Các hàm độ thon thân và thể tích đối với Thông ba lá (*Pinus kesiya* ex Gordon) tự nhiên ở khu vực Đức Trọng, tỉnh Lâm Đồng

Lê Hồng Việt[1], Nguyễn Văn Thêm[2], Ngô Thị Thu Thủy[1], Ngô Văn Long[3]

[1]Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai

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

[3]Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Gia Lai

Stem taper and volume functions for natural pine trees (*Pinus kesiya* ex Gordon) at Duc Trong area of Lam Dong province

Le Hong Viet[1], Nguyen Van Them[2], Ngo Thi Thu Thuy[1], Ngo Van Long[3]

[1]Vietnam National University of Forestry – Dong Nai Campus

[2]Forestry Science and Technology Association of Ho Chi Minh City

[1]Vietnam National University of Forestry – Gia Lai Campus

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.13.5.2024.089-097

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 11/06/2024
Ngày phản biện: 15/07/2024
Ngày quyết định đăng: 30/08/2024

Từ khóa:
Độ thon thân, hàm thể tích, phân đoạn gỗ, thể tích gỗ cây đứng, thể tích gỗ thu hoạch.

TÓM TẮT

Các hàm độ thon thân và thể tích là công cụ để thống kê và đánh giá tài nguyên rừng. Nghiên cứu này đã xây dựng các hàm độ thon thân, thể tích cây đứng và thể tích gỗ thu hoạch ở mức cây cá thể của các quần thụ Thông ba lá tự nhiên ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. Các hàm độ thon thân đã được xây dựng trên cơ sở từ 30 cây mẫu ở đường kính ngang ngực $D_{1.3}$ = 10-76 cm. Hàm độ thon thân thích hợp đã được kiểm định từ 9 hàm dự tuyển. Hàm thể tích cây đứng và thể tích gỗ thu hoạch đã được xây dựng theo 2 dạng: Dạng thứ 1 là hàm ước lượng thể tích từ phân đoạn gốc đến độ cao bất kỳ trên thân. Dạng thứ 2 là hàm ước lượng thể tích từ phân đoạn gốc đến đường kính ở vị trí bất kỳ trên thân. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm độ thon của Nguyễn Văn Thêm (2022) [5] mô tả tốt độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên ở cấp $D_{1.3}$ = 10-80 cm. Hai hàm $V_h = exp(-10,9711 + 1,73698×Ln(D×H) - 0,519857×(h/H)^{-0,632204})$ và $V_{Dh} = exp(-11,5852 + 1,735996×Ln(D×H) - 2,41182×(Dh/D)^{7,66018})$ được sử dụng để ước lượng tổng thể tích từ phân đoạn gốc đến phân đoạn bất kỳ trên thân của các cây Thông ba lá tự nhiên ở cấp $D_{1.3}$ = 10-80 cm. Các hàm độ thon và thể tích này đều nhận sai số nhỏ hơn 5%.

Keywords:
Harvest stem volume, logs, standing stem volume, stem taper, volume function.

ABSTRACT

Stem taper and volume functions have been tools for statistics and assessment of forest resources. This study constructed the stem taper function, standing stem and harvested timber volume functions at the individual tree level of natural pine stands (Pinus kesiya) in the Duc Trong area of Lam Dong province. The data used in this study consisted 30 sample trees at diameters ranging from 10 to 76 cm. The appropriate stem taper function was tested from 9 candidate functions. The volume functions have been built in two forms. The first form was a function that estimates the volume from the base log to any height on the stem. The second form was a function that estimates the volume from the base log to the diameter at any location on the stem. Research results showed that the taper function of Them 2022-7 [5] described well the stem taper of natural pine trees (Pinus kesiya) at diameter classes from 10 to 80 cm. Two functions $V_h = exp(-10.9711 + 1.73698×Ln(DBH×H) - 0.519857×(h/H)^{-0.632204})$ and $V_{Dh} = exp(-11.5852 + 1.735996× Ln(DBH×H) - 2.41182×(Dh/DBH)^{7.66018})$ were used to estimate the total volume from the base log to any logs on the stem of natural pine trees (Pinus keysiya) at the DBH = 10-80 cm. These taper and volume functions in this study all receive errors of less than 5%.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường kính giảm dần theo chiều cao thân cây gỗ tăng dần được gọi là độ thon thân cây gỗ. Hàm mô tả sự suy giảm đường kính theo chiều cao thân cây gỗ được gọi là hàm độ thon thân cây gỗ [1]. Hàm độ thon thân cây gỗ là công cụ để xác định hình dạng thân của các loài cây và xây dựng các hàm thể tích toàn thân cũng như thể tích của các phân đoạn trên thân cây gỗ. Độ thon thân cây gỗ có thể được xác định bằng các hàm độ thon thân. Nhiều tác giả (Lee và cộng sự (2003) [2]; Kozak (2004) [3]; Nguyễn Văn Thêm và cộng sự (2022) [4]; Nguyễn Văn Thêm (2022) [5]) đã xây dựng các hàm độ thon thân dựa theo đường kính thân ngang ngực (D, cm) (D ở vị trí 1,3 m kể từ mặt đất), chiều cao toàn thân (H, m) và chiều cao tương đối (h/H); trong đó h(m) là chiều cao ở vị trí khác nhau trên thân. Thống kê thể tích gỗ ở mức cây cá thể và quần thụ là nhiệm vụ của các nhà lâm học và điều tra rừng [1, 6]. Khi chưa có các hàm thể tích, các nhà lâm nghiệp thường xác định thể tích thân cây đứng theo công thức V = gHF; trong đó g (m^2) là tiết diện ngang thân ở vị trí ngang ngực, H (m) là chiều cao toàn thân, F là hệ số hình dạng thân (F = 0,45 đối với cây gỗ ở rừng tự nhiên; F = 0,5 đối với cây gỗ ở rừng trồng). Hàm tổng thể tích toàn thân cây gỗ có thể được xây dựng theo hai biến D và H (Vũ Tiến Hinh (2012) [7]). Hai phương pháp này chỉ cho phép xác định tổng thể tích gỗ toàn thân. Trong thực tế, nhà lâm nghiệp cần biết không chỉ thể tích thân cây đứng, mà còn cả thể tích gỗ thu hoạch của các phân đoạn với chiều dài bất kỳ. Nhiệm vụ này có thể giải quyết bằng cách xây dựng các hàm thể tích của các phân đoạn trên thân cây gỗ.

Thông ba lá (*Pinus kesiya* ex Gordon) mọc tự nhiên trong kiểu rừng hỗn hợp lá rộng - lá kim hơi ẩm á nhiệt đới tại khu vực Tây Nguyên (Thái Văn Trừng (1998) [8]). Gỗ Thông ba lá không chỉ được sử dụng để xây dựng nhà ở và đồ mộc gia dụng, mà còn làm bao bì và nguyên liệu chế biến bột giấy. Để thống kê và đánh giá sản lượng gỗ của các quần thụ Thông ba lá trên không gian rộng lớn, các nhà lâm nghiệp cần đến các biểu thể tích thân cây đứng ($V_{CĐ}$, m^3) và biểu thể tích gỗ thu hoạch (V_{TH}, m^3). Hiện nay ngành lâm nghiệp ở tỉnh Lâm Đồng vẫn còn thiếu các biểu độ thon, biểu thể tích thân cây dứng và biểu thể tích gỗ thu hoạch đối với rừng Thông ba lá tự nhiên. Hạn chế này dẫn đến những khó khăn trong việc thống kê và đánh giá tài nguyên rừng Thông ba lá tự nhiên. Vì thế, nghiên cứu này được đặt ra nhằm góp phần khắc phục những hạn chế kế trên.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng hàm độ thon, hàm thể tích toàn thân và thể tích của các phân đoạn trên thân cây Thông ba lá tự nhiên. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp công cụ để thống kê và đánh giá sản lượng gỗ của rừng Thông ba lá tự nhiên.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là độ thon và thể tích thân ở mức cây cá thể của rừng Thông ba lá Thông ba lá (*Pinus kesiya* ex Gordon) mọc tự nhiên trong kiểu rừng hỗn hợp lá rộng - lá kim hơi ẩm á nhiệt đới. Địa điểm nghiên cứu được đặt 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 1.000-1.700 m so với mặt nước biển và độ dốc trên 25^0. Đất vàng đỏ phát triển trên đá granit. Khu vực nghiên cứu nằm trong 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 2.357 mm, thấp nhất 1.354 mm. Độ ẩm không khí trung bình năm là 84%, cao nhất 88%, thấp nhất 80% (Nguyễn Văn Nhẫn, 2018) [9].

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Số liệu để xây dựng hàm độ thon thân, hàm thể tích toàn thân và thể tích của các phân đoạn trên thân cây Thông ba lá tự nhiên bao gồm 30 cây mẫu từ D = 10-76 cm. Các cây mẫu này được thu thập trong 10 ô tiêu chuẩn với diện tích 1.000 m^2 (25×40 m). Các cây mẫu được chặt hạ cách mặt đất 10-30 cm tùy theo kích thước thân. Các thân cây mẫu được phân chia thành các phân đoạn với chiều dài 100 cm; đoạn ngọn có chiều dài trên dưới 100 cm. Chiều dài toàn thân và chiều dài của các phân đoạn được xác định bằng thước dây với độ chính xác 1,0 cm. Ba đại lượng D cả vỏ, đường kính thân cả vỏ ở đầu lớn

(D_1, cm) và đầu nhỏ (D_2, cm) của mỗi phân đoạn được xác định bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Đoạn ngọn được đo chiều dài (L_n, m) và đường kính đáy (D_n, cm). Tổng số 30 cây giải tích là 330 thớt. Đặc trưng thống kê của 30 cây mẫu được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Đặc trưng thống kê của những cây mẫu Thông ba lá tự nhiên

TT	Biến	N (cây)	Bình quân	Min	Max	SEE	CV%
1	D (cm)	30	47,1	10,5	75,5	16,2	34,3
2	H (m)	30	22,2	17,5	28,5	3,0	13,6
3	V (m^3)	30	2,0426	0,2625	5,7417	1,5028	73,6

Ghi chú: Min = Giá trị nhỏ nhất; Max = Giá trị lớn nhất; SEE = Sai lệch chuẩn; CV% = Hệ số biến động.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng hàm độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên

Hàm độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên được xây dựng từ 30 cây mẫu với tổng số 330 thớt. Hàm độ thon thân thích hợp được kiểm định từ 9 hàm dự tuyển; trong đó 7 hàm của Nguyễn Văn Thêm (2022, 2023) [5, 10] và 2 hàm của Lee và cộng sự (2003) [2] và Kozak (2004) [3]. Các hàm độ thon dự tuyển này được dẫn ra ở Bảng 2. Ở hàm 1-9, D(cm) = đường kính thân ngang ngực; Dh(cm) = độ thon ở các vị trí khác nhau trên thân; H(m) = chiều cao toàn thân; Y = (h/H); h(m) = chiều cao từ gốc đến các vị trí khác nhau trên thân; X = (H - h)/(H-1,3); $X_k = Q/(1 - p^{1/3})$ với $Q = 1 - Y^{1/3}$ và p = 0,01.

Bảng 2. Những hàm độ thon thân dự tuyển trong nghiên cứu này

TT	Các hàm độ thon dự tuyển	Tác giả
1	$Dh = a_1(D^3H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6X + a7(D/H))}$	Thêm (2022-1)
2	$Dh = a_1(D^2H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6X + a7(D/H))}$	Thêm (2022-2)
3	$Dh = a_1(D^3H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6X + a7exp(D/H))}$	Thêm (2022-3)
4	$Dh = a_1(D^2H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6X + a7exp(D/H))}$	Thêm (2022-4)
5	$Dh = a_1(D^3H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6/exp(D/H) + a7(D/H))}$	Thêm (2022-5)
6	$Dh = a_1(D^2H) + a_2(D^{a3}H^{a4})(a_5 - \sqrt{Y})^{(a6Y + a7Y^2 + a8Y^3 + a9\ (D/H))}$	Thêm (2022-6)
7	$Dh = a_1(D^2H)^{a2}(a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6X + a7X^2 + a8(D/H))}$	Thêm (2022-7)
8	$Dh = a_1D^{a2}H^{a3}X_k^{(a4Y^4 + a5/exp(D/H) + a6X_k\text{^}p + a7/D + a8H^Q + a9X_k)}$	Kozak (2002)
9	$Dh = a_1D^{a2}(1 - Y)^{(a3Y^2 + a4Y + a5)}$	Lee (2003)

Hệ số độ thon thân (KD) tại chiều cao bất kỳ trên thân (h, m) được xác định theo công thức 10; trong đó KD_h là hệ số độ thon thân tại vị trí h trên thân, Dh_h là đường kính thân tại vị trí h trên thân, D là đường kính gốc. Hàm KD_h được sử dụng để xác định Dh theo chiều cao tương đối (h/H); trong đó $Dh_h = D \times KD_h$. Hàm hệ số KD_h với biến dự đoán (h/H) được mô tả bằng hàm đa bậc (Hàm 11); trong đó bậc thích hợp được chọn theo hàm nhận tổng bình phương sai lệch nhỏ nhất.

$$KD_h = (Dh_h/D) \quad (10)$$

$$KD_h = a_1 + a_2 \times (h/H) + a_3 \times (h/H)^2 + \ldots + a_3 \times (h/H)^k \quad (11)$$

2.3.2. Xây dựng hàm thể tích toàn thân đối với các cây Thông ba lá tự nhiên

Trình tự xử lý số liệu được thực hiện theo 5 bước.

Bước 1: Sử dụng hàm Dh với sai lệch nhỏ nhất để xác định Dh ở các vị trí H/10 đối với các cây Thông ba lá tự nhiên ở các cấp D = 10-80 cm; mỗi cấp D = 5 cm. Đối với mỗi cấp D, thể tích của phân đoạn thứ i với chiều dài H/10 (kí hiệu: L, m) được xác định theo công thức của Smalians (công thức 12); trong đó G_1 và G_2 (m^2) tương ứng là tiết diện ngang đầu lớn và đầu nhỏ của phân đoạn thứ i. Hai đại lượng G_1 và G_2 được xác định theo công thức 13; trong đó D_i (i = 1 và 2) là đường kính đầu lớn và đầu nhỏ của mỗi phân đoạn. Thể tích đoạn ngọn được xác định theo công thức hình nón (công thức 14); trong đó $g_n = (\pi/4) \times D_n^2$, còn D_n và L_n tương ứng là đường kính đáy và chiều dài của phân đoạn ngọn. Thể tích toàn thân cây đứng (V, m^3) là tổng thể tích của các phân đoạn.

$$V_i\ (m^3) = ((G_1 + G_2)/2) \times L \quad (12)$$

$$G_i\ (m^2) = (\pi/4) \times D_i^2 \quad (13)$$

$$V_n\ (m^3) = (1/3) \times g_n L_n \quad (14)$$

Bước 2: Xây dựng hàm ước lượng chiều cao toàn thân (H, m) của các cây Thông ba lá tự nhiên. Hàm H = f(D) được xây dựng theo hàm

Korf (1939) (Hàm 15).

Bước 3: Xây dựng hàm ước lượng thể tích toàn thân ở mức cây cá thể (V, m^3) theo Hàm 16.

Bước 4: Xác định thể tích từ phân đoạn gốc đến chiều cao h (V_h, m^3) theo công thức 17; trong đó V là thể tích toàn thân, KV_h là hệ số thể tích từ phân đoạn gốc đến chiều cao h (Công thức 18). Sau đó xây dựng hàm hệ số KV_h theo hàm đa bậc với biến dự đoán (h/H) (Hàm 19); trong đó bậc thích hợp nhận tổng bình phương sai lệch nhỏ nhất.

Bước 5: Xây dựng hàm thể tích của các phân đoạn trên thân cây Thông ba lá tự nhiên. Thể tích từ phân đoạn gốc đến phân đoạn thứ i ở cấp D thứ j (V_{ij}, m^3) được ước lượng theo hai hàm của Nguyễn Văn Thêm và cộng sự (2024) [11] (Hàm 20 và 21). Ở hàm 15-21, D là đường kính thân ngang ngực; H là chiều cao toàn thân; (h/H) là chiều cao tương đối; Dh là độ thon thân; V là thể tích toàn thân; KV_h là hệ số thể tích từ phân đoạn gốc đến chiều cao h; m, b, c, a_i, b_i, c_i và d_i là các tham số của các hàm.

$$H = m\times\exp(-b\times D^{-C}) \quad (15)$$

$$V = a_1 + a_2(D^2\times H) \quad (16)$$

$$V_h = V\times KV_h \quad (17)$$

$$KV_h = (V_h/V) \quad (18)$$

$$KV_h = b_1 + b_2\times(h/H) + b_3\times(h/H)^2 + \ldots + b_k\times(h/H)^k \quad (19)$$

$$V_{ij} = \exp(c_1 + c_2\times\ln(D\times H) + c_3\times(h/H)^{-c4}) \quad (20)$$

$$V_{ij} = \exp(d_1 + d_2\times\ln(D\times H) + d_3\times(Dh/D)^{d4}) \quad (21)$$

2.3.4. Đánh giá sai lệch của các hàm độ thon và thể tích

Các hàm độ thon (1-9), hàm chiều cao (15) và hàm thể tích (16-21) được xác định theo phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Mối quan hệ giữa các biến phụ thuộc với các biến dự đoán được xác định theo hệ số xác định (R^2) (công thức 22). Sai số và độ tin cậy của các hàm hồi quy được kiểm định theo tổng bình phương sai lệch (SSE; công thức 23), sai số ước lượng (SEE; công thức 24), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; công thức 25), sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; công thức 26), sai số trung bình theo phần trăm (MPE; công thức 27). Ở công thức 22-27, Y_i và Y_J tương ứng là biến phụ thuộc thực tế và ước lượng; Y_{bq} là giá trị bình quân của biến phụ thuộc thực tế; n = số lượng mẫu; p = số tham số của hàm hồi quy. Hàm độ thon và hàm thể tích thích hợp 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.

$$R^2 = (1 - \frac{SSE}{SST})\times 100 \quad (22)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}(Yi - Yj)^2 \quad (23)$$

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

$$SEE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}} \quad (24)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{n}((|Yi - Yj|)/n) \quad (25)$$

$$MAPE = (1/n)\times\frac{|Y_J - Y_i|}{Y_i}\times 100 \quad (26)$$

$$MPE = \frac{Y_J - Y_i}{Y_i}\times 100 \quad (27)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên

Các hàm ước lượng Dh (Bảng 3) của các cây Thông ba lá tự nhiên đều tồn tại ở mức ý nghĩa rất cao (P < 0,01). Hệ số xác định nhận giá trị cao nhất ở Hàm 7 (R^2 = 99,94%), thấp nhất ở Hàm 4 (R^2 = 98,77%). Tổng bình phương sai lệch thấp nhất ở Hàm 7 (SSE = 21,7), cao nhất ở Hàm 4 (SSE = 79,1). Sai số ước lượng nhỏ nhất ở Hàm 7 (SEE = +/-0,549), cao nhất ở Hàm 4 (SEE = +/-1,041). Hàm 6 nhận sai lệch tuyệt đối trung bình theo phần trăm thấp nhất (MAPE = 1,91%), cao nhất ở Hàm 9 (MAPE = 4,30%). Ba Hàm 4, 8 và 9 nhận sai số hệ thống (MPE) dương, còn các hàm khác nhận sai số hệ thống âm. Hàm 7 xếp hạng 1, còn hạng 9 là Hàm 4. Theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}, Hàm 7 là hàm thích hợp để ước lượng Dh của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm (Hàm 28); trong đó Y = (h/H) và X = (H-h)/(H-1,3). Bảng 4 và Hình 1 là độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm được ước lượng từ Hàm 28. Hệ số độ thon KD của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm được thể hiện ở Bảng 5.

$$Dh = 0{,}378801\times(D^2\times H)^{0{,}416408}\times(1{,}66537 - \sqrt{Y})^K \quad (28)$$

$$K = (4{,}38487\times Y + 0{,}453133\times Y^2 - 3{,}20684\times X + 3{,}36138\times X^2 + 0{,}142417\times(D/H))$$

R^2 = 99,94%; SEE = +/-0,549; MAPE = 2,2%; MPE = -0,33%.

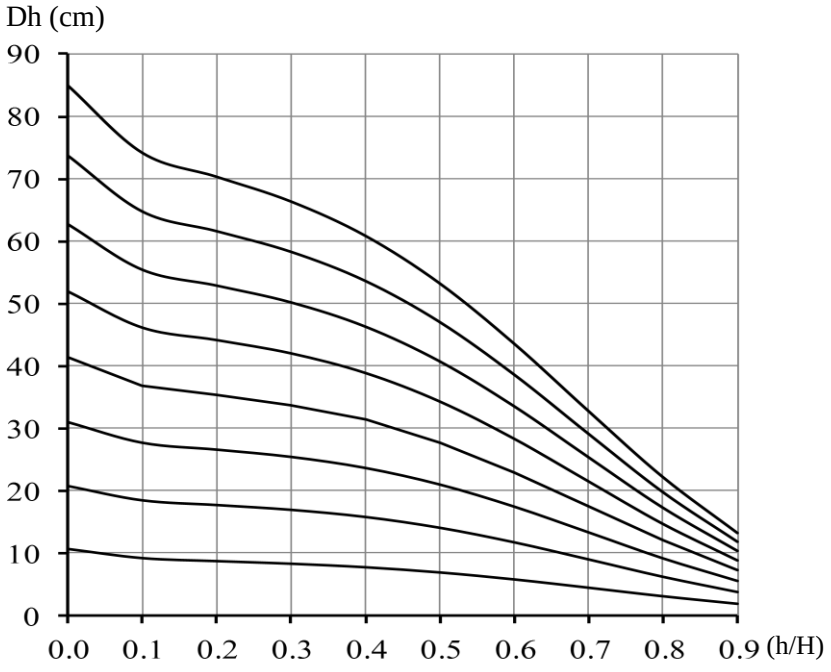
Bảng 3. Kiểm định sai lệch đối với các hàm độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên

Hàm độ thon số	P_a	R^2	SSE	+/-SEE	MAPE	MPE	Hạng
1	< 0,01	98,93	24,2	0,576	2,48	-0,45	4
2	< 0,01	98,92	25,9	0,596	2,49	-0,38	5
3	< 0,01	98,93	23,6	0,569	2,69	-0,88	2
4	< 0,01	98,77	79,1	1,041	3,23	1,53	9
5	< 0,01	98,93	24,2	0,576	2,69	-0,84	4
6	< 0,01	98,87	42,9	0,767	1,91	-0,75	7
7	< 0,01	99,94	21,7	0,549	2,21	-0,33	1
8	< 0,01	98,88	41,3	0,762	2,54	0,86	6
9	< 0,01	98,81	64,6	0,928	4,30	2,24	8

Ghi chú: P_a = Mức ý nghĩa thống kê; R^2 = Hệ số xác định; SSE = Tổng sai lệch bình phương; SEE = Sai số ước lượng; MAPE = Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm; MPE = Sai số trung bình theo phần trăm.

Bảng 4. Độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm

(h/H)	Cấp D(cm)							
	10	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
0,0	10,7	20,8	31,0	41,4	51,9	62,7	73,7	84,9
0,1	9,2	18,5	27,7	36,9	46,2	55,4	64,8	74,2
0,2	8,7	17,7	26,6	35,4	44,2	52,9	61,6	70,3
0,3	8,3	16,9	25,4	33,8	42,0	50,2	58,3	66,4
…	…	…	…	…	…	…	…	…
0,7	4,5	9,0	13,3	17,5	21,5	25,4	29,1	32,8
0,8	3,1	6,2	9,2	12,0	14,7	17,3	19,8	22,2
0,9	1,9	3,8	5,6	7,2	8,8	10,4	11,8	13,2



Hình 1. Hình dạng thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm

Phân tích đồ thị ở Hình 1 cho thấy điểm uốn trên thân cây Thông ba lá tự nhiên xuất hiện ở độ cao h = (0,1H) kể từ gốc. Số liệu ở Bảng 5 cho thấy hệ số KD trên cùng độ cao tương đối (h/H) của các cây Thông ba lá từ cấp D = 10-80 cm thay đổi rất nhỏ (Hệ số biến động CV < 5%). Vì thế, hệ số KD của các cây Thông ba lá tự nhiên đã được tính bình quân chung. Hàm ước lượng hệ số KD bình quân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm có dạng như Hàm 29 với R^2 = 99,9%, MAPE = 0,22% và MPE = 0,03%. Khi xác định được hệ số KD_h tại (h/H), thì giá trị $Dh_h = D \times KD_h$.

$$KD = 0,999215-1,71592\times(h/H) + 7,42995\times(h/H)^2 - 17,1379\times(h/H)^3 + 15,0909\times(h/H)^4 - 4,58974\times(h/H)^5 \quad (29)$$

R^2 = 99,9%; SEE = +/-0,003; MAPE = 0,22%; MPE = 0,03%.

3.2. Hàm thể tích của các cây Thông ba lá tự nhiên

Kết quả nghiên cứu cho thấy chiều cao toàn thân (H, m) của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm được ước lượng theo Hàm 30. Hàm thể tích thân cây đứng với hai biến dự đoán (D và H) có dạng như Hàm 31. Hình 2 biểu diễn quan hệ giữa thể tích toàn thân với hai biến D và H của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm. Hàm 32 là hàm hệ số thể tích thân cây đứng (KV) với biến dự đoán (h/H). Hàm 33 là hàm ước lượng tổng thể tích từ phân đoạn gốc đến chiều cao bất kỳ (h, m) trên thân (V_h, m^3). Hình 3 biểu diễn tổng thể tích của các phân đoạn theo chiều cao tương đối (h/H) của các cây Thông ba lá tự nhiên ở cấp D = 40-80 cm. Hàm 34 là hàm xác định tổng thể tích gỗ từ phân đoạn gốc đến Dh bất kỳ trên thân (V_{Dh}, m^3). Các Hàm 30-34 đều có hệ số xác định rất cao (R^2 > 99,0%) và sai lệch nhỏ (SEE < 5,0%). Vì thế, chúng được sử dụng để ước lượng H, V, V_h và V_{Dh} của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm. Khi thay thế (h/H) vào Hàm 32, xác định được hệ số KV bình quân và tổng thể tích (V_h) từ phân đoạn gốc đến các phân đoạn dọc theo thân cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm (Bảng 6).

$$H = 54,1253\times\exp(-3,36631\times D^{-0,365591}) \quad (30)$$

R^2 = 98,75%; SEE = +/-0,76; MAPE = 2,5%; MPE = -0,5%.

$$V = -0,0223568 + 0,000057\times(D^2\times H)^{0,965154} \quad (31)$$

R^2 = 99,99%; SEE = +/-0,007; MAPE = 2,1%; MPE = 1,7%.

$$KV_h = -0,05343 + 2,86423\times(h/H) - 3,44855\times(h/H)^2 + 3,3511\times(h/H)^3 - 2,58283\times(h/H)^4 + 0,8817\times(h/H)^5 \quad (32)$$

R^2 = 99,95%; SEE = +/-0,0007; MAPE = 0,5%; MPE = 0,02%.

$$V_h = \exp(-10,9711 + 1,73698\times Ln(D\times H) - 0,519857\times(h/H)^{-0,632204}) \quad (33)$$

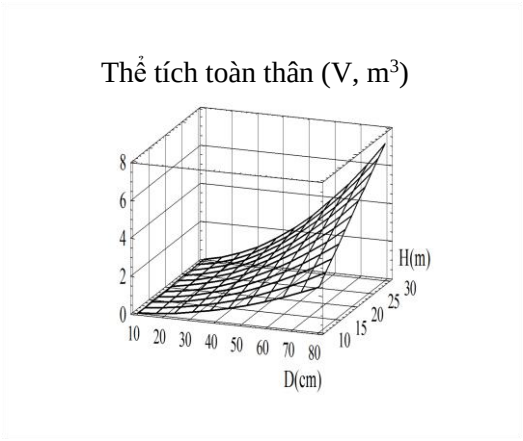
R^2 = 99,78%; SEE = +/-0,0762; MAPE = 4,2%; MPE = -0,02%.

$$V_{Dh} = \exp(-11,5852 + 1,735996\times Ln(D\times H) - 2,41182\times(Dh/D)^{7,66018}) \quad (34)$$

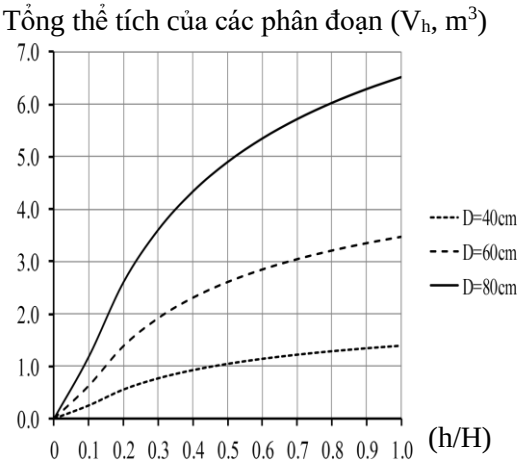
R^2 = 99,76%; SEE = +/-0,0787; MAPE = 5,4%; MPE = 0,8%.

Bảng 5. Hệ số độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm

(h/H)	Hệ số độ thon thân theo các cấp D(cm)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	Bình quân
0,1	0,863	0,889	0,893	0,892	0,888	0,884	0,879	0,873	0,883
0,2	0,818	0,853	0,858	0,855	0,850	0,843	0,836	0,828	0,843
0,3	0,778	0,816	0,820	0,816	0,809	0,800	0,791	0,781	0,801
0,4	0,725	0,761	0,763	0,757	0,748	0,738	0,728	0,717	0,742
0,5	0,648	0,678	0,677	0,670	0,660	0,649	0,638	0,627	0,656
0,6	0,543	0,565	0,563	0,555	0,545	0,535	0,524	0,513	0,543
0,7	0,418	0,433	0,430	0,423	0,414	0,404	0,395	0,386	0,413
0,8	0,290	0,299	0,296	0,290	0,283	0,275	0,268	0,261	0,283
0,9	0,177	0,182	0,179	0,175	0,170	0,165	0,161	0,156	0,171



Hình 2. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa thể tích toàn thân với hai biến D và H của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm



Hình 3. Đồ thị biểu diễn tổng thể tích của các phân đoạn theo chiều cao tương đối (h/H) của các cây Thông ba lá tự nhiên ở cấp D = 40-80 cm

3.3. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.1. Thảo luận

Độ thon thân (Dh) của các cá thể Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm được xác định theo Hàm 28 và 29. Khi biết Dh ở các vị trí khác nhau trên thân, thì thể tích của các phân đoạn có thể được xác định theo công thức của Smalians, còn thể tích đoạn ngọn được xác định theo thể tích hình nón. Sau đó xác định thể tích toàn thân bằng cách cộng dồn thể tích của các phân đoạn. Nhược điểm của phương pháp này là tốn nhiều thời gian và công sức, nhất là thống kê và đánh giá tài nguyên rừng trên không gian rộng lớn. Nghiên cứu này giải quyết khó khăn kể trên bằng cách xây dựng hàm tổng thể tích của các phân đoạn theo chiều cao tương đối (h/H) với ba biến dự đoán D, H và (h/H) (Hàm 33) hoặc D, H và (Dh/D) (Hàm 34). Khi thay D, H và (h/H) của các cây Thông ba lá vào Hàm 33, thì kết quả nhận được tổng thể tích của các phân đoạn từ gốc đến chiều cao h. Khi thay h = H hay (h/H) = 1, thì kết quả của Hàm 33 là tổng thể tích toàn thân. Tổng thể tích từ phân đoạn gốc đến đường kính ở vị trí bất kỳ (Dh) trên thân được xác định bằng cách thay thế D, H và (Dh/D) vào Hàm 34. Khi Dh = 0, thì kết quả của Hàm 34 là tổng thể tích toàn thân. Hàm 33 và 34 cũng được sử dụng để xác định thể tích của mỗi phân đoạn gỗ và thể tích gỗ thu hoạch với chiều dài và đường kính đầu nhỏ bất kỳ.

Bảng 6. Hệ số thể tích bình quân (KV) và tổng thể tích (V_h) của các phân đoạn theo chiều cao tương đối (h/H) của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm

(h/H)	Hệ số KV bình quân	Thể tích (V_h) của các cây Thông ba lá theo các cấp D(cm)						
		20	30	40	50	60	70	80
0,1	0,202	0,058	0,155	0,301	0,498	0,747	1,049	1,404
0,2	0,404	0,107	0,285	0,553	0,914	1,371	1,925	2,577
0,3	0,567	0,152	0,404	0,785	1,299	1,948	2,735	3,661
0,4	0,698	0,191	0,509	0,988	1,634	2,450	3,440	4,605
0,5	0,802	0,223	0,594	1,153	1,906	2,859	4,014	5,373
0,6	0,881	0,246	0,657	1,276	2,109	3,164	4,441	5,945
0,7	0,939	0,262	0,698	1,355	2,242	3,362	4,719	6,318
0,8	0,978	0,269	0,718	1,395	2,306	3,459	4,856	6,500
0,9	1,000	0,270	0,720	1,399	2,313	3,469	4,870	6,519

Khi biết D và H của các cây Thông ba lá tự nhiên trong quần thụ, thì tổng thể tích thân cây đứng ($V_{CĐ}$) của chúng được ước lượng theo Hàm 31. Hệ số KV_h ở chiều cao h trên thân được ước lượng theo Hàm 32. Khi kết hợp Hàm 31 và 32, thì tổng thể tích theo chiều cao tương đối (V_h) được xác định theo công thức $V_h = V_{CĐ} \times KV_h$. Đối với các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80cm, sai lệch giữa tổng thể tích của các phân đoạn được xác định từ Hàm 33 (Phương pháp 1) và công thức $V_h = V_{CĐ} \times KV_h$ (Phương pháp 2) là nhỏ hơn 2,0%. Sở dĩ hai phương pháp này cho kết quả tương tự như nhau là vì hệ số KV_h đã được ước lượng từ Hàm 31 và 33. Cách giải quyết này cho phép ước lượng thể tích của các phân đoạn với kết quả như nhau.

Sai lệch giữa thể tích của các phân đoạn (V_h) được xác định theo Hàm 33 (Phương pháp 1) và Hàm 34 (Phương pháp 3) là 9,5%. Vì thế, để nhận được thể tích của các phân đoạn (V_h) được xác định theo Hàm 33, các giá trị này ở Hàm 34 cần được cộng thêm 9,5%. So với tổng thể tích thân của các cây Thông ba lá tự nhiên ở các cấp D = 10-80 cm được xác định theo Hàm 31, giá trị này được xác định theo Hàm 33 với (h/H) = 1 chỉ nhỏ hơn 1,8%.

3.3.2. Áp dụng kết quả nghiên cứu

(a) Xác định độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên

Độ thon của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm được xác định theo 2 bước. Bước 1: Thu thập 2 biến D và H của các cây Thông ba lá tự nhiên trong các ô tiêu chuẩn (OTC). Bước 2: Xác định Dh bằng cách thay thế D, H và (h/H) vào Hàm 28. Giá trị h được xác định tùy theo yêu cầu của sản phẩm thu hoạch. Theo Hàm 29, giá trị Dh của các cây Thông ba lá tự nhiên được ước lượng theo 3 bước. Bước 1: Thu thập 2 biến D và H của các cây Thông ba lá tự nhiên trong các ô tiêu chuẩn (OTC). Bước 2: Xác định hệ số KD_h ở các vị trí chiều cao tương đối (h/H) của các cây Thông ba lá trên OTC từ Hàm 29. Bước 3: Xác định $Dh_h = D \times KD_h$. Để đơn giản, các cây Thông ba lá tự nhiên trong các quần thụ được phân chia theo các cấp D với mỗi cấp D = 5-10 cm tùy theo phạm vi biến động D. Tiếp theo sử dụng Hàm 30 để xác định H trung bình của các cấp D. Sau đó xác định Dh của các cấp D bằng cách thay thế D, H và (h/H) vào Hàm 28.

(b) Xác định tổng thể tích của cây Thông ba lá tự nhiên từ phân đoạn gốc đến chiều cao cho trước

Đối với mỗi cấp D, tổng thể tích của các phân đoạn từ gốc đến chiều cao h cho trước (V_h, m^3) được xác định bằng cách thay thế D, H và (h/H) vào Hàm 33. Tổng thể tích thân cây đứng được xác định bằng cách thay D, H và (h/H) = 1 vào Hàm 33. Khi biết chiều dài của phân đoạn gỗ thu hoạch kể từ gốc (L, m), thì tổng thể tích gỗ thu hoạch (V_{TH}) từ phân đoạn gốc đến chiều dài L được xác định bằng cách thay thế D, H và h = L vào Hàm 33. Tổng thể tích toàn thân cây đứng cũng được xác định bằng cách thay D và H vào Hàm 31.

(c) Xác định tổng thể tích của cây Thông ba lá tự nhiên từ phân đoạn gốc đến đường kính đầu nhỏ cho trước

Đối với mỗi cấp D, tổng thể tích từ phân đoạn gốc đến Dh bất kỳ trên thân (V_{Dh}, m^3) được xác định bằng cách thay thế D, H và Dh vào Hàm 34. Khi biết đường kính gỗ thu hoạch ở đầu nhỏ (Dh_n, cm) của các cấp D, thì tổng thể tích gỗ thu hoạch (V_{TH}) từ phân đoạm gốc đến Dh_n cho trước được xác định bằng cách thay thế D, H và Dh vào Hàm 34.

(d) Xác định thể tích của một phân đoạn bất kỳ trên thân cây Thông ba lá tự nhiên

Thể tích của một phân đoạn gỗ từ chiều cao h_1(m) đến chiều cao h_2(m) với $h_2 > h_1$ được xác định theo 2 bước. Bước 1: Sử dụng Hàm 33 để xác định tổng thể tích từ phân đoạn gốc đến chiều cao h_1 và h_2. Bước 2: Xác định thể tích của phân đoạn gỗ nằm giữa chiều cao h_1 và h_2 là hiệu số giữa thể tích của phân đoạn với chiều cao h_2 và h_1.

(e) Xác định sản lượng gỗ cây đứng và gỗ thu hoạch đối với các quần thụ Thông ba lá tự nhiên

Sản lượng gỗ của quần thụ Thông ba lá tự nhiên (M, m^3) là tổng thể tích gỗ của các cây Thông ba lá tự nhiên trong quần thụ này. Để xác định M cho một khoảnh rừng, trình tự tính toán bao gồm 5 bước. Bước 1: Xác định số lượng ô tiêu chuẩn (OTC) và kích thước OTC trên khoảnh rừng này. Giả sử diện tích của khoảnh rừng là S(ha), kích thước OTC là s (m^2) và tỷ lệ rút mẫn là K%. Từ giả định này,

số lượng OTC (N) cần có để thống kê M của các quần thụ Thông ba lá trên khoảnh rừng này là N = (S/s×K%). Bước 2: Thu thập D(cm) của tất cả các cây Thông ba lá trong N OTC, còn H(m) được ước lượng theo Hàm 30. Bước 3: Tập hợp số liệu D và H của quần thụ Thông ba lá tự nhiên trong N OTC và phân chia D của chúng thành các cấp D với mỗi cấp D = 5-10 cm tùy theo phạm vi biến động D. Sau đó xây dựng bảng phân bố số cây (n, cây) của các quần thụ theo các cấp D và chuyển đổi số cây ra đơn vị 1 ha (N cây/ha). Bước 4: Sử dụng Hàm 31 để ước lượng tổng thể tích thân cây đứng trung bình của cây bình quân trong mỗi cấp D (Kí hiệu: $V_{CĐ,}$ m^3/cây). Khi biết chiều dài (L, m) từ gốc đến đường kính thu hoạch ở đầu nhỏ (Dh_n) của mỗi cấp D, thì sản lượng gỗ thu hoạch trung bình cả vỏ của cây bình quân trong mỗi cấp D (Kí hiệu: $V_{TH,}$ m^3) được xác định bằng cách thay thế D, H và (L/H) vào Hàm 33. Bước 5: Xác định sản lượng gỗ cây đứng trung bình trên 1 ha ($M_{CĐ}$ m^3/ha) và sản lượng gỗ thu hoạch trung bình trên 1ha (M_{TH}, m^3/ha) đối với N OTC. Hai đại lượng $M_{CĐ}$ và M_{TH} của mỗi cấp D được xác định bằng cách nhân số cây (n, cây/ha) của mỗi cấp D với $V_{CĐ}$ và V_{TH} trung bình của mỗi cấp D. Kế đến xác định tổng sản lượng gỗ cây đứng và tổng sản lượng gỗ thu hoạch ở mỗi OTC bằng cách cộng dồn $M_{CĐ}$ và M_{TH} của các cấp D. Tiếp theo, xác định $M_{CĐ}$ và M_{TH} trung bình trên 1 ha cho N OTC. Sau đó xác định tổng $M_{CĐ}$ và tổng M_{TH} của toàn bộ quần thụ Thông ba lá tự nhiên trong khoảnh rừng này bằng cách nhân diện tích của khoảnh rừng này với $M_{CĐ}$ và M_{TH} trung bình trên 1 ha.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng các hàm ước lượng độ thon thân và thể tích gỗ cây đứng và gỗ thu hoạch đối với các quần thụ Thông ba lá tự nhiên ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng. So với các hàm độ thon khác, hàm độ thon của Nguyễn Văn Thêm (2022) [5] mô tả tốt độ thon thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm. Hai hàm thể tích của Nguyễn Văn Thêm và cộng sự (2024) [11] cũng mô tả tốt thể tích của các phân đoạn từ gốc đến chiều cao bất kỳ trên thân cây Thông ba lá tự nhiên. Hai hàm thể tích 33 và 34 trong nghiên cứu này không chỉ cho phép ước lượng tổng thể tích của các phân đoạn từ gốc đến chiều cao bất kỳ trên thân, mà còn cả thể tích của từng phân đoạn và thể tích toàn thân của các cây Thông ba lá tự nhiên từ cấp D = 10-80 cm. Các hàm độ thon và thể tích này đều nhận sai lệch nhỏ hơn 5%. Nhóm tác giả kiến nghị các cơ sở lâm nghiệp ở khu vực Đức Trọng thuộc tỉnh Lâm Đồng có thể áp dụng kết quả của nghiên cứu này để xác định độ thon, sản lượng gỗ cây đứng và sản lượng gỗ thu hoạch đối với các quần thụ Thông ba lá tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vũ Tiến Hinh & Phạm Ngọc Giao (1997). Điều tra rừng. Nxb Nông nghiệp. 183.

[2]. Lee W. K, Seo J. H, Son Y. M, Lee K. H & Von G. K (2003). Modeling stem profiles for Pinus densiflora in Korea. Forest Ecology Management. 172(1): 69-77.

[3]. Kozak A (2004). My last words on taper equations. The Forestry Chronicle. 80(4): 15-507

[4]. Nguyễn Văn Thêm, Nguyễn Trọng Bình & Nguyễn Trọng Minh (2022). Phát triển những hàm độ thon thân cây Keo lai trồng thuần loài ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 2: 22-31. https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.2.022-031

[5]. Nguyễn Văn Thêm (2022). Hàm độ thon và sản lượng thân cây Tràm ở khu vực Thạnh Hóa thuộc tỉnh Long An. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (4): 55-64. https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.4.055-064

[6]. Nguyễn Văn Thêm (2002). Sinh thái rừng. Nxb Nông nghiệp.

[7]. Vũ Tiến Hinh (2012). Phương pháp lập biểu thể tích cây đứng rừng tự nhiên ở Việt Nam. Nxb Nông nghiệp.

[8]. Thái Văn Trừng (1998). Những hệ sinh thái rừng nhiệt đới ở Việt Nam. Nxb Khoa học và kỹ thuật.

[9]. Nguyễn Văn Nhẫn (2018). Ảnh hưởng của khí hậu đến tăng trưởng của Du sam (Keteleeria evelyniana Masters), Bạch tùng (Dacrycarpus impricatus (Blume) de Laub) và Đỉnh 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, Thành phố Hồ Chí Minh.

[10]. Nguyễn Văn Thêm (2023), Xây dựng các hàm độ thon thân cây Keo lai (Acacia hybrid) tại tỉnh Đồng Nai, Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển. 22(4): 12-22.

[11]. Nguyễn Văn Thêm, Nguyễn Trọng Bình & Nguyễn Trọng Minh (2024), Xây dựng hàm thể tích các phân đoạn trên thân cây Keo lai (Acacia hybrid) ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 13(3): 67-75. https://doi.org/10.55250/Jo.vnuf.13.3.2024.067-075