

## XÂY DỰNG MÔ HÌNH SINH TRƯỞNG, TĂNG TRƯỞNG RỪNG TRỒNG THÔNG MÃ VĨ (*Pinus masoniana* Lamb) TẠI HUYỆN CAO LỘC, TỈNH LẠNG SƠN

**Nguyễn Công Hoan, Trần Quốc Hưng**  
*Trường Đại học Nông Lâm Thái Nguyên*

### TÓM TẮT

Sinh trưởng của rừng là một quá trình biến thiên liên tục và chịu tác động tổng hợp của tất cả các yếu tố nội tại cũng như ngoại cảnh. Việc mô hình hóa sinh trưởng rừng trồng bằng những phương trình toán học luôn được xem là nhiệm vụ quan trọng trong nghiên cứu cũng như trong thực tiễn sản xuất lâm nghiệp làm cơ sở để xác định các biện pháp kỹ thuật (tỉa thưa, khai thác lợi dụng rừng,...) trong kinh doanh rừng. Do vậy, việc vận dụng những mô hình toán học để mô phỏng và phân tích quy luật biến đổi của những nhân tố điều tra (đường kính, chiều cao, thể tích thân cây, trữ lượng rừng,...) trên cây cá thể và lâm phần theo thời gian là cần thiết. Bài viết này nhằm đánh giá sinh trưởng và xác định lượng tăng trưởng thường xuyên, tăng trưởng định kỳ theo tuổi bằng phương pháp cây tiêu chuẩn làm cơ sở dự báo tuổi khai thác chính cho rừng trồng Thông mã vĩ tại huyện Cao Lộc, tỉnh Lạng Sơn. Hai hàm sinh trưởng Schumacher và Gompertz được sử dụng để mô phỏng sinh trưởng về đường kính thân ( $D_{1,3}$ ), chiều cao ( $H_{vn}$ ) và thể tích ( $V$ ) cho đối tượng nghiên cứu, phương trình được chọn là phương trình có các tham số tồn tại trong tổng thể, hệ số xác định lớn nhất ( $R^2_{max}$ ). Kết quả cho thấy, sinh trưởng và tăng trưởng về đường kính thân ( $D_{1,3}$ ), chiều cao ( $H_{vn}$ ) và thể tích ( $V$ ) được mô tả tốt bằng hàm Schumacher với hệ số từ  $R^2$  từ 0,993 - 0,997, các phương trình sinh trưởng có dạng:

$$\begin{aligned} D &= 15,26 \cdot \exp(-5,43/A^{1,12}); \\ H &= 11,03 \cdot \exp(-4,67/A^{1,09}); \\ V &= 0,52 \cdot \exp(-9,95/A^{0,58}). \end{aligned}$$

**Từ khóa:** Sinh trưởng, tăng trưởng, rừng trồng Thông mã vĩ, kinh doanh rừng, Lạng Sơn.

### GROWTH AND INCREMENT MODEL OF PLANTED FOREST *Pinus masoniana* Lamb IN CAO LOC DISTRICT, LANG SON PROVINCE

**Nguyen Cong Hoan, Tran Quoc Hung**

*Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry*

### ABSTRACT

Forest growth is a continuously changing process and is influenced by all internal and external factors. Modeling planted forest growth using mathematical equations is always considered an important task in research as well as in current forestry production practices as a basis for determining technical measures (thinning, exploitation of forests,...) in forest business. Therefore, applying mathematical models to describe and analyze the changing of investigated factors (diameter, height, trunk volume, forest reserve, etc.) on individual trees and Forest stands over time are necessary. This article aims to evaluate growth and determine the amount of regular increment and periodic increment according to age using the standard tree method as a basis for predicting the main harvesting age for planted forest *Pinus masoniana* Lamb in Cao Loc district Lang Son province. Two growth functions, Schumacher and Gompertz, were used to describe the growth of stem diameter ( $D_{1,3}$ ), height ( $H_{vn}$ ) and volume ( $V$ ) for the research subjects. The equation chosen was the one with parameters exist in total, the largest coefficient of determination ( $R^2_{max}$ ). The results show that growth and increment in terms of stem diameter ( $D_{1,3}$ ), height ( $H_{vn}$ ) and volume ( $V$ ) are well described by the Schumacher function with coefficients from  $R^2$  from 0.993 - 0.997, The growth equations have the form:

$$\begin{aligned} D &= 15,26 \cdot \exp(-5,43/A^{1,12}); \\ H &= 11,03 \cdot \exp(-4,67/A^{1,09}); \\ V &= 0,52 \cdot \exp(-9,95/A^{0,58}). \end{aligned}$$

**Keywords:** Growth, increment, planted pinus forest of *Pinus masoniana* Lamb, forest business, Lang Son.

## I. MỞ ĐẦU

Hệ sinh thái rừng trồng cung cấp nhiều dịch vụ hệ sinh thái cơ bản cho sự thịnh vượng của con người (Zhou *et al.*, 2006; Pan *et al.*, 2011; Huang, X *et al.*, 2019). Khí hậu thay đổi, đặc biệt là sự nóng lên toàn cầu đã có những tác động đến sức sống của cây, sự phân bố loài và cấu trúc rừng, đặc biệt là đối với sinh trưởng, phát triển và năng suất rừng trồng trên thế giới. Điều này đã và đang nhận được sự quan tâm lớn trong những năm gần đây (JIANG Dong *et al.*, 2017; Deng C *et al.*, 2019; Zefang Zhao *et al.*, 2024; Jianfeng Peng *et al.*, 2024). Thông mã vĩ (*Pinus massoniana* Lamb.), thuộc họ Thông *Pinaceae* (*Abietaceae*) có phân bố tự nhiên ở các tỉnh phía Nam Trung Quốc, ở độ cao từ 600 - 800 m so với mặt nước biển, nhiệt độ bình quân từ 13 - 20°C. Thông là loài cây có thể chịu được sương giá (Jin A. 2012; Quan W *et al.*, 2017; Deng C *et al.*, 2019; Siwen Su *et al.*, 2023).

Ở Việt Nam, Thông mã vĩ là loài cây đa mục đích (cung cấp nhựa, gỗ) có giá trị kinh tế cao, đáp ứng tốt trồng rừng nguyên liệu trên quy mô lớn. Đây là loài thuộc nhóm gỗ lớn, dễ nhân giống, thích nghi ở nhiều điều kiện lập địa, có thể phát triển tốt trên điều kiện đất suy thoái, nghèo dinh dưỡng. Ngoài giá trị cung cấp nguyên liệu cho công nghiệp sản xuất giấy, ván nhân tạo, gỗ Thông mã vĩ còn được sử dụng trong trang trí nội thất, sản xuất đồ gỗ xuất khẩu. Do vậy, Thông mã vĩ được Bộ Nông nghiệp và PTNT chọn là loài cây trồng lâm nghiệp chính (Thông tư số 22/2021/TT-BNN PTNT) trên các vùng sinh thái khác nhau.

Cao Lộc là huyện miền núi thuộc tỉnh Lạng Sơn có diện tích rừng trồng là 35.116,2 ha (chiếm 59,7% so với tổng diện tích tự nhiên) (Quyết định số 375/QĐ-UBND, ngày 03/3/2022 Quyết định công bố hiện trạng rừng tỉnh Lạng Sơn năm 2021). Hiện nay, cùng với một số loài cây đang được sử dụng trong trồng rừng

như: keo, bạch đàn, Quế, Hôi, Sò... thì Thông mã vĩ (*Pinus massoniana* Lamb) là loài cây có khả năng thích nghi và phát triển tốt tại khu vực. Ngoài giá trị cung cấp nhựa và gỗ, Thông mã vĩ còn có khả năng tích lũy carbon, giảm thiểu phát thải khí nhà kính, chống xói mòn và tạo độ phì nhiêu cho đất,... Vì thế, những nghiên cứu về sinh trưởng của rừng trồng Thông mã vĩ là rất cần thiết. Bài viết này sẽ cung cấp thông tin về sinh trưởng, tăng trưởng rừng trồng Thông mã vĩ tại huyện Cao Lộc, tỉnh Lạng Sơn góp phần xây dựng phương thức quản lý, khai thác rừng hợp lý nhằm mang lại năng suất, chất lượng tốt nhất trong kinh doanh rừng tại khu vực nghiên cứu.

## II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Rừng Thông mã vĩ thuần loài, tuổi 9 tại huyện Cao Lộc, tỉnh Lạng Sơn ở phía Bắc Việt Nam. Thông được trồng bằng cây con có bầu trên đất feralit vàng nhạt, độ dốc trung bình 15°. Mật độ trồng ban đầu từ 1.600 - 1.880 cây/ha tùy thuộc vào địa hình. Rừng trồng Thông đã được tỉa thưa lần 1 ở tuổi 6. Hiện nay, mật độ biến động từ 1.283 - 1.323 cây/ha. Đối tượng nghiên cứu thuộc sự quản lý của các hộ gia đình.

### 2.2. Phương pháp thu thập số liệu

- Số liệu sinh trưởng của rừng trồng Thông mã vĩ được thu thập theo phương pháp điều tra ô tiêu chuẩn (OTC) điển hình kết hợp phương pháp điều tra cây tiêu chuẩn.

- Điều tra 10 OTC tạm thời, diện tích 1.000 m<sup>2</sup> (20 × 50 m)/OTC, trong mỗi OTC điều tra các chỉ tiêu gồm: mật độ hiện tại ( $N_{ht}$ ) đường kính ngang ngực ( $D_{1,3}$ ) và chiều cao vút ngọn ( $H_{vn}$ ). Mật độ hiện tại ( $N_{ht}$ ) được điều tra theo phương pháp thống kê, đường kính được tính thông qua phép đo chu vi bằng thước dây, chiều cao đo bằng thước đo cao có độ chính xác đến dm.

- Xác định cây tiêu chuẩn: Trong ô tiêu chuẩn tạm thời, đo đếm tất cả các chỉ tiêu sinh trưởng của cây ( $D_{1,3}$ ,  $H_{vn}$ ,...), từ đó xác định cây tiêu chuẩn bình quân lâm phần. Cây chặt hạ là cây có giá trị  $D$ ,  $H$  gần bằng cây bình quân lâm phần. Tổng số chặt hạ 10 cây.

- Thu thập số liệu sinh trưởng: Sau khi chặt hạ, cây tiêu chuẩn được phát hết cành nhánh, đo chiều dài từ gốc chặt đến ngọn ( $L$ ,  $m$ ) bằng thước dây có độ chính xác 1 cm. Phân chia thân cây thành những phân đoạn có chiều dài  $L = 1$  m. Sau đó, cưa thớt giải tích tại các vị trí: 0,0 m; 1 m; 1,3 m; 2 m; 3 m; 4 m..., cho đến đoạn ngọn còn lại có chiều dài  $L_n \leq 1$  m. Ngoài

ra, để dò đỉnh sinh trưởng cho từng năm, tiến hành cưa thớt và đếm số vòng năm theo phân đoạn 0,5 m. Thớt giải tích được tập hợp theo cây tiêu chuẩn và được ghi chú thứ tự cây, vị trí thớt, hướng dốc của mặt thớt hướng về phía ngọn cây.

### 2.3. Phương pháp xử lý số liệu

- Xây dựng hàm sinh trưởng đối với cây bình quân: Từ số liệu về  $D_{1,3}$  (cm),  $H_{vn}$  (m) và  $V$  ( $m^3$ ) tương ứng với tuổi ( $A$ , năm), xây dựng mô hình sinh trưởng  $D_{1,3}$ ,  $H_{vn}$ ,  $V$  bằng 2 hàm sinh trưởng là hàm Schumacher và hàm Gompertz được tổng hợp trong bảng 1.

**Bảng 1.** Các hàm lý thuyết mô tả quá trình sinh trưởng

Chỉ tiêu khảo sát	Hàm Gompertz	Hàm Schumacher
Hàm sinh trưởng cơ bản	$Y = m \cdot e^{-b \cdot e^{-cA}}$ $Y^* = A^* + B^* X$ Với $Y^* = \ln\left(\ln\frac{m}{Y}\right)$	$Y = m \cdot e^{-b/A^c}$ $Y^* = A^* + B^* X$ Với $Y^* = \ln Y$
Dạng đường thẳng	$A^* = \ln m$ $B^* = -C$ $X = A$	$A^* = \ln m$ $B^* = -b$ $X = 1/A^c$
Tốc độ sinh trưởng	$Y' = Z_y = m \cdot b \cdot c \cdot e^{-cA - b \cdot e^{-cA}}$	$Y' = Z_y = m \cdot b \cdot c \cdot A^{-c-1} \cdot e^{-bA^c}$
Năng suất tối đa $Y'_{max}$	$Y'_{max} = m \cdot c / e$ $A_{(Y'_{max})} = \ln(b)/c$	$Y'_{max} = m \cdot (bc)^{\frac{1}{1+c}} \cdot \left(\frac{e}{1+c}\right)^{-\frac{1}{1+c}}$ $A_{(Y'_{max})} = \left(\frac{bc}{1+c}\right)^{1/c}$
Tăng trưởng bình quân	$\Delta Y = \frac{Y(A)}{A} - \frac{m \cdot e^{-b \cdot e^{-cA}}}{A}$	$\Delta Y = \frac{Y_A}{A} = \frac{m \cdot e^{-b/A^c}}{A}$ $\Delta = m \cdot (cbe)^{-\frac{1}{c}}$
Suất tăng trưởng	$P_Y = 100 \cdot \frac{Y'}{Y} = 100 \cdot b \cdot c \cdot e^{-cA}$	$P_Y = 100 \cdot \frac{Y'}{Y} = 100 \cdot c \cdot b \cdot A^{-c-1}$

Trong đó:  $Y$  là biến số  $D_{1,3}$ ,  $H_{vn}$ ,  $V$ ;  $A$  là tuổi;  $e$  là cơ số của lôgarit tự nhiên ( $e = 2,7182$ ).

Trong các hàm trên,  $m$  là giá trị cực đại của đại lượng sinh trưởng,  $b$  là tham số đặc trưng cho nhịp điệu sinh trưởng,  $b$  càng nhỏ đường cong sinh trưởng càng dốc và điểm uốn đến sớm, giá trị của đại lượng sinh trưởng tại đó càng lớn. Tham số  $c$  tương đối ổn định với từng đại lượng sinh trưởng. Hàm sinh trưởng được chọn trên cơ sở có hệ số xác định ( $R^2$ ) cao nhất.

- Xác định quá trình sinh trưởng: Sử dụng các hàm ( $D = f(A)$ ;  $H = f(A)$  và  $V = f(A)$ ) để khảo

sát sinh trưởng, xác định các giá trị trung bình:  $D$ ,  $H$ ,  $V$  ở những tuổi khác nhau. Đồng thời xác định lượng tăng trưởng thường xuyên và bình quân hàng năm:  $Z_D$ ,  $Z_H$ ,  $Z_V$ ;  $\Delta_D$ ,  $\Delta_H$ ,  $\Delta_V$  và suất tăng trưởng  $P_{d\%}$ ,  $P_{h\%}$ ,  $P_{v\%}$ . Tuổi ứng với  $Z_{Dmax}$ ,  $Z_{Hmax}$ ,  $Z_{Vmax}$  là thời điểm mà  $D$ ,  $H$ ,  $V$  chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Tuổi ứng với  $\Delta_{Vmax}$  là tuổi thành thực số lượng đối với rừng trồng thông.

- Sử dụng phần mềm SPSS 20.0 để phân tích quá trình sinh trưởng, tăng trưởng của các nhân tố điều tra lâm phần. Hàm được chọn là hàm sinh trưởng có giá trị  $R^2$  lớn nhất, các tham số được kiểm tra tồn tại trong tổng thể.

### III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 3.1. Thử nghiệm các hàm mô phỏng sinh trưởng

Quy luật sinh trưởng (D, H, V) cho cây bình quân được tổng hợp ở bảng 2.

**Bảng 2.** Sinh trưởng cây bình quân theo tuổi tại khu vực nghiên cứu

A	$\overline{D_{1,3}}$ (cm)	$\overline{H_{vn}}$ (m)	$\overline{V}$ (m <sup>3</sup> )
1	0	0,481	0,0009
2	1,490	1,811	0,0025
3	3,121	3,076	0,0026
4	4,562	4,113	0,0056
5	6,172	5,041	0,0104
6	7,619	5,787	0,0158
7	8,280	6,214	0,0221
8	8,898	6,307	0,0277
9	9,278	6,337	0,0326

Từ số liệu thực nghiệm so sánh kết quả phân tích số liệu của các hàm lý thuyết, từ đó chọn hàm phù hợp nhất để mô tả quy luật sinh trưởng

đường kính ( $D_{1,3}$ ), chiều cao ( $H_{vn}$ ) và thể tích ( $V$ ) bằng tiêu chuẩn  $R^2$ . Kết quả được trình bày trong bảng 3.

**Bảng 3.** Sự phù hợp của hàm lý thuyết mô tả quy luật sinh trưởng D, H, V

Hàm Gompertz $Y = b0 \cdot \exp(-b1 \cdot \exp(-b2 \cdot A))$					Hàm Schumacher $Y = b0 \cdot \exp(-b1/A^{b2})$			
Hàm y/x	b0	b1	b2	$R^2$	b0	b1	b2	$R^2$
D	9,85	5,37	0,50	0,997	15,26	5,34	1,12	0,997
H	6,61	4,18	0,56	0,998	11,03	4,67	1,09	0,993
V	0,12	7,24	0,27	0,995	0,52	9,95	0,58	0,995
Phương trình mô tả sinh trưởng $D = 9,85 \cdot \exp(-5,37 \cdot \exp(-0,50 \cdot A))$ $H = 6,61 \cdot \exp(-4,18 \cdot \exp(-0,56 \cdot A))$ $V = 0,12 \cdot \exp(-7,24 \cdot \exp(-0,27 \cdot A))$					Phương trình mô tả sinh trưởng $D = 15,26 \cdot \exp(-5,43/A^{1,12})$ $H = 11,03 \cdot \exp(-4,67/A^{1,09})$ $V = 0,52 \cdot \exp(-9,95/A^{0,58})$			

Khi thử nghiệm hai hàm cơ bản này cho thấy, mọi chỉ số sinh trưởng tăng trưởng đều thể hiện từ hàm cơ bản tức hàm sinh trưởng Y có thể tính được hàm tăng trưởng hay tốc độ sinh trưởng  $Y'$  ở bất kỳ thời điểm  $T_a$  nào, từ đó tính được lượng tăng trưởng tối đa  $Y'_{max}$ , xác định được điểm uốn sinh trưởng và các giá trị Y, X

của điểm uốn khi  $Y'' = 0$ , suy diễn được tăng trưởng bình quân  $\Delta y$ , và các hàm suất tăng trưởng  $P_y = Y'/Y$ .

Kết quả bảng 3 cho thấy, cả hai hàm lý thuyết đều mô tả tốt quá trình sinh trưởng D, H, V cho cây bình quân theo cấp kính với hệ số xác định

$R^2 \approx 0,981-0,999$ . Tuy nhiên, hàm Gompertz có nhược điểm là đồ thị mô phỏng quá trình sinh trưởng các nhân tố điều tra không xuất phát từ gốc tọa độ, khi  $X = 0$  thì  $Y = m.e^{-a} > 0$ , còn hàm Schumacher có ưu điểm là các đồ thị mô phỏng quá trình sinh trưởng xuất phát từ gốc tọa độ  $O(0,0)$ , có một điểm uốn, có một tiệm cận nằm ngang đáp ứng được yêu cầu biểu thị một đường cong sinh trưởng. Do vậy, hàm Schumacher là hàm được sử dụng để mô phỏng quy luật sinh trưởng, tăng trưởng rừng trồng Thông mã vĩ tại huyện Cao Lộc, tỉnh Lạng Sơn.

### 3.2. Nghiên cứu quy luật sinh trưởng và tăng trưởng

#### 3.2.1. Nghiên cứu sinh trưởng, tăng trưởng đường kính

Mô hình sinh trưởng  $\bar{D}$  rừng trồng Thông mã vĩ bằng hàm Schumacher có dạng:

$$D = 15,26 * \exp(-5,43/A^{1,12}) \tag{1}$$

Khi giải phương trình (1), có thể xác định được những đại lượng  $Z_d$ ,  $\Delta_d$  như sau:

$$Z_d = 15,26 * 5,34 * 1,12 * A^{(-1,12-1)} * \exp(-5,34 * A^{(-1,12)});$$

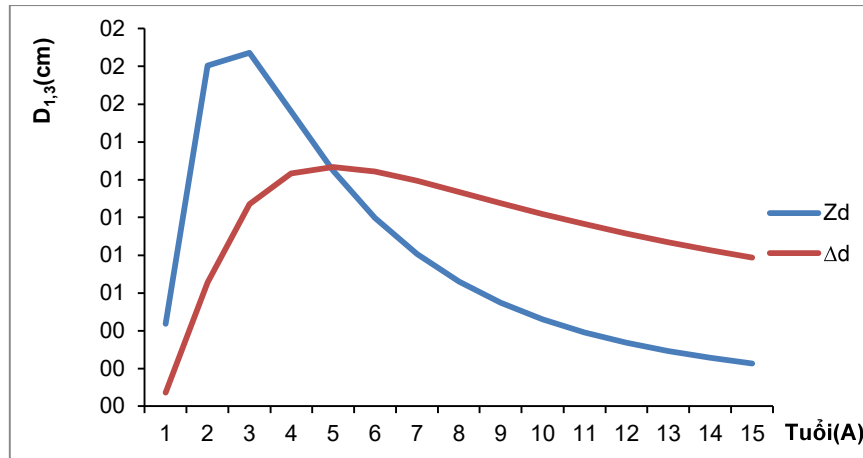
$$\Delta_d = (15,26 * \exp(-5,34/A^{1,12}))/A.$$

**Bảng 4.** Sinh trưởng và tăng trưởng đường kính rừng trồng Thông mã vĩ

A	$\bar{D}_{1,3}$ (cm)	$Z_d$ (cm/năm)	$\Delta_d$ (cm/năm)	$P_d\%$
1	0,35	0,44	0,07	100,00
2	1,49	1,80	0,66	94,42
3	3,12	1,87*	1,07	59,22
4	4,56	1,56	1,23	34,92
5	6,17	1,25	1,27*	22,10
6	7,62	1,00	1,24	14,99
7	8,28	0,81	1,19	10,74
8	8,90	0,66	1,14	8,04
9	9,28	0,55	1,08	6,21
10	10,19	0,46	1,02	4,94
11	10,61	0,39	0,96	4,01
12	10,98	0,34	0,91	3,32
13	11,29	0,29	0,87	2,79
14	11,57	0,26	0,83	2,37
15	11,81	0,23	0,79	2,04

Kết quả bảng 4 cho thấy, đường kính thân cây Thông mã vĩ sinh trưởng khá nhanh trong 6 năm đầu sau khi trồng, tăng trưởng mạnh nhất ở tuổi 2 - 3, sau đó tăng trưởng chậm dần, cụ thể như sau: Lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm  $Z_d$  đạt giá trị cực đại 1,87 (cm/năm) ở tuổi 3, sau đó giảm dần và ở tuổi 6 lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_d$  đạt 1,00 cm/năm. Từ tuổi 7 đến tuổi 15, lượng tăng trưởng thường

xuyên  $Z_d$  giảm từ 0,81 - 0,23 cm/năm, lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_d$  từ tuổi 7 - 15 bình quân là 0,44 cm/năm. Lượng tăng trưởng bình quân chung  $\Delta_d$  đạt giá trị cực đại ở tuổi 5 là 1,27 cm/năm, sau đó giảm dần từ tuổi 6 - 15. Theo đó, phương trình suất tăng trưởng có dạng  $P_d = 100 * 15,26 * 5,34 * A^{(-15,26-1)}$ . Đường cong giữa  $Z_d$  và  $\Delta_d$  được biểu diễn trong hình 1.



**Hình 1.** Đường cong biểu diễn lượng tăng trưởng thường xuyên (Z<sub>D</sub>) và tăng trưởng định kỳ (Δ<sub>D</sub>) rừng trồng Thông mã vĩ

**3.2.2. Nghiên cứu sinh trưởng, tăng trưởng chiều cao**

Mô hình sinh trưởng  $\bar{H}$  rừng trồng Thông bằng hàm Schumacher có dạng:

$$H = 11,03 * \exp(-4,67/A^{1,09})$$

Khi giải phương trình (2), có thể xác định được những đại lượng Z<sub>h</sub>, Δ<sub>h</sub> như sau:

$$Z_h = 11,03 * 4,67 * 1,09 * A^{(-1,09-1)} * \exp(-4,67 * A^{(-1,09)});$$

$$(2) \quad \Delta_h = (11,03 * \exp(-4,67/A^{1,09}))/A.$$

**Bảng 5.** Sinh trưởng và tăng trưởng chiều cao rừng trồng Thông mã vĩ

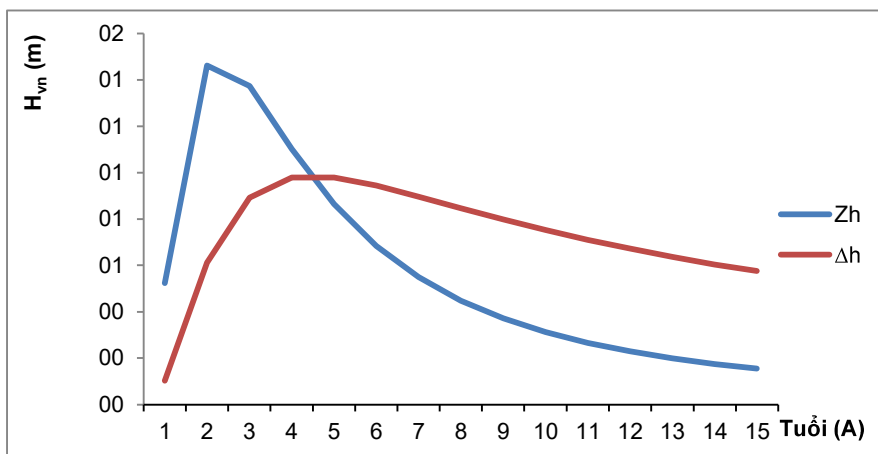
A	$\bar{H}_{vn}$ (m)	Z <sub>h</sub> (m/năm)	Δ <sub>h</sub> (m/năm)	P <sub>h</sub> %
1	0,48	0,52	0,103	100,00
2	1,81	1,46*	0,612	91,55
3	3,08	1,37	0,893	54,32
4	4,11	1,10	0,979	31,61
5	5,04	0,86	0,979*	19,98
6	5,79	0,68	0,944	13,59
7	6,21	0,55	0,897	9,77
8	6,31	0,45	0,847	7,33
9	6,34	0,37	0,798	5,69
10	7,53	0,31	0,753	4,53
11	7,81	0,27	0,710	3,69
12	8,06	0,23	0,672	3,06
13	8,27	0,20	0,637	2,58
14	8,46	0,17	0,604	2,20
15	8,62	0,15	0,575	1,90

Kết quả bảng 5 cho thấy, chiều cao cây sinh trưởng khá nhanh trong 6 năm đầu sau khi trồng, tăng trưởng mạnh nhất ở tuổi 2 - 3, sau đó tăng trưởng chậm dần, cụ thể như sau:

Lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm Z<sub>h</sub> đạt giá trị cực đại 1,46 (m/năm) ở tuổi 2, sau đó giảm dần và ở tuổi 4 lượng tăng trưởng thường xuyên Z<sub>h</sub> đạt 1,10 m/năm. Từ tuổi 5 đến tuổi 15,

lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_h$  giảm từ 0,86 cm/năm - 0,15 m/năm, lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_h$  từ tuổi 5 - 15 bình quân là 0,39 m/năm. Lượng tăng trưởng bình quân chung  $\Delta_h$  đạt giá trị cực đại ở tuổi 5 là 0,979 m/năm, sau

đó giảm dần từ tuổi 6 - 15. Theo đó, phương trình suất tăng trưởng có dạng  $P_h = 100 \cdot 11,03 \cdot 4,67 \cdot A^{(-11,03-1)}$ . Đường cong giữa  $Z_h$  và  $\Delta_h$  được biểu diễn trong hình 2.



**Hình 2.** Đường cong giữa lượng tăng trưởng thường xuyên ( $Z_H$ ) và tăng trưởng định kỳ ( $\Delta_H$ ) rừng trồng Thông mã vĩ

**3.2.3. Nghiên cứu sinh trưởng, tăng trưởng thể tích**

Khi giải phương trình (3), có thể xác định được những đại lượng  $Z_v$ ,  $\Delta_v$  như sau:

Mô hình sinh trưởng  $\bar{V}$  rừng trồng Thông mã vĩ bằng hàm Schumacher có dạng:

$$Z_v = 0,52 \cdot 9,95 \cdot 0,58 \cdot A^{(-0,58-1)} \cdot \exp(-9,95 \cdot A^{(-0,58)});$$

$$V = 0,52 \cdot \exp(-9,95/A^{0,58})$$

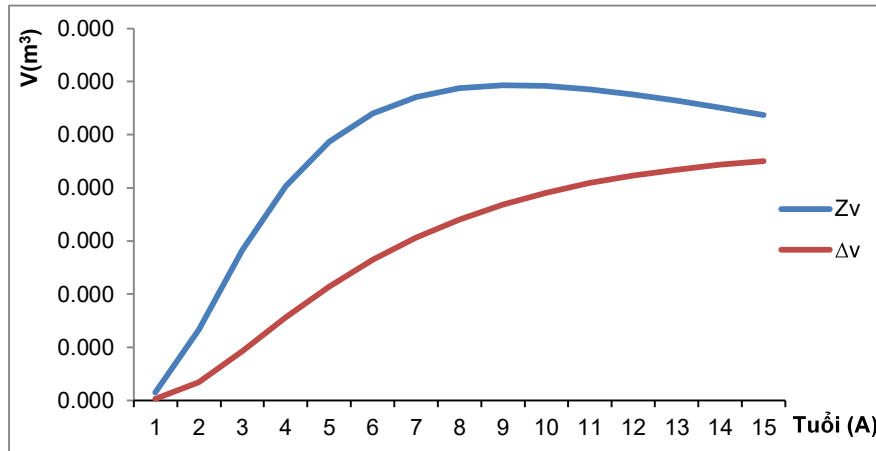
$$(3) \quad \Delta_v = (0,52 \cdot \exp(-9,95/A^{0,58})) / A.$$

**Bảng 6.** Sinh trưởng và tăng trưởng thể tích rừng trồng Thông mã vĩ

A	$\bar{V}$ (m <sup>3</sup> )	$Z_v$ (m <sup>3</sup> /năm)	$\Delta_v$ (m <sup>3</sup> /năm)	$P_v\%$
1	0,0009	0,00014	0,00034	100,00
2	0,0016	0,00133	0,00093	96,37
3	0,0026	0,00283	0,00156	75,35
4	0,0056	0,00404	0,00214	55,53
5	0,0104	0,00487	0,00265	41,79
6	0,0158	0,00540	0,00306	32,47
7	0,0221	0,00571	0,00341	25,98
8	0,0277	0,00587	0,00368	21,30
9	0,0326	0,00593*	0,00391	17,82
10	0,0391	0,00592	0,00409	15,17
11	0,0450	0,00585	0,00423	13,09
12	0,0508	0,00576	0,00435	11,44
13	0,0565	0,00564	0,00443	10,09
14	0,0621	0,00551	0,00450	8,99
15	0,0675	0,00537	0,00455	8,06

Kết quả bảng 6 cho thấy, lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_v$  tăng dần từ tuổi 1 cho đến tuổi 8 tương ứng là 0,00014 - 0,00587 m<sup>3</sup>/năm và đạt giá trị cực đại  $Z_v = 0,00593$  m<sup>3</sup>/năm ở tuổi 9, sau đó lượng tăng trưởng thường xuyên  $Z_v$  giảm dần từ tuổi 10 - 15 đạt giá trị tương ứng là 0,00592 - 0,00537 m<sup>3</sup>/năm. Lượng tăng

trưởng bình quân chung  $\Delta_v$  tăng dần từ tuổi 1 cho đến tuổi 15 đạt giá trị tương ứng là 0,00034 - 0,00455 m<sup>3</sup>/năm và vẫn tiếp tục tăng. Phương trình suất tăng trưởng có dạng  $P_v = 100 \cdot 0,52 \cdot 9,95 \cdot A^{(-0,52-1)}$ . Đường cong giữa  $Z_v$  và  $\Delta_v$  được biểu diễn trong hình 3.



**Hình 3.** Đường cong giữa lượng tăng trưởng thường xuyên ( $Z_v$ ) và tăng trưởng định kỳ ( $\Delta_v$ ) rừng trồng Thông mã vĩ

**IV. KẾT LUẬN**

Tăng trưởng  $Z_d$ ,  $Z_h$  đạt giá trị cực đại tương ứng 1,87 cm/năm ở tuổi 3 và 1,46 m/năm ở tuổi 2. Lượng tăng trưởng bình quân chung  $\Delta_d$ ,  $\Delta_h$  đạt giá trị cực đại tương ứng 1,27 cm/năm ở tuổi 5 và 0,979 m/năm ở tuổi 5. Suất tăng trưởng ( $P_d$ ) về đường kính ở tuổi 3 là 59,22%, sau đó giảm xuống còn 6,21% ở tuổi 9 và ở tuổi 15 là 2,04%. Suất tăng trưởng ( $P_h$ ) chiều cao ở tuổi 3 đạt 54,32%, ở tuổi 9 đạt 5,69% và tuổi 15 là 1,90%.

Sinh trưởng và tăng trưởng thể tích đến muộn hơn đường kính và chiều cao cây. Ở tuổi 9, thể

tích bình quân đạt 0,0326 m<sup>3</sup>, lượng tăng trưởng  $Z_v$  0,00593 m<sup>3</sup>/năm, suất tăng trưởng về thể tích  $P_v$  đạt 17,82%.

Thông mã vĩ là loài cây có chu kỳ kinh doanh lên tới 30 - 40 năm, do vậy, đối tượng nghiên cứu đang trong giai đoạn đầu của quá trình sinh trưởng và phát triển. Mặt khác, rừng trồng thông tại khu vực nghiên cứu đã được áp dụng biện pháp kỹ thuật chăm sóc như tỉa cành nhánh, tỉa thưa mật độ,... đây sẽ là cơ sở để thúc đẩy quá trình sinh trưởng, tăng trưởng đường kính, chiều cao và thể tích thân cây trước khi bước vào kỳ khai thác chính.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Deng C, Zhang Y, Lu JY, Froese RE, Ming A, Li QF, 2019. Thinning effects on the tree height-diameter allometry of Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.). *Forests*. 2019;10(12):1129.
2. Huang, X.; Huang, C.B.; Teng, M.J.; Zhou, Z.X, 2019. Researches progress in biomass and productivity of *Pinus massoniana*. *World For. Res.* 2019, 32, pp.53-58.
3. Jin A., 2012. Health assessment and vegetation recovery models study of *Pinus massoniana* plantation. Central South University of Forestry and Technology. PhD diss. (in Chinese.)



4. JIANG Dong, DING Fangyu, YAN Xiaoxi, 2017. Climate Response Analysis of *Pinus massoniana* Tree-Ring Chronology in Shuangpai County, China. *Journal of Resources and Ecology*. 8(2):pp.148-153.
5. Jianfeng Peng, Jiayue Cui, Jinbao Li, Meng Peng, Yongtao Ma, Xiaoxu Wei, Jinkuan Li, Xuan Li, Yamen Liu & Jiabin Li, 2024. Microenvironmental effects on growth response of *Pinus massoniana* to climate at its northern boundary in the Tongbai Mountains, Central China. *Journal of Forestry Research* . Volume 35, article number 26.
6. Pan, Y., Richard, B.A., Fang, J., Richard, H., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333, pp. 988-993
7. Quan W, Ding G, 2017. Root tip structure and volatile organic compound responses to drought stress in Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.). *Acta Physiol Plant*. 2017;39(3):258.
8. Siwen Su, Nan Deng, Fengfeng Ma, Qingan Song, Yuxin Tian, 2023. Crown and diameter structure of pure *Pinus massoniana* Lamb. forest in Hunan province, China. *Open Life Sciences* 18: 20220574.
9. Zhou, G., Liu, S., Li, Z., Zhang, D., Tang, X., Zhou, C., Yan, J., Mo, J., 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science* 314, 1417.
10. Zefang Zhao, Shigang Chao, Zebin Zhao, Meixiu Jing, 2024. Climate Change Threatens the Habitat of *Pinus massoniana* in China. *Forests* 2024, 15(2), 323.
11. Thông tư số 22/2021/TT-BNNPTNT của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn: Quy định danh mục loài cây trồng lâm nghiệp chính; công nhận giống và nguồn giống cây trồng lâm nghiệp.
12. Quyết định số 375/QĐ-UBND, ngày 03/3/2022 Quyết định công bố hiện trạng rừng tỉnh Lạng Sơn năm 2021.

**Email tác giả liên hệ:** nguyenconghoan@tuaf.edu.vn

**Ngày nhận bài:** 03/05/2024

**Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa:** 31/05/2024

**Ngày duyệt đăng:** 20/06/2024