

MÔ HÌNH SINH TRƯỞNG VÀ TĂNG TRƯỞNG ĐƯỜNG KÍNH THÔNG 5 LÁ (*Pinus dalatensis* Ferré) THEO VÙNG PHÂN BỐ TẠI TÂY NGUYÊN

Le Cảnh Nam¹, Nguyễn Thành Mến¹, Hồ Ngọc Thọ², Bảo Huy³

TÓM TẮT

Thông 5 lá (*Pinus dalatensis* Ferré) là loài đặc hữu theo nghĩa rộng của dãy Trường Sơn. Ở Việt Nam, Thông 5 lá có phân bố tập trung chủ yếu ở Tây Nguyên trong kiểu rừng kín hỗn hợp cây lá rộng lá kim ẩm nhiệt đới núi thấp. Nghiên cứu này nhằm mục đích xây dựng mô hình sinh trưởng, tăng trưởng đường kính loài Thông 5 lá theo rừng vùng phân bố tại Tây Nguyên. Số liệu nghiên cứu được thu thập bằng khoan tăng trưởng đường kính từ 56 cây cả thể rải đều từ các cấp kính tại 3 vùng Bidoup Núi Bà, Chu Yang Sin và Kon Ka Kinh. Thiết lập mô hình phi tuyến có trọng số với ảnh hưởng của vùng phân bố sinh thái theo phương pháp hợp lý cực đại (Maximum Likelihood). Kết quả đã xác định được lượng tăng trưởng đường kính (Z_d) Thông 5 lá biến động từ 0,013 đến 3,065 cm/năm do ảnh hưởng của tuổi cây và yếu tố sinh thái khác nhau, trung bình là 0,340 cm/năm và xây dựng được mô hình sinh trưởng, tăng trưởng cho loài Thông 5 lá và thẩm định sai số cho ba vùng phân bố sinh thái, với mô hình sinh trưởng đường kính D/A theo dạng Exponential: $D = 400 \times (1 - e^{-ax^b})$ và tỷ lệ tăng trưởng đường kính Pd/D theo dạng Power $Pd = axD^b$, trong đó các tham số a và b , thay đổi theo từng vùng phân bố sinh thái.

Từ khóa: Đường kính, sinh trưởng, tăng trưởng, thông 5 lá, Tây Nguyên, vòng năm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông 5 lá còn gọi là Thông 5 lá Đà Lạt (*Pinus dalatensis* Ferré) là loài đặc hữu theo nghĩa rộng ở dãy Trường Sơn (Thái Văn Trùng, 1978; Farjon, 2002; Nguyễn Đức Tố Lưu và Philip Thomas, 2004; Nguyễn Hoàng Nghĩa, 2004; Phan Kế Lộc và cs, 2011); phân bố trong kiểu rừng kín hỗn hợp cây lá rộng, lá kim, ẩm nhiệt đới núi thấp (Thái Văn Trùng, 1978) và thường mọc chung với các loài *Pinus krempfii*, *Fokienia hodginsii*, *Dacrydium elatum* ở phía Nam Tây Nguyên của Việt Nam (Hiep et al., 2004).

Thông 5 lá đang bị đe dọa (Nguyễn Đức Tố Lưu và Philip Ian Thomas, 2004), trên toàn cầu và toàn quốc, loài Thông 5 lá hiện còn phân bố ít hơn 10 địa điểm khác nhau vì đã có sự sụt giảm các giá trị sinh thái môi trường sống của nó; số cá thể thường giới hạn dưới 100 cây trưởng thành trong mỗi vùng phân bố (Hiep et al., 2004). Trong số 14 loài cây lá kim được tìm thấy trong khu vực Tây Nguyên, thì có 6 loài được xếp trong danh Sách Đỏ bị đe dọa toàn cầu của IUCN, đó là *Pinus krempfii*, *Pinus dalatensis*, *Pinus lateri*, *Fokienia hodginsii*, *Calocedrus*

macrolepispis và *Cephalus* sp. (Trang, 2011).

Mô hình hóa sinh trưởng cây rừng là một chuyên ngành khoa học chuyên sâu về sử dụng mô hình toán để mô phỏng các quá trình sinh trưởng của cây và lâm phần (Nguyễn Văn Trương, 1973; Đồng Sĩ Hiến, 1974; Vũ Tiến Hình 2012; Bảo Huy, 2017; Pinheiro et al., 2014; Archontoulis và Miguez, 2015) với mục đích là phát hiện được quy luật sinh trưởng, tăng trưởng cây và lâm phần làm cơ sở cho áp dụng giải pháp lâm sinh, dự đoán sản lượng rừng. Gần đây nhiều phương pháp hiện đại đã được phát triển, áp dụng cho mô hình hóa quá trình sinh trưởng rừng có độ tin cậy cao hơn như phương pháp hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) để lập hàm phi tuyến có trọng số (Weight) có xét ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái (random effect) và phương pháp thẩm định chéo (Cross validation) để chỉ ra sai số khách quan của mô hình (Pinheiro et al., 2014; Archontoulis và Miguez, 2015; Huy et al. 2016, 2019).

Cho đến nay hầu như chưa có thông tin khoa học về sinh trưởng và tăng trưởng Thông 5 lá; vì vậy nghiên cứu này tiến hành mô hình hóa sinh trưởng, tăng trưởng loài Thông 5 lá và ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường khác nhau đến sinh trưởng loài nhằm đóng góp cho việc hoạch định các chiến lược lâm sinh trong quản lý, bảo tồn loài Thông 5 lá.

¹ Viện Khoa học Lâm nghiệp Nam Trung bộ và Tây Nguyên

² Vườn Quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai

³ Trường Đại học Tây Nguyên

2. VAT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Các lâm phần có phân bố loài Thông 5 lá (*Pinus dalatensis* Ferré) ở Tây Nguyên tại các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Lắk và Gia Lai; trong đó vùng phân bố loài nghiên cứu tập trung ở ba Vườn Quốc gia là Bidoup Núi Bà (Lâm Đồng), Chư Yang Sin (Đắk

Lắk) và Kon Ka Kinh (Gia Lai). Bảng 1 tóm tắt các thông tin sinh thái ở ba vùng phân bố nghiên cứu.

Loài Thông 5 lá với vị trí phân loại: Tên Việt Nam: Thông 5 lá hoặc còn được gọi là Thông 5 lá Đà Lạt; tên khoa học: *Pinus dalatensis* Ferré; thuộc họ: Pinaceae; Bộ: Pinales; Lớp: Pinopsida; Ngành hạt trần – Pinophyta.

Bảng 1. Tóm tắt thông tin về các yếu tố sinh thái ở vùng phân bố Thông 5 lá ở Tây Nguyên được nghiên cứu

Chỉ tiêu sinh thái	Bidoup Núi Bà	Chư Yang Sin	Kon Ka Kinh	Ghi chú
Lượng mưa bình quân năm (P, mm/năm)	1.825	1.893	2.202	
Số tháng mưa (tháng)	6-7	6-7	7-8	
Nhiệt độ trung bình năm (°C)	18,0	23,8	21,9	
Tổng nhiệt độ năm (°C)	219,6	286	264,6	
Độ ẩm không khí trung bình năm (%)	85,3	82,0	83,0	
Số tháng khô hạn (tháng)	2-3	2-3	2-3	$P_{tháng} < 20 \text{ mm}$
Tháng khô hạn	1, 2, 12	12, 1, 2, 3	12, 1, 2, 3	
Số giờ nắng trung bình năm (giờ)	168	200	210,7	(1998 – 2009)
Nhóm đất/loại đất chính	Feralit đỏ vàng	Feralit đỏ vàng	Feralit đỏ vàng	
Biến động độ cao so với mặt biển (m)	1.300 – 1.900 m	1.200 – 1.850 m	963 – 1.500 m	
Độ dốc trung bình	20-25°	20-30°	22-30°	
Vị trí địa hình	Chân, sườn và đỉnh	Sườn, đỉnh	Sườn, đỉnh	

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thu thập số liệu bề rộng vòng năm, dữ liệu sinh trưởng, tăng trưởng đường kính Thông 5 lá

Bảng 1. Thông tin thống kê về cây mẫu Thông 5 lá đã khoan xác định bề rộng vòng năm ở ba vùng phân bố

Chỉ tiêu thống kê	D (cm)	H (m)
Số cây	56	56
Trung bình	52,0	18,2
Sai tiêu chuẩn	21,259	4,090
Hệ số biến động	40, 8%	22,43%
Nhỏ nhất	11,0	8,0
Lớn nhất	119,0	25,0
Biến động tuyệt đối	108,0	17,0
Độ lệch chuẩn hóa - Stnd. skewness	1,796	-1,061
Độ nhọn chuẩn hóa - Stnd. kurtosis	0,753	-0,810

Ghi chú: D: Đường kính ngang ngực có vỏ, H: Chiều cao cây

Sử dụng khoan tăng trưởng Haglof với đường kính mũi khoan là 5 mm và chiều dài khoan 70 cm để xác định độ rộng vòng năm (*Zr*) theo năm.

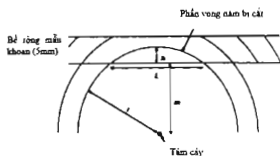
Tổng số cây Thông 5 lá được khoan là 56 cây ở ba vùng phân bố là Bidoup Núi Bà (26 cây), Chư Yang Sin (14 cây) và Kon Ka Kinh (16 cây), với các thông tin thống kê trong bảng 2. Cây khoan được phân bố rải theo cấp kinh có sẵn tại từng vùng nghiên cứu. Chỉ tiêu lựa chọn cây là cây sinh trưởng tốt, không bị dị tật, mọc trong điều kiện đại diện của lâm phần phân bố.

Những cây lấy mẫu được xác định toa độ UTM bằng GPS, đo đường kính ngang ngực (*DBH, cm*) và chiều cao cây (*H, m*); mỗi cây khoan 2 - 4 lõi theo hướng Đông Tây - Bắc Nam. Mẫu khoan được phơi khô, sau đó mẫu được dán lên khay gỗ và cuối cùng được đánh/chà bong bề mặt bằng giấy nhám từ thô đến mịn (200 - 600).

Để xác định tuổi cây, sử dụng phương pháp chuỗi niên đại tiêu chuẩn (Stockes và Smiley, 1968). Trong đó khi xác định tuổi cây, chấp nhận sai số do

bỏ qua một số năm để cây đạt độ cao ở vị trí khoan (thường là 1,0 - 1,3 m); đối với cây khoan đúng tâm thì số vòng năm chính là tuổi cây (A , năm), trong khi đó đối với cây lớn không thể khoan đến tâm thì không xác định tuổi, chỉ xác định bề rộng vòng năm (Zr , cm), tăng trưởng đường kính (Zd , cm) và đường kính ngang ngực không vò ngang ngực (D , cm) theo năm. Riêng cây khoan bị lệch tâm nhưng vẫn khoan đến vòng năm đối diện thì tuổi A được xác định là số vòng năm đo được và số vòng năm ước tính r , r được tính theo công thức của Duncan (1989) (Hình 1).

$$r = \frac{L^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad (1)$$



Hình 1. Mô tả phương pháp ước tính số vòng năm mắt (Duncan, 1989)

Trong đó: r là số vòng năm ước đoán; L là chiều dài vòng năm bị cắt; h là chiều cao/độ dày của vòng năm bị cắt.

Sử dụng phương pháp thẩm định tuổi chéo (Crossdate) và phần mềm Cofecha (Fritts, 1976; Holmes 1983) để xác định vòng năm mất (Missing ring), và xác định mối quan hệ giữa các chuỗi dữ liệu vòng năm. Đo đếm độ rộng vòng năm (Zr) bằng kính hiển vi có độ phóng đại 40 lần với sự trợ giúp của phần mềm J2X và máy tính (Speer *et al.*, 2010). Từ đó suy ra đường kính ngang ngực (D , cm), lượng tăng trưởng đường kính (Zd , cm/năm), tỷ lệ tăng trưởng đường kính ($Pd = Zd/D$) theo năm và tuổi (A , năm) của các cây giải tích.



Hình 2. Mẫu lõi gỗ khoan dưới kính hiển phóng đại 40 lần

2.2.2. Phương pháp lập mô hình sinh trưởng, tăng trưởng đường kính Thông 5 là theo vùng phân bố

Ước lượng các mô hình theo phương pháp hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) dạng hàm phi tuyến có trọng số (Weight) và xem xét ảnh hưởng ngẫu nhiên (Random effects) của các vùng phân bố sinh thái khác nhau lên các tham số của mô hình. Áp dụng chương trình nlme trong phần mềm mã nguồn mở R (Pinheiro *et al.*, 2014; Huy *et al.*, 2016, 2019; Bảo Huy, 2017) để ước lượng các mô hình sau:

Mô hình Schumacher (Bảo Huy, 2017):

$$Y = a_1 \times \exp(-b_1 \times X^{m_1}) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Mô hình Exponential (Archontoulis và Miguez, 2015):

$$Y = Y_0 \times (1 - e^{-(a \times X)}) \quad (3)$$

$$Y = Y_0 \times e^{(a \times X)} \quad (4)$$

Mô hình Power:

$$Y = a_1 \times X^{b_1} + \varepsilon_i \quad (5)$$

Mô hình Hyperbol

$$Y = a_1 + 1/X^{b_1} + \varepsilon_i \quad (6)$$

Hàm phương sai của sai số ngẫu nhiên:

$$Var(\varepsilon_i) = \sigma^2 (\gamma_i)^k \quad (7)$$

Trong đó Y là đường kính ngang ngực cây (D , cm) hoặc tỷ lệ tăng trưởng đường kính (Pd), Y_0 là giá trị tối đa của biến Y ; X là đường kính (D , cm) hoặc tuổi cây (A , năm); a , b , và m là các tham số của các mô hình thay đổi theo vùng phân bố Thông 5 là i ; ε_i là sai số ngẫu nhiên theo vùng phân bố i ; σ^2 là tổng bình phương của sai số; γ_i là biến trọng số theo vùng phân bố i , và k là hệ số của hàm phương sai (Huy *et al.*, 2016, 2019).

Mô hình được lựa chọn dựa vào chỉ tiêu thống kê AIC bé nhất, kết hợp với R^2_{adj} lớn và các sai số bé nhất gồm sai số trung bình bình phương (RMSE) và sai số trung bình tuyệt đối % (MAPE) (Huy *et al.*, 2016, 2019); kết hợp với kiểm tra đồ thị quan hệ giá trị thực nghiệm với dự đoán và phân bố sai số theo giá trị dự đoán qua mô hình.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$MAPE (\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (9)$$

Trong đó n là số dữ liệu; y_i , \hat{y}_i lần lượt là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Bảng 3. Chỉ tiêu thống kê sinh trưởng D và Zd theo A của các cây khoan

Chỉ tiêu thống kê	A (tuổi, năm)	D (cm)	Zd (cm/năm)
Count (n)	4566	7331	7331
Average (trung bình)	102	35,4	0,340
Standard deviation (sai tiêu chuẩn)	76,016	21,186	0,299
Coeff. of variation (hệ số biến động, %)	74,77%	59,83%	88,03%
Minimum (nhỏ nhất)	1	0,3	0,013
Maximum (lớn nhất)	322	115,9	3,065
Range (phạm vi biến động)	321	115,6	3,052

Các chỉ tiêu thống kê các giá trị sinh trưởng D , tăng trưởng Zd theo tuổi A trong bảng 3; với biến động tuổi A từ 1 – 322 năm tuổi và lượng tăng trưởng đường kính Zd Thông 5 lá ở 3 vùng từ 0,013 đến

3,065 cm/năm (biến động theo tuổi cây và vùng phân bố); trung bình Thông 5 lá vùng Tây Nguyên có tăng trưởng đường kính là 0,340 cm/năm.

3.1. Mô hình sinh trưởng đường kính (D) Thông 5 lá cho các vùng phân bố ở Tây Nguyên

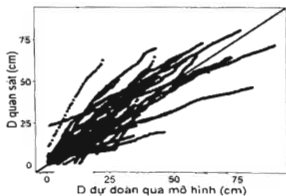
Từ 4.566 bộ dữ liệu D theo A của Thông 5 lá có được từ khoan bề rộng vòng năm ở ba khu vực phân bố, tiến hành thăm dò mô hình sinh trưởng thích hợp theo các hàm phổ biến như ở bảng 4.

Kết quả ở bảng 4 cho thấy mặc dù mô hình Schumacher (Stt 1) có giá trị AIC bé nhất và hệ số xác định điều chỉnh R^2_{adj} lớn nhất, nhưng tham số a lại không tồn tại (có $P_{value} > 0,05$); trong khi đó mô hình Exponential (Stt 3) có các sai số bé nhất nhưng R^2_{adj} lại không xác định (NA) và có AIC lớn hơn mô hình Exponential (Stt 2), vì vậy mô hình Exponential (Stt 2) được lựa chọn để mô phỏng cho quá trình sinh trưởng D của Thông 5 lá vùng Tây Nguyên.

Bảng 4. So sánh và lựa chọn mô hình sinh trưởng đường kính (D/A) của Thông 5 lá với ảnh hưởng của các vùng phân bố khác nhau

Stt	Mô hình	Trọng số	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	AIC	R^2_{adj}	RMSE (cm)	MAPE (%)
1	$D = a \times e^{(b \times A^c)}$	$1/A^k$	Vùng phân bố	33202,9	0,757	4,691	20,245
2	$D = D_0 \times (1 - e^{(-a \times A)})$	$1/A^k$	Vùng phân bố	34099,2	0,700	4,415	15,977
3	$D = D_0 \times e^{(a \times A)}$	$1/A^k$	Vùng phân bố	43729,7	NA	2,860	11,799

Ghi chú: $n = 4.566$ dữ liệu; k : hệ số của hàm phương sai; D_0 : Đường kính tối đa; #: Tham số có $P_{value} > 0,05$. In đậm là mô hình được lựa chọn



Hình 3. Quan hệ giữa giá trị D quan sát với $D_{du doan}$ đoán qua mô hình Exponential:

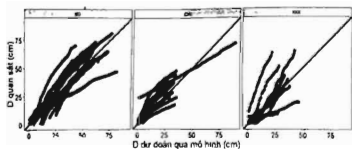
$$D_{du doan} = D_0(1 - e^{-aA})$$

Hàm sinh trưởng D/A theo hàm Exponential lựa chọn chung cho các vùng phân bố sẽ có biến động và sai số lớn (Hình 3); do đó sử dụng kỹ thuật phát hiện nhân tố ảnh hưởng (random effect) để xác

định ảnh hưởng của yếu tố môi trường khác nhau của các vùng phân bố lên các tham số của mô hình. Kết quả cho thấy tham số a , của mô hình lựa chọn Exponential thay đổi rõ rệt theo các vùng phân bố Thông 5 lá. Sử dụng mô hình thay đổi a , sẽ cho độ tin cậy cao, sai số biến động hẹp hơn (bảng 5 và hình 4, 5).

Hình 5 cho thấy sinh trưởng Thông 5 lá theo tuổi tại ba vùng sinh thái là rất khác nhau, tốc độ sinh trưởng tại vùng Kon Ka Kinh là tốt nhất và vùng Bidoup Núi Bà là chậm nhất.

Qua mô hình mô phỏng quan hệ sinh trưởng D theo tuổi A (D/A) phân biệt cho 3 vùng cũng cho thấy xu hướng sinh trưởng của Thông 5 lá vẫn tiếp tục tăng khi tuổi cây tăng với $A > 300$ năm cho vùng Bidoup và Chư Yang Sin và $A > 73$ năm cho vùng Kon Ka Kinh.



Hình 4. Quan hệ giữa giá trị D quan sát và D dự đoán qua mô hình Exponential: $D_{dự\ đoán} = D_0(1 - e^{-aD^k})$ theo vùng phân bố: BD: Bidoup Núi Bà, CYS: Chư Yang Sin, KKK: Kon Ka Kinh

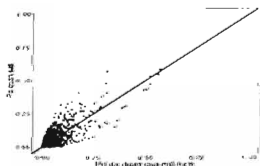
Bảng 5. Mô hình $D = 400 \times (1 - e^{-aD^k})$ được lựa chọn eo các vùng phân bố Thông 5 lá ở Tây Nguyên

Vùng phân bố	n_i	Giá trị tham số và sai số tiêu chuẩn (SE) thay đổi theo vùng phân bố i , với $P = 95\%$	
		a_i	SE $_i$
Bidoup Núi Bà	2780	0,000704	7,911e-06
Chư Yang Sin	1297	0,000932	1,158e-05
Kon Ka Kinh	489	0,001679	1,886e-05

Bảng 6. So sánh và lựa chọn mô hình quan hệ tỷ lệ tăng trưởng đường kính (Pd) theo D của Thông 5 lá với ảnh hưởng của các vùng phân bố khác nhau

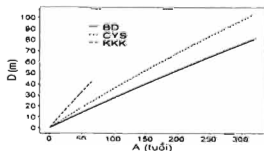
Stt	Mô hình	Trọng số	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	AIC	R^2_{adj}	RMSE
1	$Pd = a + b/D$	$1/D^k$	Vùng phân bố	-28656	0,033	0,795
2	$Pd = a \times D^b$	$1/D^k$	Vùng phân bố	-29075	0,704	0,632

Ghi chú: $n = 4566$ dữ liệu; k : hệ số của hàm phương sai; *In đậm là mô hình được lựa chọn*



Hình 6. Quan hệ giữa Pd quan sát với Pd dự đoán qua mô hình Power $Pd = aD^b$ chung cho các vùng phân bố

Kết quả cho thấy mô hình Pd/D lựa chọn có dạng Power làm mô hình chung cho cả vùng Tây Nguyên có sai số ước lượng Pd cao khi cây có D càng lớn, thể hiện qua quan hệ Pd quan sát và Pd dự đoán qua mô hình phân tán khi Pd tăng (Hình 6). Vì vậy cần phân chia mô hình theo vùng phân bố để tăng độ tin cậy và giảm sai số. Phương pháp thay đổi tham số

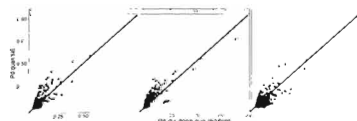


Hình 5. Biểu diễn mô hình sinh trưởng đường kính (D/A) Thông 5 lá theo mô hình Exponential: $D = D_0(1 - e^{-aD^k})$ phân biệt cho ba vùng phân bố: BD: Bidoup Núi Bà, CYS: Chư Yang Sin, KKK: Kon Ka Kinh

3.2. Mô hình ước tính tỷ lệ tăng trưởng đường kính (Pd) theo D loài Thông 5 lá theo vùng phân bố sinh thái

Từ 4.566 bộ dữ liệu Zd/D lập được bộ dữ liệu Pd/D tương ứng để lập mô hình. Quan hệ Pd/D là dạng giảm, Pd giảm khi D tăng lên, do đó đã dò tìm một số hàm tương thích dạng Hyperbol, Power có mũ âm, hàm Exp mũ âm,... để tìm hàm mô phỏng mối quan hệ này; kết quả trình bày ở bảng 6.

của mô hình theo vùng phân bố gọi là random effect trong phương pháp ước lượng hàm phi tuyến maximum likelihood có trọng số đã được áp dụng; kết quả làm giảm biến động sai số và tăng độ tin cậy khi ước lượng Pd theo từng vùng phân bố của nó ở Tây Nguyên (Hình 7 và Bảng 7).



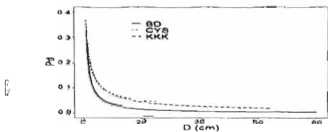
Hình 7. Quan hệ giữa giá trị Pd quan sát và Pd dự đoán qua mô hình Power $Pd = aD^b$ theo vùng phân bố: BD: Bidoup Núi Bà, CYS: Chư Yang Sin, KKK: Kon Ka Kinh

Kết quả phân chia mô hình Pd/D theo vùng phân bố cho thấy Pd cao ($> 0,2$) ở các cấp kính nhỏ

($D < 5$ cm), sau đó Pd giảm nhanh khi D tăng lên trong cấp kính từ 5 - 10 cm; khi $D > 10$ cm thì Pd giảm chậm lại. Vùng Kon Ka Kinh có Pd cao hơn hai vùng phân bố Bidoup Núi Bà và Chư Yang Sin; điều này phù hợp kết quả nghiên cứu sinh trưởng Thông 5 là (Hình 8).

Bảng 7. Mô hình $Pd = axD^b$ được lựa chọn theo các vùng phân bố Thông 5 là ở Tây Nguyên

Vùng phân bố	n _i	Giá trị tham số và sai số tiêu chuẩn (SE _i) thay đổi theo vùng phân bố i, với P = 95%			
		a	SE _a	b _i	SE _{b_i}
Bidoup Núi Bà	2780			-1,10038	0,00332
Chư Yang Sin	1297	0,38373	0,01923	-1,10330	0,00487
Kon Ka Kinh	489			-0,72993	0,00793



Hình 8. Biểu diễn mô hình quan hệ Pd/D Thông 5 là theo mô hình $Pd = aD^b$ phân biệt cho ba vùng phân bố: BD: Bidoup Núi Bà, CYS: Chư Yang Sin, KKK: Kon Ka Kinh

Trong thực tế có thể ứng dụng mô hình quan hệ Pd/D để dự đoán tăng trưởng D hoặc thời gian cây đạt được một D mong muốn của Thông 5 là như sau:

- Xác định vùng phân bố (một trong ba vùng lập mô hình) để chọn lựa mô hình Power có tham số phù hợp (Bảng 7)

- Dự đoán tăng trưởng đường kính Zd . Thế giá trị D bất kỳ vào mô hình sẽ có được Pd tương ứng; từ đó suy ra $Zd = Pd \times D$.

- Dự đoán thời gian n để cây đạt đường kính mong muốn $D_{A,n}$ từ một cây trung bình ở thời điểm hiện tại có đường kính là D_A :

+ Dự đoán lượng tăng trưởng đường kính của cây tại thời điểm ($Z_{A,n}$). Thế D_A vào mô hình Pd/D theo vùng phân bố thích hợp (Bảng 7) dự đoán được $Z_{A,n} = P_{A,n} \times D_A$

+ Dự đoán thời gian n cây đạt được đường kính $D_{A,n}$:

$$n = \frac{D_{A+n} - D_A}{Z_{A,n}} \quad (10)$$

4. KẾT LUẬN

Lượng tăng trưởng đường kính (Zd) Thông 5 là biến động từ 0,013 đến 3,065 cm/năm do ảnh hưởng của tuổi và yếu tố sinh thái khác nhau, trung bình ở Tây Nguyên là 0,340 cm/năm.

Mô hình sinh trưởng, tăng trưởng cho loài Thông 5 là được thiết lập và thẩm định sai số cho ba vùng phân bố sinh thái (Bidoup Núi Bà, Chư Yang Sin và Kon Ka Kinh), với mô hình sinh trưởng đường kính D/A theo dạng hàm Exponential: $D = 400x(1 - e^{-(aD^b)})$ và tỷ lệ tăng trưởng đường kính Pd/D theo dạng Power tham số mũ âm: $Pd = axD^b$ với các tham số a và b thay đổi theo vùng phân bố sinh thái.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Archontoulis, S. V., and Miguez. F. E., 2015. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. *Agronomy Journal*, 107(2): 786-798.
2. Bảo Huy, 2017. Phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên. *Nxb Khoa học và Kỹ thuật*, TP. HCM, 138p.
3. Đồng Sĩ Hiến, 1974. Lập biểu thể tích và biểu độ thon cây đứng cho rừng Việt Nam. *Nxb Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội*.
4. Duncan, R. P., 1989. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). *New Zealand Natural Sciences* 16, 31-37.
5. Farjon, A., 2002. Rare and possibly threatened conifers in Vietnam. Report for the Fauna and Flora International (FFI) Global Trees Campaign & FFI Vietnam Programme.
6. Fritts, H. C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Elsevier Science.
7. Hiep, N. T., Loc, P. K., Luu, N. D. T., Thomas, P. I., Farjon, A., Averyanov, L., Regalado, J., 2004. Vietnam Conifers Conservation status review 2004. Fauna & Flora International, Vietnam Programme, Hanoi, 158p.
8. Holmes, R. L., 1983. Computer assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69-78.
9. Huy, B., Poudel, K. P., Temesgen, H., 2016. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion

of Viet Nam: Selection of eco-regional or pantropical models. *Forest Ecology and Management*, 376(2016): 276-283. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.031>.

10. Huy, B., Tinh, N. T., Poudel, K. P., Frank, B. M., Temesgen, H., 2019. Taxon-specific modeling systems for improving reliability of tree aboveground biomass and its components estimates in tropical dry dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 437(2019): 156-174.

11. Nguyễn Đức Tố Lưu, Philip Ian Thomas, 2004. *Cây lá kim Việt Nam*: 55-57. Nxb Thế giới, Hà Nội.

12. Nguyễn Hoàng Nghĩa, 2004. *Các loài cây lá kim ở Việt Nam*: 42-45. Nxb Nông nghiệp, Hà Nội.

13. Nguyễn Văn Trương, 1973. *Phương pháp thống kê cây đứng trong rừng gỗ hỗn loại*. Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 171p.

14. Phan Kế Lộc, Nguyễn Tiến Hiệp, Leonid Averyanov, Nguyễn Sinh Khang, Phạm Văn Thế, 2011, *Thông ở Trung Trường Sơn Việt Nam – Thành phần loài, sự phân bố và hiện trạng bảo tồn*. Tạp chí Kinh tế Sinh thái, số 40 (2011): 9-17.

15. Pinheiro, J., Bates, D., Debroy, S., Sarkar, D., Team, R. C., 2014. *Nlme: linear and nonlinear mixed effects models*. R package version 3.1-117.

16. Speer, J. H., Clay, K., Bishop, G. and Creech, M., 2010. The Effect of Periodical Cicadas on Growth of five Trees Species in Midwestern Deciduous Forest. *The American Midland Naturalist*, 164: 173-186.

17. Stockes, M. A. and Smiley, T. L., 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago, Chicago, the US.

18. Thái Văn Trưng, 1978. *Thảm thực vật rừng Việt Nam*. Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 276p.

19. Trang, T. T. T., 2011. *Spatial distribution and historical dynamics of threatened conifers of the Dalat plateau, VietNam*. A thesis Presented to The Faculty of the Graduate School at the University of Missouri, US.

20. Vũ Tiến Hình, 2012. *Phương pháp lập biểu thể tích cây đứng rừng tự nhiên ở Việt Nam*. Nxb Nông nghiệp, 196p.

DIAMETER GROWTH AND INCREMENT MODELS OF *Pinus dalatensis* Ferré SPECIES IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM

Le Canh Nam¹, Nguyen Thanh Men¹, Ho Ngoc Tho², Bao Huy³

¹ Forest Sciences Institute of Central Highlands and South of Central Viet Nam

² Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province

³ Tay Nguyen University

Summary

Pinus dalatensis Ferré, an endemic species to Annamite range, was first described and published in 1960 by Ferre, a French botanist. In Vietnam, *Pinus dalatensis* is mainly distributed in the mixed broad-leaved and coniferous forests in the Central Highlands. The main objective of this study is to develop the diameter (*D*) growth - increment rate (*Pd*) models of *Pinus dalatensis* at each site in the Central Highlands of Vietnam. We collected data of diameter growth and increment from 56 sample trees at 3 different sites (National Parks of Bidoup Núi Bà, Chư Yang Sin and Kon Ka Kinh) by using a Haglof increment borer. The method for developing equations was weighted nonlinear regression with random effects of the site fit by maximum likelihood. As a result, the annual increment of diameter of *Pinus dalatensis* (*Zd*) is affected by its age and different ecological factors, and *Zd* ranges from 0.013 to 3,065 cm year⁻¹ and the mean annual increment of diameter is 0.340 cm year⁻¹. Besides, the models of diameter growth and increment of *Pinus dalatensis* were developed as well as cross-validated in 3 sites of the Central Highlands; the selected models figured out that the diameter growth models fit the Exponential function: $D = 400 \times (1 - e^{-ax+V})$ and the regression between *Pd* and *D* fit well in with the Power rule: $Pd = a \times D^b$, in which parameters *a*, and *b*, changed along with different site.

Keywords: Central highlands, diameter, growth, increment, *Pinus dalatensis*, tree ring.

Người phản biện: TS. Phạm Thế Anh

Ngày nhận bài: 10/01/2020

Ngày thông qua phản biện: 10/02/2020

Ngày duyệt đăng: 17/02/2020