

**Các hệ số điều chỉnh sinh khối trên mặt đất đối với 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 Quý^{1*}, Nguyễn Văn Thêm²

¹Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai

²Hội Khoa học và Kỹ thuật Lâm nghiệp TP. Hồ Chí Minh

**Aboveground biomass expansion factors for *Pinus kesiya* Royle ex Gordon
plantations on different sites in the Duc Trong area of Lam Dong province**

Nguyen Van Quy^{1*}, Nguyen Van Them²

¹Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus

²Ho Chi Minh City Forestry Science and Technology Association

*Corresponding author: nvquy@vnuf2.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.4.2026.076-085>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 27/11/2025

Ngày phản biện: 26/12/2025

Ngày quyết định đăng: 27/01/2026

Từ khóa:

Chỉ số lập địa, hàm sinh khối,
hệ số điều chỉnh sinh khối,
rừng Thông ba lá, sinh khối
trên mặt đất.

Keywords:

Aboveground biomass, biomass
function, biomass expansion
factor, *Pinus kesiya* plantation,
site index.

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu các hệ số điều chỉnh sinh khối (BEF) để chuyển sản lượng gỗ cây đứng thành sinh khối trên mặt đất của quần thể Thông ba lá từ cấp tuổi $A = 5-30$ năm trên 5 chỉ số lập địa (SI) tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm hệ số điều chỉnh sinh khối đối với rừng trồng Thông ba lá ở những tuổi và chỉ số lập địa khác nhau. Số liệu thu thập thứ cấp là các hàm sản lượng và sinh khối của quần thể Thông ba lá do các tác giả đề xuất trước đó. Các hàm BEF đã được xây dựng từ 5 hàm dự tuyến. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng hàm hệ số điều chỉnh tổng sinh khối trên mặt đất đối với quần thể Thông ba lá có dạng: $BEF_{T0} = \exp(0,34759 - 0,09089 \times \ln(D \times H) + 0,03367 \times \ln(SI/A))$. Hệ số điều chỉnh tổng sinh khối cành và lá có dạng: $BEF_{CL} = 9,36115 \times \exp(-1,63515 \times A^{0,250302}) - 0,123361 \times \ln(SI/A)$. Sinh khối của quần thể Thông ba lá từ cấp $A = 5-30$ năm trên 5 chỉ số SI được xác định theo quan hệ $B_i = BEF_i \times M$. So với phương pháp hàm sinh khối, sử dụng các hệ số BEF để điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành tổng sinh khối trên mặt đất của quần thể Thông ba lá từ cấp $A = 5-30$ năm nhận sai lệch nhỏ hơn 0,5%.

ABSTRACT

This paper presents the biomass expansion factors (BEF) to convert standing tree wood production into aboveground biomass of *Pinus kesiya* stands from classes $A = 5-30$ years on 5 five site indexes in Duc Trong area of Lam Dong province. The objective of this study was to develop biomass expansion factor functions for *Pinus kesiya* plantations across different stand ages and site indices. The secondary collected data were the production and biomass functions of *Pinus kesiya* stands from 5-30 years old on 5 site indexes proposed by the authors previously. The BEF functions were derived from five candidate functions previously proposed by the authors. The results demonstrated that the total aboveground biomass expansion factor (BEF) for *Pinus kesiya* stands follows this model: $BEF_{T0} = \exp(0.34759 - 0.09089 \times \ln(D \times H) + 0.03367 \times \ln(SI/A))$. Similarly, the branch and leaf biomass expansion factor was expressed as: $BEF_{CL} = 9.36115 \times \exp(-1.63515 \times A^{0.250302}) - 0.123361 \times \ln(SI/A)$. The biomass of the *Pinus kesiya* stands was determined by the relationship $B_i = BEF_i \times M$. Compared with the biomass allometric function method, using BEF_i to expand the wood production to total above-ground biomass of *Pinus kesiya* stands from classes $A = 5-30$ years on 5 site indices resulted in a deviation of less than 0.5%.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) có thể xác định bằng cách cân đo trực tiếp trên các cây mẫu hoặc sử dụng các hàm sinh khối với những biến dự đoán khác nhau. Sản lượng gỗ của cây cá thể và quần thụ Thông ba lá được xác định bằng biểu thức tích [1]. Nhiều tác giả [2-5] đã xây dựng các hàm sinh khối và sản lượng đối với rừng trồng Thông ba lá tại tỉnh Lâm Đồng. Ngoài phương pháp hàm sinh khối, sinh khối thân cây Thông ba lá (B_T , kg) cũng có thể được xác định theo quan hệ $B_T = V_T \times WD$; trong đó V_T (m^3 /cây) là thể tích thân cây đứng, còn $WD = 550kg/m^3$ là tỷ trọng gỗ khô tuyệt đối. Tương tự, sinh khối thân của quần thụ Thông ba lá (B_T , kg) có thể được xác định theo quan hệ $B_T = M \times WD$; trong đó $M(m^3/ha)$ là sản lượng gỗ cây đứng cả vỏ, còn WD là tỷ trọng gỗ khô tuyệt đối. Điều tra rừng thường cung cấp các thông tin về diện tích và sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá. Từ các số liệu này, sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá có thể được điều chỉnh thành sinh khối trên mặt đất thông qua các hệ số điều chỉnh sinh khối (BEF = Biomass expansion factors). Tuy vậy, hiện nay vẫn còn thiếu các hệ số BEF đối với rừng trồng Thông ba lá ở những tuổi và chỉ số lập địa (SI) khác nhau. Xuất phát từ đó, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm hệ số điều chỉnh sinh khối đối với rừng trồng Thông ba lá ở những tuổi và chỉ số lập địa khác nhau tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp công cụ để thống kê, đánh giá sinh khối và dự trữ carbon của rừng trồng Thông ba lá.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bảng 1. Các hàm sản lượng đối với rừng trồng Thông ba lá

Các hàm sản lượng	$R^2(\%)$	$\pm SEE$	MAPE	Hàm
$D = \exp(2,42573 + 0,873196 \times \ln(SI) - 8,54898 \times A^{-0,471528})$	99,99	0,05	1,5	(1)
$H = \exp(0,789865 + 1,0011 \times \ln(SI) - 5,81889 \times A^{-0,559406})$	99,99	0,05	2,5	(2)
$V_T = \exp(-4,91925 + 2,80513 \times \ln(SI) - 21,9483 \times A^{-0,494369})$	99,99	0,00002	5,7	(3)
$N = 3049,91 \times \exp(-0,0811866 \times A) + 921,409 / \exp(SI/A)$	99,20	49,3	2,4	(4)
$G = \exp(1,22005 + 1,34951 \times \ln(SI) - 13,8426 \times A^{-0,662529})$	99,93	0,56	8,6	(5)
$M = \exp(1,16648 + 2,37482 \times \ln(SI) - 17,455 \times A^{-0,596074})$	99,95	3,5	3,5	(6)

Nguồn: [5]

Ghi chú: $R^2(\%)$ = Hệ số xác định; SEE = Sai lệch chuẩn; $MAPE$ = Sai số trung bình theo phần trăm.

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng Thông ba lá trong giai đoạn từ 5-30 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: $108^{\circ}22'13''$ - $108^{\circ}30'24''$ kinh độ Đông; $11^{\circ}46'15''$ - $11^{\circ}55'27''$ vĩ độ Bắc. Độ cao địa hình từ 1.000-1.700 m so với mặt nước biển. Độ dốc trên 20° . 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 $18^{\circ}C$, cao nhất $18,9^{\circ}C$, thấp nhất là $16,9^{\circ}C$. Lượng mưa trung bình năm là 1.823 mm, cao nhất 2.357 mm, thấp nhất 1.354 mm. Độ ẩm không khí trung bình năm là 84%, cao nhất 88%, thấp nhất 80% [6].

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Nghiên cứu này sử dụng các số liệu thứ cấp từ các nghiên cứu trước đó [5]. Từ các thông tin này, sinh khối trên mặt đất (B , tấn/ha) của rừng trồng Thông ba lá tại tuổi A năm trên 5 chỉ số SI ($SI = SI_{30}, SI_{26}, SI_{22}, SI_{18}$ và SI_{14}) [5] tại khu vực Đức Trọng được xác định theo 2 bước. Bước 1: Xác định sản lượng của cây bình quân (đường kính ngang ngực = D , cm; chiều cao toàn thân = H , m; thể tích thân cây đứng = V_T , m^3) và quần thụ Thông ba lá (mật độ = N , cây/ha; tiết diện ngang = G , m^2/ha ; sản lượng gỗ cây đứng = M , m^3/ha) tại A năm trên 5 chỉ số SI. Các chỉ tiêu này được xác định theo Hàm 1-6 [5] (Bảng 1). Bước 2: Xác định 5 thành phần sinh khối trên mặt đất (tổng số = B_{TO} ; cành = B_C ; lá = B_L ; tổng cành + lá = B_{CL}) đối với quần thụ Thông ba lá theo Hàm 7-11 (Bảng 2).

Bảng 2. Các hàm sinh khối đối với rừng trồng Thông ba lá

Các hàm sinh khối (Tấn/ha)	R ² (%)	±SEE	MAPE	Hàm
$B_{T0} = \exp(1,09013 + 2,24031 \times \ln(SI) - 15,9517 \times A^{-0,603675})$	99,96	3,75	8,9	(7)
$B_T = \exp(0,570189 + 2,37477 \times \ln(SI) - 17,451 \times A^{-0,595834})$	99,97	2,41	9,5	(8)
$B_C = \exp(-0,53641 + 2,17416 \times \ln(SI) - 16,8785 \times A^{-0,689514})$	99,96	0,95	7,7	(9)
$B_L = \exp(-0,775488 + 1,24017 \times \ln(SI) - 74,6968 \times A^{-2,00756})$	96,02	1,71	15,0	(10)
$B_{CL} = \exp(-0,087527 + 1,95493 \times \ln(SI) - 15,6014 \times A^{-0,754449})$	99,96	1,78	8,4	(11)

Ghi chú: R²(%) = Hệ số xác định; SEE = Sai lệch chuẩn; MAPE = Sai số trung bình theo phần trăm.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng các hàm ước lượng BEF đối với quần thụ Thông ba lá

Các hệ số BEF được xác định theo 3 bước. Bước 1: Xác định sinh khối của quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI theo Hàm 7-11 (Bảng 2). Bước 2: Xác định các BEF_i (i là thành phần sinh khối: tổng sinh khối = BEF_{T0}; thân = BEF_T; cành = BEF_C; lá = BEF_L và tổng cành + lá = BEF_{CL}) đối với quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI theo công thức 12; trong đó M (m³/ha) là sản lượng gỗ cây đứng của quần thụ Thông ba lá, B_i là các thành phần sinh khối. Hệ số BEF_T là tỷ trọng gỗ (WD = 0,55 tấn/m³).

$$BEF_i (\text{tấn/m}^3) = B_i / M \quad (12)$$

Bước 3: Xây dựng các hàm ước lượng các BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá. Những phân tích bằng đồ thị cho thấy các hệ số BEF_i đều giảm dần theo sự nâng cao tuổi (A, năm) của rừng trồng Thông ba lá. Mặt khác, hệ số BEF_i và các biến sản lượng của rừng trồng Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI tồn tại quan

hệ rất chặt chẽ (r = 0,760 đối với biến Ln(SI/A) đến r = -0,997 đối với biến Ln(G)) (Bảng 3). Vì thế, trong nghiên cứu này, hàm ước lượng BEF_i thích hợp được kiểm định theo 5 hàm 1-5 (Bảng 4).

Các tham số hồi quy và những thống kê sai lệch của các hàm ước lượng BEF_i được xác định theo phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Mức độ chính xác của các hàm BEF_i được đánh giá theo hệ số xác định (R²; Công thức 13), tổng sai lệch bình phương (SSE; Công thức 14), sai số ước lượng (SEE; Công thức 15), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 16), sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 17). Ở công thức 13-17, BEF_i và BEF_j tương ứng là BEF thực tế và ước lượng; BEF_{Bq} là BEF bình quân thực tế; n = dung lượng mẫu; p = số tham số của các hàm BEF. Hàm ước lượng BEF_i thích hợp nhất được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}. Công cụ xử lý số liệu là phần mềm thống kê STATGRAPHICS Centurion XV.I 15.1.02.

Bảng 3. Quan hệ giữa BEF_i với các biến sản lượng của rừng trồng Thông ba lá

		A (năm)	Ln(D×H)	Ln(SI/A)	Ln(G)	Ln(M)
BEF _{T0}	r	-0,858	-0,988	0,760	-0,997	-0,985
	P	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	N	70	70	70	70	70
BEF _C	r	-0,904	-0,986	0,710	-0,977	-0,980
	P	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	N	70	70	70	70	70
BEF _L	r	-0,826	-0,972	0,765	-0,987	-0,971
	P	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	N	70	70	70	70	70
BEF _{CL}	r	-0,858	-0,988	0,760	-0,997	-0,985
	P	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	N	70	70	70	70	70

Ghi chú: A (năm) = tuổi của quần thụ; SI = chỉ số lập địa; D (cm) = đường kính ngang ngực; H(m) = chiều cao toàn thân; G(m²/ha) = tiết diện ngang; M(m³/ha) = sản lượng gỗ của quần thụ; r = hệ số tương quan; P = mức ý nghĩa thống kê; N = dung lượng mẫu quan sát.

Bảng 4. Các hàm ước lượng các hệ số BEF đối với quần thụ Thông ba lá

Mã hàm	Các hàm BEF dự tuyển
1	$BEF_i = \exp(b_0 + b_1 \times \ln(D \times H) + b_2 \times \ln(SI/A))$
2	$BEF_i = \exp(b_0 + b_1 \times \ln(H/D) - b_2 \times \ln(SI))$
3	$BEF_i = \exp(b_0 - b_1 \times \ln(G)) + b_2 \times \ln(SI/A)$
4	$BEF_i = \exp(b_0 + b_1 \times \ln(M)) + b_2 \times \ln(SI/A)$
5	$BEF_i = b_0 \times \exp(b_1 \times A^{b_2} + b_3 \times \ln(SI/A))$

$$R^2 = (1 - \frac{SSE}{SST})100 \quad (13)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (BEF_i - BEF_j)^2 \quad (14)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (BEF_i - BEF_{Bq})^2$$

$$SEE = \sqrt{SSE/(n-p)} \quad (15)$$

$$MAE = (1/n) \sum_{i=1}^n \frac{|BEF_j - BEF_i|}{BEF_i} \quad (16)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{n} 100 \quad (17)$$

2.3.2. So sánh sai lệch của hai phương pháp ước lượng sinh khối của rừng trồng Thông ba lá

Phương pháp 1: Sử dụng các hàm sinh khối (Hàm 7-11 ở Bảng 2) để ước lượng 5 thành phần sinh khối trên mặt đất ($B_i = B_{T0}, B_T, B_C, B_L, B_{CL}$) của quần thụ Thông ba lá từ cấp $A = 5-30$ năm trên 5 chỉ số SI. Phương pháp 2: Xác định 5 thành phần B_i của quần thụ Thông ba lá từ cấp $A = 5-30$ năm trên 5 chỉ số SI dựa theo quan hệ $B_i = BEF_i \times M$; trong đó BEF_i là hàm ước lượng BEF_i thích hợp nhất, M là sản lượng gỗ của quần thụ. Sau đó phân tích sai lệch tương đối (MPE,%) về B_i được xác định theo phương pháp 2 (B_{i2}) và phương pháp 1 (B_{i1}) (Công thức 18).

$$MPE = ((B_{i2} - B_{i1})/B_{i1}) \times 100 \quad (18)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xây dựng các hàm BEF đối với quần thụ Thông ba lá

Các tham số hồi quy, hệ số xác định (R^2) và các thống kê sai lệch (SSE, SEE, MAPE) của 5 hàm ước lượng BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá được dẫn ra ở Bảng 5-12. Phân tích số liệu ở

Bảng 6 cho thấy 5 hàm ước lượng BEF_{T0} tồn tại với hệ số R^2 cao nhất ở Hàm 1 (99,94%), thấp nhất ở Hàm 5 (98,42%). So với SSE ở Hàm 1, giá trị này lớn hơn từ 1,1 lần đối với Hàm 4 đến 26,5 lần đối với Hàm 5. Tương tự, so với SEE ở Hàm 1, giá trị này lớn hơn từ 1,1 lần đối với Hàm 2 đến 5,4 lần đối với Hàm 5. Theo hai tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min} , Hàm 1 là hàm thích hợp để ước lượng BEF_{T0} đối với quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI.

Phân tích số liệu ở Bảng 8 cho thấy 5 hàm ước lượng BEF_C tồn tại với hệ số R^2 cao nhất ở Hàm 5 (99,63%), thấp nhất ở Hàm 3 (93,45%) kết quả ghi trong bảng là 92,31%. So với SSE ở Hàm 5, giá trị này lớn hơn từ 6,5 lần đối với Hàm 2 đến 19,3 lần đối với Hàm 3. Tương tự, so với SEE ở Hàm 5, giá trị này lớn hơn từ 3,0 lần đối với Hàm 2 đến 5,5 lần đối với Hàm 4. Theo hai tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min} , Hàm 5 là hàm thích hợp để ước lượng BEF_C đối với quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI.

Phân tích số liệu ở Bảng 10 và 12 cho thấy 5 hàm ước lượng BEF_L và BEF_{CL} tồn tại với hệ số R^2 cao nhất ở Hàm 5 (tương ứng 99,47% và 99,78%), thấp nhất ở Hàm 3 (tương ứng 97,24% và 98,28). Giá trị SSE và SEE cũng nhận giá trị thấp nhất ở Hàm 5, cao nhất ở Hàm 3. Theo hai tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min} , Hàm 5 là hàm thích hợp để ước lượng BEF_L và BEF_{CL} đối với quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI.

Bảng 5. Các hàm ước lượng BEF_{T0} đối với quần thụ Thông ba lá

Các hệ số	Các hàm $BEF_{T0}^{(*)}$				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
b_0	0,34759	0,57324	0,20169	0,23167	16,36370
b_1	-0,09089	0,52821	0,10960	0,07441	2,01694
b_2	0,03367	0,20148	0,01712	0,04134	0,12809
b_3					0,13928

Ghi chú: (*) Hình thái của hàm 1-5 được dẫn ra ở Bảng 4.

Bảng 6. Thống kê sai lệch của các hàm ước lượng BEF_{T0} đối với quần thụ Thông ba lá

Thống kê	Các hàm BEF _{T0}				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
R ² (%)	99,94	99,37	99,92	99,85	98,42
SSE	0,0008	0,0083	0,0010	0,0009	0,0212
±SEE	0,0034	0,0111	0,0039	0,0036	0,0182
MAPE	0,31	0,90	0,34	0,32	1,52

Bảng 7. Các hàm ước lượng BEF_C đối với quần thụ Thông ba lá

Các hệ số	Các hàm BEF _C				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
b ₀	-0,94452	-0,57181	-1,11791	-1,0768	0,71798
b ₁	-0,10049	0,52514	0,11749	0,08145	0,33312
b ₂	0,01011	0,26859	-0,00269	0,02009	0,42179
b ₃					0,04850

Bảng 8. Thống kê sai lệch của các hàm ước lượng BEF_C đối với quần thụ Thông ba lá

Thống kê	Các hàm BEF _C				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
R ² (%)	94,97	97,37	92,31	94,18	99,63
SSE	0,0051	0,0026	0,0077	0,0058	0,0004
±SEE	0,008	0,006	0,011	0,0093	0,002
MAPE	2,95	2,13	3,68	3,19	0,71

Bảng 9. Các hàm ước lượng BEF_L đối với quần thụ Thông ba lá

Các hệ số	Các hàm BEF _L ^(*)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
b ₀	-0,67242	0,04572	-1,20457	-1,09058	3,36211
b ₁	-0,32733	2,22124	0,38572	0,26632	1,00104
b ₂	0,24356	0,67189	0,17184	0,26522	0,44774
b ₃					0,06753

Bảng 10. Thống kê sai lệch của các hàm ước lượng BEF_L đối với quần thụ Thông ba lá

Thống kê	Các hàm BEF _L				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
R ² (%)	98,08	98,29	97,24	97,86	99,47
SSE	0,0139	0,0124	0,0201	0,0152	0,0038
±SEE	0,014	0,013	0,017	0,015	0,008
MAPE	18,22	16,1	21,4	19,16	7,80

Bảng 11. Các hàm ước lượng BEF_{CL} đối với quần thụ Thông ba lá

Các hệ số	Các hàm BEF _{CL} ^(*)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
b ₀	-0,07652	0,47095	-0,40909	-0,33601	9,36115
b ₁	0,20102	1,20367	0,23794	0,16365	1,63515
b ₂	0,08278	0,45999	0,04637	0,09921	0,25030
b ₃					0,12336

Ghi chú: (*) Hình thái của hàm 1-5 được dẫn ra ở Bảng 4.

Bảng 12. Thống kê sai lệch của các hàm ước lượng BEF_{CL} đối với quần thụ Thông ba lá

Thống kê	Các hàm BEF _{CL} :				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
R ² (%)	99,32	99,54	98,48	99,11	99,78
SSE	0,0091	0,0057	0,020	0,0119	0,0028
±SEE	0,012	0,009	0,017	0,013	0,006
MAPE	2,84	1,95	4,34	3,27	1,28

3.2. Các hệ số BEF đối với quần thụ Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa

3.2.1. Các hệ số BEF bình quân chung đối với quần thụ Thông ba lá

Từ số liệu ở Bảng 5, 7, 9, 11, các hàm ước lượng hệ số BEF_i (tấn/m³) đối với quần thụ

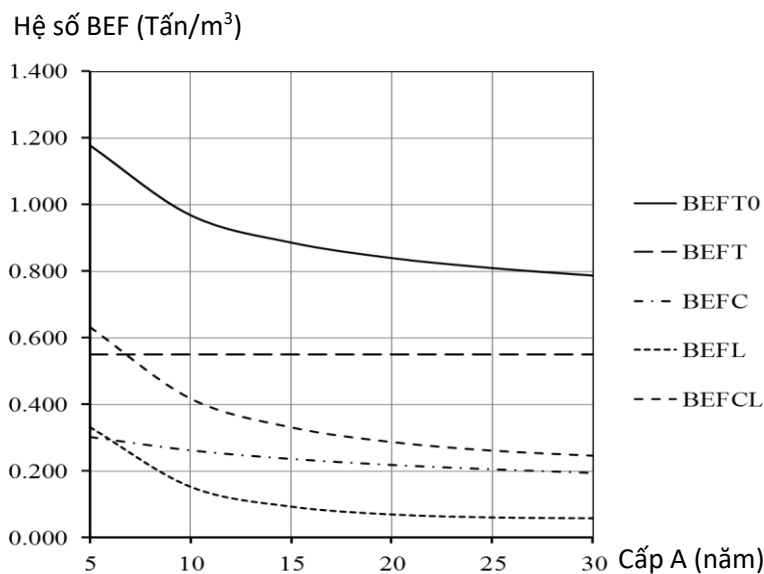
Thông ba lá được tổng hợp ở Bảng 13 (Hàm 19-23). Từ các hàm ở Bảng 13, xác định được sự biến đổi của 5 hệ số BEF_i bình quân chung theo cấp A của rừng trồng Thông ba lá (Bảng 14 và Hình 1).

Bảng 13. Các hàm ước lượng hệ số BEF đối với quần thụ Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Thành phần	Hàm ước lượng hệ số BEF	Hàm
Tổng số	$BEF_{T0} = \exp(0,34759 - 0,09089 \times \ln(D \times H) + 0,03367 \times \ln(SI/A))$	(19)
Thân	$BEF_T = 0,550$ (Tỷ trọng gỗ)	(20)
Cành	$BEF_C = 0,717978 \times \exp(-0,333117 \times A^{0,421789}) - 0,0484976 \times \ln(SI/A)$	(21)
Lá	$BEF_L = 3,36211 \times \exp(-1,00104 \times A^{0,447735}) - 0,0675265 \times \ln(SI/A)$	(22)
Cành + lá	$BEF_{CL} = 9,36115 \times \exp(-1,63515 \times A^{0,250302}) - 0,123361 \times \ln(SI/A)$	(23)

Bảng 14. Giá trị BFF bình quân chung theo cấp tuổi của quần thụ Thông ba lá

Cấp A (năm)	Hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
5	1,177	0,550	0,302	0,332	0,632
10	0,969	0,550	0,262	0,152	0,417
15	0,887	0,550	0,236	0,093	0,331
20	0,840	0,550	0,218	0,069	0,287
25	0,809	0,550	0,205	0,060	0,261
30	0,786	0,550	0,194	0,058	0,246



Hình 1. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của các hệ số BEF theo tuổi của quần thụ Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Nói chung, các hệ số BEF_i đều giảm dần theo A (năm); trong đó giảm nhanh từ cấp A = 5-15 năm, giảm chậm từ cấp A = 20-30 năm. Hệ số BEF_i giảm nhanh từ cấp A = 5-15 năm chứng tỏ các thành phần sinh khối của quần thụ Thông ba lá gia tăng theo A nhanh hơn so với sản lượng gỗ. Hiện tượng này được giải thích là do hệ thống cành và lá của quần thụ Thông ba lá ở giai đoạn rừng non phát triển mạnh. Trái lại, khi quần thụ Thông ba lá khép tán kín từ tuổi 15 trở đi, các cây gỗ tủa cành và lá mạnh hơn. Kết quả là sinh khối cành và lá của quần thụ Thông ba lá gia tăng chậm hơn so với sự gia tăng sản lượng gỗ.

3.2.2. Các hệ số BEF đối với quần thụ Thông ba lá trên 5 chỉ số lập địa

Các hệ số BEF_i (tấn/m³) đối với quần thụ Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo các Hàm 19-23 (Bảng 13). Hình 2 biểu diễn sự biến đổi của hệ số BEF_{TO} theo cấp A của quần thụ Thông ba lá trên 5 chỉ số SI. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI được tổng hợp ở Bảng 15-19. Từ đó cho thấy, các hệ số BEF_i không chỉ thay đổi tùy theo A (năm) của quần thụ Thông ba lá, mà còn theo chỉ số SI. Các giá trị BEF_i trên 5 chỉ số SI đều giảm nhanh từ cấp A = 5-15 năm, giảm chậm từ cấp A = 20-30 năm. Hệ số BEF_i giảm nhanh từ cấp A = 5-15 năm chứng tỏ các thành phần sinh khối của quần thụ Thông ba lá trên 5 chỉ số SI gia tăng theo A nhanh hơn so với sản lượng gỗ.

Bảng 15. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá trên chỉ số SI_{30}

Cấp A (năm)	Hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + lá
5	1,122	0,550	0,285	0,308	0,590
10	0,924	0,550	0,245	0,129	0,375
15	0,846	0,550	0,219	0,069	0,288
20	0,801	0,550	0,201	0,046	0,244
25	0,771	0,550	0,188	0,037	0,218
30	0,749	0,550	0,177	0,034	0,203

Bảng 16. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá trên chỉ số SI_{26}

Cấp A (năm)	Hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + lá
5	1,144	0,550	0,292	0,318	0,607
10	0,942	0,550	0,252	0,139	0,392
15	0,862	0,550	0,226	0,079	0,306
20	0,817	0,550	0,208	0,055	0,262
25	0,786	0,550	0,195	0,046	0,236
30	0,764	0,550	0,184	0,044	0,221

Bảng 17. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá trên chỉ số SI_{22}

Cấp A (năm)	Hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + lá
5	1,170	0,550	0,300	0,329	0,628
10	0,964	0,550	0,260	0,150	0,413
15	0,882	0,550	0,234	0,090	0,327
20	0,835	0,550	0,216	0,067	0,282
25	0,804	0,550	0,203	0,058	0,257
30	0,782	0,550	0,192	0,055	0,241

3.2.3. Sai lệch giữa hai phương pháp ước lượng sinh khối của quần thụ Thông ba lá

Sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá có thể được xác định theo 2 phương pháp. Phương pháp 1: Xác định các B_i theo các hàm sinh khối (Hàm 7-11 ở Bảng 2). Phương pháp 2: Xác định các B_i theo quan hệ $B_i = BEF_i \times M$; trong đó M được ước lượng theo Hàm 6 ở Bảng 1 [5], còn các hệ số BEF_i được ước lượng theo Hàm 19-23 ở Bảng 13. Bảng 20 tổng hợp các thành phần sinh khối của quần thụ Thông ba lá được

xác định theo 2 phương pháp này. Từ số liệu ở Bảng 20 cho thấy, so với phương pháp 1, hai thành phần B_{T0} và B_C được tính theo phương pháp 2 chỉ nhỏ hơn 0,08% và 0,25%, còn 2 thành phần B_L và B_{CL} lớn hơn tương ứng 6,05% và 0,03%. Các sai lệch này đều nhỏ hơn sai số cho phép trong thống kê và đánh giá tài nguyên rừng ($MAPE < 10\%$). Vì thế, các Hàm 19-23 được sử dụng để điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành sinh khối của quần thụ Thông ba lá tại A nằm trên 5 chỉ số SI.

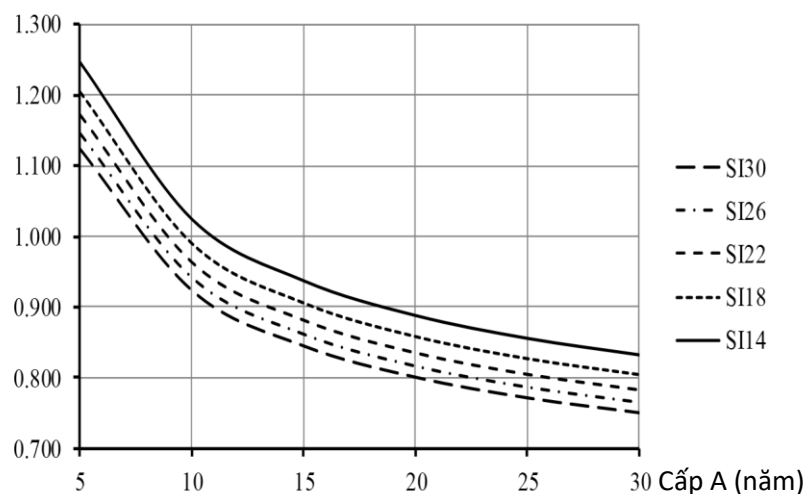
Bảng 18. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá trên chỉ số SI_{18}

Cấp A (năm)	Các hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + lá
5	1,203	0,550	0,310	0,343	0,653
10	0,991	0,550	0,269	0,163	0,438
15	0,907	0,550	0,244	0,104	0,351
20	0,859	0,550	0,226	0,080	0,307
25	0,827	0,550	0,213	0,071	0,281
30	0,803	0,550	0,202	0,069	0,266

Bảng 19. Các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá trên chỉ số SI_{14}

Cấp A (năm)	Hệ số BEF đối với các thành phần				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + lá
5	1,245	0,550	0,322	0,360	0,684
10	1,026	0,550	0,282	0,180	0,469
15	0,938	0,550	0,256	0,121	0,382
20	0,889	0,550	0,238	0,097	0,338
25	0,855	0,550	0,225	0,088	0,312
30	0,831	0,550	0,214	0,086	0,297

Hệ số BEF_{T0} (Tấn/m³)



Hình 2. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của hệ số BEF_{T0} theo tuổi của quần thụ Thông ba lá tại khu vực Đức Trọng

Bảng 20. So sánh hai phương pháp ước lượng sinh khối của quần thụ Thông ba lá

A (năm)	Ước lượng các thành phần sinh khối (tấn/ha) theo:				
	B_{T0}	B_T	B_C	B_L	B_{CL}
(1) Phương pháp 1: Hàm sinh khối (Hàm 7-11)					
5	7,9	3,8	2,0	2,1	4,1
10	62,2	36,1	16,7	9,3	26,0
15	147,3	93,4	38,7	15,1	53,9
20	241,8	161,5	61,9	18,4	80,3
25	336,2	232,6	84,0	19,6	103,6
30	426,6	302,8	104,3	19,5	123,8
(2) Phương pháp 2: $B_i = BEF_i \times M$ với $BEF =$ Hàm 19-23					
5	7,9	3,8	2,0	2,2	4,2
10	62,4	36,1	16,7	9,4	26,2
15	147,6	93,4	38,9	14,1	53,1
20	241,7	161,5	61,9	17,4	78,8
25	335,1	232,6	83,5	21,2	102,7
30	424,0	302,8	102,9	26,2	125,3
Sai lệch (MPE, %) giữa phương pháp 2 và phương pháp 1					
5	0,00	0,00	0,00	4,76	2,44
10	0,32	0,00	0,00	1,08	0,77
15	0,20	0,00	0,52	-6,62	-1,48
20	-0,04	0,00	0,00	-5,43	-1,87
25	-0,33	0,00	-0,60	8,16	-0,87
30	-0,61	0,00	-1,34	34,4	1,21
Trung bình (%)	-0,08	0,00	-0,25	6,05	0,03

3.3. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.1. Thảo luận

Sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá tại tuổi A năm trên 5 chỉ số SI có thể được ước lượng theo 2 phương pháp: (1) Phương pháp hàm sinh khối; (2) Phương pháp hệ số BEF kết hợp với sản lượng gỗ cây đứng. Theo phương pháp 2, $B_i = BEF_i \times M$; trong đó M là sản lượng gỗ cây đứng. Đại lượng M của quần thụ Thông ba lá tại tuổi A năm trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo hàm sản lượng gỗ (Hàm 6 ở Bảng 1) [5]. Điều tra rừng theo định kỳ hàng năm thường cung cấp các số liệu về A (năm), SI (m), G (m^2/ha) và M (m^3/ha) của rừng Thông ba lá. Nếu hàm ước lượng BEF_i chỉ dựa trên 1 biến số, thì BEF_i dự đoán sẽ bị sai lệch lớn. Để giảm sai lệch của BEF_i đối với các cấp A và chỉ số SI, nghiên cứu này đã xây dựng các hàm BEF_i ở mức quần thụ trong mối quan hệ với nhiều biến số. Nếu chỉ có thông tin về A, SI, D và H của rừng trồng Thông ba lá, thì các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá tại cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI được ước lượng theo Hàm 19-23 ở

Bảng 13. Nếu chỉ có thông tin về A, SI, G và M của rừng trồng Thông ba lá, thì các hệ số BEF_i đối với quần thụ Thông ba lá tại cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI được ước lượng tương ứng theo Hàm 3 và 4 ở Bảng 5, 7, 9, 11. Sử dụng các hệ số BEF_i và các hàm sản lượng gỗ cho phép điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành các thành phần sinh khối của rừng. Phương pháp này không chỉ hạn chế được những khó khăn trong thu thập sinh khối của rừng, mà còn sử dụng được các số liệu trong điều tra rừng [7-9].

Nói chung, sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số SI được xác định theo phương pháp 1 và phương pháp 2 là tương tự như nhau. Hiện tượng này được giải thích bởi 2 lý do: (1) Các hệ số BEF_i và các thành phần sản lượng (D, H, G, M) đối với quần thụ Thông ba lá được xác định dựa theo các hàm sinh khối và hàm sản lượng gỗ; (2) Chọn được các hàm BEF_i thích hợp để mô tả sự biến đổi của các hệ số BEF_i theo tuổi (A, năm) và chỉ số SI của rừng trồng Thông ba lá. Sử dụng các hệ số BEF_i và các hàm

sản lượng gỗ cho phép điều chỉnh sản lượng gỗ thành các thành phần sinh khối của rừng.

3.3.2. Áp dụng kết quả nghiên cứu

Sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá được xác định theo 3 bước:

Bước 1: Xác định đặc điểm của rừng trồng Thông ba lá tại khu vực nghiên cứu trên các ô tiêu chuẩn tạm thời (OTC) với kích thước 1000 m² (25×40 m). Số lượng OTC được tính toán tùy theo yêu cầu của thống kê và đánh giá sinh khối đối với rừng trồng Thông ba lá. Trong các OTC, trước hết xác định tuổi (A, năm) của rừng trồng Thông ba lá theo lý lịch rừng hoặc đếm số lượng vòng năm trên thân tại vị trí 1,3 m kể từ mặt đất. Tiếp theo xác định D(cm) và H(m) của từng cây, mật độ (N, cây/OTC) và sản lượng gỗ (M, m³/OTC) của rừng trồng Thông ba lá trên các OTC theo phương pháp thông thường của lâm học. Chỉ số SI được xác định theo biểu chỉ số SI [5]; trong đó chiều cao của các cây ưu thế (H_D, m) là giá trị bình quân cộng giản đơn của 5-10 cây có H lớn nhất trên OTC tại A năm. Sau đó chuyển đổi hai đại lượng N và M sang đơn vị 1 ha.

Bước 2: Sử dụng Hàm 19-23 ở Bảng 13 để ước lượng 4 hệ số BEF_{T0}, BEF_C, BEF_L, BEF_{CL} (tấn/m³), còn hệ số BEF_T = WD = 0,550 tấn/m³.

Bước 3: Xác định các thành phần sinh khối của rừng trồng Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI theo công thức: B_i (tấn/ha) = BEF_i×M; trong đó M (m³/ha) là sản lượng gỗ cây đứng của rừng trồng Thông ba lá trên OTC.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng các hàm BEF để điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm trên 5 chỉ số lập địa tại khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Sinh khối của quần thụ Thông ba lá tại A năm trên 5 chỉ số SI được xác định theo công thức: B_i (tấn/m³) = BEF_i×M; trong đó M (m³/ha) là sản lượng gỗ cây đứng của quần thụ Thông ba lá. So với sinh khối của các thành phần được xác định theo phương pháp hàm sinh khối, sử dụng các hệ số BEF_i để điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành

tổng sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá từ cấp A = 5-30 năm cho kết quả với sai số nhỏ hơn 0,5%. 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 điều chỉnh sản lượng gỗ cây đứng thành sinh khối trên mặt đất của quần thụ Thông ba lá.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Viện điều tra quy hoạch rừng (1995). Sổ tay điều tra quy hoạch rừng. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [2]. Lê Hồng Phúc (1995). Nghiên cứu sinh khối rừng Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ở Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng. Tóm tắt luận án Phó tiến sĩ nông nghiệp, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
- [3]. Vũ Tấn Phương & Võ Đại Hải (2011). Cấu trúc sinh khối của rừng trồng Thông ba lá thuần loài tại Lâm Đồng. Viện Khoa học Lâm nghiệp.
Truy cập từ: <https://vafs.gov.vn/vn/cau-truc-sinh-khoi-cua-rung-trong-thong-ba-la-thuan-loai-tai-lam-dong>.
- [4]. Nguyễn Văn Thêm & Trần Thị Ngoan (2016). Những hàm sinh khối và hệ số điều chỉnh sinh khối đối với Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) trên cấp đất I ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Nông Lâm nghiệp. 2: 57-65.
- [5]. Nguyễn Văn Thêm, Nguyễn Văn Nhẫn, Lê Hồng Việt & Nguyễn Văn Quý (2025). Sản lượng gỗ của rừng trồng Thông ba lá (*Pinus kesiya* ex Gordon) trên những lập địa khác nhau ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 14(3): 78-88. DOI: 10.55250/jo.vnuf.14.3.2025.078-088
- [6]. Nguyễn Văn Nhẫn (2018). Ảnh hưởng của khí hậu đến tăng trưởng của Du sam (*Keteleeria evelyniana* Masters), Bạch tùng (*Dacrycarpus imbricatus* (Blume) de Laub) và Đinh tùng (*Cephalotaxus mannii* Hook.f.) ở khu vực Đà Lạt và Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Luận án tiến sĩ lâm nghiệp, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.
- [7]. Dutca I., Vasile Abrudan I., TudorStancioiu P. & Blujdea V. (2010). Biomass conversion and expansion factors for young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) trees planted on non-forest lands in Eastern Carpathians. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 38(3): 286-292.
- [8]. Lehtonen A., Makipaa R., Heikkinen J., Sievanen R. & Liski J. (2004). Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. Forest Ecology and Management 188(1-3): 211-224.
- [9]. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Eds. HS Eggleston, L Buendia, K Miwa, T Ngara, K Tanabe) [Online]. Japan: IGES. Truy cập từ: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.