

## THE IMPACT OF INTRASPECIFIC COMPETITION ON TREE GROWTH IN PLANTED KOREAN PINE FOREST

Nguyen Thanh Tuan<sup>1,\*</sup>, Vu Dinh Duy<sup>2</sup>, Shen H-L<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vietnam Forestry University-Dongnai Campus, Vietnam

<sup>2</sup>Institute of Tropical Ecology, Vietnam-Russia Tropical Centre, Vietnam

<sup>3</sup>School of Forestry, Northeast Forestry University, P.R. China

Received 20 September 2019, accepted 3 March 2020

### ABSTRACT

The aim of this study was to explore the correlation of competition indices (CIs) on individual tree growth for Korean pine (*Pinus koraiensis*) plantation using partial correlation analysis and generalized linear models. The data were collected from 15 permanent plots in Mengjiagang forestry farm, Northeast China. The results showed that the distance dependent CIs have a higher predictive capacity for individual growth of pine trees. The control index of competitive trees number (CI<sub>1</sub>) combined with the selection fixed competitor trees (M2) was found to be the most well correlated competition measure with five-years diameter increment. Thus, the competition index (CI<sub>1</sub>, M2) was recommended for developing individual tree growth models. The subject tree diameter at breast height, crown width, height to crown base, tree volume and basal area all showed a significantly linear correlation with tree competition intensity ( $P < 0,05$ ). Diameter at breast height, crown width, tree volume and basal area all decreased with increasing competition intensity, whereas the height to crown base increased. There was no significant relationship between competition intensity and tree height ( $P > 0,05$ ). The optimal model of predicting individual growth with logarithm of diameter at breast height and CIs as the independent variables due to the best fitting performance. This results also showed considerable improvement in predicting individual tree periodic growth when including competition indices that the mean absolute error is reduced in the range of 22–25%.

**Keywords:** *Pinus koraiensis*, competition index, individual tree growth.

---

*Citation:* Nguyen Thanh Tuan, Vu Dinh Duy, Shen H-L, 2020. The impact of intraspecific competition on tree growth in planted Korean pine forest. *Tap chi Sinh hoc*, 42(1): 1–10. <https://doi.org/10.15625/0866-7160/v42n1.14435>.

\*Corresponding author email: [nttuan@vnuf2.edu.vn](mailto:nttuan@vnuf2.edu.vn)

©2020 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

## ẢNH HƯỞNG CỦA CẠNH TRANH CÙNG LOÀI ĐẾN SINH TRƯỞNG CỦA CÂY Ở RỪNG TRỒNG THÔNG HÀN QUỐC

Nguyễn Thanh Tuấn<sup>1,\*</sup>, Vũ Đình Duy<sup>2</sup>, Shen Hai Long<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Viện Sinh thái Nhiệt đới, Trung tâm Nhiệt đới Việt Nga, Hà Nội

<sup>3</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp Đông Bắc Trung Quốc

Ngày nhận bài 20-9-2019, ngày chấp nhận 3-3-2020

### TÓM TẮT

Bài báo sử dụng số liệu thu thập từ 15 ô tiêu chuẩn định vị rừng trồng thuần loài thông Hàn Quốc (*Pinus koraiensis*) tại lâm trường Mộng Gia Cương, Đông Bắc Trung Quốc, thông qua một số phương pháp phân tích tương quan và mô hình hồi quy để làm rõ mối quan hệ giữa chỉ số cạnh tranh với sinh trưởng, tăng trưởng của cây riêng lẻ. Kết quả nghiên cứu cho thấy, chỉ số cạnh tranh phụ thuộc vào khoảng cách có tương quan nghịch với tăng trưởng 5 năm đường kính cây ( $P < 0,05$ ) và có tương quan cao hơn so với chỉ tiêu không phụ thuộc vào khoảng cách. Trong các chỉ số cạnh tranh phụ thuộc vào khoảng cách, chỉ số cạnh tranh  $CI_1-M_2$  có tương quan lớn nhất với tăng trưởng cây rừng, mặt khác hệ số tương quan ổn định ở tất cả các mật độ nghiên cứu. Do đó, bài báo đã sử dụng chỉ số  $CI_1-M_2$  để nghiên cứu sinh trưởng và xây dựng mô hình dự đoán tăng trưởng của *P. koraiensis*. Chỉ số cạnh tranh  $CI_1-M_2$  có mối quan hệ tuyến tính dương với đường kính ngang ngực, đường kính tán, thể tích và tiết diện ngang của cây ( $P < 0,05$ ). Ngược lại, Chỉ số cạnh tranh có quan hệ tuyến tính âm với chiều cao dưới cành ( $P < 0,05$ ) và không có quan hệ với chiều cao. Với các biến đầu vào là các chỉ tiêu điều tra cây cá thể và chỉ số cạnh tranh  $CI_1-M_2$ , thông qua các bước phân tích hồi quy mô hình tăng trưởng 5 năm của đường kính cuối cùng chỉ còn lại 2 biến số là đường kính ngang ngực (LnD) và chỉ số cạnh tranh  $CI_1-M_2$ . Hơn nữa, sau khi đưa biến chỉ số cạnh tranh vào biến dự đoán thì độ chính xác của mô hình tăng lên rõ rệt với sai số tuyệt đối trung bình giảm từ 22–25%.

**Từ khóa:** Chỉ số cạnh tranh, tăng trưởng cây rừng, thông Hàn Quốc.

\*Địa chỉ liên hệ email: nttuan@vnuf2.edu.vn

### MỞ ĐẦU

Trong quá trình sinh trưởng cây rừng chịu sự chi phối của rất nhiều nhân tố sinh thái. Trong đó những cá thể ở gần nhau có nhu cầu sinh thái tương đồng thường xuất hiện ảnh hưởng không có lợi với nhau dẫn đến quan hệ cạnh tranh về tài nguyên (Shainsky et al, 1992). Cạnh tranh giữa các cá thể là hiện tượng phổ biến tồn tại trong quần xã thực vật, cũng là quá trình sinh thái quan trọng với tác dụng duy trì tính ổn định, đồng thời ảnh

hưởng tới cấu trúc phân bố không gian, đa dạng sinh học, sinh trưởng cá thể, tỉ lệ sống chết, cấu trúc rừng (Peet & Christense, 1987; Nishimura et al., 2002; Coomes & Allen, 2007). Bella (1971) cho rằng cường độ cạnh tranh giữa các cây rừng có thể được đánh giá ở cấp độ quần thể và cá thể riêng lẻ. Ở cấp độ quần thể có thể sử dụng mật độ, tiết diện ngang để xác định cường độ cạnh tranh. Phương pháp này ưu điểm ở chỗ công thức tính toán đơn giản, dễ đo đạc ngoài thực địa, tuy nhiên nó sử dụng mật độ và các giá trị

trung bình để xác định cường độ cạnh tranh mạnh yếu nên che giấu mức độ cạnh tranh khác nhau giữa các cá thể riêng biệt. Ngược lại, cạnh tranh ở cấp độ cá thể lại thể hiện chi tiết cường độ cạnh tranh của từng cá thể với các cây xung quanh. Chỉ số cạnh tranh của cá thể riêng lẻ đã được sử dụng rộng rãi trong các mô hình dự đoán sinh trưởng với mục tiêu làm sáng tỏ sự khác nhau về sinh trưởng của từng cá thể cây rừng (Bella, 1971; Perot et al., 2010). Ngoài ra, chỉ số cạnh tranh không những thể hiện được sự tương tác trong không gian giữa các cá thể, mà còn phản ánh sự biến đổi của cấu trúc quần xã theo hoàn cảnh môi trường và cũng là chỉ tiêu định lượng mức độ cạnh tranh giữa các cá thể (Maleki et al., 2015). Những hiểu biết về mối quan hệ cạnh tranh giữa các cá thể có ý nghĩa trong việc quản lý rừng bền vững phù hợp với quy luật của tự nhiên (Amiri, 2016).

Thông Hàn Quốc (*Pinus koraiensis*) là loài cây bản địa quan trọng ở vùng Đông Bắc Trung Quốc, gỗ và hạt có giá trị cao về kinh tế (Nguyen et al., 2018). Việc sử dụng chỉ số cạnh tranh trong việc dự đoán sinh trưởng, tăng trưởng, cấu trúc đối với loài cây này bước đầu đã được nghiên cứu (Shao, 1985; Dong et al., Huang et al., 2011), tuy nhiên số lượng còn ít và kết quả thu được còn thiếu sự thống nhất. Trong nghiên cứu này chúng tôi thử nghiệm các công thức tính toán cường độ cạnh tranh khác nhau, đồng thời kết hợp với một số phương pháp xác định khoảng không gian cạnh tranh dinh dưỡng để xây dựng chỉ số cạnh tranh cho từng cá thể. Sau đó tiến hành so sánh, lựa chọn chỉ số phù hợp nhất để xây dựng mô hình dự đoán tăng trưởng của từng cây riêng lẻ, qua đó làm sáng tỏ mối quan hệ cạnh tranh không gian dinh dưỡng với lượng tăng trưởng, làm cơ sở khoa học cho việc đề xuất các biện pháp quản lý và xây dựng cấu trúc rừng trồng *P. koraiensis* hợp.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### Phương pháp thu thập dữ liệu

Địa điểm nghiên cứu thuộc Lâm Trường Mộng Gia Cương, Thành Phố Giai Mộc Tư, Tỉnh Hắc Long Giang của Trung Quốc với

nhệt độ trung bình năm 2,7°C. Lượng mưa trung bình năm 550 mm và tổng số giờ nắng trong năm là 1955 giờ. Các ô tiêu chuẩn (OTC) nghiên cứu nằm ở khoảng 62 và 63 thuộc trạng thái rừng trồng thuần loài *P. koraiensis* 41 tuổi, được bố trí theo hướng đông nam, độ dốc trung bình 12 độ, độ dày tầng đất A1 là 30 cm, A+B là 60 cm, thuộc nhóm đất nâu sẫm. 15 ô tiêu chuẩn định vị đã được lập năm 2008 với 3 cấp mật độ của rừng trồng *P. koraiensis* (1.300 cây/ha, 900 cây/ha và 500 cây/ha), diện tích mỗi ô tiêu chuẩn là 0,1 ha. Tháng 9 năm 2010 tiến hành đánh số và điều tra toàn bộ các cây trong 15 ô tiêu chuẩn bao gồm: Đường kính, chiều cao, đường kính tán theo 4 hướng (đông, tây, nam, bắc), chiều cao dưới cành. Tháng 9 năm 2015, nghiên cứu tiến hành điều tra lần 2 để xác định tăng trưởng, ngoài những chỉ tiêu điều tra ở lần đầu tiên được đo đếm lại, vị trí tương đối của từng cây trong ô tiêu chuẩn đã được xác định bằng địa bàn ba chân và thước đo khoảng cách Laser. Trong quá trình điều tra, đường kính ngang ngực dùng thước dây với độ chính xác 0,1 cm, chiều cao dưới cành và vút ngọn sử dụng thước đo cao Vertex III độ chính xác 0,1 m; đường kính tán sử dụng thước dây với độ chính xác là 0,1 m.

### 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. Có rất nhiều chỉ số cạnh tranh đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước đây, tổng quát có hai phương pháp cơ bản để xác định chỉ số cạnh tranh. Thứ nhất, các phương pháp dựa trên các tham số thống kê được tính toán từ các ô đo đếm, còn gọi là phương pháp không phụ thuộc khoảng cách, không quan tâm đến vị trí tọa độ của cây trong lâm phần. Thứ hai, các phương pháp phụ thuộc vào khoảng cách dựa trên vị trí tọa độ của cây trong lâm phần. Trong nghiên cứu này, cả 2 loại chỉ số cạnh tranh đều được đưa vào sử dụng để phản ánh cường độ cạnh tranh giữa các cây cá thể trong lâm phần. Căn cứ vào các chỉ số cạnh tranh được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu rừng trồng thuần loài theo trích dẫn của Zi et al. (2012), chúng

tôi đã lựa chọn tổng cộng 15 chỉ tiêu để đánh giá mức độ bị chèn ép của từng cá thể cây rừng, toàn bộ các chỉ tiêu được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Chỉ số cạnh tranh của từng cây riêng lẻ

Chỉ số cạnh tranh phụ thuộc khoảng cách		Chỉ số cạnh tranh không phụ thuộc khoảng cách	
Hegyí	$H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_i} \times \frac{1}{L_{ij}}$	Đường kính tương đối	$SMD_i = \frac{D_i}{D}$
Martin	$M = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_i} e^{-\left(\frac{16L_{ij}}{D_i+D_j}\right)}$	Mức độ mở rộng tán	$CI_{2i} = \frac{CR_i}{h_i}$
Bella	$B = \sum_{j=1}^n \frac{OA_{ij}}{Z_i} \left(\frac{D_j}{D_i}\right)$	Độ đầy	$CI_{3i} = \frac{CR_i}{l_i}$
Staebler	$S = \sum_{j=1}^n \frac{(OL_{ij} \times Cw_i)}{2}$	Hình chiều tán	$CI_{4i} = \frac{CR_i}{D_i}$
Gerrard	$G = \sum_{j=1}^n \frac{OA_{ij}}{Z_i}$	Chỉ số không gian sinh trưởng	$GSI_i = \frac{CV_i}{D_i}$
Biging	$\sum_{j=1}^n \frac{CV_j}{CV_i(L_{ij}+1)}$		$GSCI = \frac{Z_i}{BA_i}$
Chỉ số kiểm soát số cây	$CI_{li} = -\frac{D_i}{D_g} \bar{L}_i$	<p><i>Ghi chú:</i> <math>D_i, D_j</math> là đường kính ngang ngực của cây mục tiêu và cây lân cận; <math>L_{ij}</math> là khoảng cách giữa cây mục tiêu và cây lân cận; <math>OA_{ij}</math>, <math>OL_{ij}</math> là diện tích và chiều dài giao tán giữa cây mục tiêu và cây lân cận; <math>Z_i, Cw_i, CR_i, CV_i, BA_i, h_i, l_i</math> là diện tích, bán kính, đường kính, thể tích của tán, tiết diện ngang, chiều cao vút ngọn, chiều dài tán của cây mục tiêu; <math>\bar{D}_g, \bar{L}_i</math> là đường kính trung bình, trung bình khoảng cách đến cây mục tiêu của 4 cây lân cận gần nhất; <math>Z_j, CV_j</math> là diện tích và thể tích tán của cây lân cận, <math>\bar{D}</math> đường kính trung bình toàn lâm phần.</p>	
Chỉ số vị trí tán cây	$CI_{ai} = \sum_{j=1}^n \frac{Z_j}{Z_i} \times \frac{1}{L_{ij}}$		
	$CI_{bi} = \sum_{j=1}^n \frac{Z_j + Z_i}{Z_i} \times \frac{1}{L_{ij}}$		

**Hiệu chỉnh sai số ranh giới ô tiêu chuẩn**

Trong trường hợp chọn cây mục tiêu nằm giáp ranh giới của OTC, khi đó những cây nằm ngoài OTC cũng sẽ phát sinh ảnh hưởng cạnh tranh với cây mục tiêu, vì vậy kết quả phân tích chỉ số cạnh tranh của cây mục tiêu sẽ không chính xác, từ đó cần thiết tiết hành hiệu chỉnh sai số ranh giới ô tiêu chuẩn (Ledermann, 2010). Để loại trừ sai số do ảnh hưởng của cây ngoài OTC tới cây mục tiêu, nghiên cứu chỉ lựa chọn những cây mục tiêu

là những cây nằm trong OTC và cách ranh giới của OTC là 5 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. Tổng số cây mục tiêu được chọn trong 15 ô tiêu chuẩn là 376 cây và được chia làm 2 bộ phận là dữ liệu xây dựng mô hình và dữ liệu để kiểm nghiệm đánh giá mô hình với tỉ lệ 4:1, tương ứng với 300 cây và 76 cây. Một số đặc trưng thống kê mô tả của cây mục tiêu được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Một số đặc trưng thống kê cây mục tiêu rừng trồng thông Hàn Quốc

Biến điều tra	Dữ liệu xây dựng mô hình (n = 300)				Dữ liệu kiểm tra (n = 76)			
	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Sai tiêu chuẩn	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Sai tiêu chuẩn
Đường kính (cm)	11,90	32,20	21,08	3,89	12,20	29,40	21,31	3,81
Đường kính tán (m)	0,95	3,35	1,79	0,43	0,93	3,10	1,78	0,42
Chiều cao (m)	8,60	14,80	11,48	1,12	9,60	13,80	11,34	1,04
Chiều cao dưới cành (m)	2,60	9,40	5,73	1,15	3,00	7,90	5,46	1,08

**Phương pháp xác định cây cạnh tranh**

Cây cạnh tranh được hiểu là những cây lân cận có quan hệ không gian dinh dưỡng với cây mục tiêu (cây trung tâm). Kế thừa nghiên cứu của Zi et al. (2012), bài báo sử dụng 4 phương pháp chủ yếu để xác định cây cạnh tranh có quan hệ không gian dinh dưỡng với cây mục tiêu bao gồm: Cố định bán kính (M1), trong đó cây cạnh tranh được xác định là những cây nằm trong hình tròn có bán kính là 5 m, với tâm hình tròn là cây mục tiêu; Cố định số cây (M2), trong đó cây cạnh tranh được xác định là 4 cây lân cận có khoảng cách ngắn nhất với cây mục tiêu; Giao tán (M3), trong đó cây cạnh tranh là những cây có phần giao tán với cây mục tiêu; Hình nón (M4), trong đó những cây lân cận có khoảng cách nhỏ hơn 1/2 chiều cao của cây mục tiêu được xác định là cây cạnh tranh.

**Mô hình tăng trưởng cây rừng**

Nghiên cứu sử dụng tăng trưởng đường kính trung bình định kỳ 5 năm làm biến phụ thuộc, các chỉ tiêu điều tra cây riêng lẻ và chỉ số cạnh tranh làm biến độc lập để xây dựng mô hình dự đoán tăng trưởng cây cá thể:

$$\ln(DGI) = a + b \times \text{SIZE} + c \times \text{COMP} \quad (1)$$

Trong đó: DGI là bình phương của tăng trưởng thường xuyên định kỳ 5 năm về đường kính; SIZE hàm số miêu 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 là tham số của phương trình. Trong đó sử dụng đường kính ngang ngực (D) trong mô hình phản ánh kích thước lớn nhỏ của cây rừng:  $b \times \text{SIZE} = b_1 \times \ln D + b_2 \times D^2$ .

Hàm số chỉ sự cạnh tranh:

$$c \times \text{COMP} = c_1 \times H + c_2 \times \text{HB} + c_3 \times \text{CR} + c_4 \times \text{CI}$$

$$\ln(DGI) = a + b_1 \times \ln D + b_2 \times D^2 + c_1 \times H + c_2 \times \text{HB} + c_3 \times \text{CR} + c_4 \times \text{CI} \quad (2)$$

Trong đó: H là chiều cao vút ngọn, HB chiều cao dưới cành, CR là đường kính tán, D là đường kính ngang ngực, CI là chỉ số cạnh tranh.

**Kiểm nghiệm và đánh giá mô hình tăng trưởng**

Trong mô hình tuyến tính đa biến thì giá trị 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 hệ số xác định  $R^2$ , căn bậc hai sai số bình phương trung bình (RMSE), tiêu chuẩn thông tin Akaike (AIC). Để kiểm nghiệm độ chính xác của các mô hình ở phần dữ liệu kiểm tra, nghiên cứu sử dụng 4 chỉ tiêu bao gồm: sai lệch trung bình (ME), sai số tuyệt đối trung bình (MAE), trung bình phần trăm sai số (ME%) và trung bình tương đối phần trăm sai số (MAE%), chi tiết ở bảng 3.

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 mạnh với nhau.

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

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. Toàn bộ xử lý thống kê sử dụng phần mềm R với các gói Spatial và Mass.

Bảng 3. Công thức tính toán một số chỉ tiêu đánh giá độ chính xác mô hình

Công thức tính	TT	Công thức tính	TT
$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	(3)	$MAE = \sum_{i=1}^n \left  \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \right $	(7)
$ME = \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \right)$	(4)	$AIC = n \times \ln \left( \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) + 2p$	(8)
$MA\%E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \right  \times 100$	(5)	$M\%E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \right) \times 100$	(9)
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$	(6)	<i>Ghi chú:</i> $y_i$ là giá trị thực nghiệm, $\hat{y}_i$ là giá trị lý thuyết, $n$ là số lượng mẫu kiểm tra, $p$ là số lượng hệ số của mô hình.	

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### Chỉ số cạnh tranh trong nghiên cứu sinh trưởng cây đơn lẻ

Đối với mỗi chỉ số, phương pháp xác định cây cạnh tranh khác nhau, trong đó chỉ số S, B, G sử dụng phương pháp giao tán (M3). Ngoài ra, chỉ số  $CI_1$ , CV lần lượt sử dụng phương pháp 4 cây lân cận (M2) và phương pháp hình nón (M4) để xác định cây cạnh tranh không gian dinh dưỡng. Còn lại 4 chỉ số còn lại (H, M,  $CI_a$ ,  $CI_b$ ) sử dụng cả 4 phương pháp để xác định cây lân cận cạnh tranh, cuối cùng thêm 6 chỉ số không phụ thuộc vào khoảng cách SMD,  $CI_1$ ,  $CI_3$ ,  $CI_4$ , GSI và GSCI tổng cộng 27 chỉ số cạnh tranh được thiết lập. Nghiên cứu tiến hành phân tích tương quan để lựa chọn chỉ số cạnh tranh có tương quan chặt với tăng trưởng trung bình định kỳ 5 năm của cây rừng để xây dựng mô hình hồi quy. Kết quả phân tích tương quan ở bảng 4 cho thấy, tăng trưởng đường kính và chỉ số cạnh tranh có mối quan

hệ tương quan tuyến tính nghịch rõ rệt ( $P < 0,05$ ), nó phù hợp với quy luật cạnh tranh cây rừng, cường độ cạnh tranh giữa các cây rừng càng mạnh thì tăng trưởng càng chậm. Ở cả 3 cấp mật độ, chỉ số cạnh tranh phụ thuộc vào khoảng cách hệ số tương quan trung bình cao hơn 1,5 lần chỉ số cạnh tranh không phụ thuộc vào khoảng cách. Mặt khác, chỉ số cạnh tranh căn cứ vào đường kính hệ số tương quan luôn cao hơn chỉ số cạnh tranh sử dụng kích thước của tán cây. Xét về phương pháp lựa chọn cây cạnh tranh, chỉ số cạnh tranh sử dụng phương pháp cố định bán kính (M1) và cố định số cây (M2) hệ số tương quan luôn cao hơn phương pháp khoảng cách thay đổi M3, M4. Tóm lại, kết quả cho thấy chỉ số cạnh tranh  $CI_1$  với phương pháp xác định 4 cây lân cận gần nhất làm cây cạnh tranh có hệ số tương quan với tăng trưởng cây rừng lớn nhất và ổn định ở cả ba mật độ nghiên cứu. Vì vậy, chỉ số  $CI_1$ -M2 được lựa chọn để xây dựng mô hình tăng trưởng cây cá thể.

Bảng 4. Hệ số tương quan giữa tăng trưởng đường kính và chỉ số cạnh tranh

Chỉ số CI	Mật độ 1.300 cây/ha	Mật độ 900 cây/ha	Mật độ 500 cây/ha	Chỉ số CI	Mật độ 1.300 cây/ha	Mật độ 900 cây/ha	Mật độ 500 cây/ha
H-M1	-0,632**	-0,492**	-0,588**	CI <sub>b</sub> -M2	-0,484**	-0,244*	-0,484**
H-M2	-0,606**	-0,438**	-0,625**	CI <sub>b</sub> -M3	-0,408**	-0,233*	-0,497**
H-M3	-0,496**	-0,376**	-0,515**	CI <sub>b</sub> -M4	-0,489**	-0,297**	-0,486**
H-M4	-0,615**	-0,455**	-0,541**	B-M3	-0,411**	-0,352**	-0,399**
M-M1	-0,601**	-0,473**	-0,563**	S-M3	-0,240*	-0,242*	-0,239**
M-M2	-0,562**	-0,447**	-0,546**	G-M3	-0,279**	-0,293**	-0,356**
M-M3	-0,433**	-0,372**	-0,494**	CV-M4	-0,462**	-0,178	-0,441**
M-M4	-0,437**	-0,420**	-0,513**	SMD	0,305**	0,277**	0,484**
CI <sub>1</sub> -M2	-0,698**	-0,679**	-0,646**	CI <sub>2</sub>	0,280**	0,359**	0,161
CI <sub>a</sub> -M1	-0,511**	-0,217*	-0,538**	CI <sub>3</sub>	-0,009	-0,176	0,117
CI <sub>a</sub> -M2	-0,480**	-0,179	-0,416**	CI <sub>4</sub>	-0,228**	-0,183	-0,148
CI <sub>a</sub> -M3	-0,453**	-0,195*	-0,506**	GSI	0,290**	-0,393**	0,075
CI <sub>a</sub> -M4	-0,483**	-0,283**	-0,480**	GSCI	-0,269**	-0,159	-0,314**
CI <sub>b</sub> -M1	-0,526**	-0,244*	-0,550**				

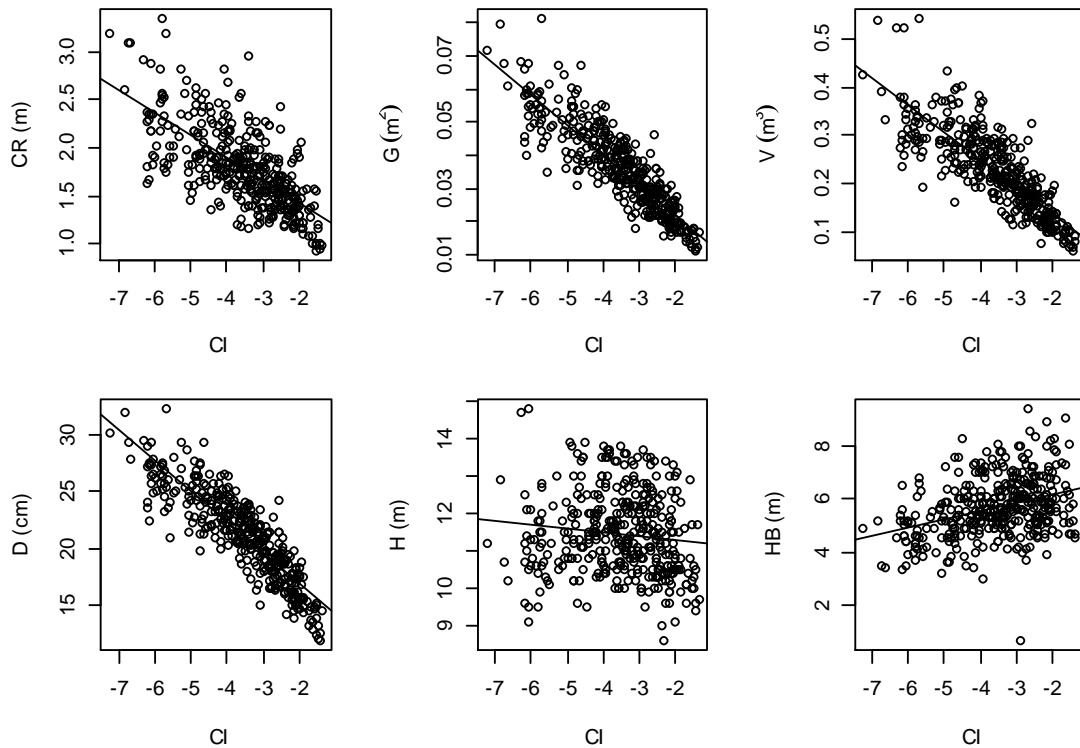
Ghi chú: “\*\*\*” và “\*\*” biểu thị tồn tại ở mức ý nghĩa 0,01 và 0,05.

Trái ngược với quan điểm trước đây của một số tác giả cho rằng đối với rừng thuần loài đều tuổi do điều kiện môi trường tương đồng thì ưu điểm của chỉ số cạnh tranh phụ thuộc khoảng cách không vượt trội hơn với chỉ số cạnh tranh không phụ thuộc khoảng cách (Lorimer, 1983; Daniels et al., 1986; Corona & Ferrara, 1989). Kết quả bài báo cho thấy, chỉ số cạnh tranh phụ thuộc vào khoảng cách và nhân tố cấu thành công thức là đường kính có quan hệ tương quan với tăng trưởng đường kính cao hơn không phụ thuộc vào khoảng cách với nhân tố cấu thành công thức là hình thái tán cây. Đường kính là nhân tố dễ đo đếm và xác định, mặt khác nó có tương quan chặt chẽ với diện tích tán, sinh khối cành lá, rễ những nhân tố ảnh hưởng trực tiếp đến tăng trưởng của cây rừng (Dong et al., 2013), vì vậy sử dụng đường kính để xác lập chỉ số cạnh tranh là phù hợp. Kết quả này đồng nhất với các nghiên cứu của Schroder (2004) và Edgaras et al. (2014) cho thấy sự vượt trội khi sử dụng vị trí không gian kết hợp với các nhân tố điều tra hình thái thân và tán khi miêu tả khả năng lợi dụng không gian dinh dưỡng của cá thể cây rừng. Tương tự với kết luận của Freckleton & Watkinson (1999), kết quả của nghiên cứu một lần nữa khẳng định mức độ chính xác khi dùng chỉ số cạnh tranh để dự

đoán tăng trưởng cây riêng lẻ phụ thuộc vào phương pháp xác định cây lân cận và các biến điều tra được sử dụng trong công thức tính toán.

#### Ảnh hưởng của chỉ số cạnh tranh đến sinh trưởng của *P. koraiensis*

Kết quả phân tích ảnh hưởng của chỉ số cạnh tranh đến các chỉ tiêu sinh trưởng cho thấy, đường kính (D), đường kính tán (CR), chiều cao dưới cành (HB), thể tích (V) cây và tiết diện ngang (G) đều tồn tại quan hệ tuyến tính. Ngược lại, chiều cao vút ngọn không tồn tại quan hệ với chỉ số cạnh tranh. Sau khi tiến hành phân tích hồi quy cho thấy các phương trình đều tồn tại và có hệ số tương quan thuận rất chặt với chỉ số cạnh tranh. Cụ thể, đường kính ( $R^2_1 = 0,77$ ;  $F_1 = 1261,65$ ;  $P < 0,0001$ ), thể tích ( $R^2_2 = 0,68$ ;  $F_2 = 786,34$ ;  $P < 0,0001$ ), tiết diện ngang ( $R^2_3 = 0,73$ ;  $F_3 = 1292,74$ ;  $P < 0,0001$ ). Trong khi đó kích thước tán, chiều cao dưới cành có tương quan tương đối yếu với chỉ số cạnh tranh, cụ thể đường kính tán ( $R^2_1 = 0,48$ ;  $F_1 = 346,09$ ;  $P < 0,0001$ ), chiều cao dưới cành ( $R^2_2 = 0,22$ ;  $F_2 = 50,93$ ;  $P < 0,0001$ ). Chỉ số cạnh tranh tăng, đường kính, thể tích, tiết diện ngang, kích thước tán của cây có xu hướng giảm, ngược lại chiều cao dưới cành có xu hướng tăng lên (hình 1).



Hình 1. Mối quan hệ giữa chỉ số cạnh tranh và các chỉ tiêu sinh trưởng

**Xây dựng mô hình tăng trưởng cây rừng**

Tiến hành phân tích hồi quy từng bước cho phương trình (2), kết quả cuối cùng chọn được 2 mô hình dự đoán tăng trưởng cây cá thể, trong đó phương trình (A) không sử dụng chỉ số cạnh tranh và phương trình (B) sử dụng chỉ số cạnh tranh. Chỉ số cạnh tranh và đường kính giải thích khoảng 77,1% độ dao động

tăng trưởng đường kính của các cá thể cây rừng trong mô hình (B). Trong khi đó ở phương trình (A) chỉ có biến đường kính giải thích khoảng 72,8% sự biến động, điều đó có nghĩa là khi thêm biến CI vào thì hệ số này tăng lên 4,3% và sự tăng lên này có ý nghĩa thống kê  $P < 0,001$ . Mặt khác, phương trình (B) so với phương trình (A) hệ số RMSE và AIC giảm đi 7,98% và 9,18% (bảng 5).

Bảng 5. Mô hình dự đoán tăng trưởng cây cá thể thông Hàn Quốc

Mô hình	Loại mô hình	Tham số ước lượng			Độ tối ưu mô hình		
		$k_0$	$k_1$	$k_2$	$R^2$	RMSE	AIC
(A)	$\text{LnDGI} = k_0 + k_1 \text{LnD}$	-13,267***	5,067***		0,728	0,589	537,655
(B)	$\text{LnDGI} = k_0 + k_1 \text{LnD} + k_2 \text{CI}$	-8,258***	2,984***	-0,371***	0,771	0,542	488,318

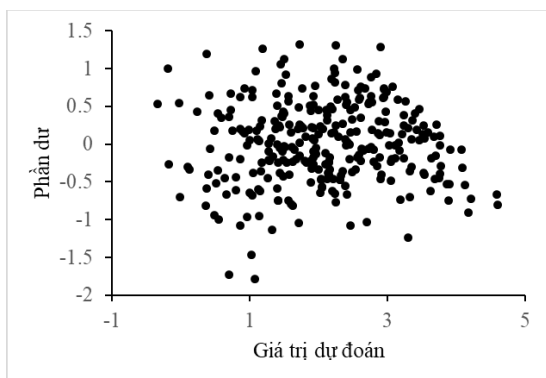
Ghi chú: \*\*\*: Biểu thị tồn tại ở mức ý nghĩa ( $P < 0,001$ ).

Đồ thị phân tán giữa các phần dư chuẩn hóa và giá trị dự đoán chuẩn hóa giúp kiểm tra giả định dữ liệu hiện tại có vi phạm giả định liên hệ tuyến tính hay không (hình 2). Đồ thị cho thấy các giá trị phần dư phân tán ngẫu nhiên trong một vùng giới hạn -1,5 đến 1,5 xung quanh đường hoành độ 0, cho nên giả

định quan hệ tuyến tính được chấp nhận. Tiến thêm một bước trong việc kiểm nghiệm độ chính xác của mô hình tăng trưởng cây rừng xây dựng có và không có nhân tố CI, nghiên cứu sử dụng dữ liệu của 76 cây để đánh giá độ chính xác cho mô hình (A) và (B). Kết quả bảng 6 cho thấy, so với mô hình (A) thì (B) có



sai số tương đối trung bình khoảng giảm khoảng 11%, sai số tuyệt đối trung bình giảm từ 22–25%.



Hình 2. Biểu đồ Scatter giữa phần dư chuẩn hóa và giá trị dự đoán

Chỉ số cạnh tranh có tương quan nghịch với đường kính ngang ngực, đường kính tán, thể tích và tiết diện ngang thân cây. Nói một cách khác, những cây có thân lớn, tán rộng,

khả năng đối mặt với sự cạnh tranh không gian dinh dưỡng của các cây lân cận càng ít. Zhang et al. (2005), Zhang et al. (2006), Yu et al. (2009) cũng đưa ra kết luận tương tự với loài *Tsuga longibracteata* và *Cryptocarya concinna*. Trước đây chỉ số Hegyi là biến quan trọng thường dùng để dự đoán tăng trưởng tiết diện ngang, thể tích, sinh khối và các chỉ tiêu khác của cây riêng lẻ rừng trồng thuần loài *P. koraiensis* (Shao, 1985; Huang et al., 2011; Dong et al., 2013). Kết quả của nghiên cứu này cho thấy so với chỉ số Hegyi, chỉ số cạnh tranh  $CI_1-M_2$  càng phù hợp để sử dụng mô phỏng tăng trưởng của cây cá thể, do dễ đo đếm, tính toán sử dụng, và có tương quan chặt chẽ với các chỉ tiêu tăng trưởng. Mặt khác, khi đưa chỉ tiêu  $CI_1-M_2$  vào mô hình dự đoán tăng trưởng của đường kính thì hệ số tương quan của mô hình tăng lên 6,8%, sai số tương đối trung bình khoảng giảm khoảng 11% và sai số tuyệt đối trung bình giảm từ 22–25%.

Bảng 6. Kiểm nghiệm mô hình dự đoán tăng trưởng thông Hàn Quốc

Mô hình	Loại mô hình	ME	MAE	ME%	MA%E
(A)	$\text{LnDGI} = k_0 + k_1 \text{LnD}$	0,053	0,545	-10,95	24,74
(B)	$\text{LnDGI} = k_0 + k_1 \text{LnD} + k_2 CI_1$	0,010	0,500	-10,05	22,70

## KẾT LUẬN

Bài báo đã thử nghiệm 27 chỉ số cạnh tranh khác nhau để mô phỏng quá trình sinh trưởng của rừng trồng thông Hàn Quốc. Kết quả chỉ ra rằng, đối với mô hình dự đoán tăng trưởng với chỉ số  $CI_1-M_2$  mang lại kết quả dự đoán tốt ưu. Tuy nhiên, cá thể cây rừng trong quá trình sinh trưởng chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố môi trường, nhưng trong nghiên cứu này chỉ dựa vào biểu hiện hình thái bên ngoài của cây rừng để giải thích mức độ cạnh tranh giữa các cá thể và dự đoán lượng tăng trưởng mà chưa đề cập được sự ảnh hưởng của những yếu tố trực tiếp đến tăng trưởng cây rừng như tốc độ quang hợp, cường độ ánh sáng, nhiệt độ, lượng mưa, nhiệt độ... Do vậy, để nâng cao độ chính xác của kết quả dự đoán thì cần có những nghiên cứu tiếp theo bổ sung biến số là các yếu tố môi vào các mô hình tăng trưởng.

**Lời cảm ơn:** Đây là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài: Kỹ thuật nuôi dưỡng cây gỗ lớn rừng trồng thông Hàn Quốc, mã số (2017YFD0600601) thuộc chương trình nghiên cứu trọng điểm quốc gia của Trung Quốc (National Key R&D Program of China).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bella I. E., 1971. A new competition model for individual trees. *Forest Science*, 17(17): 364–372.
- Coomes D. A., Allen R. B., 2007. Effects of size competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95 (5): 1084–1097.
- Corona P, Ferrara A., 1989. Individual competition indices for conifer plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27 (1-4): 429–443.

- Daniels R. F., Burkhardt H. E., Clason T. R., 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(6): 1230–1237.
- Dong L. H., Li F. R., Gu W. W., 2013. Effects of tree competition on biomass and biomass models of *Pinus koraiensis* plantation. *Journal of Beijing Forestry University*, 35(6): 15–22 [in Chinese].
- Edgaras L, Andrius K, Heinz R., 2014. The impact of Competition for growing space on diameter, basal area and height growth in pine trees. *Baltic forestry*, 20(2): 301–313.
- Freckleton R P, Watkinson A R., 1999. The mis-measurement of plant competition. *Function Ecology*, 13(2): 285–287.
- Huang X. F., Kang X. G., Sun L., 2011. Establishment of Individual Basal Area Growth Model of Korean Pine. *Journal of Northwest Forestry University*, 26(3): 143–146 [in Chinese].
- Ledermann T., 2010. Evaluating the performance of semi distance independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(4): 796–805.
- Lorimer C. G., 1983. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management*, 6(4): 343–360.
- Nguyen, T. T., Tai, D. T., Zhang, P., Razaq, M., & Shen, H. L., 2019. Effect of thinning intensity on tree growth and temporal variation of seed and cone production in a *Pinus koraiensis* plantation. *Journal of Forestry Research*, 30(3): 835–845.
- Nishimura N., Hara T., Miura M., 2002. Tree competition and species coexistence in a warm-temperate old growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*, 164(2): 235–248.
- Peet R. K., Christense N. L., 1987. Competition and tree death. *Bioscience*, 37(8): 586–595.
- Perot T, Goreaud F., Ginisty C., 2010. A model bridging distance-dependent and distance-independent tree models to simulate the growth of mixed forests. *Annals of Forest Science*, 67 (5): 501–511.
- Shainsky L., Radosevich S., 1992. Mechanisms of competition between Douglas-fir and red alder seedlings. *Ecology*, 73(1): 30–45.
- Shao G. F., 1985. Study on individual tree growth model for Korean pine plantations. *Journal of Northeast Forestry University*, 13(3): 38–46 [in Chinese].
- Schroder J., 2004. Modeling of growth and competition in pine/beech forest conversion stands in Northwest Saxony. Germany: Dresden University of Technology.
- Zhang Q., Hong W., Wu C., 2005. Studies on intraspecific and interspecific competition in natural communities of *Tsuga longibracteata*. *Guangxi Botany*, 25(1): 14–17 [in Chinese].
- Zhang C., Huang R. L., Li J., 2006. Quantitative relationships of intra- and interspecific competition in *Cryptocarya concinna*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(1): 22–26 [in Chinese].
- Tilman D, 1982. Resource competition and community structure. Princeton, NJ: Princeton Univ, 296 pp.
- Yu H., Yang X. H., Ci L. J., 2009. Competition intensity of Mongolian pine forests in Hulun Buir sand region of Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(2): 250–255 [in Chinese].
- Zi L. B., Mai M. T., Yang H., 2012. A review on competition indices of individual trees. *Journal of Northwest Forestry University*, 27(6): 152–158 [in Chinese].