

# TĂNG TRƯỞNG ĐƯỜNG KÍNH VÀ TỶ LỆ CHẾT CỦA CÂY CÁ THỂ Ở RỪNG TỰ NHIÊN TRUNG BÌNH VÀ GIÀU TẠI KHU BẢO TỒN THIÊN NHIÊN VĂN HÓA ĐỒNG NAI

Nguyễn Thanh Tuấn<sup>1</sup>, Trần Thanh Cường<sup>2</sup>, Trần Quang Bảo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai

<sup>2</sup>Phân viện Điều tra, Quy hoạch rừng Nam Bộ

<sup>3</sup>Trường Đại học lâm nghiệp

**Từ khóa:** Mô hình sinh trưởng cây cá thể, mô hình Logistic, rừng nhiệt đới, tỷ lệ sống

**Keywords:** Modeling individual tree growth, logistic regression models, tropical forest, survival probability

## TÓM TẮT

Mô hình tăng trưởng đường kính và tỷ lệ cây chết tự nhiên thường được sử dụng để dự đoán sản lượng và động thái của lâm phần, nó có ý nghĩa quan trọng trong quản lý rừng. Bài báo sử dụng dữ liệu được thu thập từ các ô định vị để xây dựng mô hình tăng trưởng đường kính và tỷ lệ cây chết cho trạng thái rừng trung bình và giàu tại Khu bảo tồn thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai. Dạng hàm phi tuyến và Logistic đã được lựa chọn để mô phỏng tăng trưởng đường kính (ZD) và ước lượng xác suất cây bị chết, với các biến dự báo là kích thước thân cây (đường kính: DBH), phẩm chất và mối quan hệ vị trí giữa các cây. Kết quả nghiên cứu cho thấy DBH và phẩm chất cây rừng là các biến có ý nghĩa quan trọng dự đoán ZD. Cụ thể, ZD tăng theo DBH, sau khi đạt giá trị lớn nhất ZD có xu hướng giảm và tiệm cận 0 khi DBH tiệm cận tối đa. Tỷ lệ cây bị chết trong chu kỳ điều tra ở rừng giàu và trung bình lần lượt là 10,94% và 15,67%. Ngoài ra, các nhân tố có mối tương quan chặt với xác suất cây chết bao gồm: DBH, chỉ số cạnh tranh tán và phẩm chất cây. Cụ thể, giai đoạn cây non xác suất chết tự nhiên thường cao, bước vào giai đoạn lâm phần ổn định xác suất cây chết giảm, nhưng khi cây già cỗi có xu hướng tăng trở lại. Phẩm chất là biến quan trọng ở các mô hình dự báo sinh trưởng cây cá thể, so với cây có phẩm chất tốt, ZD và tỷ lệ sống của những cây có phẩm chất trung bình và xấu giảm rõ rệt. Kết quả của nghiên cứu khẳng định các nhân tố điều tra như DBH, phẩm chất và chỉ số Hegyi có thể được sử dụng để dự đoán sinh trưởng cây cá thể ở rừng mưa nhiệt đới có cấu trúc phức tạp.

## Individual tree diameter increment and mortality models for medium and rich forest in Dong Nai Culture and Nature Reserve

Individual tree diameter increment and mortality models constitute an individual-tree growth model which can be used to predict stand yield and forest dynamic. Being able to predict tree diameter growth and the survival probability provides significant insights into forest management decision support. In this study, we used data from permanent sample plots to develop an individual tree growth and mortality models for the medium forest and the rich forest in Dong Nai Culture and Nature Reserve. Diameter increment equations were fitted by nonlinear models, while logistic regression models were used to estimate individual tree survival probability based on tree tree size, tree quality, competition, and relative position of trees in stands. The resulting models showed that the main determinants of tree growth were shown to be tree size variables (diameter at breast height: DBH) and tree quality. Specifically, with increasing DBH,

5-years diameter growth of a given tree increases and approach asymptotes. After reaching a peak, 5-years diameter growth decrease and approaches zero. During the five-year period, the observed trees died were 10.94% for the rich forest and 15.67% for the medium forest. Logistic regression analysis revealed that mortality rate were affected by DBH, distance dependent competition indices and tree quality. Moreover, the resulting models also showed that trees usually have relatively high mortality in the early stages. As trees increase in DBH, survival probability increases and becomes stable over the middle of the size range. At older stages, survival probability decreases again. Finally, these results suggest that both growth and mortality rates were affected by tree quality. For instance, diameter increment and survival rate in medium quality and bad quality are significantly lower than good quality trees. Our findings thus appear to support the critical assumption that tree size (DBH), tree quality and competition index can be used to predict DBH growth and survival probability of individual tree for complex stands of tropical forest.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô hình sinh trưởng là công cụ quan trọng, giúp ích cho công tác quản lý rừng theo hướng hiệu quả và bền vững (Tenzin *et al.*, 2017). Mô hình sinh trưởng thường được dùng trong dự báo tăng trưởng, sản lượng, cũng như động thái của lâm phần, nó được cấu thành bởi hai thành phần chính là tăng trưởng và tỷ lệ chết của từng cây (Zhang *et al.*, 1997). Trong đó, tăng trưởng của cây rừng chịu sự chi phối của rất nhiều yếu tố như: tuổi, kích thước, kiểu gene, điều kiện môi trường (đất đai), cạnh tranh về ánh sáng, nước và chất dinh dưỡng (Zhang *et al.*, 2017). Vì vậy, việc đưa đầy đủ các yếu tố trên vào dự đoán sẽ tăng độ chính xác của các mô hình dự báo sinh trưởng cây cá thể. Tuy nhiên, việc xác định các yếu tố như kiểu gene, điều kiện môi trường của tất cả các cây trong lâm phần ở ngoài thực địa cũng như trong phòng thí nghiệm là điều khó thực hiện và không khả thi. Vì vậy, rất khó để đưa tất cả các yếu tố trên vào mô hình dự đoán (Mitsuda *et al.*, 2002). Để đơn giản người ta thường sử dụng các chỉ tiêu đo đếm ngoài thực địa phản ánh khả năng chiếm lĩnh không gian dinh dưỡng của mỗi cây như: kích thước thân, tán cây và vị trí không gian để mô hình hóa tăng trưởng cây cá thể (Biging and Dobbertin, 1995).

Tỷ lệ cây chết tự nhiên là một trong những thành phần quan trọng trong mô hình sinh trưởng bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến tổ thành và cấu trúc rừng, cũng như gián tiếp đến sự biến đổi vòng tuần hoàn dinh dưỡng trong hệ sinh thái và lượng tăng trưởng hàng năm (Bertini *et al.*, 2019). Trong đó, mô hình dự đoán tỷ lệ cây chết tự nhiên có thể được xây dựng cho cấp độ lâm phần hoặc cá thể riêng lẻ (Clutter *et al.*, 1983). Ở cấp độ lâm phần thì mô hình dự đoán số cây chết trên một đơn vị diện tích dựa vào các đặc trưng như mật độ, tổng tiết diện ngang, chỉ số cấp đất (Clutter *et al.*, 1983). Ở cấp độ cá thể riêng lẻ, mô hình dự đoán khả năng chết của mỗi cây dựa vào các đặc trưng như đường kính, chiều cao, đường kính tán, phẩm chất cây (tán, thân, rễ), vị trí không gian (Temesgen & Mitchell, 2005; Jones *et al.*, 2019), sử dụng một số mô hình như: Noron thần kinh nhân tạo (Bayat *et al.*, 2019), phân loại phi tham số (Dobbertin and Biging, 1998), hàm phân bố xác suất (Buford and Hafley, 1985) và hồi quy (Strimbu *et al.*, 2017). Trong số đó hàm hồi quy Logistic thường được sử dụng rộng rãi và cho kết quả mô phỏng tốt đối với loại hình rừng tự nhiên hỗn loài và có cấu trúc phức tạp (Yahya *et al.*, 2014).

Những lâm phần có cấu trúc phức tạp giữa các cây luôn tồn tại sự sai khác về tuổi, loài, kích thước, thể trạng và đặc tính sinh thái (Temesgen & Mitchell, 2005). Ở những lâm phần đó, một số loài cây có thể tồn tại và sinh trưởng dưới tầng tán của cây khác, thậm chí trong những điều kiện môi trường xung quanh khác nhiệt không thuận lợi, trong khi một số loài khác thì ngược lại. Từ những lý luận trên cho thấy mô hình tăng trưởng và tỷ lệ bị chết cho từng cá thể cây riêng lẻ là vô cùng quý báu và cần thiết trong dự đoán sản lượng của cả lâm phần (Temesgen & Mitchell, 2005). Trước đây các mô hình sinh trưởng chủ yếu tập trung xây dựng cho đối tượng rừng trồng thuần loài, với loại hình rừng tự nhiên thì các nghiên cứu chỉ được tiến hành ở những thập niên gần đây và kết quả thu được còn hạn chế (Quinonez-Barraza *et al.*, 2018). Đặc biệt với thành phần loài cây và cấu trúc đa dạng như rừng tự nhiên ở nước ta thì số lượng các nghiên cứu về mô hình sinh trưởng và dự đoán sản lượng còn khá ít (Tan, 2010; Nguyễn Thị Thu Hiền, 2015). Khu Bảo tồn Thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai (KBT) là một trong những hệ sinh thái rừng nhiệt đới lá rộng thường xanh có giá trị đa dạng sinh học và bảo tồn cao với hơn 1.400 loài thực vật khác nhau, trong đó có nhiều loài động thực vật quý hiếm và nguy cấp. Sau hơn 15 năm thực hiện chủ trương đóng cửa rừng của Ủy ban nhân dân tỉnh Đồng Nai tài nguyên rừng của KBT đã từng bước được phục hồi về cả diện tích và chất lượng (Phân viện điều tra, 2008). Đánh giá chất lượng và dự báo xu hướng phát triển của rừng sau thời gian phục hồi là việc làm cần thiết cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý và quy hoạch các loại rừng tại KBT. Xuất phát từ những lý do trên bài báo tiến hành thử nghiệm xây dựng mô hình sinh trưởng cho cây riêng lẻ ở trạng thái rừng giàu và trung bình tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai, với mục tiêu bổ sung phương pháp luận cho việc mô phỏng

động thái rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở nước ta.

## II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Các ô tiêu chuẩn nghiên cứu được đặt tại xã Mã Đà - Khu bảo tồn thiên nhiên văn hóa Đồng Nai. Tọa độ địa lý: 11°08'55"-11°51'30" vĩ độ Bắc, 106°90'73" - 107°23'74" kinh độ Đông. Quần xã thực vật khu vực nghiên cứu là rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới với một số ưu hợp thực vật điển hình như: Chò chai (*Hopea recopei*), Huỳnh đường (*Dysoxylum loureiri*), Dầu song nòng (*Dipterocarpus dyeri*), Dầu con rái (*Dipterocarpus alatus*) và Bằng lăng (*Lagerstroemia calyculata*).

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Thiết kế ô mẫu và điều tra thực địa

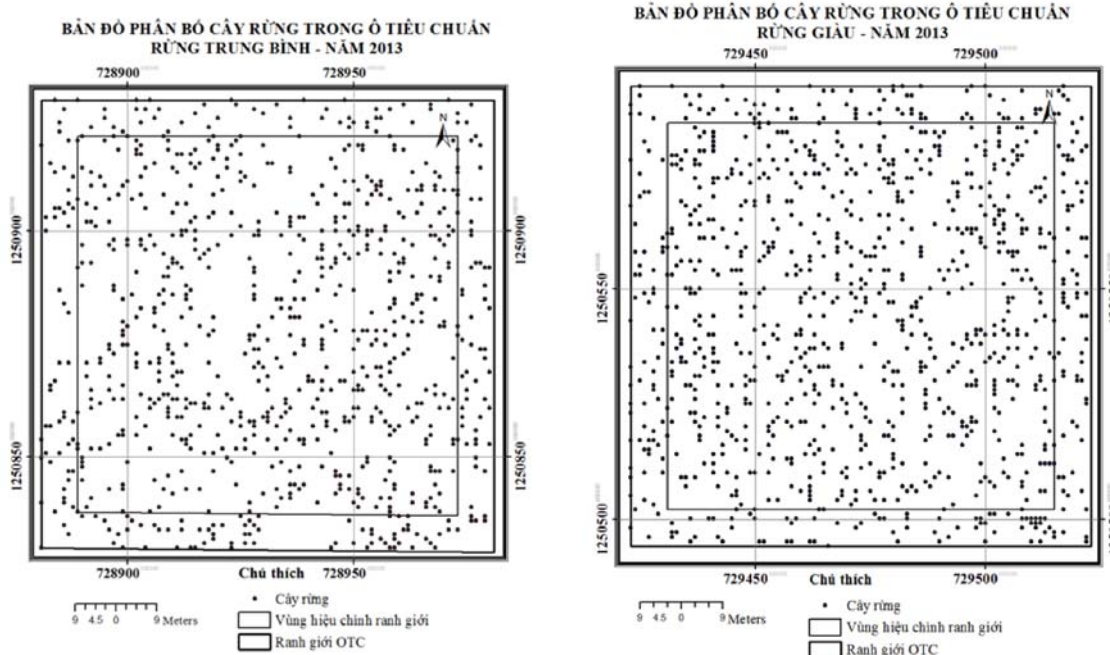
Nghiên cứu kế thừa bộ dữ liệu điều tra năm 2013 tại 2 OTC diện tích 1 ha (100 × 100 m) do Phân viện Điều tra Quy hoạch rừng Nam Bộ lập ở trạng thái rừng giàu và trung bình thuộc xã Mã Đà - Khu Bảo tồn Thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai. Dữ liệu điều tra cây gỗ có đường kính lớn hơn 5 cm bao gồm: Đường kính tại vị trí 1,3 m (DBH) và đường kính tán (Cr) được xác định bằng thước dây, chiều cao vút ngọn (H) được đo bằng thước Blume - Leiss, đồng thời xác định tọa độ đương đối của từng cây bằng thước dây và la bàn, sau đó dùng các điểm khống chế chuyển tọa độ cây về dạng hệ tọa độ VN-2000 (hình 1). Chất lượng cây rừng được phân thành 3 cấp:

+ Loại A (tốt): Thân cây thẳng, tròn đều, chiều cao dưới cành chiếm lớn hơn 50% chiều cao vút ngọn; không lỗi gỗ (không cành mấu to, sâu bệnh,...), hình thái tán lá từ loại 4 trở lên.

+ Loại B (trung bình): Thân không được thẳng đều như loại A, chiều cao dưới cành lớn hơn 50% chiều cao vút ngọn; ít lỗi gỗ (ít cành mấu to, sâu bệnh,...); hình thái tán lá từ loại 3 trở lên.

+ Loại C (xấu): Thân cong queo, chiều cao dưới cảnh thấp hơn 50% chiều cao vút ngọn; có nhiều lỗi gò, tán cây bị tổn thương.

Năm 2018, toàn bộ những cây trong 2 ô tiêu chuẩn ở lần điều tra thứ nhất được đo đếm lại các chỉ tiêu như đường kính, chiều cao, đường kính tán và đánh dấu những cây đã chết.



**Hình 1.** Sơ đồ phân bố cây rừng trong các OTC nghiên cứu

**2.2.2. Phương pháp phân nhóm loài**

Dựa vào các kết quả nghiên cứu của Tenzin và đồng tác giả (2017) khi tiến hành phân chia nhóm loài cho rừng tự nhiên với thành phần loài và cấu trúc phức tạp xây dựng mô hình tăng trưởng, bài báo tiến hành phân nhóm các loài dựa vào các biến dự đoán mô tả cấu trúc lâm phần, sinh trưởng và chất lượng cây rừng như: Đường kính trung bình, đường kính lớn nhất, nhỏ nhất, tăng trưởng 5 năm về đường kính trung bình và lớn nhất. Phương pháp phân nhóm được tiến hành theo 2 giai đoạn, đầu tiên sử dụng thuật toán K-means để phân chia số nhóm cho dữ liệu. Sau đó tiến hành phân tích có thứ bậc sử dụng thuật toán phân nhóm bao gồm các phương pháp phân tích cụm dựa vào khoảng cách: liên kết đơn “single linkage”, liên kết hoàn toàn “complete linkage”, liên kết trung bình “average linkage” và phương pháp phân tích cụm dựa vào phương sai (thủ tục Ward) để tiến hành chọn số cụm thích hợp nhất cho dữ liệu.

**2.2.3. Cách tính toán các chỉ số cạnh tranh**

Chỉ số cạnh tranh (CI) thể hiện mức độ cạnh tranh của các cây lân cận đối với cây mục tiêu, chỉ số cạnh tranh càng lớn chứng tỏ cây mục tiêu chịu sự chèn ép của các cây lân cận càng mạnh mẽ. Nghiên cứu lựa chọn chỉ số cạnh tranh phụ thuộc vào khoảng cách Hegyi (1974) để biểu thị cường độ cạnh tranh giữa các cây cá thể trong lâm phần.

$$HegyiD = \sum_{j=1}^n \frac{DBH_j}{DBH_i} \times \frac{1}{L_{ij}}$$

$$HegyiCr = \sum_{j=1}^n \frac{Cr_j}{Cr_i} \times \frac{1}{L_{ij}}$$

DBH<sub>i</sub>, Cr<sub>i</sub>: đường kính ngang ngực và đường kính tán của cây mục tiêu; DBH<sub>j</sub>, Cr<sub>j</sub>: đường kính ngang ngực và đường kính tán của cây láng giềng; L<sub>ij</sub> là khoảng cách giữa cây mục tiêu và cây láng giềng. Căn cứ nghiên cứu của Nguyễn Thanh Tuấn và đồng tác giả (2017)

đối với trạng thái rừng tự nhiên tại khu vực nghiên cứu thì những cây có phạm vi bán kính 8 (m) có sự ảnh hưởng cạnh tranh đối với cây mục tiêu. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng khoảng cách 8 (m) để xác định các cây cạnh tranh.

Để loại trừ sai số do ảnh hưởng của các cây ngoài OTC tới cây mục tiêu, nghiên cứu chỉ lựa chọn cây mục tiêu là những cây nằm trong OTC và cách ranh giới của OTC là 8 m, còn cây lân cận là toàn bộ những cây có trong ô tiêu chuẩn có quan hệ cạnh tranh không gian dinh dưỡng với cây mục tiêu.

**2.2.4. Phương pháp mô hình hóa tăng trưởng của đường kính**

Xác định tăng trưởng đường kính là cơ sở để đưa ra dự đoán sự thay đổi cấu trúc lâm phần chính xác và nắm được quy luật sinh trưởng của rừng. Đối với loại hình rừng tự nhiên tăng trưởng đường kính (ZD) có thể được dự đoán thông qua các hàm thực nghiệm với các biến là chỉ tiêu kích thước thân, chất lượng và vị thế không gian dinh dưỡng của cây (Kuehne *et al.*, 2019):

$$ZD = \exp(a + b \times SIZE + c \times COMP + d \times QUAL + e \times GROUP) \quad (1)$$

*Trong đó:* ZD là tăng trưởng định kỳ 5 năm về đường kính; SIZE hàm số mô tả kích thước lớn nhỏ cây rừng, COMP hàm số phản ánh khả năng cạnh tranh không gian dinh dưỡng của cây rừng; a, b, c, d, e là tham số của phương trình.

Nghiên cứu sử dụng đường kính ngang ngực (DBH) trong mô hình để phản ánh kích thước lớn nhỏ của cây:  $b \times SIZE = b_1 \times DBH + b_2 \times DBH^2 + b_3 \times \ln DBH$

Hàm của chỉ số cạnh tranh:  $c \times COMP = c_1 \times H + c_2 \times Cr + c_3 \times HegyiD + c_4 \times HegyiCr$

*Trong đó:* H là chiều cao vút ngọn, Cr là đường kính tán, HegyiD và HegyiCr là chỉ số cạnh tranh Hegyi.

QUAL là phẩm chất cây, bao gồm biến phân loại: “tốt”, “trung bình” và “xấu”.

GROUP là nhóm loài cây dựa vào kết quả phân chia các nhóm có sự đồng nhất về tăng trưởng.

Trong mô hình đa biến hệ số xác định ( $R^2$ ) tăng theo số biến phụ thuộc được đưa vào để dự đoán, nhưng không thể nói mô hình đó khả năng mô phỏng tốt nhất, bởi vì một số biến độc lập ít có ý nghĩa hoặc không có tác dụng giải thích biến cần dự đoán. Vì vậy, nguyên tắc xây dựng phương trình dự đoán là ưu tiên các mô hình ít biến dự đoán. Mức độ phù hợp của mô hình dự đoán được đánh giá theo tiêu chuẩn thông tin Akaike (AIC). Mô hình được lựa chọn cuối cùng là mô hình có AIC thấp nhất (Ohno *et al.*, 2009).

Ngoài ra, nghiên cứu cũng sử dụng phương pháp chọn biến từng bước để lựa chọn những biến dự đoán hữu ích đưa vào mô hình, kết hợp với yếu tố khuyếch đại phương sai (VIF) để loại bỏ những biến có quan hệ cộng tuyến tính mạnh với nhau.

$$VIF(i) = \frac{1}{1 - R^2(i)} \quad (2)$$

*Trong đó:*  $R^2(i)$  = hệ số tương quan giữa biến độc lập thứ i với các biến độc lập khác;  $VIF(i)$  là trị số nghịch đảo của độ chấp nhận, độ chấp nhận của biến thứ i được tính nhằm xác định biến i có ý nghĩa hay không, hay nó có thể được đưa vào mô hình hay không.  $VIF(i)$  được dùng để tính phương sai cho hệ số hồi quy thứ i. Khi độ chấp nhận nhỏ thì  $VIF(i)$  sẽ lớn. Nói khác đi, khi  $VIF(i)$  lớn thì hệ số hồi quy thứ i biến động mạnh. Sự biến động mạnh của hệ số hồi quy thứ i cho biết biến này có ý nghĩa kém trong mô hình.  $VIF < 10$ , biến độc lập không tồn tại quan hệ cộng tuyến tính,  $VIF > 10$  biến độc lập có quan hệ cộng tuyến tính mạnh.

**2.2.5. Phương pháp mô hình hóa tỷ lệ chết**

Tăng trưởng đường kính và cây bị chết là hai quá trình song song tồn tại trong một lâm phần rừng tự nhiên và tác động qua lại lẫn nhau. Trong bài báo này để trả lời câu hỏi trạng thái cây rừng (sống hay chết) sau chu kỳ 5 năm,

tỷ lệ tử vong hoặc tỷ lệ sống được mô phỏng bằng hàm Logistic:

$$P_s = \left( \frac{1}{1 + e^{\beta X}} \right)^L \quad (3)$$

Trong đó:  $\beta X$  là tổ hợp của vector tham số  $\beta$  và vector các biến độc lập  $X$ ,  $L$  là số năm trong chu kỳ điều tra,  $P_s$  là tỷ lệ sống dự đoán trong toàn chu kỳ. Với cây sống, bắt đầu chu kỳ điều tra  $L=0$ ,  $P_s=1$ , khi  $L$  tăng lên giá trị giảm và tiến về 0.

Công thức trên giả thuyết là ước tính tỷ lệ sống hàng năm nhưng trong thực tế thường mục tiêu là ước tính tỷ lệ sống cho một chu kỳ chính vì vậy  $L$  thường được cho là 1. Mặt khác nghiên cứu này biến độc lập  $X$  bao gồm các biến chỉ tiêu kích thước, chất lượng cây rừng và chỉ số cạnh tranh. Cụ thể

$$\beta X = a + b \times \text{SIZE} + c \times \text{COMP} + d \times \text{QUAL} + e \times \text{GROUP}$$

Kết hợp các thành phần công thức (2) được viết đầy đủ là:

$$P_s = \left( \frac{1}{1 + e^{a + b \times \text{SIZE} + c \times \text{COMP} + d \times \text{QUAL} + e \times \text{GROUP}}} \right) \quad (4)$$

Và xác suất cây bị chết  $P_m = 1 - P_s$ .

Để đánh giá độ phù hợp tổng quát của mô hình (4), tác giả dùng đường cong ROC và giá trị của phần diện tích bên dưới các đường cong tỷ lệ (Areas Under Curves - AUC) như một thông số định lượng để kiểm chứng mức độ chính xác của mô hình.

Tác giả sử dụng hàm glm trong R (R Core Team, 2019) với log-link function và phân bố gamma (gamma distribution) để ước lượng các tham số của mô hình (1), với logit-link function để thực thi mô hình (4) (Tenzin *et al.*, 2017).

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Phân nhóm loài theo đặc trưng sinh trưởng

Kết quả phân tích nhóm loài cây theo đặc trưng sinh trưởng về đường kính cho thấy khu vực nghiên cứu có 80 loài cây được chia thành 2 nhóm: nhóm 1 gồm 72 loài, nhóm 2 gồm 8 loài (bảng 1). Trong các trạng thái rừng nghiên cứu nhóm 1 là cây gỗ kích thước nhỏ đến gỗ lớn, tốc độ sinh trưởng chậm, nhóm 2 bao gồm những loài cây gỗ lớn, tầng tán trên và sinh trưởng nhanh. Các đặc trưng điều tra cho từng nhóm ở trạng thái rừng giàu và rừng trung bình được thể hiện ở bảng 2.

**Bảng 1.** Kết quả phân nhóm loài theo phân tích nhóm các trạng thái rừng nghiên cứu

TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học	TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học
<b>Nhóm 1</b>			42	Nhọc lá nhỏ	<i>Polyalthia cerasoides</i> Roxb.
1	Bằng lăng	<i>Lagerstroemia speciosa</i> (L.) Pers.	43	Quế rừng	<i>Cinnamomum iners</i> Reinw.
2	Bình linh	<i>Vitex</i> spp.	44	Chò nhai	<i>Anogeissus acuminata</i> DC.
3	Bồ an	<i>Colona auriculata</i> (Desf.) Craib	45	Rối mật	<i>Garcinia ferrea</i> Pierre.
4	Bời lời	<i>Litsea</i> spp.	46	Sằm	<i>Memecylon edule</i> Roxb.
5	Bứa	<i>Garcinia</i> spp.	47	Săng đen	<i>Diospyros venosa</i> Wall.
6	Bùi	<i>Ilex confertiflora</i> Merr.	48	Săng mã	<i>Carallia brachiata</i> Lour.
7	Bưởi bung	<i>Macclurodendron oligophlebia</i>	49	Săng mây	<i>Sageraea elliptica</i> A. DC.
8	Cà đuối	<i>Cryptocarya obovata</i>	50	Săng trắng	<i>Lophopetalum duperreanum</i>
9	Cám	<i>Parinari annamensis</i> Hance.	51	Sấu	<i>Dracuntomelon duperreanum</i>
10	Cắm thị	<i>Diospyros maritima</i> Bl.	52	Sến mù	<i>Shorea roxburghii</i> G. Don
11	Cáp gai nhỏ	<i>Capparis micrantha</i> DC.	53	Sỗ bà	<i>Dillenia indica</i> L.
12	Chua khệt	<i>Glennia philippinensis</i> Radlk.	54	Sơn rừng	<i>Rhus succedana</i> L.
13	Cò ke	<i>Grewia tomentosa</i> Roxb.	55	Sống rần	<i>Albizia procera</i> Roxb.

TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học	TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học
14	Cọc rào	<i>Jatropha curcas</i> L.	56	Sung	<i>Ficus racemosa</i> L.
15	Cóc rừng	<i>Spondias pinnata</i> Koenig & L.f.	57	Tai nghe	<i>Aporusa ficifolia</i> H. Baillon.
16	Cồng	<i>Calophyllum</i> spp.	58	Thành ngành	<i>Cratoxylon formosum</i> Jack.
17	Cù đèn Delpy	<i>Croton delpyi</i> Gagn.	59	Thanh thất	<i>Ailanthus malabarica</i> D.C
18	Cuống vàng	<i>Gonocaryum lobbianum</i>	60	Thị rừng	<i>Diospyros rubra</i> Lec.
19	Đại phong tử	<i>Hydnocarpus anthelmintica</i>	61	Trâm	<i>Syzygium</i> spp.
20	Dâu da	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	62	Trâm vỏ đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i> L.
21	Dầu rái	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb.	63	Trường	<i>Nephelium</i> spp.
22	Dẻ	<i>Castanopsis</i> spp.	64	Tử vi	<i>Lagerstroemia indica</i> L.
23	Gáo	<i>Adina polycephala</i> Benth	65	Vàng nghệ	<i>Garcinia gaudichaudii</i> Planch.
24	Gội	<i>Aglaia</i> spp.	66	Vàng nhựa	<i>Garcinia vilersiana</i> Pierre
25	Gòn rừng	<i>Bombax ceiba</i>	67	Vạng trứng	<i>Endospermum chinense</i> Benth.
26	Huỳnh đăng	<i>Dysoxylum loureirii</i> Pierre.	68	Vây ốc	<i>Dalbergia stipulacea</i> Roxb.
27	Huỳnh nương	<i>Ternstroemia penangiana</i>	69	Vên vên	<i>Anisoptera costata</i> Korth.
28	Đa	<i>Ficus</i> spp.	70	Xoài rừng	<i>Mangifera minutifolia</i> Evr.
29	Lầu tấu	<i>Vatica</i> spp.	71	Xương cá	<i>Canthium dicoccum</i> Gaertn
30	Lộc vừng	<i>Barringtonia acutangula</i>	72	Chò chai	<i>Shorea thorelii</i> Pierre
31	Lông mang	<i>Pterospermum</i> sp.	<b>Nhóm 2</b>		
32	Lý	<i>Syzygium jambos</i>	1	Cây	<i>Irvingia malayana</i> Oliv.
33	Mã tiền	<i>Strychnos nux-vomica</i>	2	Chiêu liêu nghệ	<i>Terminalia triptera</i> Stapf.
34	Mai	<i>Ochna integerrima</i> Lour.	3	Dái ngựa	<i>Swietenia mahogani</i> L
35	Máu chó	<i>Knema pierrei</i> Warb.	4	Dầu rái	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb.
36	Mít nài	<i>Artocarpus asperula</i> Gagnep	5	Côm Đồng Nai	<i>Elaeocarpus tectorius</i> Lour.
37	Mít rừng	<i>Artocarpus chaplasha</i> Roxb.	6	Sấu tía	<i>Sandoricum koetjape</i> Burm.
38	Mò cua	<i>Alstonia scholaris</i>	7	Lim xẹt	<i>Peltophorum pterocarpum</i> DC.
39	Nhãn rừng	<i>Nephelium</i> spp.	8	Kháo	<i>Machilus</i> spp.
40	Nhọ nôi	<i>Diospyros apiculata</i> Hieron.			
41	Nhọc	<i>Polyalthia</i> spp.			

**Bảng 2.** Chi tiêu điều tra các nhóm loài cây ở trạng thái rừng giàu và trung bình

Chỉ tiêu điều tra	Rừng trung bình		Rừng giàu	
	Nhóm 1	Nhóm 2	Nhóm 1	Nhóm 2
DBH (cm)	13,19±7,92 (6,05-65,89)	33,6±19,21 (6,30-79,58)	13,1±7,73 (6,05-56,66)	29,14±17,34 (6,37-71,78)
H (m)	11,59±3,31 (2,1-21,58)	17,44±4,32 (8,09-23,4)	13,35±5,01 (2,5-34,00)	19,74±6,75 (7,2-33,5)
CrD (m)	1,96± 0,55 (0,7-5,51)	3,34±1,29 (1,49-6,43)	1,23±0,39 (0,75-3,38)	2,20±0,86 (0,89-4,13)
ZD (cm)	1,01±1,32 (0,01-10,85)	3,55±2,54 (0,34-8,08)	0,94±1,10 (0,01-7,83)	2,18±2,10 (0,02-7,70)
HegyID	6,17±3,64 (0,66-22,64)	2,80±2,60 (0,32-11,64)	7,39±3,94 (1,05-21,74)	4,09±3,84 (0,65-17,42)
HegyCr	5,00±2,05 (0,75-19,96)	3,24±1,67 (0,56-7,2)	6,03±2,26 (1,51-16,49)	4,08±2,42 (1,1-10,57)

Ghi chú: Giá trị trung bình ± Sai số (giá trị nhỏ nhất - giá trị lớn nhất).

Đường kính lớn nhất loài đạt được trong chu kỳ nghiên cứu ở mỗi nhóm loài tương đối đồng đều, cụ thể: nhóm 1 là 65,89 (cm) và 56,66 (cm), nhóm 2 là 79,58 (cm) và 71,78 (cm) theo thứ tự cho 2 trạng thái giàu và trung bình. Giá trị bình quân về đường kính ngang ngực, đường kính tán, chiều cao vút ngọn và tăng trưởng đường kính chu kỳ 5 năm của nhóm 2 cao hơn nhóm 1 ở cả 2 trạng thái rừng. Cụ thể, lượng tăng trưởng thường xuyên định kỳ nhóm 2 cao gấp 2-3 lần nhóm 1. Ngược lại, chỉ số cạnh tranh HegyiD và HegyiCr ở nhóm 1 có xu thế cao hơn nhóm 2 khoảng 1,5 lần. Từ kết quả cho thấy, nhóm 2 bao gồm những loài cây có kích thước thân và tán lớn, sinh trưởng nhanh ở vị trí thuận lợi ít bị cạnh tranh không gian dinh dưỡng, chiếm lĩnh ưu thế sinh thái trong quần xã.

### 3.2. Mô hình tăng trưởng đường kính

Mối quan hệ giữa một số nhân tố điều tra với tăng trưởng đường kính thể hiện ở hình 2. Kết quả của phương trình hồi quy cho từng trạng thái rừng cho thấy tăng trưởng đường kính cây cá thể có thể được dự đoán từ kích thước thân cây (DBH,  $DBH^2$ ), phẩm chất và nhóm loài cây (bảng 3). Cụ thể, hệ số tương quan  $R^2$  biến động từ 0,36-0,41, điều đó có nghĩa là 36 - 41% biến động của ZD được giải thích qua các biến dự đoán. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Nguyễn Thị Thu Hiền (2015) khi xác định phương trình dự báo ZD ở rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở miền bắc nước ta với  $R^2$  giao động 0,19-0,43. Nhưng thấp hơn kết quả nghiên cứu của Tan (2010) khi lập mô hình ZD rừng khộp ở Tây Nguyên với  $R^2$  dao động 0,48 - 0,54. Qua các kết quả nghiên cứu cho thấy, so với đối tượng rừng thuần loài đều tuổi thì mô hình ZD cho đối tượng rừng tự nhiên hỗn loài hệ số tương quan thấp hơn, bởi sự biến động lớn giữa các loài và giữa các cá thể do điều kiện môi trường gây nên.

Kết quả của mô hình hồi quy còn chỉ ra rằng tăng trưởng và kích thước cây rừng có quan hệ

chặt chẽ (hình 2). Cụ thể, với sự tăng lên của DBH thì tăng trưởng đường kính tăng theo và đạt cực đại ở cấp DBH = 60 (cm) đối với trạng thái rừng trung bình và DBH = 40 (cm) tại trạng thái rừng giàu và sau đó tăng trưởng giảm dần và tiến về 0 khi DBH đạt 80-100 (cm). Kết quả này đồng nhất với nghiên cứu của một số tác giả trong nước như Nguyễn Thị Thu Hiền (2015) khi xác định mô hình tăng trưởng cho một số nhóm loài cây tại khu vực miền Bắc ở nước ta cho thấy tăng trưởng đường kính của cây tăng dần theo độ lớn của thân (DBH) đạt cực đại tại DBH = 30-70 (cm) tùy thuộc vào từng nhóm loài, sau đó giảm dần và tiệm cận với 0 khi đạt kích thước DBH = 100 (cm). Tương tự trên thế giới, đối với rừng tự nhiên lá rộng ở Bhutan, Tenzin và đồng tác giả (2017) cho thấy ZD đạt cực đại khi DBH đạt 55 đến 70 (cm). Kết quả của nghiên cứu phù hợp với quy luật sinh trưởng của cây rừng, mỗi loại cây có một tuổi thành thực nhất định, ở giai đoạn cây còn non trước tuổi thành thực thì cây tăng trưởng nhanh và vượt qua tuổi thành thực cây sinh trưởng chậm dần lại và tiệm cận về 0 khi cây đạt kích thước tối đa (Adame *et al.*, 2014).

Từ phương trình tăng trưởng của đường kính mỗi trạng thái rừng cho thấy, tăng trưởng của rừng trung bình, ZD cực đại tại 7 (cm) cao hơn so với trạng thái rừng giàu, ZD cực đại ở 4 (cm) (hình 03). Mặt khác, tăng trưởng của nhóm loài cây 2 cao hơn nhóm loài cây 1 lần lượt là 2,42 lần và 1,69 lần ở trạng thái rừng trung bình và rừng giàu. Mô phỏng mô hình tăng trưởng đường kính ở cấp độ cây cá thể đối với rừng mưa nhiệt đới là một nhiệm vụ rất khó khăn do có quá nhiều nhân tố ảnh hưởng đến quá trình sinh trưởng cũng như thiếu dữ liệu về đối tượng nghiên cứu (Gourlet-Fleury & Houllier, 2000). Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ tăng trưởng đường kính ở các nhóm loài là khác nhau, nó khẳng định lại luận điểm rằng biến động giữa các loài trong tốc độ sinh trưởng đường kính là một trong những nhân tố



quan trọng để phân nhóm loài chức năng (Baker *et al.*, 2003).

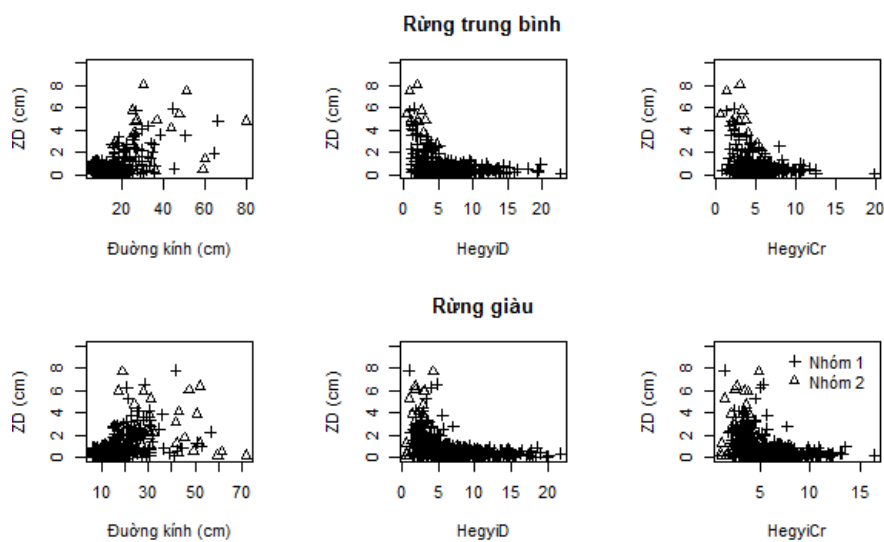
Ngoài yếu tố loài và tuổi cây, tăng trưởng cây rừng còn chịu ảnh hưởng bởi phẩm chất của cây, những cây phẩm chất tốt tán thường có bề mặt diện tích tiếp xúc với ánh sáng lớn, cân đối do vậy lợi thế trong việc hấp thụ ánh sáng và chiếm lĩnh không gian dinh dưỡng cho quá trình quang hợp, thúc đẩy quá trình sinh trưởng (Ohno *et al.*, 2009). Kết quả tại bảng 2 cho thấy, phẩm chất cây ảnh hưởng tới tăng

trưởng đường kính rõ rệt, tại trạng thái rừng trung bình, so với cây phẩm chất loại a thì loại b và c giảm lần lượt là 14,79% và 27,26%, hơn thế nữa sự sai khác giữa các phẩm chất cây là có ý nghĩa về mặt thống kê ( $P < 0,05$ ). Ở trạng thái rừng giàu, so với cây phẩm chất a thì tăng trưởng của cây phẩm chất c giảm 24,57% và sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê ( $P < 0,05$ ), ngược lại phẩm chất loại b giảm 1,33% nhưng sự sai khác giữa chúng là không có ý nghĩa.

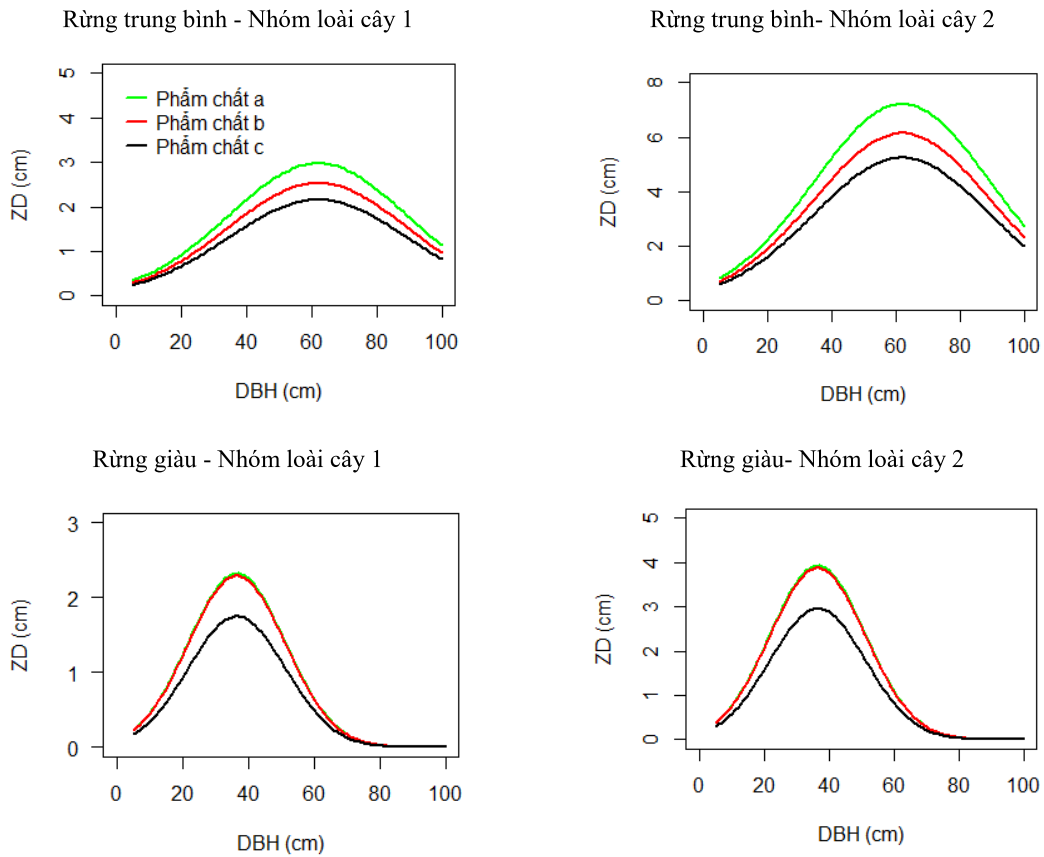
**Bảng 3.** Ước lượng các tham số mô hình tăng trưởng đường kính, các tham số tồn tại ở mức ý nghĩa  $\alpha < 0,05$  và  $VIF < 10$ .

Tham số		Rừng trung bình		Rừng giàu	
		Hệ số	Sai tiêu chuẩn	Hệ số	Sai tiêu chuẩn
Hằng số	a	-1,4719939	0,1623158	-2,2567882	0,162116
DBH	b1	0,0827052	0,0135479	0,1694024	0,0135563
DBH <sup>2</sup>	b2	-0,0006672	0,0002327	-0,0023153	0,0002546
Phẩm chất: trung bình	d1	-0,1600573	0,109216	-0,0134209 <sup>ns</sup>	0,1045775
Phẩm chất: xấu	d2	-0,3183041	0,1620743	-0,2819526	0,1423986
Nhóm: Nhóm 2	e1	0,8849223	0,2789867	0,5253698	0,1879601
Fit statistics					
N	406			489	
R <sup>2</sup>	0,36			0,41	
AIC	380,2			505,84	
RMSE	0,7875			0,8625	

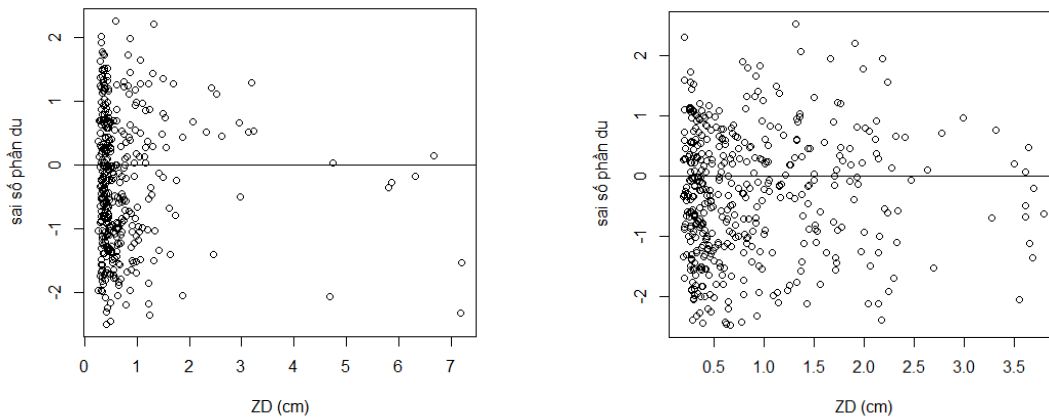
<sup>ns</sup>: Hệ số không tồn tại ở mức  $\alpha < 0,05$ .



**Hình 2.** Mối quan hệ giữa tăng trưởng đường kính (ZD) và một số nhân tố điều tra



**Hình 3.** Tăng trưởng đường kính của 2 nhóm loài ở các cấp chất lượng cây rừng



**Hình 4.** Biểu đồ phân tán giữa các giá trị phân dư chuẩn hóa và giá trị ZD dự đoán

Mặt khác, đồ thị phân tán giữa các phân dư chuẩn hóa và giá trị dự đoán ZD giúp kiểm tra giả định dữ liệu hiện tại có vi phạm giả định liên hệ tuyến tính hay không (hình 4). Đồ thị

cho thấy các giá trị phân dư phân tán ngẫu nhiên trong một vùng giới hạn -2 đến 2 xung quanh đường hoành độ 0, cho nên giả định quan hệ tuyến tính được chấp nhận.

### 3.3. Mô hình quá trình cây chết

Tỷ lệ cây chết thường xuyên hàng năm ở rừng tự nhiên biến động từ 1-5% (Nguyễn Thị Thu Hiền, 2015). Tương tự, kết quả của nghiên cứu này cho thấy, tỷ lệ số cây chết trong chu kỳ điều tra 2013-2018 là 15,67% (3,13%/năm) ở trạng thái rừng trung bình và 10,94% (2,19%/năm) ở trạng thái rừng giàu (bảng 4). Mặt khác, tỷ lệ chết có sự khác nhau rõ rệt giữa các cấp chất lượng cây rừng ( $P < 0,05$ ). Cụ thể, tỷ lệ chết tăng dần từ cấp a đến cấp c với tỷ lệ chết ở cấp c gấp 2,7 lần cấp a ở cả 2 trạng thái rừng nghiên cứu. Những cây phẩm chất kém thể hiện thông qua hình thái bên ngoài như thân, tán không cân đối và bị tổn thương, dẫn đến khả năng cố định carbon bị suy giảm, hiệu suất quang hợp thấp, dẫn đến cây sinh trưởng chậm hoặc bị chết (Manion, 1981). Renaud và Mauffette (1991) thông qua nghiên cứu chỉ ra rằng tán lá bị tổn thương làm giảm hàm lượng đường trong cây dẫn đến giảm sức sống ở loài cây Phong (*Acer saccharum*). Do vậy, phẩm chất cây thường được sử dụng trong các nghiên cứu về mô hình tỷ lệ sống chết (Tominaga *et al.*, 2008; Ohno *et al.*, 2009).

Kết quả lựa chọn các biến số trong mô hình Logistic dự đoán xác suất cây chết được thể hiện ở bảng 5. Ở trạng thái rừng trung bình, mô hình xác suất cây chết bao gồm biến phẩm chất cây và chỉ số cạnh tranh tán cây (Hegyicr).

Xác suất cây bị chết tỷ lệ nghịch với chỉ số Hegyicr, cụ thể tỷ lệ chết giảm 65% khi chỉ số Hegyicr tăng 5 lần. Đối với trạng thái rừng giàu, mô hình dự đoán tỷ lệ chết bao gồm biến phẩm chất và kích thước cây DBH và DBH<sup>2</sup>. Trong mô hình biến DBH mang hệ số dương, biến DBH<sup>2</sup> mang hệ số âm điều đó chứng tỏ đường cong mô hình cây bị chết có hình dạng chữ U, giai đoạn ban đầu cây còn non tỷ lệ chết thường cao, khi đến giai đoạn lâm phần ổn định thì tỷ lệ chết tự nhiên giảm dần. Tuy nhiên sau một thời gian nhất định, cây bắt đầu già cỗi khả năng quan hợp suy giảm, diện tích bề mặt lá giảm, tăng hô hấp dẫn đến cây suy giảm sức đề kháng, dễ bị côn trùng và các loại bệnh tấn công, do đó tỷ lệ chết tăng lên (Strimbu *et al.*, 2017).

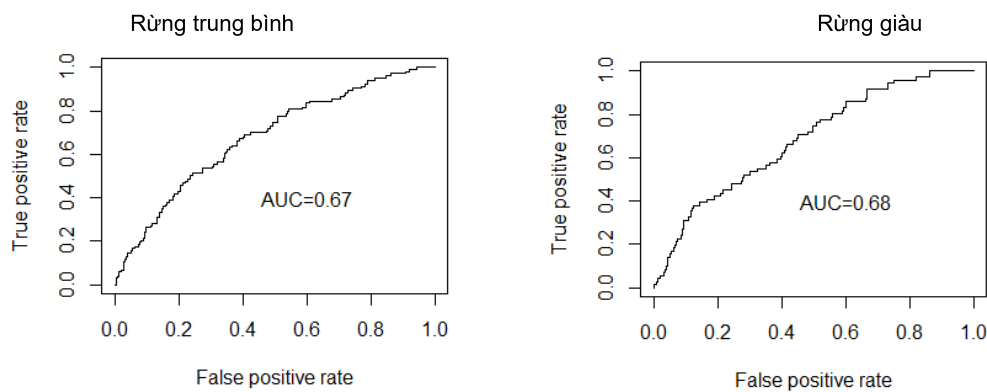
Giá trị của phần diện tích bên dưới các đường cong tỷ lệ (Areas Under Curves - AUC) được sử dụng như một thông số định lượng để kiểm chứng độ phù hợp của mô hình dự báo. Giá trị AUC thay đổi từ 0,5~1. Theo Yilmaz (2009), quan hệ giữa AUC và chất lượng mô hình có thể phân chia như sau: AUC = 0,5~0,6: kém; AUC = 0,6~0,7: trung bình; AUC = 0,7~0,8: tốt; AUC = 0,8~0,9: rất tốt; AUC = 0,9~0,1: xuất sắc. Kết quả tính toán cho giá trị AUC thuộc khoảng 0,6~0,7 nên mô hình dự đoán xác suất cây bị chết cho cả 2 trạng thái rừng có độ chính xác trung bình (hình 5).

**Bảng 4.** Thống kê tỷ lệ sống chết ở các trạng thái rừng nghiên cứu

Phẩm chất	Rừng trung bình			Rừng giàu		
	Chết	Sống	Tỷ lệ chết (%)	Chết	Sống	Tỷ lệ chết (%)
a	29	253	10,28	21	250	7,75
b	48	238	16,78	35	357	8,93
c	28	74	27,45	35	134	20,71
Tổng	105	565	15,67	91	741	10,94
Tiêu chuẩn $\chi^2$	$\chi^2 = 12,02$ ; p tính = 0,0025			$\chi^2 = 15,89$ ; p tính = 0,0004		

**Bảng 5.** Ước lượng các tham số của mô hình xác suất cây chết theo hàm Logistic

Tham số	Rừng trung bình		Rừng già	
	Hệ số	Sai tiêu chuẩn	Hệ số	Sai tiêu chuẩn
Hằng số	-1,28242	0,34125	-3,69814	0,52061
Phẩm chất b	0,71038	0,25846	0,51568	0,34791
Phẩm chất c	1,299	0,30552	1,52136	0,36966
Hegyicr	-0,2137	0,06781		
DBH			0,0639	0,0435
DBH <sup>2</sup>			-0,001	0,00089
Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình	AIC=555,19; AUC=0,67		AIC=472,9; AUC=0,68	



**Hình 5.** Đường cong ROC

**IV. KẾT LUẬN**

Mô hình hóa quy luật tăng trưởng và chết tự nhiên của cây rừng là một lĩnh vực nghiên cứu chưa được thực hiện đầy đủ, đặc biệt đối với rừng tự nhiên nói chung và rừng mưa nhiệt đới ở Việt Nam nói riêng. Sau khi phân chia các cây trong các ô tiêu chuẩn thành 2 nhóm loài cây dựa vào đặc trưng sinh trưởng, nghiên cứu đã mô phỏng tăng trưởng 5 năm về đường kính của từng cây riêng lẻ (ZD) với các biến dự báo là độ lớn thân (DBH) và chất lượng cây với hệ số tương quan (R) của mô hình từ 0,6-0,64. Kết quả của mô hình cho thấy, ban đầu ZD tăng theo tuổi của cây rừng, và sau khi đạt giá trị cực đại ZD có xu hướng giảm khi đường kính tăng lên (tuổi tăng) và tiệm cận 0 khi đường kính đạt mức tối đa. Ngoài ra, nghiên cứu đã thử nghiệm xây dựng mô hình ước lượng xác suất cây bị chết tự

nhiên bằng hàm Logistic và cho kết quả khả quan với AUC trong khoảng từ 0,6-0,7. Trong đó, các nhân tố có mối quan hệ chặt với xác suất chết bao gồm: đường kính ngang ngực và chỉ số cạnh tranh tán Hegyi. Ngoài ra, đường cong mô hình xác suất cây chết tự nhiên có chiều hướng biến đổi theo tuổi cây rừng, giai đoạn ban đầu cây còn non xác suất chết thường cao, khi đến giai đoạn lâm phần ổn định thì xác suất chết tự nhiên giảm dần. Tuy nhiên sau một thời gian nhất định, cây bắt đầu già dẫn đến xác suất cây chết lại tăng lên. Mô hình cây chết và tăng trưởng đường kính là một trong những bộ phận của mô hình sinh trưởng. Mô phỏng quá trình sinh trưởng có ý nghĩa quan trọng trong dự báo sản lượng và cấu trúc lâm phần, từ đó giúp ích cho việc xây dựng những biện pháp lâm sinh và quản lý rừng phù hợp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Adame, P., Uriarte, M., & Brandeis, T., 2014. Diameter growth performance of tree functional groups in Puerto Rican secondary tropical forests. *Forest Systems journal*, 23(1): 52-63.
2. Baker, T. R., Swaine, M. D., & Burslem, D. F., 2003. Variation in tropical forest growth rates: combined effects of functional group composition and resource availability. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 6(1-2), 21-36.
3. Bayat, M., Ghorbanpour, M., Zare, R., Jaafari, A., & Pham, B. T., 2019. Application of artificial neural networks for predicting tree survival and mortality in the Hyrcanian forest of Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164: 1-7
4. Bertini, G., Ferretti, F., Fabbio, G., Raddi, S., Magnani, F., 2019. Quantifying tree and volume mortality in Italian forests. *For. Ecol. Manage.* 444: 42-49.
5. Biging, G. S., & Dobbertin, M., 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest science*, 41(2): 360-377.
6. Buford, M. A., & Hafley, W. L., 1985. Probability distributions as models for mortality. *Forest science*, 31(2): 331-341.
7. Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L., 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc, 333p.
8. Dobbertin, M., & Biging, G. S., 1998. Using the non-parametric classifier CART to model forest tree mortality. *Forest Science*, 44(4): 507-516.
9. Gourlet-Fleury, S., & Houllier, F., 2000. Modelling diameter increment in a lowland evergreen rain forest in French Guiana. *Forest Ecology and Management*, 131(1-3): 269-289.
10. Hegyi, F., 1974. A simulation model for managing jack-pine standssimulation. *RoyalColl. For, Res. Notes*, 30: 74-90.
11. Jones, D. A., Harrington, C. A., & Marshall, D., 2019. Survival, and Growth Response of Douglas-Fir Trees to Increasing Levels of Bole, Root, and Crown Damage. *Forest Science*, 65(2): 143-155.
12. Kuehne, C., Weiskittel, A. R., & Waskiewicz, J., 2019. Comparing performance of contrasting distance-independent and distance-dependent competition metrics in predicting individual tree diameter increment and survival within structurally-heterogeneous, mixed-species forests of Northeastern United States. *Forest ecology and management*, 433: 205-216.
13. Manion, P. D., 1981. *Tree disease concepts*. Prentice-Hall, Inc., 416p.
14. Mitsuda, Y., Ito, S., & Takata, K., 2002. Effects of competitive and cooperative interaction among neighboring trees on tree growth in a naturally regenerated even-aged *Larix sibirica* stand in considering height stratification. *Journal of Forest Research*, 7(4): 185-191.
15. Nguyễn Thanh Tuấn, Bùi Thị Thu Trang, 2017. Phân tích sự cạnh tranh giữa Chò chai (*Hopea recopei*) với những loài cây gỗ khác trong rừng kín thường xanh nhiệt đới Khu bảo tồn thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, (06): 58-66
16. Nguyễn Thị Thu Hiền, 2015. Nghiên cứu cấu trúc và xây dựng mô hình tăng trưởng đường kính rừng tự nhiên lá rộng thường xanh một số khu rừng đặc dụng miền Bắc Việt Nam. *Luận án Tiến sỹ Đại học Nông Lâm Thái nguyên*, 191 trang.
17. Ohno, Y., Umeki, K., Watanabe, I., Takiya, M., Terazawa, K., Yasaka, M., & Matsuki, S., 2009. Basal area growth and mortality of *Betula maximowicziana* affected by crown dieback in a secondary forest in Hokkaido, northern Japan. *Journal of forest research*, 14(1): 37-43.
18. Phân viện Điều tra Quy hoạch rừng Nam Bộ, 2009. Kết quả điều tra xây dựng danh lục thực vật rừng - Danh lục thực vật rừng Khu BTTN&DT Vĩnh Cửu. *Tài liệu lưu hành nội bộ*.

19. Quinonez-Barraza, G., Zhao, D., Héctor, M., & Corral-Rivas, J. J., 2018. Considering neighborhood effects improves individual dbh growth models for natural mixed-species forests in Mexico. *Annals of forest science*, 75(3): 78-90
20. R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna (Austria).
21. Renaud, J. P., & Mauffette, Y., 1991. The relationships of crown dieback with carbohydrate content and growth of sugar maple (*Acer saccharum*). *Canadian Journal of Forest Research*, 21(7): 1111-1118.
22. Strimbu, V. C., Bokalo, M., & Comeau, P. G., 2017. Deterministic models of growth and mortality for jack pine in boreal forests of western Canada. *Forests*, 8(11): 410-48
23. Tan, T. (2010). Modelling growth and yield of Dipterocarp forests in Central Highlands of Vietnam. Doctoral dissertation, Technische Universität München, 182p.
24. Temesgen, H., & Mitchell, S. J., 2005. An individual-tree mortality model for complex stands of southeastern British Columbia. *Western Journal of Applied Forestry*, 20(2): 101-109.
25. Tenzin, J., Tenzin, K., & Hasenauer, H., 2017. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 90(3): 367-380.
26. Tominaga, K., Watmough, S. A., & Aherne, J., 2008. Predicting tree survival in Ontario sugar maple (*Acer saccharum*) forests based on crown condition. *Canadian journal of forest research*, 38(7): 1730-174
27. Yahya, Y., Ismail, R., Vanna, S., & Saret, K., 2014. Using data mining techniques for predicting individual tree mortality in tropical rain forest: logistic regression and decision trees approach. In *Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*, 5p.
28. Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138
29. Zhang, S., Amateis, R. L., & Burkhart, H. E., 1997. Constraining individual tree diameter increment and survival models for loblolly pine plantations. *Forest Science*, 43(3): 414-423.
30. Zhang Z, Papaik MJ, Wang X, Hao Z, Ye J, Lin F., 2017. The effect of tree size, neighborhood competition and environment on tree growth in an old-growth temperate forest. *J Plant Ecol* 10:970-980.

**Email tác giả liên hệ:** nttuan@vnuf2.edu.vn

**Ngày nhận bài:** 06/04/2020

**Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa:** 07/05/2020

**Ngày duyệt đăng:** 11/05/2020