

## NHỮNG HÀM ĐỘ THON THÂN CÂY KEO LAI (*Acacia auriculiformis* × *Acacia mangium*) Ở KHU VỰC ĐÔNG NAM BỘ

Nguyễn Văn Thêm<sup>1</sup>, Trần Thị Ngoan<sup>2</sup>,  
Nguyễn Thanh Minh<sup>3</sup>, Vũ Đình Hương<sup>4</sup>, Nguyễn Xuân Hải<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Hội Khoa học và Kỹ thuật Lâm nghiệp TP. HCM

<sup>2</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu tỉnh Đồng Nai

<sup>3</sup>Trung tâm Nghiên cứu thực nghiệm Lâm nghiệp Nam Bộ

<sup>4,5</sup>Trung tâm Ứng dụng Khoa học Kỹ thuật Lâm nghiệp Nam Bộ

### TÓM TẮT

Các hàm độ thon thân cây được sử dụng để ước lượng và dự đoán thể tích thân cây đứng và sản lượng gỗ thu hoạch. Hiện nay lâm học và điều tra rừng vẫn còn thiếu các hàm độ thon và hàm sản lượng gỗ thu hoạch đối với rừng trồng keo lai. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng được những hàm độ thon để ước lượng thể tích thân cả vỏ, thể tích thân không vỏ và sản lượng gỗ thu hoạch đối với rừng trồng keo lai. Các hàm độ thon thân cây keo lai được xây dựng từ 80 cây tiêu chuẩn ở cấp đường kính từ 4 - 24 cm. Hàm độ thon thích hợp được kiểm định từ 6 hàm dự tuyển. Khả năng ứng dụng của các hàm độ thon được kiểm định từ 5 cây ở cấp đường kính từ 10 - 20 cm. Các hàm thể tích và hàm sản lượng gỗ thu hoạch ở mức cây cá thể được xây dựng theo hàm đơn biến; trong đó biến dự đoán là đường kính thân ngang ngực. Kết quả nghiên cứu cho thấy 6 hàm này đều mô tả tốt độ thon thân cây keo lai ở mức ý nghĩa  $P < 0,01$ . Hàm độ thon do Nguyễn Văn Thêm đề xuất là hàm thích hợp nhất để xây dựng hàm độ thon thân cả vỏ và hàm độ thon thân không vỏ của cây keo lai. Các hàm độ thon, các hàm thể tích và sản lượng gỗ thu hoạch đều nhận sai lệch nhỏ hơn 5%.

**Từ khóa:** Độ thon thân, thân cả vỏ, thân không vỏ, hàm độ thon thân, sản lượng gỗ thu hoạch

### Stem taper function for Acacia hybrid trees in southeastern region

The tree stem taper functions are used to estimate and predict the standing stem volume and commercial timber yield. At present, silviculture and forest inventory are still lacking in stem taper and commercial timber yield functions for Acacia hybrid plantations. The objective of this study was to construct tapered functions to estimate the insidebark and outsidebark stem volume and commercial timber yield for Acacia hybrid plantations. The stem taper functions were constructed from 80 sample trees of the diameter at breast height (DBH) from 4 - 24 cm. The appropriate stem taper functions were tested from 6 candidate functions. The applicability of the taper functions was tested from 5 trees at the diameter classes from 10 - 20 cm. The stem volume and commercial timber yield functions at the individual tree level were constructed as univariate functions; where the predictive variable is DBH. Research results show that these six functions described well the stem taper of Acacia hybrid trees at the significance level of  $P < 0.01$ . The taper function proposed by Nguyen Van Them is the most appropriate function to construct the insidebark and outsidebark stem taper functions of Acacia hybrid trees. These stem taper functions, volume and commercial timber yield functions received less than 5% error.

**Keywords:** Stem taper, insidebark stem, outsidebark stem, stem taper function, commercial timber yield

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường kính thân cây gỗ giảm dần từ gốc đến ngọn. Đường cong biểu diễn sự suy giảm đường kính thân cây gỗ từ gốc đến ngọn được gọi là độ thon thân cây gỗ hay hình dạng thân cây gỗ. Hình dạng thân cây gỗ thay đổi tùy theo chiều cao và tuổi, điều kiện lập địa và phương thức lâm sinh... Độ thon thân cây được sử dụng để ước lượng không chỉ thể tích các phân đoạn gỗ với chiều dài bất kỳ, mà còn cả thể tích thân cây đứng, thể tích gỗ sản phẩm và sinh khối thân. Vì thế, xác định độ thon thân cây là một nhiệm vụ quan trọng của của lâm học, điều tra và quản lý rừng. Trong lâm học, độ thon thân cây được sử dụng để xác định ảnh hưởng của lập địa, đặc tính quần thụ và phương thức lâm sinh đến cây gỗ và quần thụ (Nguyễn Văn Thèm, 2002). Độ thon thân cây có thể được mô tả bằng một hàm với một hoặc nhiều biến dự đoán khác nhau. Một số tác giả (Kozak, 2001, 2004; Lee, 2003; Sharma và Zhang, 2004; Daesung *et al.*, 2017; Tang *et al.*, 2017) đã xây dựng các hàm độ thon với nhiều biến dự đoán khác nhau; trong đó ba biến dự đoán thường được sử dụng là đường kính ở vị trí 1,3 m cách mặt đất (D, cm), chiều cao toàn thân (H, m), tỷ lệ giữa chiều cao ở vị trí khác nhau trên thân (h, m) và H (m). Hàm độ thon thân cây gỗ có thể ở dạng hàm tuyến tính và hàm phi tuyến tính. Ở Việt Nam, một số tác giả (Nguyễn Ngọc Lung và Đào Công Khanh, 1999; Vũ Tiến Hình, 2012) đã xây dựng các hàm thể tích và hàm độ thon đối với những loài cây gỗ khác nhau. Rừng keo lai (*Acacia auriculiformis* × *Acacia mangium*) được trồng tập trung ở khu vực Đông Nam Bộ. Việc thống kê trữ lượng gỗ cây đứng và trữ lượng gỗ sản phẩm đối với loại rừng này đòi hỏi phải có các biểu thể tích và biểu gỗ sản phẩm. Trần Thị Ngoan (2019) đã xây dựng biểu thể tích thân cây đứng đối với rừng keo

lai tại Đồng Nai. Hiện nay ngành lâm nghiệp ở các tỉnh Đông Nam Bộ vẫn còn thiếu biểu sản lượng đối với rừng keo lai. Điều đó gây ra những khó khăn cho điều tra, quản lý và phân tích hiệu quả kinh doanh rừng Keo lai. Các hàm độ thon thân cây gỗ không chỉ được xây dựng từ những hàm dự tuyến sẵn có, mà còn phát triển thêm những hàm mới. Mặt khác, độ chính xác của các hàm độ thon thân không chỉ phụ thuộc vào dung lượng mẫu, dạng hàm và số lượng biến dự đoán, mà còn phụ thuộc vào phương pháp xây dựng các hàm hồi quy. Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng được hàm độ thon và hàm sản lượng gỗ thu hoạch để thống kê thể tích thân cả vỏ, thể tích thân không vỏ và sản lượng gỗ thu hoạch ở mức cây cá thể của rừng trồng Keo lai.

## II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng Keo lai từ 3 - 10 tuổi. Mật độ trồng rừng ban đầu từ 1.100 cây/ha đến 2.200 cây/ha. Số liệu về độ thon thân cây Keo lai được thu thập tại huyện Xuân Lộc và huyện Vĩnh Cửu thuộc tỉnh Đồng Nai, huyện Bến Cát và huyện Phú Giáo thuộc tỉnh Bình Dương. Thời gian nghiên cứu từ 2018 - 2019. 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 cao từ 23,9 - 29,0°C. Lượng mưa dao động từ 2.400 - 2.800 mm/năm. Độ ẩm không khí trung bình 80%. Độ cao dao động từ 80 - 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**

Giả định rằng không có sự khác biệt về độ thon thân cả vỏ ( $D_{h_{CV}}$ , cm) và độ thon thân không vỏ ( $D_{h_{OV}}$ , cm) của những cây Keo lai có cùng kích thước ( $D$ ,  $H$ ). Theo giả định này, hai thành phần  $D_{h_{CV}}$  và  $D_{h_{OV}}$  của cây Keo lai được xác định từ 85 cây tiêu chuẩn trong các ô tiêu chuẩn hình vuông với diện tích 500 m<sup>2</sup> (20 × 25 m). Những cây tiêu chuẩn được chọn từ tuổi 3 - 10 năm. Trong số 85 cây tiêu chuẩn, 80 cây được sử dụng để xây dựng hàm độ thon, còn 5 cây dùng để kiểm tra khả năng ứng dụng của các hàm độ thon. Đặc trưng thống kê của 80 cây tiêu chuẩn được tổng hợp ở (bảng 1). Các cây tiêu chuẩn được chặt hạ cách mặt đất 10 cm. Chiều dài thân cây tiêu chuẩn ( $H$ , 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, còn đoạn ngọn có chiều dài ( $L_N$ ) trên dưới 100 cm. Đường kính thân cả vỏ tại vị trí 1,3 m ( $D_{CV}$ , cm) và đường kính thân không vỏ tại vị trí 1,3 m ( $D_{OV}$ , cm), đường kính thân cả vỏ và đường kính thân không vỏ ở đầu lớn (tương ứng  $D_{1CV}$  và  $D_{1OV}$ ) và đầu nhỏ (tương ứng  $D_{2CV}$  và  $D_{2OV}$ ) của mỗi phân đoạn được xác định bằng thước Panme với độ chính xác 0,1

mm. Đoạn ngọn được đo chiều dài ( $L_N$ , cm) và đường kính đáy ( $D_N$ , cm). Thể tích gỗ sản phẩm (thu hoạch) cả vỏ ( $V_{SPCV}$ , m<sup>3</sup>) và thể tích gỗ sản phẩm (thu hoạch) không vỏ ( $V_{SPOV}$ , m<sup>3</sup>) được xác định từ gốc đến  $D_{h_{CV}} \geq 3$  cm.

**2.3. Phương pháp xử lý số liệu**

Trình tự xử lý số liệu bắt đầu từ xây dựng các hàm  $D_{h_{CV}}$  và  $D_{h_{OV}}$ . Sau đó sử dụng các hàm độ thon này để ước lượng thể tích thân cả vỏ ( $V_{CV}$ , m<sup>3</sup>), thể tích thân không vỏ ( $V_{OV}$ , m<sup>3</sup>), thể tích gỗ sản phẩm cả vỏ ( $V_{SPCV}$ , m<sup>3</sup>), thể tích gỗ sản phẩm không vỏ ( $V_{SPOV}$ , m<sup>3</sup>) và hình số thân cả vỏ ( $F_{CV}$ ). Từ 85 cây tiêu chuẩn, sử dụng 80 cây để xây dựng các hàm  $D_{h_{CV}}$  và  $D_{h_{OV}}$ , còn lại 5 cây ở cấp  $D = 10 - 20$  cm được sử dụng để kiểm tra khả năng ứng dụng của các hàm độ thon. Các hàm độ thon được kiểm định từ 6 hàm dự tuyến 1 - 6 (bảng 2). Các hàm 1 - 6 được ký hiệu tương ứng là Forslund90, Muhairwe99, Kozak01, Lee03, Sharma04 và Them22. Ở hàm 1 - 6,  $D$  (cm) = đường kính thân ngang ngực;  $D_h$  (cm) = đường kính ở những vị trí khác nhau trên thân;  $H$  (m) = chiều cao toàn thân;  $h$  (m) = chiều cao từ gốc đến những vị trí khác nhau trên thân;  $Y = (h/H)$ ;  $X_i = (1 - Y^{1/4}) / (1 - 0,01^{1/4})$ ;  $X_j = (H - h) / (H - 1,3)$ ;  $Z = (H/D)$ ;  $Z = (h/1,3)$ .

**Bảng 1.** Đặc trưng thống kê của những cây tiêu chuẩn.

A (tuổi)	Số cây	Dbq (cm)	Min	Max	± S	Hbq (m)	Min	Max	± S
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3	3	2,0	2,0	2,4	0,20	9,1	9	10	0,30
4	10	6,4	4,8	6,9	0,75	11,9	6	19	3,78
5	18	8,8	7,5	9,9	0,76	13,2	9	16	1,45
6	24	11,5	10,0	12,8	0,62	17,3	15	21	1,42
7	16	14,3	13,0	16,9	1,21	20,1	17	25	2,54
8	3	17,6	17,0	18,2	0,46	23,7	21	27	2,79
9	3	19,3	19,1	19,6	0,22	24,0	23	25	1,20
10	3	23,3	22,0	24,0	0,88	24,5	24	25	0,34
Tổng số	80								

**Bảng 2.** Những hàm dự tuyến để xây dựng hàm độ thon thân cây keo lai

TT Hàm	Dạng hàm dự tuyến:	Tác giả
1	$(Dh/D) = (1 - Y^{b1})^{1/b2}$	Forslund (1990)
2	$Dh = a_1 D^{a2} (1 - \sqrt{Y})^{(a3Y + a4Y^2 + a5Y + a6Y^3 + a7D + a8(D/Y))}$	Muhairwe (1999a)
3	$Dh = a_1 D^{a2} X_i^{(a3 + a4/exp(D/H) + a5D^a X_i + a6X_i^a(D/H))}$	Kozak (2001)
4	$Dh = a_1 D^{a2} (1 - Y)^{(a3Y^2 + a4Y + a5)}$	Lee (2003)
5	$Dh^2 = a_1 D^2 X_j Z^{(2 - (a2 + a3Y + a4Y^2))}$	Sharma-Zhang (2004)
6	$Dh = a_1 D^{a2} (a_3 - \sqrt{Y})^{(a4Y + a5Y^2 + a6Y^3 + a7(D/H))}$	Thềm (2022)

Các hệ số hồi quy và 1,15

những thống kê sai lệch của 6 hàm dự tuyến được xác định bằng phương pháp phân tích hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Mức độ quan hệ giữa  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  với các biến dự đoán được đánh giá theo hệ số xác định ( $R^2$ ; Công thức 7). Sai lệch của các hàm độ thon dự tuyến so với độ thon thực tế được đánh giá theo 4 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương (SSR; Công thức 8); (2) Sai số chuẩn của ước lượng (SEE; Công thức 9); (3) Sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 10a) và sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 10b); (4) Sai số trung bình (ME; Công thức 11a) và sai số trung bình theo phần trăm (MPE; Công thức 11b). Mức độ phù hợp của các hàm so với độ thon thực tế của cây keo lai được đánh giá theo tiêu chuẩn thông tin Akaike (Công thức 12). Ở công thức (7) - (12),  $Dh_i$  và  $Dh_j$  tương ứng là độ thon thực tế và độ thon ước lượng;  $Dh_{Bq}$  là độ thon trung bình thực tế;  $n$  = dung lượng quan sát;  $p$  = số tham số của hàm độ thon. Mục đích của phân tích hồi quy là xác định hàm ước lượng độ thon thân cây keo lai với sai lệch nhỏ nhất. Theo mục đích này, trước hết so sánh hệ số  $R^2$  và các thống kê sai lệch (SSR, SEE, MAE, MAPE, AIC) của 6 hàm dự tuyến. Sau đó chọn hàm độ thon thích hợp theo 2 tiêu chuẩn  $SEE_{Min}$  và  $SSR_{Min}$ ; trong đó tiêu chuẩn ưu tiên là  $SSR_{Min}$ . Khả năng ứng dụng của hàm độ thon thân cây keo lai được đánh giá theo tiêu chuẩn ME, MPE và MAPE.

$$R^2 = [1 - \frac{\sum_{(i=1, n)}(Dh_i - Dh_j)^2}{\sum_{(i=1, n)}(Dh_i - Dh_{Bq})^2}] 100 \quad (7)$$

$$SSR = \sum_{(i=1, n)}(Dh_i - Dh_j)^2 \quad (8)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{SSR}{n - p}} \quad (9)$$

$$MAE = |(Dh_i - Dh_j)/n| \quad (10a)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{Dh_i} 100 \quad (10b)$$

$$ME = (Dh_i - Dh_j) \quad (11a)$$

$$MPE = \frac{(Dh_i - Dh_j)}{Dh_i} 100 \quad (11b)$$

$$AIC = nLn(SSR/n) + 2p \quad (12)$$

Sau khi xác định được hai hàm  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  thích hợp, thể tích của mỗi phân đoạn trên thân cây keo lai được xác định theo công thức hình viên trụ; trong đó đường kính được xác định theo công thức kép tiết diện bình quân. Thể tích đoạn ngọn được xác định theo thể tích hình nón. Hai đại lượng  $V_{CV}$  và  $V_{OV}$  là tổng thể tích của các phân đoạn cộng với thể tích đoạn ngọn ( $V_N$ ,  $m^3$ ). Hai đại lượng  $V_{SPCV}$  và  $V_{SPOV}$  là tổng thể tích thân từ gốc đến  $Dh \leq 3,0$  cm. Hiệu số giữa  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  là đường kính vỏ ( $K_V$ , cm). Hiệu số giữa  $V_{CV}$  và  $V_{OV}$  là thể tích vỏ ( $V_{Vo}$ ,  $m^3$ ). Tỷ lệ giữa  $V_{CV}$  và thể tích hình viên trụ với đường kính tại vị trí 1,3 m tính từ gốc là hình số thân cây cả vỏ ( $F_{CV}$ ). Hàm ước lượng  $H$ ,  $V_i$  ( $V_i = V_{CV}, V_{OV}, V_{SPCV}, V_{SPOV}$ ),  $K_V$  và  $F_{CV}$  được ước lượng tương ứng theo hàm 13 - 16; trong đó  $Y = (h/H)$ ,  $D$  = đường kính tại vị trí 1,3 m, còn  $m$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  và  $k$  là các tham số của hàm ước lượng. Các bước phân tích hồi quy và tương quan được thực hiện bằng phần mềm thống kê STATGRAPHICS Centurion XV.I 15.1.02.

$$H = m \cdot \exp(-b \cdot D^c) \tag{13}$$

$$V_i = a \cdot D^b \cdot H^c \tag{14}$$

$$K_V = Dh = a_1 D^{a_2} (a_3 - \sqrt{Y})^{(a_4 Y + a_5 Y^2 + a_6 Y^3 + a_7 (D/H))} \tag{15}$$

$$F_{CV} = m \cdot \exp(-b \cdot D) + k \tag{16}$$

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Hàm độ thon thân cây keo lai

Hệ số xác định ( $R^2$ ) và thống kê sai lệch (SSR, SEE, MAPE, MPE và AIC) của các hàm ước lượng độ thon thân cả vỏ và độ thon thân không vỏ đối với cây keo lai được ghi lại ở bảng 3 và 4. Sáu hàm dự tuyến để ước lượng  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  của cây keo lai đều tồn tại ( $P < 0,01$ ). Hệ số  $R^2$  nhận giá trị cao nhất ở hàm Them22 (tương ứng 93,7% đối với  $Dh_{CV}$ ; 93,3% đối với  $Dh_{OV}$ ), thấp nhất ở hàm Forslund90 (tương ứng 88,6% đối với  $Dh_{CV}$ ; 89,8% đối với  $Dh_{OV}$ ). Sai số SEE nhận giá trị nhỏ nhất ở hàm Them22 (tương ứng 1,116 đối với  $Dh_{CV}$ ; 1,117 đối với  $Dh_{OV}$ ), cao nhất ở hàm Forslund90 (tương ứng 1,494 đối với  $Dh_{CV}$ ; 1,369 đối với  $Dh_{OV}$ ). Sai số trung bình theo phần trăm (MPE) của hàm Forslund (90) mang giá trị dương, còn 5 hàm khác mang giá trị âm. Hai tiêu chuẩn SSR và AIC nhận giá trị

nhỏ nhất ở hàm Them22 (tương ứng SSR = 1.412,5 và AIC = 257,6 đối với  $Dh_{CV}$ ; SSR = 1.415,2; AIC = 259,7 đối với  $Dh_{OV}$ ), cao nhất ở hàm Forslund90 (tương ứng SSR = 2.541,1 và AIC = 917,6 đối với  $Dh_{CV}$ ; SSR = 2.135,1; AIC = 719,0 đối với  $Dh_{CV}$ ). Đối với  $Dh_{CV}$ , so sánh với SSR của hàm Them22 (100%), giá trị này ở hàm Forslund90, Muhairwe99, Kozak01, Lee03 và Sharma04 lớn hơn tương ứng 79,9%; 2,0%; 24,6%; 20,0% và 24,2%. Tương tự, sai lệch này ở hàm  $Dh_{OV}$  tương ứng là 50,9%; 2,6%; 25,7%; 18,9% và 24,5%. Theo phân hạng, hai hàm Them22 và Muhairwe99 tương ứng xếp hạng 1 và 2. Theo tiêu chuẩn  $SSR_{Min}$ , hàm Them22 là hàm thích hợp nhất để ước lượng  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  của cây keo lai. Từ số liệu ở Bảng 3 và 4, hai hàm  $Dh_{CV}$  và  $Dh_{OV}$  của cây keo lai theo hàm Them22 được viết dưới dạng hàm 17 và hàm 18.

$$Dh_{CV} = 1,17083 \cdot D^{0,95285} \cdot (1,2387 - \sqrt{Y})^K$$

$$K = (- 1,73367 \cdot Y + 2,86534 \cdot Y^2 - 0,59697 \cdot Y^3 + 1,18482 \cdot D/H) \tag{17}$$

$$Dh_{OV} = 1,11029 \cdot D^{0,95764} \cdot (1,21878 - \sqrt{Y})^M$$

$$M = (- 1,69246 \cdot Y + 2,49357 \cdot Y^2 - 0,14628 \cdot Y^3 + 1,25189 \cdot D/H) \tag{18}$$

**Bảng 3.** Các hàm ước lượng độ thon thân cả vỏ của cây keo lai

Tham số, Sai lệch	Các hàm dự tuyến:					
	Forslund90	Muhairwe99	Kozak01	Lee03	Shamar04	Them22
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$a_1$	1,58459	1,81457	1,29773	1,58258	1,02476	1,17083
$a_2$	0,96681	0,75686	0,93193	0,87743	2,14243	0,95285
$a_3$		0,83549	21,44650	1,55515	- 0,3801	1,23870
$a_4$		- 0,79429	- 8,46683	- 2,2115	0,58930	- 1,73367
$a_5$		0,01645	- 0,05510	1,47228		2,86534
$a_6$		0,49758	- 14,1477			- 0,59697
$a_7$		0,00197				1,18482
$a_8$		- 0,00222				
$P_\alpha$	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
$R^2$	88,6	93,6	92,1	92,4	92,4	93,7
SSR	2.541,1	1.440,3	1.760,0	1.694,5	1.753,7	1.412,5
SEE	1,494	1,128	1,245	1,221	1,242	1,116
MAPE	12,8	10,3	12,6	9,8	9,6	9,7
MPE	9,6	- 2,7	- 4,8	- 1,0	- 0,4	- 2,8
AIC	917,6	281,8	506,5	461,3	498,4	257,6
Hạng	6	2	5	3	4	1

**3.2. Kiểm định khả năng ứng dụng đối với hàm độ thon thân cây keo lai**

Giá trị  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$  của 5 cây kiểm tra được ước lượng từ hàm 17 và 18 tương ứng nhận sai số hệ thống (ME, MPE) dương và âm (Bảng 5). So với 5 cây kiểm tra, sai số (MPE) ước lượng  $D_{hCV}$  từ hàm 17 dao động từ - 5,3% đến 5,8%; trung bình 2,7%. Tương tự, sai số ước lượng  $D_{hOV}$  từ hàm 18 nhận sai lệch từ - 7,4% đến 7,6%; trung bình 1,4%. Về cơ bản, so với độ

thon của 5 cây kiểm tra, sai lệch tuyệt đối trung bình (MAPE) của hàm 17 và 18 tương ứng là 4,8% và 6,6%. Theo số liệu ở bảng 3 và bảng 4, giá trị MPE đối với  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$  của 80 cây đều nhỏ hơn - 5%. Trong điều tra rừng, yêu cầu đối với sai số thống kê cây gỗ và quần thụ thường không vượt quá  $\pm 10\%$ . Sai số của hàm 17 và hàm 18 nằm trong phạm vi cho phép của điều tra rừng. Vì thế, hai hàm này được sử dụng để ước lượng  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$  của cây keo lai.

**Bảng 4.** Các hàm ước lượng độ thon thân không vỏ của cây keo lai

Tham số, Sai lệch	Các hàm dự tuyển:					
	Forslund90	Muhairwe99	Kozak01	Lee03	Shamar04	Them22
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$a_1$	1,40456	1,78218	1,22089	1,51726	0,91227	1,11029
$a_2$	1,00564	0,74177	0,93398	0,87487	2,15188	0,95764
$a_3$		0,98625	24,8179	1,97049	- 0,3951	1,21878
$a_4$		- 1,17219	- 9,28413	- 2,6312	0,70816	- 1,69246
$a_5$		0,01824	- 0,05777	1,62878		2,49357
$a_6$		0,83925	- 17,0408			- 0,14628
$a_7$		0,00204				1,25189
$a_8$		- 0,00238				
$P_\alpha$	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
$R^2$	89,8	93,1	91,5	92,0	91,7	93,3
SSR	2.135,1	1.452,0	1.779,5	1.682,2	1.762,4	1.415,2
SEE	1,369	1,132	1,252	1,217	1,245	1,117
MAPE	11,4	11,7	15,5	11,0	11,5	11,2
MPE	3,4	- 3,1	- 6,9	- 1,0	- 1,6	- 3,5
AIC	719,0	291,0	519,1	452,9	504,1	259,7
Hạng	6	2	5	3	4	1

**3.3. Ước lượng độ thon thân cây keo lai**

Đường kính cả vỏ và đường kính không vỏ ở các vị trí khác nhau trên thân cây keo lai được ước lượng tương ứng từ hàm 17 và hàm 18. Bảng 6 ghi lại tóm tắt  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$  của cây keo lai theo cấp  $D = 14 - 20$  cm. Hình thái độ thon thân cây keo lai từ cấp  $D = 12 - 20$  cm được biểu diễn ở hình 1 và 2. Điểm uốn của độ thon thân cây keo lai xuất hiện ở độ cao 2,0 m tính từ gốc.

**3.4. Các hàm sản lượng đối với cây keo lai**

Từ số liệu của 80 cây tiêu chuẩn và hai hàm  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$  (Hàm 17 và 18), xác định được các hàm ước lượng  $H$ ,  $K_v$ ,  $F_{cv}$ ,  $V_{cv}$ ,  $V_{ov}$ ,  $V_{SPCV}$  và  $V_{SPOV}$  (Hàm 19 - 25). Các hàm này đều tồn tại ở mức ý nghĩa rất cao ( $P < 0,01$ ) và sai lệch rất nhỏ ( $MAPE \leq 2,1\%$ ). Hiện tượng này xảy ra là vì chúng đều được ước lượng từ hàm  $D_{hCV}$  và  $D_{hOV}$ . Vì thế, các hàm này được sử dụng để ước lượng các thành phần sản lượng ở mức cây cá thể của rừng keo lai. Bảng 7 dẫn kết quả ước lượng một số thành phần sản lượng của cây keo lai từ cấp  $D = 10 - 20$  cm.

**Bảng 5.** Kiểm định sai lệch của các hàm độ thon thân cây keo lai

TT cây	Sai lệch đối với Dh <sub>cv</sub> :			Sai lệch đối với Dh <sub>ov</sub> :		
	D <sub>cv</sub> (cm)	ME	MPE	D <sub>ov</sub> (cm)	ME	MPE
1	12	0,253	5,8	11,3	0,335	7,6
2	14	0,342	5,3	13,2	0,427	6,8
3	16	0,654	4,1	15,1	- 0,672	- 7,4
4	18	- 0,763	- 5,3	17,0	- 0,652	- 5,6
5	20	0,327	3,7	18,9	0,562	5,5
Trung bình		0,163	2,7		0,001	1,4

**Bảng 6.** Độ thon thân cả vỏ và độ thon thân không vỏ theo cấp đường kính của cây keo lai

h (m)	Độ thon (Dh, cm) theo cấp D (cm) của cây keo lai:							
	14		16		18		20	
	Dh <sub>cv</sub>	Dh <sub>ov</sub>	Dh <sub>cv</sub>	Dh <sub>ov</sub>	Dh <sub>cv</sub>	Dh <sub>ov</sub>	Dh <sub>cv</sub>	Dh <sub>ov</sub>
0	17,4	16,6	19,9	19,1	22,5	21,5	25,1	24,0
4	12,5	11,7	14,2	13,3	15,9	14,9	17,6	16,4
8	10,7	9,9	12,3	11,3	13,7	12,7	15,2	14,0
12	8,1	7,3	9,7	8,8	11,2	10,2	12,6	11,4
16	4,7	3,8	6,2	5,3	7,7	6,7	9,2	8,0
20	1,5	0,8	2,9	2,0	4,1	3,2	5,4	4,3

$$H = 491,831 \cdot \exp(- 5,30238 \cdot D^{\wedge} - 0,188026) \tag{19}$$

r = 76,1%; SEE = 2,1; MAE = 1,5; MAPE = 10,0%.

$$K_V = 0,0594997 \cdot D^{\wedge} 0,985182 \cdot (1,42285 - \sqrt{Y})^J$$

$$J = (- 0,971957 \cdot Y + 1,72205 \cdot Y^2 - 0,92573 \cdot Y^3 + 0,198554 \cdot (D/H)) \tag{20}$$

R<sup>2</sup> = 95,1%; SEE = ± 0,051; MAE = 0,011; MAPE = 2,6%.

$$F_{CV} = 1,42916 \cdot \exp(- 0,234929 \cdot D) + 0,414831 \tag{21}$$

r = 99,5%; SEE = 0,0055; MAE = 0,0039; MAPE = 0,82%.

$$V_{CV} = 0,000172 \cdot D^{\wedge} 1,98343 \cdot H^{\wedge} 0,523206 \tag{22}$$

R<sup>2</sup> = 99,98%; SEE = 0,0021; MAE = 0,0014; MAPE = 2,0%.

$$V_{OV} = 0,000188 \cdot D^{\wedge} 2,07595 \cdot H^{\wedge} 0,373197 \tag{23}$$

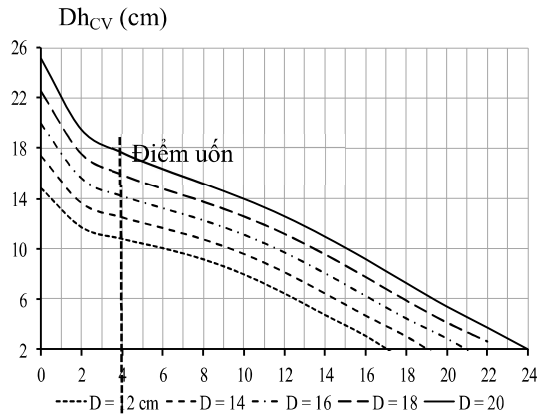
R<sup>2</sup> = 99,98%; SEE = 0,0019; MAE = 0,0013; MAPE = 2,1%.

$$V_{SPCV} = 0,0001671 \cdot D^{\wedge} 1,97225 \cdot H^{\wedge} 0,542544 \tag{24}$$

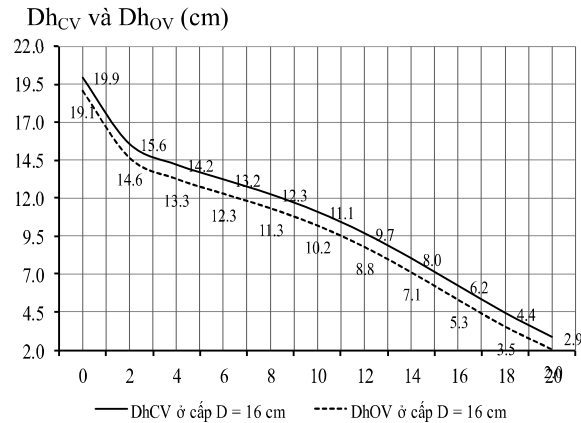
R<sup>2</sup> = 99,98%; SEE = ± 0,0021; MAE = 0,0013; MAPE = 2,0%.

$$V_{SPOV} = 0,00015275 \cdot D^{\wedge} 1,99347 \cdot H^{\wedge} 0,516608 \tag{25}$$

R<sup>2</sup> = 99,99%; SEE = ± 0,0019; MAE = 0,0013; MAPE = 2,1%.



**Hình 1.** Đồ thị biểu diễn đường kính cả vỏ ở những vị trí khác nhau trên thân cây keo lai



**Hình 2.** Đồ thị biểu diễn độ thon cả vỏ và độ thon không vỏ của cây keo lai ở cấp D = 16 cm.

Phân tích số liệu ở bảng 7 cho thấy  $F_{CV}$  của cây keo lai giảm dần từ cấp D = 10 cm (0,551) đến cấp D = 24 cm (0,420); trung bình 0,459. Tỷ lệ giữa  $V_{OV}$  và  $V_{CV}$  là 89,6%, còn lại 10,4% là thể tích vỏ. So với  $V_{CV}$ , sản lượng gỗ thu hoạch cả vỏ ( $V_{SPCV}$ ) và sản lượng gỗ thu hoạch không vỏ ( $V_{SPOV}$ ) tương ứng là 99,0% và 88,8%.

Trữ lượng gỗ cây đứng cả vỏ ( $M_{CV}$ ,  $m^3/ha$ ) và không vỏ ( $M_{OV}$ ,  $m^3/ha$ ), sản lượng gỗ thu hoạch cả vỏ ( $M_{SPCV}$ ,  $m^3/ha$ ) và không vỏ ( $M_{SPOV}$ ,  $m^3/ha$ ) ở mức quần thụ được xác định theo hai phương pháp. Phương pháp 1 là xác định bốn thành phần ( $M_{CV}$ ,  $M_{OV}$ ,  $M_{SPCV}$  và  $M_{SPOV}$ ) từ các cây trên ô tiêu chuẩn. Theo phương pháp này, việc thống kê bốn thành phần kể trên được thực hiện theo 3 bước. Bước 1 là thống kê D của các cây trên ô tiêu chuẩn ở những tuổi khác nhau, còn H được ước lượng theo hàm 19. Bước 2 là xác định  $V_{CVi}$ ,  $V_{OVi}$ ,  $V_{SPCVi}$  và  $V_{SPOVi}$  cho từng cây trên ô tiêu chuẩn tương ứng theo hàm 22 - 25. Bước 3 là cộng dồn  $V_{CVi}$ ,  $V_{OVi}$ ,  $V_{SPCVi}$  và  $V_{SPOVi}$  của các cây trong các ô tiêu chuẩn và

quy đổi ra đơn vị 1 ha. Phương pháp 2 là xác định bốn thành phần ( $M_{CV}$ ,  $M_{OV}$ ,  $M_{SPCV}$  và  $M_{SPOV}$ ) từ phân bố số cây ( $N_i$ , cây) theo cấp D đối với mỗi tuổi. Phương pháp này giả định phân bố số cây ( $N_i$ , cây) theo thể tích ( $V$ ,  $m^3$ ) ở các cấp D là phân bố tiệm cận phân bố chuẩn. Theo giả định này, việc thống kê bốn thành phần ( $M_{CV}$ ,  $M_{OV}$ ,  $M_{SPCV}$  và  $M_{SPOV}$ ) được thực hiện theo 5 bước. Bước 1 là thống kê D của các cây trên ô tiêu chuẩn ở những tuổi khác nhau, còn H được ước lượng theo hàm 19. Bước 2 là tập hợp số cây trên các ô tiêu chuẩn và thiết lập bảng phân bố số cây ( $N_i$ , cây) theo các cấp D (cm) ở mỗi tuổi hoặc cấp tuổi và quy đổi ra đơn vị 1 ha. Bước 3 là xác định giá trị trung bình của  $V_{CVi}$ ,  $V_{OVi}$ ,  $V_{SPCVi}$  và  $V_{SPOVi}$  theo các cấp D tương ứng theo hàm 22 - 25. Bước 4 là xác định  $M_{CVi}$ ,  $M_{OVi}$ ,  $M_{SPCVi}$  và  $M_{SPOVi}$  ở mỗi cấp D bằng cách nhân  $N_i$  (cây/ha) với giá trị trung bình của  $V_{CVi}$ ,  $V_{OVi}$ ,  $V_{SPCVi}$  và  $V_{SPOVi}$  ở các cấp D. Bước 5 là xác định bốn thành phần ( $M_{CV}$ ,  $M_{OV}$ ,  $M_{SPCV}$  và  $M_{SPOV}$ ) bằng cách cộng dồn  $M_{CVi}$ ,  $M_{OVi}$ ,  $M_{SPCVi}$  và  $M_{SPOVi}$  theo cấp D.



**Bảng 7.** Biểu ước lượng chiều cao, hình số, thể tích thân cây đứng và thể tích gỗ sản phẩm theo cấp đường kính và chiều của cây keo lai.

D(cm)	H(m)	F <sub>cv</sub>	V <sub>cv</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>ov</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>spcv</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>spov</sub> (m <sup>3</sup> )	(V <sub>spov</sub> /V <sub>cv</sub> )%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
10	15,8	0,551	0,0701	0,0627	0,0700	0,0599	85,4
12	17,7	0,500	0,1070	0,0957	0,1069	0,0937	87,6
14	19,5	0,468	0,1526	0,1365	0,1525	0,1355	88,8
16	21,1	0,448	0,2074	0,1856	0,2072	0,1852	89,3
18	22,6	0,436	0,2716	0,2431	0,2714	0,2440	89,8
20	24,0	0,428	0,3455	0,3095	0,3452	0,3107	89,9
22	25,4	0,423	0,4293	0,3848	0,4288	0,3858	89,9
24	26,6	0,420	0,5231	0,4694	0,5226	0,4693	89,7
Trung bình							88,8

### 3.5. Thảo luận

Trong nghiên cứu này, độ thon thân cây keo lai được kiểm định từ 6 hàm dự tuyến. Các hàm này có số biến dự đoán từ 4 (Sharma04) đến 8 (Muhairwe99). Hàm ước lượng Dh<sub>cv</sub> và Dh<sub>ov</sub> từ 6 hàm này đều tồn tại ở mức ý nghĩa rất cao ( $P < 0,01$ ). Vì thế, sáu hàm này có thể được sử dụng để xây dựng hàm độ thon thân cây keo lai tại khu vực Đông Nam Bộ. Tuy vậy, khi sử dụng 6 hàm này để xây dựng hàm độ thon thân cây keo lai, thì hàm Them22 xếp hạng 1, hạng 2 là hàm Muhairwe99. Vì thế, hai hàm Them22 và Muhairwe99 là hàm thích hợp để xây dựng hàm độ thon thân cây keo lai. Nghiên cứu của Deasung Lee và đồng tác giả (2017) cho thấy hàm Muhairwe99 mô tả tốt độ thon thân cây Thông đỏ Hàn Quốc (*Pinus densiflora*) và Thông trắng Hàn Quốc (*Pinus koraiensis*). Sau khi kiểm định 28 hàm dự tuyến, Tang và đồng tác giả (2017) nhận thấy hàm Muhairwe99 phù hợp với độ thon thân cây Cáng lò Trung Quốc (*Betula alnoides*). Từ những thảo luận trên đây cho thấy, hàm độ thon thích hợp không chỉ phụ thuộc vào loài cây gỗ, mà còn vào các hàm dự tuyến và các

tiêu chuẩn kiểm định mức độ phù hợp của các hàm thống kê.

### IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này xây dựng hàm độ thon thân cây keo lai ở khu vực Đông Nam Bộ dựa theo 6 hàm dự tuyến. Các hàm này đều mô tả tốt độ thon thân cây keo lai ở mức ý nghĩa  $P < 0,01$ . Hàm độ thon do Nguyễn Văn Thêm đề xuất trong nghiên cứu này là hàm thích hợp nhất để mô tả độ thon thân cả vỏ và độ thon thân không vỏ của cây keo lai. Hai hàm độ thon này nhận sai số âm nhỏ hơn 5%. Nghiên cứu này cũng xây dựng các hàm sản lượng gỗ cây đứng và sản lượng gỗ thu hoạch ở mức cây cá thể của rừng keo lai. Các hàm này đều mô tả tốt sản lượng gỗ cây đứng và sản lượng gỗ thu hoạch ở mức ý nghĩa  $P < 0,01$ . Các đơn vị trồng rừng và công ty lâm nghiệp ở khu vực Đông Nam Bộ có thể sử dụng các hàm độ thon, hàm sản lượng gỗ cây đứng và hàm sản lượng gỗ thu hoạch để xác định thể tích gỗ cây đứng và thể tích gỗ sản phẩm ở mức cây cá thể của rừng trồng keo lai tại khu vực Đông Nam Bộ.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Deasung Lee., Yeongwan., Jungho Lee and Jungkee Choi., 2017. Estimation and validation of volume equations for *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, and *Larix kaempferi* in South Korea. South J Appl for. 35: 105 - 108. Forest Science and Technology, 2017. E-ISSN 2158 - 0715, Vol. 13, No. 2, 77 - 82.
2. Vũ Tiến Hình, 2012. Phương pháp lập biểu thể tích cây đứng rừng tự nhiên ở Việt Nam. NXB. Nông nghiệp, Hà Nội, 196 trang.
3. Kozak A., 2004. My last words on taper equations. For Chron 80: 507 - 515.
4. Lee WK, Seo JH, Son YM, Lee KH, Von GK., 2003. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. For Ecol Manag 172: 69 - 77.
5. Nguyễn Ngọc Lung và Đào Công Khanh, 1999. Nghiên cứu tăng trưởng và sản lượng rừng trồng (Áp dụng cho rừng Thông ba lá (*Pinus kaysia* Royle ex Gordon) ở Việt Nam. NXB. Nông nghiệp, 207 trang.
6. Muhairwe CK., 1999. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the North coast in New South Wales, Australia. For Ecol Manag 113: 251 - 269.
7. Trần Thị Ngoan, 2019. Ước lượng sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất đối với rừng trồng keo lai (acacia hybrid) ở tỉnh Đồng Nai. Luận án tiến sĩ khoa học lâm nghiệp. Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh, 158 trang.
8. Sharma M, Zhang SY., 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. Forest Ecology and Management. 2004;198:39 - 53. doi: 10.1016/j.foreco.2004.03.035.
9. Tang C, Wang CS, Pang SJ, Zhao ZG, Guo JJ, Lei YC, Jeng J., 2017. Stem taper equations for *Betula alnoides* in South China. Journal of Tropical Forest Science 29 (1); 80:92 (2017).
10. Nguyễn Văn Thêm, 2002. Sinh thái rừng. NXB. Nông nghiệp, Hà Nội, 250 trang.

**Email tác giả liên hệ:** ngthminhvn@gmail.com

**Ngày nhận bài:** 07/12/2021

**Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa:** 14/01/2022

**Ngày duyệt đăng:** 19/04/2022