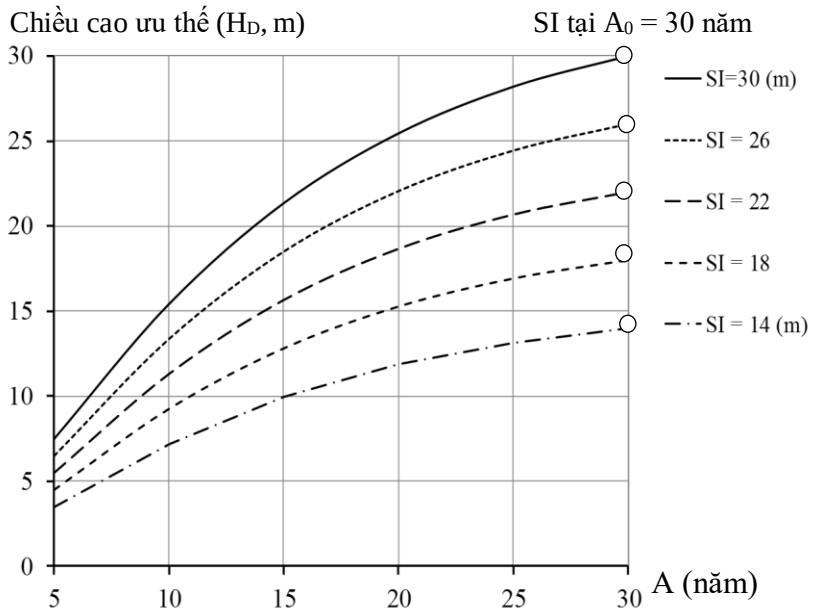
3.1.5. Sai khác giữa H_D của biểu chỉ số SI và biểu cấp đất trong sổ tay điều tra quy hoạch rừng

Sự khác nhau giữa H_D được ước lượng từ 5 Hàm 18-22 trong nghiên cứu này (Phương pháp 1) và H_D từ biểu cấp đất trong sổ tay điều tra quy hoạch rừng [5] (Phương pháp 2) được dẫn ra ở Bảng 5. Số liệu ở Bảng 5 cho thấy các điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của 5 hàm H_D theo phương pháp 1 và 5 hàm H_D theo phương pháp 2 khác nhau rất rõ rệt ($P < 0,01$). Tại tuổi 30 năm, giá trị H_D ở phương pháp 2 lớn hơn 1,7 m so với phương pháp 1. Sai lệch này là do: (1) Sự khác nhau về phạm vi nghiên cứu và phương pháp thu thập và xử lý số liệu; (2) Phương pháp 1 phân chia 5 cấp chỉ số SI tại A_0 = 30 năm với khoảng cách mỗi cấp SI = 4 m.

3.2. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa tại khu vực Đức Trọng

3.2.1. Xây dựng các hàm sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số lập địa

Những phân tích hồi quy và tương quan cho thấy các hàm sản lượng ở mức cây bình quân (D, H, V) và quần thụ Thông ba lá (N, G, M) trên 5 cấp chỉ số SI có dạng như Hàm 23-29 (Bảng 6). Các hàm này đều nhận hệ số xác định rất cao ($R^2 > 99,0\%$) và sai lệch nhỏ (MAPE < 5%). Vì thế, chúng được sử dụng để xác định sản lượng ở mức cây bình quân và rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số SI tại khu vực Đức Trọng.



Hình 1. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của H_D(m) và chỉ số SI(m) tại tuổi 30 năm đối với rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Bảng 5. Sự khác nhau về điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của 5 hàm chỉ số SI và H_D của biểu cấp đất đối với rừng Thông ba lá. Giá trị H_D từ sổ tay điều tra quy hoạch rừng (1995) [5]

Cấp đất	Chỉ số SI	Phương pháp 1		Phương pháp 2		Mức ý nghĩa	
		a(1)	b(2)	a'(1)	b'(2)	Pa	Pb
I	30	1,6562	-0,5976	1,6960	-0,6235	< 0,01	< 0,01
II	26	1,6353	-0,5394	1,6867	-0,5689	< 0,01	< 0,01
III	22	1,6272	-0,4857	1,6932	-0,5204	< 0,01	< 0,01
IV	18	1,6305	-0,4344	1,7151	-0,4758	< 0,01	< 0,01
V	14	1,6483	-0,3847	1,7618	-0,4379	< 0,01	< 0,01

Ghi chú: (1) và (2) Điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính.

Bảng 6. Các hàm sản lượng đối với rừng trồng Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Các hàm sản lượng:	R^2(%)	±SEE	MAPE	Hàm
$D = \exp(2{,}42573 + 0{,}873196\times Ln(SI) - 8{,}54898\times A^{-0{,}471528})$	99,99	0,05	1,5	(23)
$H = \exp(0{,}789865 + 1{,}0011\times Ln(SI) - 5{,}81889\times A^{-0{,}559406})$	99,99	0,05	2,5	(24)
$V = \exp(-4{,}91925 + 2{,}80513\times Ln(SI) - 21{,}9483\times A^{-0{,}494369})$	99,99	0,00002	5,7	(25)
$F_{1,3} = 0{,}54453\times (D^{-0{,}309594}\times H^{0{,}303091})$	79,8	0,0384	6,1	(26)
$N = 3049{,}91\times\exp(-0{,}0811866\times A) + 921{,}409/\exp(SI/A)$	99,2	49,3	2,4	(27)
$G = \exp(1{,}22005 + 1{,}34951\times Ln(SI) - 13{,}8426\times A^{-0{,}662529})$	99,93	0,56	8,6	(28)
$M = \exp(1{,}16648 + 2{,}37482\times Ln(SI) - 17{,}455\times A^{-0{,}596074})$	99,95	3,5	3,5	(29)

Ghi chú: R^2(%) = Hệ số xác định; SEE = Sai số chuẩn; MAPE = Sai số tuyệt đối trung bình theo %.

3.2.2. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa

Bằng cách khảo sát các Hàm 23-29 (Bảng 6), xác định được lượng tăng trưởng D, H và V ở mức cây bình quân, G và M của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI (Bảng 7-11). Bảng 12-14 tóm tắt tăng trưởng sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI. Số liệu ở Bảng 12 và 13 cho thấy hai đại lượng D và H bình quân của rừng trồng Thông ba lá thay đổi rõ rệt theo A và chỉ số SI. Lượng tăng trưởng D hàng năm lớn nhất (ZD_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14}

(0,85 cm/năm) đến chỉ số SI_{22} (1,27 cm/năm) và chỉ số SI_{30} (1,65 cm/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 1,26 cm/năm. Lượng tăng trưởng D bình quân năm lớn nhất (ΔD_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14} (0,71 cm/năm) đến chỉ số SI_{22} (1,05 cm/năm) và chỉ số SI_{30} (1,37 cm/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 1,04 cm/năm. Lượng tăng trưởng H hàng năm lớn nhất (ZH_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14} (0,66 m/năm) đến chỉ số SI_{22} (1,04 m/năm) và chỉ số SI_{30} (1,42 m/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 1,04 m/năm. Lượng tăng trưởng H bình quân năm lớn nhất (ΔH_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14} (0,62 m/năm) đến chỉ số SI_{22} (0,98 m/năm) và chỉ số SI_{30} (1,33 m/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 0,98 m/năm. Thời điểm xuất hiện ZD_{Max} và ZH_{Max} trên 5 chỉ số SI tại cấp tuổi 10. Vì thế, D và H của rừng trồng Thông ba lá chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại cấp tuổi 10.

Bảng 7. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên chỉ số SI_{30}

Cấp A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	V (m^3)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
5	2035	4,0	6,2	0,0051	2,8	12,9
10	1400	12,3	13,3	0,0898	16,4	123,9
15	1027	20,3	18,5	0,3222	33,4	320,3
20	807	27,5	22,3	0,6909	49,8	553,8
25	678	33,8	25,4	1,1637	64,7	797,4
30	606	39,5	27,8	1,7106	77,9	1038,2

Bảng 8. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên chỉ số SI_{26}

Cấp A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	V (m^3)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
5	2037	3,6	5,4	0,0034	2,3	9,2
10	1423	10,8	11,6	0,0601	13,5	88,2
15	1065	17,9	16,0	0,2157	27,5	228,0
20	852	24,3	19,3	0,4625	41,0	394,2
25	726	29,9	22,0	0,7789	53,3	567,6
30	654	34,9	24,1	1,1451	64,3	739,0

Bảng 9. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên cấp chỉ số SI_{22}

Cấp A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	V (m^3)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
5	2044	3,1	4,6	0,0021	1,9	6,2
10	1456	9,4	9,8	0,0376	10,8	59,3
15	1115	15,5	13,5	0,1350	22,0	153,4
20	908	21,0	16,4	0,2895	32,8	265,1
25	783	25,8	18,6	0,4875	42,6	381,7
30	710	30,1	20,4	0,7167	51,3	497,0

So sánh số liệu ở Bảng 7-11 cho thấy sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi 30 năm trên chỉ số SI_{30} (1.038,2 m^3/ha hay 100%) lớn hơn so với SI_{26} (739,0 m^3/ha), SI_{22} (497,0 m^3/ha), SI_{18} (308,6 m^3/ha) và SI_{14} (169,9 m^3/ha) tương ứng là 28,8%, 52,1%, 70,3% và 83,6%. Số liệu ở Bảng 14 cho thấy lượng tăng trưởng M hàng năm lớn nhất (ZM_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14} (8,0 m^3/ha/năm) đến chỉ số SI_{22} (23,3 m^3/ha/năm) và chỉ số SI_{30} (48,7 m^3/ha/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 25,8 m^3/ha/năm. Lượng tăng trưởng M bình quân năm lớn nhất (ΔM_{Max}) tăng dần từ chỉ số SI_{14} (6,2 m^3/ha/năm) đến chỉ số SI_{22} (18,2 m^3/ha/năm) và chỉ số SI_{30} (38,0 m^3/ha/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 20,1 m^3/ha/năm. Thời điểm xuất hiện ZM_{Max} và

ΔM_{Max} trên 5 chỉ số SI tương ứng tại cấp tuổi 25 và 50. Vì thế, cấp tuổi 25 là thời kỳ sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Tuổi thành thục số lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số SI là 50 năm (Hình 2). Sở dĩ tuổi thành thục số lượng của rừng trồng Thông ba lá giống nhau trên cả 5 cấp chỉ số SI là vì chúng đều được tính từ cùng một hàm sản lượng; trong đó hệ số $b_2 \times A^{-b3}$ của chúng là giống nhau. Những phân tích trên đây chứng tỏ rằng chất lượng lập địa ảnh hưởng rất lớn đến sản lượng của rừng trồng Thông ba lá.

Bảng 10. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên cấp chỉ số SI_{18}

Cấp A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	V (m^3)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
5	2057	2,6	3,7	0,0012	1,4	3,8
10	1507	7,9	8,0	0,0214	8,2	36,8
15	1180	13,0	11,1	0,0769	16,8	95,2
20	976	17,6	13,4	0,1649	25,0	164,6
25	849	21,7	15,2	0,2777	32,5	237,0
30	773	25,3	16,7	0,4082	39,1	308,6

Bảng 11. Sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trên cấp chỉ số SI_{14}

Cấp A (năm)	N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	V (m^3)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
5	2088	2,1	2,9	0,0006	1,0	2,1
10	1581	6,3	6,2	0,0106	5,9	20,3
15	1265	10,4	8,6	0,0380	11,9	52,4
20	1059	14,1	10,4	0,0815	17,8	90,6
25	927	17,4	11,8	0,1372	23,1	130,5
30	845	20,3	13,0	0,2017	27,9	169,9

Bảng 12. Tăng trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI

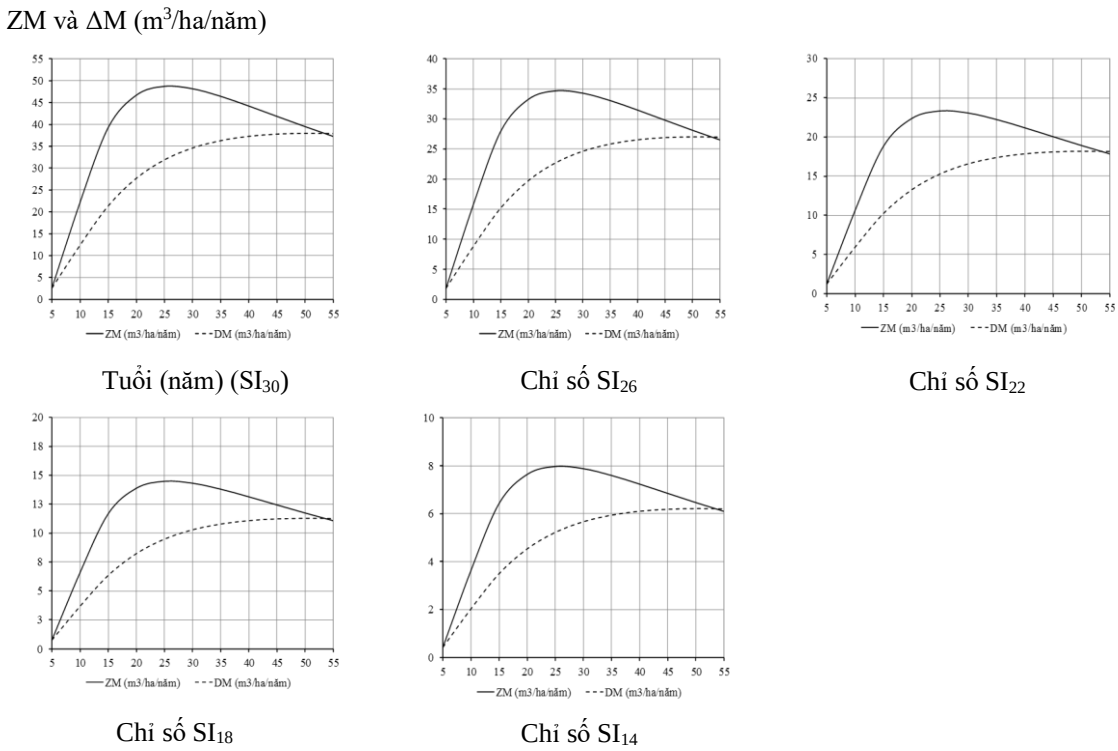
Chỉ số SI	Tăng trưởng hàng năm (cm/năm):		Tăng trưởng bình quân năm (cm/năm):	
	ZD_{Max}	A (năm)	ΔD_{Max}	A (năm)
30	1,65	10	1,37	20
26	1,46	10	1,21	20
22	1,27	10	1,05	20
18	1,06	10	0,88	20
14	0,85	10	0,71	20
Bình quân	*1,26*	*10*	*1,04*	*20*

Bảng 13. Tăng trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI

Chỉ số SI	Tăng trưởng hàng năm (m/năm):		Tăng trưởng bình quân năm (m/năm):	
	ZH_{Max}	A (năm)	ΔH_{Max}	A (năm)
30	1,42	10	1,33	10
26	1,23	10	1,16	10
22	1,04	10	0,98	10
18	0,85	10	0,80	10
14	0,66	10	0,62	10
Bình quân	*1,04*	*10*	*0,98*	*10*

Bảng 14. Tăng trưởng sản lượng gỗ cây đứng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số SI

Chỉ số SI	Tăng trưởng hàng năm (m^3/ha/năm):		Tăng trưởng bình quân năm (m^3/ha/năm):	
	ZM_{Max}	A (năm)	ΔM_{Max}	A (năm)
30	48,7	25	38,0	50
26	34,7	25	27,0	50
22	23,3	25	18,2	50
18	14,5	25	11,3	50
14	8,0	25	6,2	50
Bình quân	*25,8*	*25*	*20,1*	*50*



Hình 2. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng

Bảng 15. Sai lệch giữa một số chỉ tiêu sản lượng của rừng trồng Thông ba lá ở khu vực Đức Trọng với số liệu từ sổ tay điều tra quy hoạch rừng (1995) [5]

Cấp đất(*)	Chỉ số SI	Sai lệch tuyệt đối trung bình (%):				
		N (cây/ha)	D (cm)	H (m)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)
I	30	7,7	4,8	5,1	16,2	12,0
II	26	5,5	0,4	2,8	4,6	6,8
III	22	4,8	1,0	2,1	5,0	9,6
IV	18	3,0	0,6	2,9	3,0	11,6
V	14	2,8	0,9	3,0	3,5	10,6
Bình quân		4,8	1,5	3,2	6,4	10,1

Ghi chú: (*) Thuật ngữ khoa học trong sổ tay điều tra quy hoạch rừng (1995) [5]

So sánh sản lượng của rừng trồng Thông ba lá trong nghiên cứu này (Phương pháp 1) với số liệu của sổ tay điều tra quy hoạch rừng [5] (Phương pháp 2) cho thấy 2 chỉ tiêu D và H bình quân của rừng trồng Thông ba lá ở khu vực Đức Trọng chỉ lớn hơn tương ứng 1,5% và 3,2%, còn

ba chỉ tiêu N, G và M lớn hơn tương ứng 4,8%, 6,4% và 10,1% (Bảng 15). Sai lệch này là do: (1) Phương pháp 1 phân chia các cấp chỉ số SI tại A_0 = 30 năm; (2) Các hàm sản lượng (D, H, N, M) của phương pháp 1 được xây dựng với 2 biến dự đoán SI và A, còn phương pháp 2 chỉ bao gồm 1 biến dự đoán (A, năm); (3) Sự khác biệt về phạm vi nghiên cứu và phương pháp thu thập và xử lý số liệu.

4. KẾT LUẬN

Chất lượng lập địa của rừng trồng Thông ba lá ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng được đánh giá theo 5 cấp chỉ số lập địa tại tuổi 30 năm. Sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi 30 năm trên chỉ số SI_{30} (1.038,2 m^3/ha hay 100%) lớn hơn so với SI_{26} (739,0 m^3/ha), SI_{22} (497,0 m^3/ha), SI_{18} (308,6 m^3/ha) và SI_{14} (169,9 m^3/ha) tương ứng là 28,8%, 52,1%, 70,3% và 83,6%. Thời điểm đường kính và chiều cao của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số lập địa chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại cấp tuổi 10. Thời điểm sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số lập địa chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại cấp tuổi 25. Năng suất gỗ trung bình của rừng trồng Thông ba lá 30 tuổi trên 5 chỉ số SI = 30, 26, 22, 19 và 14 (m) tương ứng là 34,6; 24,6; 16,5; 10,3 và 5,7 (m^3/ha/năm). Tuổi thành thục số lượng của rừng trồng Thông ba lá trên 5 cấp chỉ số SI là 50 năm. Nhóm tác giả kiến nghị các cơ sở lâm nghiệp ở khu vực Đức Trọng có thể sử dụng kết quả của nghiên cứu này để thống kê sản lượng gỗ và phân tích hiệu quả lâm sinh – kinh tế đối với rừng trồng Thông ba lá.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vũ Tiến Hinh (2003). Sản lượng rừng. Giáo trình Trường Đại học Lâm nghiệp.

[2]. Nguyễn Văn Thêm & Phạm Minh Toại (2024). Sinh thái rừng. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[3]. Ủy ban nhân dân tỉnh Lâm Đồng (2024). Quyết định số 337/QĐ-UBND, ngày 29 tháng 02 năm 2024 về việc công bố hiện trạng rừng tỉnh Lâm Đồng năm 2023. Lâm Đồng.

[4]. Nguyễn Ngọc Lung & Đào Công Khanh (1999). Nghiên cứu tăng trưởng và sản lượng của rừng trồng (Áp dụng cho rừng Thông ba lá ở Việt Nam). NXB Nông Nghiệp, TP. Hồ Chí Minh.

[5]. Viện Điều tra, Quy hoạch rừng (1995). Sổ tay điều tra quy hoạch rừng. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.

[6]. Phó Đức Đỉnh (1996). Nghiên cứu xúc tiến tái sinh tự nhiên rừng thông ba lá (*Pinus keysia* Royle ex. Gordon) tại lâm trường Đà Lạt - Lâm Đồng 1996. Tóm tắt luận án Phó tiến sĩ khoa học nông nghiệp. Thư viện quốc gia Việt Nam.

[7]. Vũ Tấn Phương & Võ Đại Hải (2009). Cấu trúc sinh khối của rừng trồng Thông ba lá (Pinus kesiya ex Gordon) thuần loài tại tỉnh Lâm Đồng. Viện Khoa học Lâm nghiệp.

[8]. Zeide B (1993). Analysis of growth equations. Forest Science. 39(3): 594-616.

[9]. 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.

[10]. Wang Zhuo Min & Xue Li (2016). A Review on Effects of Forest Gap. World Forestry Research. 29(6): 48-53.