

Developing production models and analyzing timber production variation of *Acacia hybrid* plantations on different sites in Dong Nai province

Them V. Nguyen

Forest Science and Technology Association of Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: June 15, 2023

Revised: August 01, 2023

Accepted: August 16, 2023

Keywords

Acacia hybrid plantation

Forest site

Production function

Site index

Timber growth

Corresponding author

Nguyen Van Them

Email:

nvthem2009@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the variation in timber production in *Acacia hybrid* plantations based on age and different sites. Data were collected from 50 standard plots (25 × 20 m) of different plantation ages ranging from 2 to 10 years. The site condition of *Acacia hybrid* plantations were assessed using 5 site indices from I to V. Site index functions were developed from the height of 50 dominant trees at the age of 10. Production functions at the average tree level were constructed using data from 50 trees at age 10. The research results showed that 5 site indices of *Acacia hybrid* plantations had values of 28, 25, 22, 19 & 16 m, respectively. Timber production of *Acacia hybrid* plantations has changed markedly with age and site indices. The age of 2 could be the time when diameter and height of *Acacia hybrid* plantations change from the fast growing stage to the slow growing stage. By the age of 5, the timber volume of *Acacia hybrid* plantations changes from the fast growing stage to the slow growing stage. The average timber productivity of 10 year old *Acacia hybrid* plantations on 5 site indices from I đến V was 38.8, 28.6, 20.2, 13.6, & 8.5 m³/ha per year, respectively. The age of quantitative maturity of *Acacia hybrid* plantations on 5 site indices was 9 years of age.

Cited as: Nguyen, T. V. (2023). Developing production models and analyzing timber production variation of *Acacia hybrid* plantations on different sites in Dong Nai province. *The Journal of Agriculture and Development* 22(5), 22-35.

**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**

Nguyễn Văn Thêm

Hội Khoa Học & Kỹ Thuật Lâm Nghiệp TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO
Bài báo khoa học
Ngày nhận: 15/06/2023
Ngày chỉnh sửa: 01/08/2023
Ngày chấp nhận: 16/08/2023
Từ khóa
Chỉ số lập địa
Hàm sản lượng
Lập địa rừng
Rừng Keo lai
Tăng trưởng gỗ
Tác giả liên hệ
Nguyễn Văn Thêm
Email: nvthem2009@gmail.com

TÓM TẮT
Mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích sự biến đổi của sản sản lượng rừng Keo lai theo tuổi và những lập địa khác nhau. Đặc điểm của rừng Keo lai từ tuổi 2 đến 10 đã được thu thập từ 50 ô tiêu chuẩn với kích thước 500 m ² . Lập địa của rừng Keo lai đã được đánh giá theo 5 cấp chỉ số lập địa từ I đến V. Các hàm chỉ số lập địa đã được xây dựng từ chiều cao của 50 cây ưu thế tại tuổi 10. Các hàm sản lượng ở mức cây bình quân đã được xây dựng từ chiều cao của 50 cây tại tuổi 10. Kết quả nghiên cứu cho thấy 5 chỉ số lập địa của rừng Keo lai từ I đến V tương ứng là 28, 25, 22, 19 và 16 m. Sản lượng của rừng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và lập địa. Tuổi 2 là thời điểm đường kính và chiều cao của rừng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Tuổi 5 là thời điểm sản lượng gỗ của rừng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Năng suất gỗ trung bình hàng năm của rừng Keo lai 10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa từ I đến V tương ứng là 38,8, 28,6, 20,2, 13,6 và 8,5 m ³ /ha. Tuổi thành thực số lượng của rừng Keo lai trên 5 cấp chỉ số lập địa là 9 năm.

1. Đặt Vấn Đề

Sản lượng của rừng là chỉ tiêu phản ánh sức sản xuất của lập địa. Lập địa là tổng hợp những điều kiện môi trường (khí hậu, đất, địa hình, hoạt động của sinh vật) ảnh hưởng đến rừng. Sản lượng rừng trồng không chỉ thay đổi theo loài cây gỗ và cấu trúc, mà còn theo tuổi và lập địa. Trong lâm học, sức sản xuất của lập địa ở rừng trồng thường được đánh giá theo chỉ số lập địa (Site Index = SI). Chỉ số SI là chiều cao trung bình của những cây ưu thế ở tuổi cơ sở. Tuổi cơ sở là tuổi rừng được chọn để phân chia chỉ số SI. Ở Việt Nam, nhiều nghiên cứu (Nguyen & Dao, 1988; Tran, 2019; Nguyen & Tran, 2020) đã

xây dựng các hàm sản lượng đối với những loài cây gỗ khác nhau. Các nhà lâm học sử dụng sản lượng rừng không chỉ để đánh giá và so sánh sức sản xuất của các lập địa, mà còn xây dựng các phương thức lâm sinh (Nguyen, 2002; Vu, 2012). Các nhà kinh tế sử dụng sản lượng hay trữ lượng gỗ để phân tích hiệu quả tài chính và kinh tế của rừng (Vo & ctv., 2019; Lee & ctv., 2022).

Tổng diện tích rừng trồng của tỉnh Đồng Nai tính đến năm 2022 là 48.964 ha (DNPC, 2022); trong đó rừng sản xuất là 26.977 ha (55,1%). Phần lớn rừng sản xuất là rừng Keo lai (*Acacia hybrid*). Rừng Keo lai được trồng tập trung ở 5 huyện: Xuân Lộc, Vĩnh Cửu, La Ngà, Tân Phú và

Định Quán. Tran (2019) đã phân chia rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai thành 3 cấp chỉ số SI dựa theo chiều cao của cây ưu thế tại tuổi 8; trong đó khoảng cách giữa 2 cấp chỉ số SI kế cận là 4 m. Nguyen & Tran (2020) đã xây dựng các hàm thể tích thân cây bình quân của rừng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai theo 2 biến đường kính và chiều cao. Trong kinh doanh rừng với cường độ cao, chỉ số SI thường được phân chia thành 5 cấp; trong đó khoảng cách giữa 2 cấp chỉ số SI kế cận dao động từ 2 đến 3 m. Mặc khác, chỉ số SI thay đổi tùy theo dạng hàm và tuổi cơ sở để phân chia chỉ số SI. Sản lượng của rừng trồng không chỉ phụ thuộc vào tuổi, mà còn cả lập địa. Vì thế, phân chia chỉ số lập địa và xác định mối quan hệ giữa sản lượng của rừng Keo lai với tuổi và những lập địa khác nhau là vấn đề cần được đặt ra. Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích sự biến đổi của sản lượng rừng Keo lai theo tuổi và những lập địa khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để thống kê sản lượng, lập biểu quá trình sinh trưởng và phân tích hiệu quả tài chính và kinh tế đối với rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai.

2. Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng Keo lai (*Acacia hybrid*) từ 1 đến 10 tuổi. Mật độ trồng rừng Keo lai ban đầu là 1.667 cây/ha. Số liệu về rừng Keo lai được thu thập tại 3 huyện: Xuân Lộc, La Ngà và Vĩnh Cửu thuộc tỉnh Đồng Nai. Đây là ba khu vực có diện tích rừng Keo lai lớn nhất và lập địa đa dạng. Thời gian nghiên cứu từ 2018 đến 2020. Khu vực nghiên cứu mang đặc tính chung của khí hậu nhiệt đới gió mùa. Hàng năm khí hậu phân chia thành hai mùa mưa và khô rõ rệt. Mùa mưa kéo dài 6 tháng từ tháng 5 đến tháng 11, còn mùa khô từ tháng 12 năm trước đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ 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 xác định sản lượng của cây bình quân (đường kính = D , cm; chiều cao = H , m; thể tích = V , m^3) và rừng Keo lai (mật độ = N , cây/ha; tiết diện ngang thân = G , m^2 /ha; trữ lượng gỗ = M , m^3 /ha) đạt đến tuổi nhất định (A , năm). Để thu thập các chỉ tiêu sản lượng, rừng Keo lai đã được phân chia thành 5 cấp A với mỗi cấp $A = 2$ năm ($A = 2, 4, 6, 8$ và 10 năm). Mỗi cấp A được thu thập 10 ô tiêu chuẩn điển hình (OTC). Tình điển hình được xác định theo 5 tình trạng sinh trưởng của rừng Keo lai (rất tốt, tốt, trung bình, xấu và rất xấu) ở các cấp A . Tổng số 5 cấp tuổi là 50 OTC. Diện tích OTC là $500 m^2$ (25×20 m). Các OTC được phân bố đều vào 5 tình trạng sinh trưởng của rừng Keo lai.

Trong mỗi ô tiêu chuẩn, tuổi rừng Keo lai được xác định theo hồ sơ trồng rừng. Tất cả các cây trong các OTC được đo đường kính (D , cm) bằng thước kẹp kính với độ chính xác 0,5 cm. Chiều cao toàn thân (H , m) được đo đặc bằng thước Blume leise. Trong mỗi OTC tại tuổi 10, chọn 20% số cây ưu thế để phân chia các cấp chỉ số SI của rừng Keo lai. Những cây ưu thế có H lớn nhất (H_D , m) và D lớn nhất (D_D , cm) trong OTC.

Sinh trưởng của cây ưu thế và cây bình quân sau 10 năm được xác định bằng phương pháp giải tích. Các cây giải tích phân bố đều rừng Keo lai sinh trưởng rất tốt, tốt, trung bình, xấu và rất xấu; trong đó mỗi lập địa là 13 cây ưu thế và 10 cây bình quân. Tổng số cây giải tích là 65 cây ưu thế và 50 cây bình quân. Cây bình quân là cây có D tương đương với cây có tiết diện ngang bình quân (G_{bq} , m^2). Những cây giải tích có thân thẳng và tròn đều; tán lá tròn đều;

không bị cụt ngọn; sinh trưởng bình thường. Các cây giải tích được chặt hạ cách mặt đất 10 cm. Chiều dài thân cây ưu thế (H_D , m) và cây bình quân (H , m) được xác định bằng thước dây với độ chính xác 1,0 cm. Thân cây được phân chia thành các phân đoạn với chiều dài (L) 100 cm; đoạn ngọn có chiều dài (L_n) trên dưới 100 cm. Ở mỗi phân đoạn của cây giải tích, cura

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. Đặc trưng thống kê D và H của cây ưu thế và cây bình quân được tổng hợp tương ứng ở Bảng 1 và Bảng 2. Bảng 3 tổng hợp tiết diện ngang bình quân (G_{BQ} , m²/ha) và sản lượng gỗ bình quân (M_{BQ} , m³/ha) của rừng Keo lai.

Bảng 1. Đặc trưng thống kê đường kính và chiều cao cây ưu thế của rừng Keo lai

A (năm)	n (cây)	D_D (cm)	D_{DMin}	D_{DMax}	$D_{DMax} - D_{DMin}$	$\pm Sd^1$	$CV\%^2$
2	50	4,9	3,2	6,7	3,5	1,1	22,9
4	50	10,4	7,9	13,3	5,4	1,5	14,3
6	50	13,4	10,5	16,7	6,2	1,7	12,4
8	50	15,2	10,7	20,4	9,7	2,6	17,5
10	50	17,2	13,5	23,2	9,7	2,2	12,7
A (năm)	n (cây)	H_D (m)	H_{DMin}	H_{DMax}	$H_{DMax} - H_{DMin}$	$\pm Sh^1$	$CV\%^2$
2	50	6,5	3,9	8,9	5,0	1,6	24,3
4	50	13,7	9,2	17,5	8,3	2,3	17,0
6	50	17,6	11,9	22,2	10,3	2,7	15,2
8	50	20,0	13,3	27,0	13,7	3,8	19,0
10	50	22,5	15,5	30,0	14,5	3,6	15,8

¹ Sd và Sh = Sai lệch chuẩn của số trung bình; ² $CV\%$ = Hệ số biến động.

D_D : Đường kính của cây ưu thế; H_D : chiều cao của cây ưu thế.

Bảng 2. Đặc trưng thống kê đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng Keo lai

A (năm)	n (cây)	D_{Bq} (cm)	D_{Min}	D_{Max}	$D_{Max}-D_{Min}$	$\pm Sd^1$	$CV\%^2$
2	50	5,1	3,2	7,0	3,8	1,5	29,6
4	50	9,8	6,1	13,4	7,3	3,1	31,8
6	50	12,6	7,9	17,4	9,5	3,4	26,9
8	50	14,6	9,1	20,0	10,9	4,2	28,8
10	50	16,0	10,0	22,0	12,0	5,0	31,3
A (năm)	n (cây)	H_{Bq} (m)	H_{Min}	H_{Max}	$H_{Max}-H_{Min}$	$\pm Sh^1$	$CV\%^2$
2	50	5,9	4,1	7,6	3,5	1,3	22,2
4	50	11,9	8,3	15,4	7,1	2,8	23,6
6	50	15,6	10,9	20,3	9,4	3,4	21,8
8	50	18,1	12,7	23,6	10,9	4,1	22,6
10	50	20,0	14,0	26,0	12,0	4,6	23,0

¹Sd và Sh = Sai lệch chuẩn của số trung bình; ²CV% = Hệ số biến động.

D_{Bq} : Đường kính cây bình quân; H_{Bq} : Chiều cao cây bình quân.

Bảng 3. Đặc trưng thống kê tiết diện ngang và sản lượng gỗ bình quân của rừng Keo lai

A (năm)	G_{Bq} (m ² /ha)	G_{Min}	G_{Max}	$G_{Max}-G_{Min}$	$\pm SG^1$	$CV\%^2$
2	3,5	1,8	5,4	3,6	1,4	41,3
4	10,2	5,2	15,9	10,7	4,2	41,5
6	15,6	8,1	24,2	16,1	6,4	40,9
8	19,5	10,4	30,0	19,6	7,8	39,8
10	22,2	12,0	33,8	21,8	8,6	38,9
A (năm)	M_{Bq} (m ³ /ha)	M_{Min}	M_{Max}	$M_{Max}-M_{Min}$	$\pm SM^1$	$CV\%^2$
2	13,1	4,9	23,5	18,6	7,4	56,8
4	64,3	24,2	115,3	91,1	36,3	56,4
6	123,3	47,3	220,0	172,7	68,8	55,8
8	175,9	68,8	311,6	242,8	96,6	54,9
10	219,5	87,4	385,8	298,4	118,7	54,1

¹SG và SM là sai lệch chuẩn của số trung bình; ²CV% = Hệ số biến động.

G_{Bq} : Tiết diện ngang bình quân; M_{Bq} : Sản lượng gỗ bình quân.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng hàm chiều cao cây ưu thế của rừng Keo lai

(a) Xây dựng hàm ước lượng H_D bình quân chung theo tuổi của rừng Keo lai. Hàm $H_D = f(A)$ được mô tả bằng hàm Korf (1929) (Hàm 1); trong đó a_0 , a_1 và a_2 là các tham số. Sờ dĩ chọn hàm Korf là vì hàm này mô tả tốt quy luật sinh trưởng của rừng trồng trong giai đoạn từ tuổi non đến tuổi gần thành thực.

$$H_D = a_0 \times \exp(-a_1 \times A^{-a_2}) \quad (1)$$

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

$$SI = a_0 \times \exp(-a_1 \times A_0^{-a_2}) \quad (2)$$

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

$$H_D = SI \times \exp(-a_1 \times A^{-a_2}) / \exp(-a_1 \times A_0^{-a_2}) \quad (3)$$

(b) Xác định tuổi cơ sở (A_0 , năm) để phân chia các chỉ số SI. Về lý thuyết, nếu chọn A_0 khác nhau, thì sai lệch dự đoán H_D tại tuổi A cũng khác nhau. Đối với rừng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai, biên độ tuổi dao động từ 1 đến 10 năm. Vì thế, tuổi A_0 thích hợp đã được chọn trong khoảng tuổi 6 đến 10 năm. Tuổi A_0 thích hợp là thời điểm mà hàm H_D tại A_0 được sử dụng để ước lượng H_D tại tuổi A (năm) với sai lệch nhỏ nhất ($SSE_{\min}$).

(c) Phân chia các cấp chỉ số SI. Chỉ số SI phản ánh chất lượng lập địa hay năng suất của lập địa. Trong nghiên cứu này, chất lượng lập địa của rừng Keo lai đã 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. Chỉ số SI là H_D tại tuổi cơ sở (A_0 , năm).

(d) Xây dựng các hàm H_D theo các cấp chỉ số SI. Các hàm H_D của 5 cấp chỉ số SI đã được xây dựng từ 50 cây giải tích theo hàm 3; trong đó SI là

chiều cao của những cây ưu thế tại tuổi A_0 .

(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 đã được kiểm định từ 15 cây giải tích 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 những cây kiểm tra đã được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy tuyến tính bậc 1 (Vasilevich, 1969). 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 (Hàm 1). Kế 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 và độ dốc của các hàm này là bằng nhau. Khi $P > 0,05$, thì các hàm H_D ở mỗi cấp chỉ số SI là phù hợp. Trái lại, khi $P < 0,05$, thì các hàm H_D ở mỗi cấp chỉ số SI là không phù hợp.

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

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 Keo lai 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 đường cong H_D và chỉ số SI; trong đó trục tung là H_D và SI, còn trục hoành là A (năm).

2.3.2. Xây dựng các hàm sản lượng của rừng Keo lai theo các chỉ số lập địa

(a) Hàm độ thon thân. Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất hàm độ thon thân (Dh , cm) ở mức cây bình quân theo dạng hàm 5. Ở hàm 5, Dh (cm) = độ thon thân; D (cm) = đường kính thân ngang ngực; H (m) = chiều cao toàn thân; $Y = (h/H)$; h (m) = chiều cao từ gốc đến những vị trí khác nhau trên thân; $X = (H - h)/(H - 1,3)$; A = tuổi rừng; SI = chỉ số SI; a_1 - a_8 là các tham số của hàm Dh . Hàm 5 được sử dụng để xác

định thể tích (V , m^3) của các phân đoạn trên thân cây bình quân.

$$Dh = a_1(D^3H)^{a_2}(a_3 - \sqrt{Y})^K$$

$$K = a_4Y + a_5Y^2 + a_6X + a_7(D/H) + a_8(SI/A) \quad (5)$$

(b) Hàm sinh trưởng D , H và thể tích (V , m^3) ở mức cây bình quân. Ba hàm này được đề xuất ở dạng hàm 6; trong đó $Y = D$, H và V , SI = chỉ số lập địa, Ln = logarit cơ số Neper, A = tuổi rừng, còn b_0 , b_1 , b_2 và b_3 là ba tham số.

$$Y = \exp(b_0 + b_1 \times Ln(SI) - b_2 \times A^{-b_3}) \quad (6)$$

(c) Hàm hình số thân ngang ngực (F) ở mức cây bình quân. Hàm F được mô tả theo hàm 7; trong đó D và H tương ứng là D và H của cây bình quân, còn c_0 đến c_2 = các tham số. Hàm 7 được sử dụng để xác định thể tích (V , m^3) của cây bình quân theo công thức $V = g \times H \times F$; trong đó g là tiết diện ngang, F là hình số, D và H tương ứng là đường kính và chiều cao của cây bình quân ở các tuổi.

$$F = c_0 \times D^{c_1} \times H^{c_2} \quad (7)$$

(d) Hàm sản lượng gỗ của rừng Keo lai. Sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai tại tuổi A (M_A , m^3/ha) trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức 8; trong đó N_A , V_{bqA} tương ứng là mật độ và thể tích của cây bình quân trên 5 chỉ số SI tại tuổi A . Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất hàm mật độ của rừng Keo lai tại tuổi A trên 5 chỉ số SI có dạng hàm 9; trong đó d_0 , d_1 và d_2 là ba tham số, SI = chỉ số lập địa. Sự biến đổi sản lượng gỗ của rừng Keo lai theo A trên 5 chỉ số SI được mô tả theo hàm 6; trong đó Y là sản lượng gỗ tại tuổi A (M_A , m^3/ha).

$$Y_A = N_A \times V_{bqA} \quad (8)$$

$$N_A = d_0 \times \exp(-d_1 \times A) + d_2 / \exp(SI/A) \quad (9)$$

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 sản lượng được xác định bằng

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 10). Sai lệch của các hàm hồi quy được đánh giá theo 4 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương (SSE ; Công thức 11); (2) Sai số ước lượng (SEE ; Công thức 12); (3) Sai số tuyệt đối trung bình (MAE ; Công thức 13); (4) Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm ($MAPE$; Công thức 14). Ở công thức (10)-(14), 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.

$$R^2 = (1 - (SSE/SST)) \times 100 \quad (10)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_j)^2 \quad (11)$$

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

$$SEE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}} \quad (12)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n ((|Y_i - Y_j|)/n) \quad (13)$$

$$MAPE = (1/n)(|Y_i - Y_j|/Y_i) \times 100 \quad (14)$$

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Xây dựng hàm chiều cao cây ưu thế của rừng Keo lai

Những phân tích hồi quy cho thấy hàm ước lượng H_D của rừng Keo lai từ 1 đến 10 tuổi có dạng như hàm 15. Hàm này nhận hệ số xác định rất cao ($r^2 = 99,66\%$) và sai lệch rất nhỏ ($MAPE = 2,2\%$). Vì thế, hàm 15 được sử dụng để ước lượng H_D tại tuổi A của rừng Keo lai.

$$H_D = 42,3957 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) \quad (15)$$

$$r^2 = 99,66\%; SEE = \pm 4,7; MAE = 0,28; MAPE = 2,2\%.$$

3.2. Xác định tuổi cơ sở để phân chia chỉ số lập địa của rừng Keo lai

Từ hàm 15, giá trị H tại A được xác định theo hàm 16; trong đó $H_{D(Thuc)}$ là H_D bình quân tại tuổi A_0 . Trong nghiên cứu này, tuổi A_0 thích hợp được giả định tại tuổi 6, 8 và 10 năm. Khi thay

$H_{D(Thuc)}$, A và $A_0 = 6, 8$ và 10 vào hàm 16, kết quả nhận được H_D ước lượng tương ứng tại tuổi A (Bảng 4). Số liệu ở Bảng 4 cho thấy tổng sai lệch (SSE) nhận giá trị cao nhất tại tuổi 8 (0,69), thấp nhất tại tuổi 10 (0,38). Vì thế, tuổi 10 được chọn là tuổi cơ sở để phân chia các cấp chỉ số SI của rừng Keo lai.

$$H_D = H_{D(Thuc)} \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times A_0^{-0,650179}) \quad (16)$$

Bảng 4. Ước lượng chiều cao cây ưu thế của rừng Keo lai tại $A_0 = 6$ đến 10 năm

A (năm)	$H_{D(Thuc)}$ (m)	H_D ước lượng tại A (năm)			Sai lệch (SSE) tại A (năm)		
		6	8	10	6	8	10
2	6,5	7,0	6,8	6,9	0,20	0,08	0,17
4	13,7	13,5	13,1	13,4	0,04	0,26	0,07
6	17,6	17,6	17,2	17,5	0,00	0,15	0,01
8	20,0	20,5	20,0	20,4	0,23	0,00	0,13
10	22,5	22,6	22,1	22,5	0,01	0,20	0,00
Tổng sai lệch (SSE)					0,48	0,69	0,38

3.3. Phân chia các chỉ số lập địa của rừng Keo lai

Chỉ số SI của rừng Keo lai được phân chia thành 5 cấp từ I đến V. Giá trị H_D bình quân của rừng Keo lai tại tuổi A_0 (10 năm) dao động từ 15,5 đến 30,0 m; trung bình là 22,5 m (Bảng 1). Nếu phân chia H_D tại tuổi 10 thành 5 cấp và mỗi cấp cách nhau 3 m, thì 5 cấp chỉ số SI từ I đến V tương ứng là 28, 25, 22, 19 và 16 m. Năm cấp chỉ số SI tại tuổi 10 được kí hiệu tương ứng là SI_{28} , SI_{25} , SI_{22} , SI_{19} và SI_{16} .

3.4. Xây dựng các hàm chiều cao cây ưu thế trên các cấp chỉ số lập địa

Các hàm H_D trên 5 cấp chỉ số SI từ I đến V được xây dựng theo hàm 16; trong đó $H_{D(Thuc)}$ là 5 cấp chỉ số SI tại tuổi A_0 ($SI = 28, 25, 22, 19$ và 16 m). Các hàm H_D tương ứng với 5 cấp chỉ số SI có dạng như hàm 17 đến 21 (Bảng 5).

Bảng 5. Các hàm chiều cao cây ưu thế trên 5 cấp chỉ số lập địa của rừng Keo lai

Chỉ số SI	Các hàm H_D theo 5 cấp chỉ số site index (SI)	Hàm
28	$H_D = 28 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times 10^{-0,650179})$	(17)
25	$H_D = 25 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times 10^{-0,650179})$	(18)
22	$H_D = 22 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times 10^{-0,650179})$	(19)
19	$H_D = 19 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times 10^{-0,650179})$	(20)
16	$H_D = 16 \times \exp(-2,85087 \times A^{-0,650179}) / \exp(-2,85087 \times 10^{-0,650179})$	(21)

3.5. Kiểm định các hàm chiều cao cây ưu thế trên 5 cấp chỉ số SI

Phân tích hồi quy cho thấy hàm H_D ước lượng đối với 15 cây kiểm tra trên 5 cấp chỉ số SI có dạng như hàm 22. Khi thay thế A, A0 và SI vào hàm 22, xác định được H_D ước lượng đối với 15 cây kiểm tra trên 5 cấp chỉ số SI.

$$H_D = \exp(0,703166 + 0,972012 \times \ln(SI) - 2,848 \times A^{-0,653153}) \quad (22)$$

$$R^2 = 99,6\%; \text{SEE} = 0,131; \text{MAPE} = 2,0\%.$$

Bằng cách tuyến tính hóa 5 hàm H_D ước lượng (Hàm 17 đến 21) và 5 hàm H_D của những cây kiểm tra trên 5 cấp chỉ số SI (Hàm 22), xác định được điểm chặn (a) và độ dốc (b) của 10 hàm hồi quy tuyến tính trên 5 cấp chỉ số SI (Bảng 6). Số liệu ở Bảng 6 cho thấy điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của 5 hàm H_D ước lượng và 5 hàm H_D của những cây kiểm tra khác nhau không rõ rệt ($P > 0,05$). Điều đó chứng tỏ 5 hàm 17 đến 21 là những hàm thích hợp để xây dựng biểu H_D và đường cong chỉ số SI đối với rừng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai.

Bảng 6. So sánh điểm chặn (a và a') và độ dốc (b và b') của 5 hàm H_D ước lượng đối với 5 cấp chỉ số SI với 5 hàm H_D của những kiểm tra trên 5 cấp chỉ số site index (SI)

Cấp SI	Hàm H_D ước lượng		Hàm H_D kiểm tra		Mức ý nghĩa	
	a ⁽¹⁾	b ⁽²⁾	a' ⁽¹⁾	b' ⁽²⁾	Pa	Pb
16	1,1153	-0,5312	1,1172	-0,5290	0,495	0,837
19	1,0717	-0,5981	1,0749	-0,5931	0,064	0,380
22	1,0390	-0,6723	1,0394	-0,6632	0,077	0,127
25	1,0182	-0,7575	1,0171	-0,7457	0,120	0,433
28	1,0105	-0,8580	1,0078	-0,8426	0,343	0,617

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

3.6. Xây dựng biểu chiều cao cây ưu thế của rừng Keo lai

Biểu chiều cao H_D và các đường cong chỉ số SI của rừng Keo lai được xây dựng bằng cách thay

thế tuổi (A, năm) từ 1 đến 10 năm vào 5 hàm 17 đến 21 (Bảng 7). Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của H_D và chỉ số SI theo A của rừng Keo lai được xây dựng với trục tung là H_D và SI, còn trục hoành là A năm (Hình 1).

Bảng 7. Chiều cao cây ưu thế từ tuổi 2 đến 10 trên 5 cấp chỉ số lập địa của rừng Keo lai

A (năm)	Chiều cao H_D (m) trên 5 chỉ số SI (site index)				
	28	25	22	19	16
2	8,6	7,7	6,8	5,8	4,9
3	13,1	11,7	10,3	8,9	7,5
4	16,7	14,9	13,1	11,3	9,5
5	19,5	17,4	15,3	13,2	11,1
6	21,8	19,4	17,1	14,8	12,4
7	23,7	21,2	18,6	16,1	13,5
8	25,3	22,6	19,9	17,2	14,5
9	26,8	23,9	21,0	18,2	15,3
10	28,0	25,0	22,0	19,0	16,0

3.7. Sản lượng của rừng Keo lai trên những lập địa khác nhau

3.7.1. Xây dựng các hàm sản lượng của rừng Keo lai

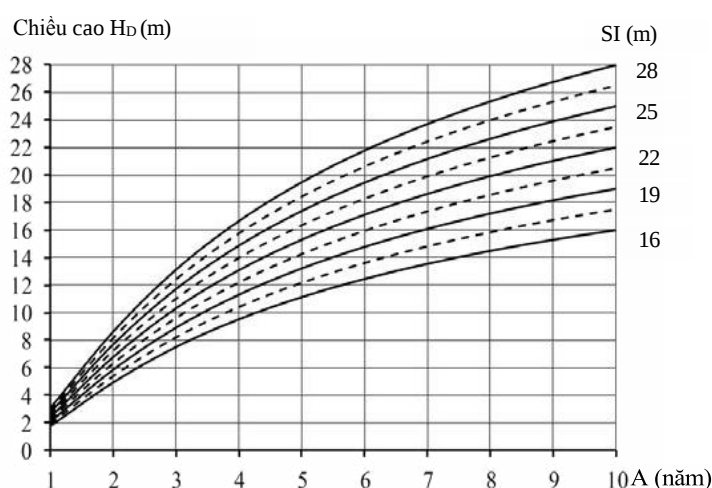
Những phân tích hồi quy và tương quan cho thấy hàm Dh ở mức cây bình quân có dạng như Hàm 23.

$$Dh = 1,19402 \times (D^3 \times H)^{0,208538} \times (1,56072 - \sqrt{Y})^k \quad (23)$$

$$K = (-0,813596 \times Y + 2,80527 \times Y^2 + 0,0829398 \times X + 0,96836 \times (D/H)) - 0,0202976 \times (SI/A)$$

$$R^2 = 99,9\%; \text{SEE} = 0,0367; \text{MAPE} = 2,5\%$$

Các hàm sản lượng ở mức cây bình quân (D , H , V) và quần thụ Keo lai (N , G , M) trên 5 cấp chỉ số SI có dạng như hàm 24 đến 30 (Bảng 8). Các hàm này đều nhận hệ số xác định rất cao ($R^2 > 99,0\%$) và sai lệch nhỏ ($\text{MAPE} < 5\%$). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng sản lượng của rừng Keo lai.



Hình 1. Đường cong chiều cao cây ưu thế (H_D , m) và chỉ số SI-site index (m) tại tuổi 10 của rừng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai. Đường liền nét là cấp H_D bình quân của những cây ưu thế trên 5 cấp lập địa. Đường đứt đoạn là ranh giới giữa hai cấp H_D kế cận trên 5 cấp lập địa.

Bảng 8. Các hàm sản lượng của rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai

Các hàm sản lượng:	R ² (%)	± SEE	MAPE	Hàm
$D = \exp(0,639476 + 1,00018 \times \ln(SI) - 2,90292 \times A^{-0,49498})$	99,8	0,03	0,3	(24)
$H = \exp(0,893052 + 0,99978 \times \ln(SI) - 3,06554 \times A^{-0,50116})$	99,8	0,03	0,3	(25)
$V = \exp(-7,32484 + 2,79806 \times \ln(SI) - 8,35365 \times A^{-0,45517})$	99,9	0,0005	3,3	(26)
$F = 0,8299 \times D^{-0,13998} \times H^{-0,05961}$	99,9	0,0001	0,3	(27)
$N = 1685,66 \times \exp(-0,0581583 \times A) + 601,645 / \exp(SI/A)$	98,6	22,4	1,1	(28)
$G = \exp(-1,81035 + 1,88423 \times \ln(SI) - 4,33503 \times A^{-0,668809})$	99,8	0,26	3,4	(29)
$M = \exp(-1,81876 + 2,70516 \times \ln(SI) - 6,90119 \times A^{-0,747526})$	99,9	0,97	5,0	(30)

SEE: Sai số ước lượng; MAPE: Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm.

3.7.2. Sản lượng của rừng Keo lai trên những lập địa khác nhau

Bằng cách khảo sát các hàm 24 đến 30 ở Bảng 8, xác định được lượng tăng trưởng D, H và V ở mức cây bình quân, G và M của rừng Keo lai trên 5 cấp chỉ số SI. Bảng 9 đến Bảng 12 dẫn tóm tắt tăng trưởng D và H ở mức cây bình quân và M của rừng Keo lai trên 5 cấp chỉ số SI. Đường kính và chiều cao bình quân của rừng Keo lai thay đổi rõ rệt theo A và chỉ số SI (Bảng 9 và 10). Lượng tăng trưởng D hàng năm lớn nhất (ZD_{Max}) gia tăng dần từ chỉ số SI₁₆ (2,7 cm/năm) đến chỉ số SI₂₂ (3,7 cm/năm) và chỉ số SI₂₈ (4,6 cm/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 3,7 cm/năm. Lượng tăng trưởng D bình quân năm lớn nhất (ΔD_{Max}) gia

tăng dần từ chỉ số SI₁₆ (2,2 cm/năm) đến chỉ số SI₂₂ (3,1 cm/năm) và chỉ số SI₂₈ (3,9 cm/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 3,1 cm/năm. Lượng tăng trưởng H hàng năm lớn nhất (ZH_{Max}) gia tăng dần từ chỉ số SI₁₆ (2,2 m/năm) đến chỉ số SI₂₂ (3,0 m/năm) và chỉ số SI₂₈ (3,9 m/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 3,0 m/năm. Lượng tăng trưởng H bình quân năm lớn nhất (ΔH_{Max}) gia tăng dần từ chỉ số SI₁₆ (1,9 m/năm) đến chỉ số SI₂₂ (2,7 m/năm) và chỉ số SI₂₈ (3,7 m/năm); bình quân 5 chỉ số SI là 2,7 m/năm. Thời điểm xuất hiện ZD_{Max} , ΔD_{Max} , ZH_{Max} và ΔH_{Max} trên 5 chỉ số SI tại tuổi 2. Vì thế, tuổi 2 là thời điểm D và H của rừng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm.

Bảng 9. Đặc trưng tăng trưởng đường kính bình quân của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa

Chỉ số SI (site index)	Lượng tăng trưởng hàng năm			Lượng tăng trưởng bình quân năm		
	ZD_{Max}	A (năm)	D (cm)	ΔD_{Max}	A (năm)	D (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
16	2,7	2	4,5	2,2	2	4,5
19	3,2	2	5,3	2,7	2	5,3
22	3,7	2	6,2	3,1	2	6,2
25	4,2	2	7,0	3,5	2	7,0
28	4,6	2	7,8	3,9	2	7,8
Bình quân	3,7	2	6,2	3,1	2	6,2

Bảng 10. Đặc trưng tăng trưởng chiều cao bình quân của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa

Chỉ số SI (site index)	Lượng tăng trưởng hàng năm			Lượng tăng trưởng bình quân năm		
	ZH _{Max}	A (năm)	H (m)	ΔH_{Max}	A (năm)	H (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
16	2,2	2	3,9	1,9	2	3,9
19	2,6	2	4,6	2,3	2	4,6
22	3,0	2	5,3	2,7	2	5,3
25	3,4	2	6,0	3,0	2	6,0
28	3,9	2	6,8	3,4	2	6,8
Bình quân	3,0	2	5,3	2,7	2	5,3

Sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai thay đổi rõ rệt theo A và chỉ số SI (Bảng 11 và 12; Hình 2). So với sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai tại tuổi 10 trên chỉ số SI₂₈ (100%), đại lượng này ở chỉ số SI₁₆, SI₁₉, SI₂₂ và SI₂₅ thấp hơn tương ứng 78%, 65%, 48% & 27%. Lượng tăng trưởng sản lượng gỗ hàng năm lớn nhất (ZM_{Max}) và bình quân năm lớn nhất (ΔM_{Max}) gia tăng dần từ chỉ số SI₁₆ (tương ứng ZM_{Max} = 11,6 m³/ha và ΔM_{Max} = 8,6 m³/ha) đến chỉ số SI₂₂ (tương ứng ZM_{Max} = 27,4 m³/ha và ΔM_{Max} = 20,3 m³/ha) và chỉ số SI₂₈

(tương ứng ZM_{Max} = 52,6 m³/ha và ΔM_{Max} = 39,0 m³/ha). Nói chung, năng suất gỗ trung bình hàng năm của rừng Keo lai 10 tuổi trên 5 chỉ số SI từ I đến V tương ứng là 38,8, 28,6, 20,2, 13,6 và 8,5 m³/ha. Thời điểm xuất hiện ZM_{Max} và ΔM_{Max} trên 5 chỉ số SI tương ứng tại tuổi 5 và 9. Vì thế, tuổi 5 là thời điểm sản lượng gỗ của rừng trồng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Tuổi thành thực số lượng của rừng Keo lai trên 5 cấp chỉ số SI là 9 năm.

Bảng 11. Sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa

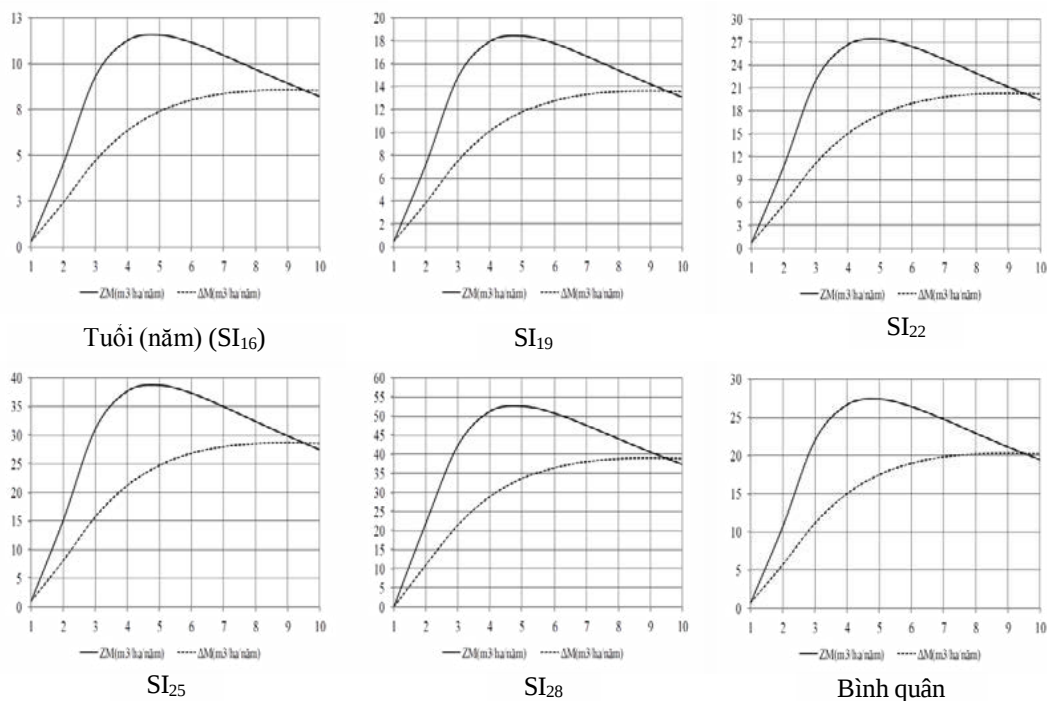
A (năm)	Sản lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa (m ³ /ha)					
	SI ₁₆	SI ₁₉	SI ₂₂	SI ₂₅	SI ₂₈	Bình quân
2	4,8	7,7	11,4	16,1	21,9	12,4
4	25,4	40,4	60,0	84,8	115,2	65,2
6	48,1	76,6	113,8	160,9	218,6	123,6
8	68,3	108,7	161,5	228,3	310,2	175,4
10	85,4	135,9	202,1	285,6	388,1	219,4

SI: site index.

Bảng 12. Đặc trưng tăng trưởng sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa

Chỉ số SI (site index)	Lượng tăng trưởng hàng năm			Lượng tăng trưởng bình quân năm		
	ZM_{Max}	A (năm)	M (m^3/ha)	ΔM_{Max}	A (năm)	M (m^3/ha)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
16	11,6	5	36,9	8,6	9	77,2
19	18,4	5	58,8	13,7	9	122,9
22	27,4	5	87,4	20,3	9	182,7
25	38,7	5	123,5	28,7	9	258,1
28	52,6	5	167,9	39,0	9	350,7
Bình quân	29,7	5		22,1	9	198,3

ZM và ΔM (m^3/ha trên 1 năm)

**Hình 2.** Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai trên 5 chỉ số lập địa tại tỉnh Đồng Nai. SI: site index.

4. Kết Luận

Lập địa của rừng Keo lai được đánh giá theo chỉ số lập địa. Chỉ số lập địa của rừng Keo lai được phân chia thành 5 cấp từ I đến V. Năm cấp chỉ số lập địa từ I đến V nhận giá trị tương ứng là 28, 25, 22, 19 và 16 m. Sản lượng của rừng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số lập địa. Tuổi 2 là thời điểm D và H của rừng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Tuổi 5 là thời điểm sản lượng gỗ cây đứng của rừng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Năng suất gỗ trung bình hàng năm của rừng Keo lai 10 tuổi trên 5 chỉ số lập địa từ I đến V tương ứng là 38,8, 28,6, 20,2, 13,6 và 8,5 m³/ha. Tuổi thành thực số lượng của rừng Keo lai trên 5 cấp chỉ số lập địa là 9 năm. Tác giả kiến nghị các Ban quản lý rừng ở tỉnh Đồng Nai 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 Keo lai.

Lời Cam Đoan

Tác giả cam đoan những trích dẫn tài liệu tham khảo, số liệu và kết quả của bài báo này là trung thực.

Tài liệu tham khảo (References)

- DNPC (Dong Nai People's Committee). (2022). Decision No. 998/QĐ-UBND dated on April 21, 2022. Forest area and unforested area of Dong Nai province by use purpose in 2021. Retrieved February 1, 2023, from <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyet-dinh-998-QD-UBND-2022-cong-bo-hien-trang-dien-tich-rung-Dong-Nai-2021-511964.aspx>.
- Lee, S. H., Kim, D. H., Jeong, J. H., Han, S. H., Kim, S. J., Park, H. J., & Kim, H. J. (2022). Developing a yield table and analyzing the economic feasibility for *Acacia hybrid* plantations in achieving carbon neutrality in Southern Vietnam. *Forests* 13(8), 1316. <https://doi.org/10.3390/f13081316>.
- Nguyen, L. N., & Dao, C. K. (1988). *Research on growth and yield of planted forests (Applied to Pinus keyisia Royle ex Gordon) forests in Vietnam*. Ha Noi, Vietnam: Agricultural Publishing House.
- Nguyen, T. V. (2002). *Forest ecology*. Ha Noi, Vietnam: Agricultural Publishing House.
- Nguyen, T. V., & Tran, N. T. (2020). Average tree volume functions for *Acacia hybrid* plantation on three site classes in Dong Nai province. *Journal of Forestry Science and Technology* 4, 59-68.
- Tran, T. V. (2019). *Estimation of aboveground biomass and carbon stocks for Acacia hybrid plantations in Dong Nai province (Unpublished doctoral dissertation)*. University of Agriculture and Forestry, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Vasilevich, V. I. (1969). *Statistical methods in geobotany*. Leningrad, Russia: Science Publishing House.
- Vo, H. T. H., Le, H. D., & Luu, V. T. (2019). Small-sized timber or larger-sized timber plantation: A case study in Vinh Linh district, Quang Tri province. *Journal of Forestry Science and Technology* 7, 164-172.
- Vu, T. H. (2012). *Forest production*. Ha Noi, Vietnam: Agricultural Publishing House.