

Modeling the stem taper functions for *Acacia hybrid* in Dong Nai province**Them V. Nguyen**

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

ARTICLE INFO**Research Paper**

Received: September 07, 2022

Revised: May 05, 2023

Accepted: May 22, 2023

Keywords*Acacia hybrid* plantation

Diameter coefficient

Multivariable stem taper function

Single-variable stem taper function

Stem taper

Corresponding author

Nguyen Van Them

Email: nvthem2009@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study was to construct appropriate stem taper functions at the individual tree level of *Acacia hybrid* plantations. The stem taper functions were constructed from 150 sample trees at the age of 3 - 10 years in which their diameter at breast height ranged from 4 - 24 cm. The appropriate stem taper functions were constructed and tested from 2 forms of candidate functions. The form 1 was a multivariable stem taper function and form 2 was a single-variable stem taper function. The research results showed that the deviation of the multivariable outside-bark stem taper function was 19.0% and 42.2% smaller than that of the single-variable function of order 7 and order 2, respectively. Similarly, the deviation of the multivariable inside-bark stem taper function was 13.6% and 32.8% smaller than that of the single-variable stem taper function of order 7 and order 2, respectively. Accuracy of multi-order single-variable stem taper functions was improved by constructing for each diameter class.

Cited as: Nguyen, T. V. (2023). Modeling the stem taper functions for *Acacia hybrid* in Dong Nai province. *The Journal of Agriculture and Development* 22(4), 12-22.

Xây dựng các hàm độ thon thân cây Keo lai (*Acacia hybrid*) tại tỉnh Đồng Nai

Nguyễn Văn Thêm

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

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 07/09/2022

Ngày chỉnh sửa: 05/05/2023

Ngày chấp nhận: 22/05/2023

Từ khóa

Độ thon thân

Hàm độ thon thân đa biến

Hàm độ thon thân đơn biến

Hệ số đường kính

Rừng keo lai

Tác giả liên hệ

Nguyễn Văn Thêm

Email: nvthem2009@gmail.com

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm độ thon thân ở mức cây cá thể của rừng Keo lai. Có 12c hàm độ thon thân được xây dựng từ 150 cây mẫu ở 3 - 10 năm tuổi; trong đó đường kính dao động từ 4 - 24 cm. Các hàm độ thon thân đã được xây dựng và kiểm định theo 2 dạng hàm dự tuyến. Dạng 1 là hàm độ thon thân đa biến. Dạng 2 là hàm độ thon thân đơn biến đa bậc. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm độ thon thân cả vô đa biến nhận sai lệch nhỏ hơn từ 19,0% so với hàm độ thon thân đơn biến ở bậc 7 đến 42,2% so với hàm độ thon thân đơn biến ở bậc 2. Hàm độ thon thân không vô đa biến nhận sai lệch nhỏ hơn từ 13,6% so với hàm độ thon thân đơn biến ở bậc 7 đến 32,8% so với hàm độ thon thân đơn biến ở bậc 2. Độ chính xác của các hàm độ thon thân đơn biến đa bậc được cải thiện bằng cách xây dựng riêng rẽ theo từng cấp đường kính.

1. Đặt Vấn Đề

Độ thon thân cây gỗ biểu thị sự suy giảm đường kính theo chiều cao từ gốc đến ngọn. Hình dạng thân là đường cong mô tả độ thon thân. Độ thon và hình dạng thân cây gỗ thay đổi theo loài cây gỗ, chiều cao (H , m) và tuổi (A , năm) của cây gỗ, lập địa (khí hậu, địa hình, đất, thảm thực vật) và các phương thức lâm sinh. Vì thế, các nhà lâm học sử dụng độ thon và hình dạng thân cây gỗ để phân tích ảnh hưởng của lập địa và các phương thức lâm sinh đến cây gỗ và quần thụ (Nguyễn, 2002). Trong điều tra rừng, độ thon thân cây gỗ được sử dụng để ước lượng không chỉ đường kính ở các vị trí khác nhau trên thân, mà còn cả thể tích các phân đoạn gỗ với chiều dài bất kỳ, thể tích thân cây đứng, sản lượng gỗ thu hoạch và sinh khối thân (Vu, 2012).

Độ thon thân cây gỗ (Dh , cm) có thể được mô tả bằng 3 dạng hàm khác nhau. Dạng hàm 1 là các hàm hệ số độ thon thân hay hệ số đường kính thân ($KD=Dh/D$). Khi xây dựng biểu độ thon thân, hàm KD được xây dựng theo hàm đơn biến đa bậc; trong đó biến dự đoán là chiều cao tương đối (h/H). Ở đây D là đường kính thân ngang ngực, H (m) là chiều cao toàn thân, h (m) là chiều cao ở vị trí khác nhau trên thân. Hàm KD có thể được xây dựng chung cho tất cả các cấp D hoặc theo từng cấp D . Dạng hàm 2 là các hàm độ thon thân đa biến; trong đó các biến dự đoán là D , $1/D$, (D/H) , (D^aH^b) , (h/H) , $(H-h)/(H-1,3)$, $\exp(D/H)$... Nhiều tác giả (Sharma & Zhang, 2004; Fonweban & ctv., 2011; Tang & ctv., 2017) đã xây dựng các hàm độ thon thân theo hàm đa biến. Dạng hàm 3 là hàm độ thon thân được xây dựng bằng cách tích hợp ba hàm khác nhau;

trong đó hàm 1 là hình đế ở phần gốc, hàm 2 là hình paraboloid ở phần giữa thân và hàm 3 là hình nón ở phần ngọn.

Ở Việt Nam, một số tác giả (Nguyen & Dao, 1999; Nguyen, 2005; Tran, 2019) đã xây dựng những hàm độ thon thân, hàm thể tích và hàm sản lượng gỗ thu hoạch đối với những loài cây gỗ khác nhau. Hiện nay vẫn còn thiếu những hàm độ thon thân và hàm sản lượng gỗ ở mức cây cá thể và quần thụ Keo lai (*Acacia hybrid*) tại tỉnh Đồng Nai. Điều đó không chỉ gây ra những khó khăn cho điều tra và đánh giá sản lượng gỗ, mà còn cả quản lý và phân tích hiệu quả kinh tế đối với rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai.

Xuất phát từ những vấn đề đặt ra trên đây, nghiên cứu này tập trung trả lời hai câu hỏi chính. Một là độ thon và hình dạng thân cây Keo lai có thể được ước lượng và dự đoán bằng dạng hàm nào? Hai là phương pháp nào cho phép cải thiện độ chính xác của các hàm độ thon thân cây Keo lai? Hai câu hỏi này được trả lời bằng cách xây dựng và kiểm định sai lệch của một số hàm dự tuyển khác nhau. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm độ thon thân ở mức cây cá thể của rừng Keo lai. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở để xây dựng các biểu độ thon, biểu thể tích thân cây đứng và biểu sản lượng gỗ thu hoạch đối với rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai.

2. Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng Keo lai từ 3 - 10 năm tuổi. Mật độ trồng rừng ban đầu là 1.667 - 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. 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 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 Dh của cây Keo lai ở cùng một cấp kích thước (D, H) của các cấp tuổi (A, năm) là bằng nhau. Theo giả định này, Dh ở mức cây cá thể của rừng Keo lai từ 3 - 10 tuổi được xác định từ 150 cây mẫu (N, cây) ở cấp D = 6 - 24 cm. Tuổi của rừng Keo lai được xác định theo hồ sơ trồng rừng. Các cây mẫu được thu thập trong 24 ô tiêu chuẩn hình chữ nhật với diện tích 500 m² (20 × 25 m); trong đó mỗi tuổi là 3 ô tiêu chuẩn. Đặc trưng thống kê của 150 cây mẫu được tổng hợp ở Bảng 1. Sở dĩ số lượng cây mẫu phân bố không đồng đều theo các cấp A là vì chúng được chọn theo cấp D; trong đó mỗi cấp D ít nhất là 3 cây. Các cây mẫu được chặt hạ cách mặt đất 10 cm. Chiều dài thân cây ngả (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 ngang ngực cả vỏ (D_{CV}, cm) và không vỏ (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 kẹp Panme với độ chính xác 0,1 mm. Đoạn ngọn được đo chiều dài (L_n, cm) và đường kính đáy (D_n, cm).

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Xây dựng các hàm độ thon thân cây Keo lai

Hàm độ thon thân ở mức cây cá thể của rừng Keo lai được kiểm định theo 2 dạng hàm

(Bảng 2). Dạng 1 là hàm độ thon đa biến; trong đó bao gồm 5 hàm dự tuyến. Hàm 1-5 được kí hiệu tương ứng là Kozak01 (Kozak, 2004), Lee03 (Lee & ctv., 2003), Sharma-Zhang04 (Sharma & Zhang, 2004), Them22-6 và Them22-7. Dạng 2 là hàm hệ số độ thon thân ($KD = Dh/D$); trong đó bao gồm 2 hàm đơn biến đa bậc (Vu, 2012). Hàm đơn biến đa bậc (Hàm 6) bao gồm 6 hàm từ bậc 2 đến bậc 7. Hàm 7 là hàm KD đa biến. Hàm này được kí hiệu là Them22-8. Trong nghiên cứu này, ba hàm Them22-6, Them22-7 và Them22-8 do tác giả đề xuất. Tổng số hàm độ thon thân cả vỏ (Dh_{CV} , cm) và không vỏ (Dh_{OV} , cm) được xây dựng và kiểm định là 7

hàm. Chiều cao toàn thân ở các cấp D được ước lượng theo hàm Gompertz (Hàm 8); trong đó m , b và c là các tham số. Chiều dài thân từ gốc đến vị trí đường kính thu hoạch (h_{Di} , m) được xác định theo hàm 9; trong đó KH là chiều cao tương đối hay hệ số chiều cao ($KH = h/H$). Tác giả đề xuất hệ số KH được mô tả theo hàm 10. Ở hàm 1-10, Dh (cm) = đường kính ở những vị trí khác nhau trên thân; D (cm) = đường kính thân ngang ngực; H (m) = chiều cao toàn thân; h (m) = chiều cao từ gốc đến những vị trí khác nhau trên thân; $Y = (h/H)$; $X = (1 - Y^{1/4}) / (1 - p^{1/4})$ với $p = 0,01$; $U = (H - h) / (H - 1,3)$; $Z = (1,3/H)$; $I = (Dh/D)$; $J = (D - Dh)/D$; $a_1 \div a_k$ = các tham số của các hàm Dh .

Bảng 1. Đặc trưng thống kê đường kính và chiều cao của 150 cây mẫu

A (năm)	Số cây	Đường kính ngang ngực				Chiều cao toàn thân			
		D (cm)	Min	Max	$\pm$ SEE ¹	H (m)	Min	Max	$\pm$ SEE ¹
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3	7	6,9	6,0	7,1	0,20	9,0	8,2	10,2	0,65
4	7	7,6	7,2	7,9	0,23	10,1	9,3	11,5	0,79
5	24	8,3	7,9	8,8	0,28	11,1	10,0	12,5	0,66
6	27	9,7	9,0	10,2	0,37	12,5	10,5	14,0	0,92
7	28	11,3	10,5	12,0	0,37	14,3	12,0	17,0	1,47
8	15	12,3	12,0	12,5	0,21	16,4	12,3	18,0	1,24
9	18	13,1	12,7	13,4	0,18	17,4	15,3	19,0	0,99
10	24	15,9	13,4	24,0	2,47	19,4	13,8	26,7	3,10

¹SEE: sai số ước lượng.

2.3.2. Đánh giá sai lệch của các hàm độ thon thân cây Keo lai

Các tham số hồi quy và những thống kê sai lệch của 7 hàm độ thon dự tuyến được xác định bằng phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính của Marquartz. Để so sánh tương quan và sai lệch giữa các hàm 6 và 7 với các hàm 1 - 5, các hàm 6 và 7 đã được chuyển về dạng Dh

$= D \times KD$. Mức độ chặt chẽ của mối quan hệ giữa Dh với các biến dự đoán được đánh giá theo hệ số xác định (R^2 ; Công thức 11). Sai lệch của 7 hàm Dh so với Dh thực được đánh giá theo 6 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương (SSE; Công thức 12); (2) Sai số ước lượng (SEE; Công thức 13); (3) Sai số tuyệt đối trung bình (MAE; Công thức 14); (4) Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; Công thức 15); (5) Sai

số trung bình (ME; Công thức 16); (6) Sai số trung bình theo phần trăm (MPE; Công thức 17). Ở công thức (12) – (17), Dh_i và Dh_j tương ứng là Dh thực và Dh ước lượng; Dh_{Bq} là Dh trung bình thực; n = dung lượng mẫu; p = số tham số của hàm Dh . Mục đích của phân tích hồi

quy là xác định hàm ước lượng Dh với sai lệch nhỏ nhất. Theo mục đích này, hàm Dh thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min} . Các bước phân tích hồi quy và tương quan được thực hiện bằng phần mềm thống kê STATGRAPHICS Centurion XV.I 15.1.02.

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

TT	Các hàm độ thon dự tuyển	Tác giả
1	$Dh = a_1 D^{a_2} X^{a_3 + a_4 \exp(Z) + a_5 D^X + a_6 X^Z}$	Kozak (2004)
2	$Dh = a_1 D^{a_2} (1 - Y)^{(a_3 Y^2 + a_4 Y + a_5)}$	Lee & ctv. (2003)
3	$Dh^2 = a_1 D^2 U Z^{(2 - (a_2 + a_3 Y + a_4 Y^2))}$	Sharma & Zhang (2004)
4	$Dh = a_1 (D^2 H) + a_2 (D^{a_3} H^{a_4}) (a_5 - \sqrt{Y})^{(a_6 Y + a_7 Y^2 + a_8 Y^3 + a_9 (D/H))}$	Nguyen (2022-6)
5	$Dh = a_1 (D^{2*H})^{a_2} (a_3 - \sqrt{Y})^{(a_4*Y + a_5 Y^2 + a_6 U + a_7 U^2 + a_8 (D/H))}$	Nguyen (2022-7)
6	$KD = a_1 + a_2 Y + a_3 Y^2 + \dots + a_3 Y^k$	Vu (2012)
7	$KD = a_1 (D^2 H) + a_2 (D^{a_3} H^{a_4}) (a_5 - \sqrt{Y})^{(a_6 Y + a_7 Y^2 + a_8 Y^3 + a_9 (D/H))}$	Nguyen (2022-8)

$H = \text{mexp}(-\text{bexp}(-cD))$	(8)
$h_{Di} = H \times KH$	(9)
$KH = a_1 (D^3 H)^{a_2} (a_3 - \sqrt{Y})^{(a_4 I + a_5 I^2 + a_6 J + a_7 (D/H))}$	(10)
$R^2 = (1 - (SSE/SST))100$	(11)
$SSE = \sum_{i=1}^n (Dh_i - Dh_j)^2$	(12)
$SST = \sum_{i=1}^n (Dh_i - Dh_{bq})^2$	
$SEE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}}$	(13)
$MAE = (Dh_i - Dh_j)/n $	(14)
$MAPE = (MAE/Dh_i)100$	(15)
$ME = (Dh_i - Dh_j)$	(16)
$MPE = ((Dh_i - Dh_j)/Dh_i)100$	(17)

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Các hàm độ thon thân cây Keo lai

Các hàm ước lượng Dh_{CV} (Bảng 3) và Dh_{OV} (Bảng 4) ở mức cây cá thể của rừng Keo lai đều tồn tại ở mức ý nghĩa rất cao ($P < 0,01$). Hệ số xác định (R^2) nhận giá trị cao nhất ở hàm Them22-6 (tương ứng $R^2 = 96,66\%$ đối với hàm Dh_{CV} và $96,09\%$ đối với hàm Dh_{OV}), kế đến là hàm Them22-7 (tương ứng $R^2 = 96,64\%$ đối với hàm Dh_{CV} và $96,03\%$ đối với hàm Dh_{OV}), thấp nhất là hàm bậc 2 (tương ứng $R^2 = 95,24\%$ đối với hàm Dh_{CV} và $94,81\%$ đối với

hàm Dh_{OV}). Tổng sai lệch bình phương (SSE) nhận giá trị nhỏ nhất ở hàm Them22-6 (tương ứng 1.074,2 đối với hàm Dh_{CV} và 1.215,1 đối với hàm Dh_{OV}), kế đến là hàm Them22-7 (tương ứng 1.1083,7 đối với hàm Dh_{CV} và 1.233,5 đối với hàm Dh_{OV}) và Them22-8 (tương ứng 1.1087,8 đối với hàm Dh_{CV} và 1.233,5 đối với hàm Dh_{OV}), cao nhất là hàm Kozak01 (tương ứng 1.510,4 đối với hàm Dh_{CV} và 1.653,2 đối với hàm Dh_{OV}). Sai số ước lượng (SEE) nhận giá trị thấp nhất ở hàm Them22-6 (tương ứng 0,728 đối với hàm Dh_{CV} và 0,774 đối với hàm Dh_{OV}), kế đến là hàm Them22-7 (tương ứng 0,731 đối với hàm Dh_{CV} và 0,780 đối với hàm Dh_{OV}), cao nhất là hàm Kozak01 (tương

ứng 0,863 đối với hàm Dh_{CV} và 0,903 đối với hàm Dh_{OV}). Sai số tuyệt đối trung bình (MAPE) nhận giá trị thấp nhất ở hàm Them22-6 (8,1% đối với hàm Dh_{CV} và 10,0% đối với hàm Dh_{OV}), cao nhất ở hàm Kozak01 (tương ứng 9,6% đối với hàm Dh_{CV} và 11,0% đối với hàm Dh_{OV}). So với SSE của hàm Dh_{CV} ở dạng hàm Them22-6 (100%), giá trị này ở 3 hàm (Kozak01; Lee03; Sharma-Zhang04) lớn hơn tương ứng 40,6%, 20,7% và 7,4%. Tương tự, các hàm Dh_{CV} đa bậc lớn hơn từ 19,0% ở bậc 7 đến 42,9% ở bậc 2. So với SSE của hàm Dh_{OV} ở dạng hàm Them22-6 (100%), giá trị này của 5 hàm (Kozak01; Lee03; Sharma-Zhang04) lớn

hơn tương ứng 36,1%, 16,2% và 6,3%. Tương tự, các hàm Dh_{OV} đa bậc lớn hơn từ 13,6% ở bậc 7 đến 32,8% ở bậc 2. So với SSE của hàm Dh_{CV} và Dh_{OV} ở dạng hàm Them22-6 (100%), giá trị này ở hàm Them22-7 và Them22-8 chỉ lớn hơn tương ứng 1,1% và 1,5%. Phân hạng SSE cho thấy hàm Them22-6, Them22-7 và Them22-8 lần lượt xếp hạng 1, 2 và 3; hạng 4 và 5 tương ứng là hàm Shamar-Zhang04 và hàm bậc 7; 2 hàm (Lee03, Kozak01) lần lượt xếp hạng 7 và 11. Nói chung, theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min} , hàm Them22-6 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng Dh_{CV} và Dh_{OV} ở mức cây cá thể của rừng Keo lai.

Bảng 3. Hệ số xác định và sai lệch của các hàm độ thon thân cả vỏ của cây Keo lai

TT	Hàm độ thon	R^2 (%)	SSE	$\pm SEE$	MAE	MAPE	ME	MPE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Kozak01	95,31	1.510,4	0,863	0,626	9,6	-0,009	-2,6
2	Lee03	95,98	1.296,2	0,799	0,579	8,7	0,019	-0,4
3	Shamar-Zhang04	96,42	1.153,5	0,754	0,648	8,3	0,019	-0,7
4	Them22-6	96,66	1.074,2	0,728	0,633	8,1	0,007	-1,2
5	Them22-7	96,64	1.083,7	0,731	0,530	8,1	0,005	-1,2
6	Hàm bậc 2	95,24	1.535,0	0,869	0,765	9,1	-0,067	-1,9
7	Hàm bậc 3	95,54	1.437,6	0,842	0,734	9,0	-0,066	-1,5
8	Hàm bậc 4	95,87	1.331,6	0,810	0,706	8,7	-0,066	-1,6
9	Hàm bậc 5	95,93	1.312,5	0,804	0,698	8,7	-0,066	-1,6
10	Hàm bậc 6	96,00	1.288,8	0,797	0,687	8,6	-0,066	-1,6
11	Hàm bậc 7	96,03	1.278,8	0,794	0,684	8,6	-0,066	-1,6
12	Them22-8	96,63	1.087,8	0,733	0,637	8,1	-0,003	-1,5

SSE: Tổng sai lệch bình phương; SEE: Sai số ước lượng; MAE: Sai số tuyệt đối trung bình; MAPE: Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm; ME: Sai số trung bình; MPE: Sai số trung bình theo phần trăm.

Phân tích hồi quy cho thấy hàm Dh_{CV} và Dh_{OV} theo hàm Them22-6 có dạng tương ứng như hàm 20 và 21. Từ hai hàm này, xác định được hình dạng thân cây Keo lai (Hình 1); trong đó trục hoành là chiều cao tương đối (h/H), còn trục tung là Dh . Nói chung, hình dạng thân cây Keo

lai thay đổi theo D và H ; trong đó điểm uốn xuất hiện ở khoảng độ cao $h = (0,12 \cdot H)$ kể từ mặt đất. Hàm hệ số KD_{CV} và KD_{OV} ở dạng hàm Them22-8 có dạng tương ứng như hàm 22 và 23. Hàm biểu diễn quan hệ $H = f(D)$ có dạng như hàm 24. Hàm ước lượng hệ số KH có dạng như hàm 25.

$$\begin{aligned} Dh_{CV} &= -0,0000492(D^2H) + 0,152532(D^{-0,710783}H^{1,64793})(3,00828 - \sqrt{Y})^{K_1} \\ K_1 &= (-0,464337Y + 2,09946Y^2 - 3,58602Y^3 + 2,12885(D/H)) \quad (20) \\ R^2 &= 96,66\%; SEE = \pm 0,728; MAPE = 8,1\%; MPE = -1,2\%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Dh_{OV} &= -0,000128*(D^2H) + 0,125113(D^{-0,6773}H^{1,6773})(3,08969 - \sqrt{Y})^{K_2} \\ K_2 &= (-0,533405Y + 2,1622Y^2 - 3,65505Y^3 + 2,07483(D/H)) \quad (21) \\ R^2 &= 96,09\%; SEE = \pm 0,774; MAPE = 9,9\%; MPE = -2,1\%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KDh_{CV} &= -0,0000011(D^2H) + 0,243813(D^{-1,42424}H^{1,35506})(3,01767 - \sqrt{Y})^{K_3} \\ K_3 &= (-0,67033Y + 2,08962Y^2 - 3,52297Y^3 + 1,72484(D/H)) \quad (22) \\ R^2 &= 96,63\%; SEE = \pm 0,733; MAPE = 8,1\%; MPE = -1,5\%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KDh_{OV} &= -0,0000035(D^2H) + 0,20297(D^{-1,40347}H^{1,3636})(3,10573 - \sqrt{Y})^{K_4} \\ K_4 &= (-0,732706Y + 2,21436Y^2 - 3,71099Y^3 + 1,69104(D/H)) \quad (23) \\ R^2 &= 96,03\%; SEE = \pm 0,780; MAPE = 10,0\%; MPE = -2,4\%. \end{aligned}$$

$$H = 31,9197 \exp(-2,59213 \exp(-0,106284D)) \quad (24)$$

$$\begin{aligned} KH &= 0,937976(D^3H)^{-0,0123243}(1,54987 - \sqrt{I})^{K_5} \\ K_5 &= (-5,1853I + 5,76663I^2 - 0,880594I + 3,46127(D/H)) \quad (25) \\ R^2 &= 99,47\%; SEE = \pm 0,021; MAE = 0,016; MAPE = 5,2\%. \end{aligned}$$

Bảng 4. Hệ số xác định và sai lệch của các hàm độ thon thân không vỏ của cây Keo lai

TT	Hàm độ thon	R ² (%)	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Kozak01	94,68	1.653,2	0,903	0,663	11,0	-0,015	-4,3
2	Lee03	95,46	1.411,8	0,834	0,607	10,3	0,019	-0,9
3	Shamar-Zhang04	95,85	1.291,2	0,798	0,686	10,3	0,006	-1,9
4	Them22-6	96,09	1.215,1	0,774	0,661	9,9	0,005	-2,1
5	Them22-7	96,03	1.233,5	0,780	0,575	10,1	0,003	-2,1
6	Hàm bậc 2	94,81	1.613,3	0,891	0,774	11,0	-0,052	-2,8
7	Hàm bậc 3	95,09	1.526,6	0,867	0,751	10,7	-0,052	-2,2
8	Hàm bậc 4	95,40	1.430,4	0,840	0,728	10,5	-0,052	-2,5
9	Hàm bậc 5	95,45	1.414,0	0,835	0,724	10,5	-0,052	-2,4
10	Hàm bậc 6	95,53	1.388,8	0,828	0,713	10,4	-0,052	-2,4
11	Hàm bậc 7	95,56	1.380,1	0,825	0,710	10,4	-0,049	-2,4
12	Them22-8	96,03	1.233,5	0,782	0,665	10,0	-0,001	-2,4

SSE: tổng sai lệch bình phương; SEE: sai số ước lượng; MAE: sai số tuyệt đối trung bình; MAPE: sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm; ME: sai số trung bình; MPE: sai số trung bình theo phần trăm.

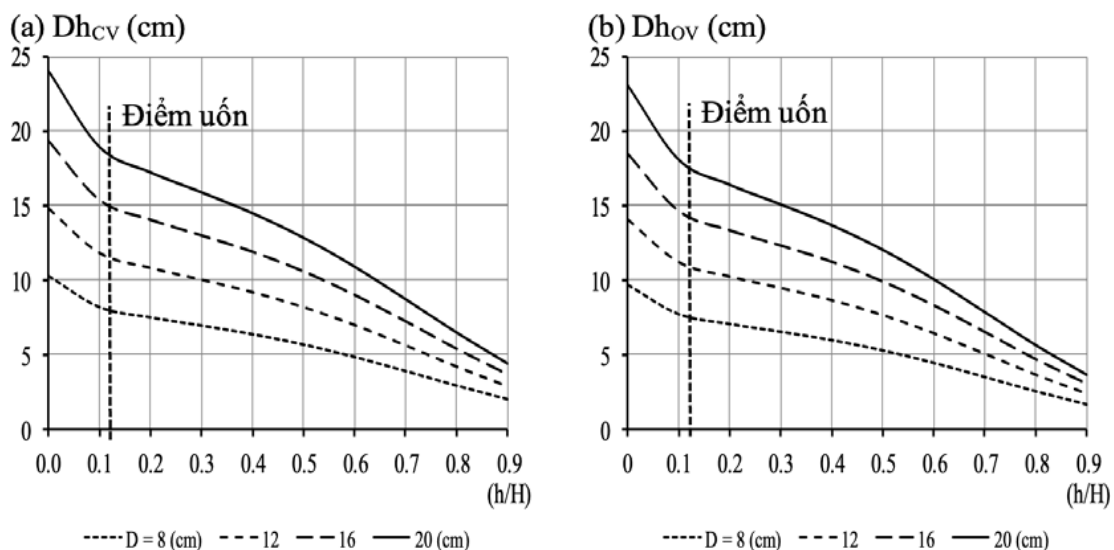
3.2. Cải thiện độ chính xác của các hàm hệ số độ thon thân đa bậc

Những phân tích hồi quy ở Mục 3.1 cho thấy

các hàm KD đơn biến đa bậc (Mô hình 1) được xây dựng chung cho tất cả các cấp kích thước (D, H) nhận sai lệch lớn hơn so với hàm độ thon thân đa biến. Nguyên nhân là vì độ thon và hình

dạng thân cây Keo lai không chỉ thay đổi theo kích thước thân (D , H). Vì thế, nếu xây dựng hàm KD bình quân chung đối với tất cả các cấp kích thước, thì hàm này phản ánh không chính xác ảnh hưởng của kích thước thân (D , H) đến độ thon thân cây Keo lai. Để cải thiện độ chính xác của các hàm KD đơn biến đa bậc theo mô hình 1, các hàm này đã được xây dựng riêng rẽ

theo các cấp D (Mô hình 2). Bảng 5 dẫn tương quan và sai lệch của các hàm KD_{CV} đơn biến ở bậc 7 được xây dựng riêng rẽ theo 5 cấp D (8, 12, 16, 20 và 24 cm); trong đó các hệ số R^2 và thống kê sai lệch (SSE, SEE) được xác định theo quan hệ $Dh = KD \times D$. Bảng 6 tổng hợp tương quan và sai lệch của hàm Dh_{CV} đa biến ở dạng hàm Them22-6 được xác định theo 5 cấp D kể trên.



Hình 1. Đồ thị biểu diễn độ thon thân cả vỏ (a) và độ thon thân không vỏ (b) của những cây Keo lai từ cấp $D = 8 - 20$ cm.

Bảng 5. Hệ số xác định và sai lệch của hàm độ thon thân cả vỏ ở mức cây cá thể của rừng Keo lai được xác định bằng hàm đơn biến ở bậc 7 theo 5 cấp đường kính

Thống kê sai lệch	Hệ số xác định và sai lệch về Dh_{CV} theo cấp D (cm):				
	8	12	16	20	24
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
P_a	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
R^2	99,98	99,99	99,99	99,99	99,99
SSE	0,0111	0,0010	0,0010	0,0015	0,0014
SEE	0,0744	0,0221	0,0221	0,0271	0,0268

SSE: tổng sai lệch bình phương; SEE: sai số ước lượng.

Bảng 6. Hệ số xác định và sai lệch của hàm độ thon thân cây Keo lai được xác định theo hàm đa biến ở dạng hàm Them22-6 theo 5 cấp đường kính

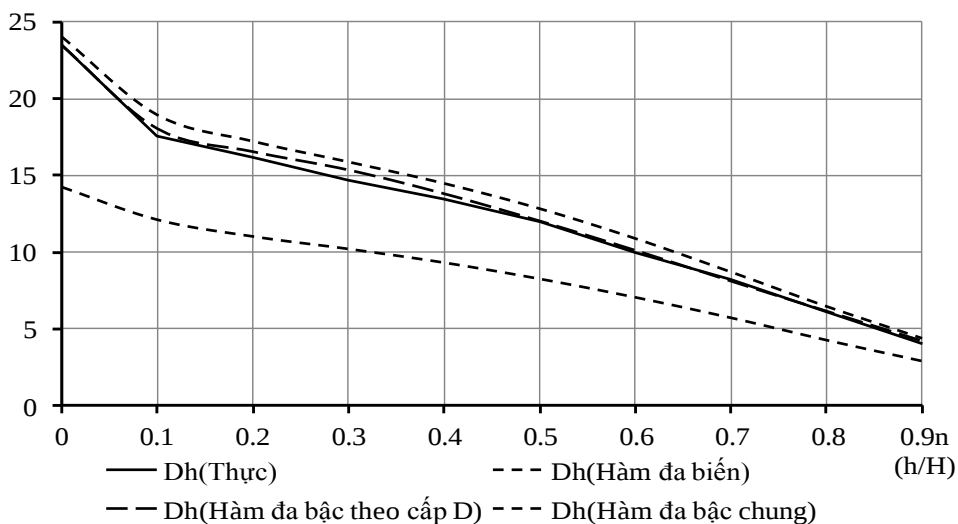
Thống kê sai lệch	Hệ số xác định và sai lệch về Dh theo cấp D (cm):				
	8	12	16	20	24
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
P_a	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
R^2	99,81	99,94	99,93	99,87	99,86
SSE	0,0196	0,0140	0,0087	0,0170	0,0217
SEE	0,1400	0,1184	0,0935	0,1304	0,1474

SSE: tổng sai lệch bình phương; SEE: sai số ước lượng.

Phân tích số liệu ở Bảng 5 và 6 cho thấy hệ số R^2 của hàm Dh_{CV} đa bậc theo mô hình 2 ($R^2 = 99,98 - 99,99\%$) lớn hơn so với hàm đa biến ở dạng hàm Them22-6 ($R^2 = 99,81\% - 99,94\%$). So với SSE của các hàm Dh_{CV} theo mô hình 2, giá trị này ở mô hình Them22-6 lớn hơn từ 1,8 lần ở cấp D = 8 cm đến 8,9 lần ở cấp D = 16 cm và 15,1 lần ở cấp D = 24 cm. Tương tự, so với SEE của các hàm Dh_{OV} theo mô hình 2, giá trị này ở mô hình Them22-6 lớn hơn từ 1,9 lần ở cấp D

= 8 cm đến 4,2 lần ở cấp D = 16 cm và 5,5 lần ở cấp D = 24 cm. Hình 2 biểu diễn sự khác nhau về Dh_{CV} tại cấp D = 20 cm được ước lượng theo mô hình Them22-6 và mô hình 2. Những phân tích trên đây cho thấy các hàm độ thon thân đơn biến đa bậc được xây dựng riêng rẽ theo từng cấp D cho phép ước lượng độ thon thân cây Keo lai với độ chính xác cao hơn so với các hàm độ thon đa biến.

DhCV tại cấp D = 20 cm



Hình 2. Đồ thị so sánh Dh thực tế và Dh ước lượng của cây Keo lai theo hàm đa biến và hàm đơn biến đa bậc tại cấp D = 20 cm.

3.3. Thảo luận và áp dụng kết quả nghiên cứu

3.3.1. Thảo luận

Xây dựng các hàm Dh ở mức cây cá thể của rừng Keo lai là yêu cầu của khoa học và thực tiễn. Các hàm Dh không chỉ được sử dụng để phân tích độ thon và hình dạng thân cây Keo lai tùy theo tuổi, kích thước và lập địa, mà còn xây dựng biểu thể tích và biểu sản lượng gỗ thu hoạch. Các hàm độ thon thân trong nghiên cứu này là các hàm thực nghiệm. Các hàm Dh_{CV} và Dh_{OV} thích hợp ở mức cây cá thể của rừng Keo lai được kiểm định từ 12 hàm khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm Them22-6 nhận sai lệch (SSE, SEE) nhỏ nhất, kế đến là hàm Them22-7 và Them22-8. So với SSE của hàm Them22-6, hai đại lượng Dh_{CV} và Dh_{OV} được ước lượng từ hàm Them22-7 và Them22-8 chỉ lớn hơn khoảng 1,3%. Vì thế, hai hàm Them22-7 và Them22-8 có thể được sử dụng để xây dựng hàm ước lượng Dh_{CV} và Dh_{OV} ở mức cây cá thể của rừng Keo lai.

Các hàm KD đơn biến đa bậc được xây dựng chung cho tất cả các cấp kích thước (D, H) chỉ phản ánh độ thon và hình dạng thân bình quân chung của cây Keo lai. Khi áp dụng các hàm này để ước lượng độ thon và hình dạng thân ở từng cấp D, thì kết quả nhận sai lệch rất lớn. Nguyên nhân là vì độ thon và hình dạng thân cây Keo lai thay đổi theo tuổi và kích thước thân (D, H). Sai lệch của các hàm KD đơn biến đa bậc được cải thiện đáng kể khi chúng được xây dựng riêng rẽ theo từng cấp D. Tuy vậy, nếu xây dựng các hàm KD đơn biến đa bậc theo từng cấp D, thì số lượng các hàm cần phải được xây dựng và kiểm định là rất lớn. Thật vậy, nếu D của rừng Keo lai được phân chia theo 10 cấp và hàm KD đơn biến đa bậc được kiểm định từ bậc 2 - 7, thì số lượng các hàm KD_{CV} và KD_{OV} cần phải được xây dựng và kiểm định là 120 hàm. Nếu các hàm KD được xây dựng theo các tuổi và các chỉ số lập địa của rừng Keo lai, thì số lượng các hàm cần phải xây dựng và kiểm định sẽ tăng lên rất lớn. Ngoài ra, các hàm KD đơn biến đa bậc chỉ

cho phép phân tích sự biến đổi độ thon và hình dạng thân theo chiều cao tương đối, mà không phản ánh rõ những yếu tố ảnh hưởng (tuổi, kích thước, lập địa...). Nhược điểm này được khắc phục bằng cách xây dựng các hàm Dh với nhiều biến dự đoán.

3.3.2. Áp dụng kết quả nghiên cứu

Trong thực hành, hai thành phần Dh_{CV} và Dh_{OV} ở mức cây cá thể của rừng Keo lai được ước lượng theo hàm 20 và 21. Khi xác định Dh_{CV} và Dh_{OV} , trước hết đo đạc D của từng cây trong ô tiêu chuẩn với kích thước 500 m², còn H được ước lượng theo hàm 24. Sau đó thay thế D, H và h vào hàm 20 và 21 để nhận được Dh_{CV} và Dh_{OV} . Chiều cao từ gốc đến những vị trí khác nhau trên thân (h) được xác định tùy theo mục đích nghiên cứu và yêu cầu của sản phẩm. Để đơn giản trong tính toán, hai đại lượng Dh_{CV} và Dh_{OV} được ước lượng theo các cấp D. Trước hết thống kê D của những cây Keo lai ở các tuổi khác nhau trên các ô tiêu chuẩn. Kế đến xây dựng bảng phân bố số cây theo cấp D đối với các tuổi; trong đó cự ly mỗi cấp D = 2,0 cm. Tiếp đến xác định H trung bình của các cấp D theo hàm 24. Sau đó xác định Dh_{CV} và Dh_{OV} của từng cấp D bằng cách thay thế cấp D, H trung bình của từng cấp D và h vào hàm 20 và 21. Để xác định chiều cao tại vị trí đường kính thu hoạch ở đầu nhỏ (h_{Di} , m), trước hết xác định hệ số KH theo hàm 25. Ở hàm 25, $I = (Dh_D/D)$ và $J = (D - Dh_D)/D$; trong đó Dh_D là đường kính thu hoạch ở đầu nhỏ kể từ gốc. Sau đó xác định h_{Di} theo quan hệ $h_{Di} = H * KH$. Hai hàm Dh_{CV} và Dh_{OV} được sử dụng để xác định đường kính đầu lớn và đầu nhỏ của các phân đoạn. Từ đó tính thể tích các phân đoạn, thể tích thân cây đứng và thể tích gỗ thương mại.

4. Kết Luận

Độ thon thân cây Keo lai thay đổi theo kích thước thân. Độ thon thân cả vỏ và không vỏ ở mức cây cá thể của rừng Keo lai có thể được xây

dựng bằng các hàm đa biến và các hàm đơn biến đa bậc. Khi xây dựng các hàm độ thon thân cây Keo lai theo tất cả các cấp kích thước, thì các hàm độ thon đa biến nhận sai lệch nhỏ hơn đáng kể so với các hàm độ thon thân đơn biến đa bậc. Độ chính xác của các hàm độ thon thân đơn biến đa bậc được cải thiện bằng cách xây dựng riêng rẽ theo từng cấp đường kính. Các hàm độ thon thân đa biến được sử dụng để ước lượng độ thon thân và tính thể tích các phân đoạn, thể tích thân cây đứng và thể tích gỗ thương mại đối với rừng Keo lai.

Lời Cam Đoan

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

Tài Liệu Tham Khảo (References)

- Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., & Auty, D. (2011). Taper functions for scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *An International Journal of Forestry Research* 84(1), 49-60. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq043>.
- Kozak, A. (2004). My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle* 80(4), 507-515. <https://doi.org/10.5558/tfc80507-4>.
- Lee, W. K., Seo, J. H., Son, Y. M., Lee, K. H., & Gadow, K. V. (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management* 172(1), 69-77. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(2\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(2)00139-1).
- Nguyen, L. N., & Dao, C. K. (1999). *Research on growth and yield of planted forests (Applied to Pinus keyisia Royle ex Gordon) forests in Vietnam*. Ha Noi, Vietnam: Agricultural Publishing House.
- Nguyen, T. B. (2005). Modelling the growth and temporary yield tables of pure *Acacia hybrid* plantations. *Journal of Agriculture and Rural Development* 13, 91-95.
- Nguyen, T. V. (2002). *Forest ecology*. Ha Noi, Vietnam: Agricultural Publishing House.
- Nguyen, T. V., Nguyen, B. T., & Nguyen, M. T. (2022a). Developing stem taper functions for *Acacia hybrid* in mono-plantatons in Vietnam. *Journal of Forestry Science and Technology* 2, 22-31. <https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.2.022-031>.
- Nguyen, T. V., Tran, N. T., Nguyen, M. T., Vu, H. D., & Nguyen, H. X. (2022b). Stem taper function for *Acacia hybrid* in Southeastern region of Vietnam. *Vietnam Journal of Forest Science* 2, 77-86.
- Sharma, M., & Zhang, S. Y. (2004). Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 198(1-3), 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.03.035>.
- Tang, C., Wang, C. S., Pang, S. J., Zhao, Z. G., Guo, J. J., Lei, Y. C., & Jeng, J. (2017). Stem taper equations for *Betula alnoides* in South China. *Journal of Tropical Forest Science* 29(1), 80-92.
- Tran, T. V. (2019). *Estimation of aboveground biomass and carbon stocks for Acacia hybrid plantations in Dong Nai province* (Unpublished doctoral dissertation). Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Vu, T. H. (2012). *Method of constructing the volume tables for standing trees in natural forests in Vietnam*. Ha Noi City, Vietnam: Agricultural Publishing House.