

# QUAN HỆ KHÔNG GIAN CỦA CÂY RỪNG SAU KHAI THÁC CHỌN THEO KHOẢNG CÁCH VÀ ĐƯỜNG KÍNH CÂY

**Nguyễn Hồng Hải**

*Trường Đại học Lâm nghiệp*

## TÓM TẮT

Một trong những mục tiêu chính của nghiên cứu sinh thái rừng là tìm hiểu các cơ chế và quá trình đã điều tiết phân bố, độ nhiều và quan hệ của cây rừng. Nghiên cứu này so sánh cấu trúc không gian của các trạng thái rừng sau khai thác là tác động mạnh (HIL) và tác động trung bình (MIL) với trạng thái chưa khai thác (UL) theo tầng tán để tìm ra những cơ chế và quá trình sinh thái cơ bản nhất đang diễn ra trong lâm phần. Trên mỗi trạng thái rừng, 1 ô tiêu chuẩn 1 ha được thiết lập và điều tra đường kính ngang ngực (dbh), chiều cao, tên loài và tọa độ tương đối của tất cả cá thể cây có dbh  $\geq 2,5$  cm. Phương pháp phân tích mô hình điểm không gian một biến số và hai biến số được sử dụng để phân tích phân bố và quan hệ của cây rừng theo khoảng cách và kích thước cây ở ba tầng tán rừng: dưới tán, giữa tán và vượt tán. Kết quả phân tích đã chỉ ra được sự ổn định của cây rừng đối với trạng thái UL, trong khi quan hệ cạnh tranh giữa cây - cây được tìm thấy ở trạng thái HIL và MIL. Liên hệ với lý thuyết sinh thái cho thấy một số cơ chế sinh thái chính có khả năng điều chỉnh phân bố và quan hệ của cây rừng như: chết phụ thuộc mật độ, phát tán hạn chế và lý thuyết trung lập. Ảnh hưởng của việc khai thác chọn trong quá khứ đã tạo ra các xáo trộn cấu trúc không gian của rừng tự nhiên. Từ căn cứ này, các biện pháp lâm sinh có thể được đề xuất để giảm thiểu tính cạnh tranh, thúc đẩy khả năng sinh trưởng và quản lý rừng bền vững.

**Từ khóa:** Hàm tương quan đặc tính, hàm tương quan theo cặp, khai thác chọn, phân tích mô hình không gian, rừng nhiệt đới lá rộng thường xanh.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phân bố không gian của cây rừng đã được thừa nhận là những bằng chứng của các quá trình đã điều chỉnh cấu trúc của quần thể (He và cộng sự, 1997; Condit và cộng sự, 2000). Dựa vào vị trí của các cá thể cây (mô hình điểm - point pattern), phân tích mô hình không gian sẽ cho biết một nhóm cây có phân bố dạng cụm, dạng đều hoặc ngẫu nhiên; hai nhóm cây có quan hệ là tương hỗ, cạnh tranh hoặc độc lập với nhau ở những phạm vi nhất định trong không gian. Ngoài ra, nếu kết hợp thêm các đặc tính khác của cây (ví dụ kích thước cây: đường kính, chiều cao), quan hệ của những cây lân cận sẽ được làm sáng tỏ vì trong rừng tự nhiên vị trí cây thường có quan hệ với kích thước của chúng (Weiner và cộng sự, 2001; Stoll & Bergius, 2005).

Phân bố không gian của cây rừng, đặc biệt là ở rừng tự nhiên nhiệt đới, được điều chỉnh bởi nhiều cơ chế sinh thái khác nhau như: cạnh tranh/tương hỗ, phát tán hạn chế, chết phụ thuộc mật độ và lý thuyết trung lập. Trong đó,

cạnh tranh là cơ chế chính cấu tạo nên quần thể tự nhiên và thể hiện thông qua quá trình tự tía thưa self-thinning (Tilman, 1994). Phát tán hạn chế là một trong những cơ chế tạo ra phân bố dạng cụm - là phân bố phổ biến của đa số các loài cây rừng (He và cộng sự, 1997). Lý thuyết trung lập cho rằng để tương thích với môi trường sống, các loài cây sẽ có chức năng tương tự nhau vì thế cạnh tranh giữa các loài khác nhau rất khó được nhận diện (Hubbell, 2006). Các cơ chế sinh thái đang diễn ra trong quần thể đều để lại dấu vết thông qua mật độ cây rừng thay đổi ở các cấp kích thước cây và phạm vi không gian khác nhau.

Chúng tôi so sánh cấu trúc không gian của các trạng thái rừng sau khai thác là tác động mạnh (HIL) và tác động trung bình (MIL) với trạng thái chưa khai thác (UL) theo tầng tán để tìm ra những cơ chế và quá trình sinh thái cơ bản nhất đang diễn ra trong lâm phần. Chúng tôi giả thiết rằng: cây rừng ở các tầng tán dưới có phân bố dạng cụm và cạnh tranh với cây ở tầng trên là các dấu hiệu ở các trạng thái rừng sau khai thác

chọn. Ngoài ra, trạng thái chưa khai thác sẽ có sự ổn định hơn trong cấu trúc không gian.

## **2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Khu vực nghiên cứu và thu thập số liệu**

Khu vực nghiên cứu là Rừng thực nghiệm Kon Hà Nừng, huyện Kbang, tỉnh Gia Lai. Rừng lá rộng thường xanh ẩm nhiệt đới tại khu vực rừng thực nghiệm Kon Hà Nừng có diện tích xấp xỉ 1.400 ha; trong đó có khoảng 100 ha thuộc vùng lõi chưa khai thác. Khai thác chọn được thực hiện vào những năm trước 1980 trên những quần thụ có trữ lượng gỗ lớn hơn 130 m<sup>3</sup>/ha. Đường kính cây tối thiểu được khai thác là 45 cm. Khai thác chọn được thực hiện với cường độ cao (khai thác 30 - 50% trữ lượng), cường độ trung bình (khai thác 20 - 30% trữ lượng). Sau năm 1980, toàn bộ diện tích này được trại thực nghiệm Kon Hà Nừng bảo vệ nghiêm ngặt phục vụ mục đích nghiên cứu.

Khu vực nghiên cứu có nhiệt độ trung bình năm là 23,6°C. Lượng mưa trung bình năm khoảng 2.042 mm. Mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 12 và chiếm 90% tổng lượng mưa hàng năm, mùa khô kéo dài từ tháng 1 đến tháng 4. Đất chủ yếu là đất nâu tím điển hình, đất đỏ vàng, đất đỏ vàng có tầng sét loang lổ và đất đỏ vàng trên đá sét và đá biến chất. Độ cao địa hình xấp xỉ 700 m so với mực nước biển.

Vào năm 2018, ba ô tiêu chuẩn 1 ha được thiết lập trên ba trạng thái rừng: sau khai thác tác động mạnh (HIL; tọa độ 14°10.475' Bắc, 108°38.977' Đông), sau khai thác tác động trung bình (MIL; tọa độ 14°10.89' Bắc, 108°39.277' Đông) và chưa khai thác (UL; tọa độ 14°11.492' Bắc, 108°39.938' Đông). Mỗi ô tiêu chuẩn được chia thành một lưới 100 ô thứ cấp (10 x 10 m). Trên mỗi ô thứ cấp, đường kính thân cây ngang ngực (dbh) tại vị trí 1,3 m, chiều cao vút ngọn (H), vị trí của cây (x,y) trong ô và tên loài cây được xác định và đo đếm cho tất cả các cây thân gỗ có dbh ≥ 2,5 cm. Vị trí của các cây riêng lẻ được xác định thông qua việc sử dụng thước đo khoảng cách

bằng laser (Leica Disto D5) và la bàn. Sau đó, tất cả các cá thể cây được chia vào một trong ba tầng tán: dưới tán (H < 8 m), giữa tán (8 ≤ H ≤ 18 m), vượt tán (H > 18 m) theo cách tiếp cận của Getzin và cộng sự (2011).

### **2.2. Xử lý số liệu**

Phương pháp phân tích mô hình điểm không gian (spatial point pattern analysis) được sử dụng để phân tích sự sắp xếp trong không gian của các cá thể cây (Diggle, 2003). Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã dựa vào vị trí (x,y) và đường kính (dbh) của cá thể cây làm số liệu đầu vào. Hàm tương quan theo cặp (pair-correlation function) và hàm tương quan đặc tính (mark-correlation function-MCF) được sử dụng để mô tả tính chất của mô hình điểm không gian (spatial point pattern) trong một dải của khoảng cách (Illian và cộng sự, 2008). Quá trình mô phỏng đã sử dụng mô hình không (null model) để mô tả giả thuyết không (null hypothesis) của mô hình điểm và sau đó được đối chiếu với mô hình thực nghiệm (Diggle, 2003; Wiegand & Moloney, 2004). Độ lệch giữa mô hình thực nghiệm và mô hình lý thuyết không được sử dụng để mô tả mô hình thực nghiệm và tìm ra các quá trình đã điều chỉnh mô hình thực nghiệm.

#### *Hàm tương quan theo cặp*

Hàm tương quan theo cặp  $g(r)$  mô tả mật độ chuẩn hóa tại một khoảng cách nhất định  $r$  và được giải thích là mật độ kỳ vọng của các điểm tại khoảng cách  $r$  từ một điểm bất kỳ. Với một loại điểm (ví dụ: cây rừng ở cùng một tầng tán), ta có hàm tương quan theo cặp một biến số -  $g_{11}(r)$ , đây cũng là đạo hàm của hàm Ripley' K (Ripley 1976):

$$K(r) = 2\pi \int_0^r g(r')r'dr'$$

$$\text{hay } g(r) = \frac{K'(r)}{(2\pi r)} \text{ for } r \geq 0$$

$g_{11}(r) = 1$  cho biết phân bố hoàn toàn ngẫu nhiên,  $g_{11}(r) > 1$  cho biết phân bố kiểu cụm,  $g_{11}(r) < 1$  cho biết phân bố kiểu đều tại khoảng cách  $r$ .

Hàm tương quan theo cặp hai biến số  $g_{12}(r)$  được phát triển từ hàm tương quan theo cặp một biến số. Hàm  $g_{12}(r)$  được sử dụng để phân tích quan hệ không gian giữa hai nhóm điểm khác nhau (ví dụ: cây rừng ở hai tầng tán). Hàm  $g_{12}(r)$  phản ánh mật độ kỳ vọng của các điểm nhóm thứ 2 tại khoảng cách  $r$  từ một điểm bất kỳ của nhóm thứ 1. Nếu  $g_{12}(r) = 1$ , quan hệ là độc lập (không tương tác); nếu  $g_{12}(r) > 1$ , quan hệ là tương hỗ, nghĩa là có nhiều hơn các điểm nhóm 2 tại khoảng cách  $r$  từ một điểm bất kỳ của nhóm 1 so với kỳ vọng khi quan hệ là độc lập; nếu  $g_{12}(r) < 1$ , quan hệ là cạnh tranh tại khoảng cách  $r$ .

#### Hàm tương quan đặc tính

Hàm tương quan đặc tính (MCF) (Illian và cộng sự, 2008) mô tả sự phụ thuộc giữa đặc tính của các cây (ví dụ: dbh) ở khoảng cách  $r$ . Giả thiết hai cây  $i$  và  $j$  cách nhau một khoảng  $r$  và có đặc tính  $m_i$  và  $m_j$ . Quan hệ đặc tính được lượng hóa bởi một hàm kiểm tra  $t(m_i, m_j)$ . Dựa vào tất cả các cặp cây cách nhau một khoảng  $r$ , ước lượng của  $r$ -MCF được tính như sau:

$$\hat{k}_t(r) = \frac{1}{c_t} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t(m_i, m_j)] k(\|x_i - x_j\| - r)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n k(\|x_i - x_j\| - r)}$$

Trong đó  $c_t$  là kỳ vọng của hàm kiểm tra và  $k(\|x_i - x_j\| - r)$  là một hàm trung tâm. Nếu khoảng cách  $\|x_i - x_j\|$  gần với  $r$ , hàm trung tâm nhận giá trị 1, ngược lại nhận giá trị 0.

Trường hợp có một biến số,  $k_{m_1 m_1}(r)$ , sử dụng hàm kiểm tra  $t_2(m_i, m_j) = m_i$  được chuẩn hóa bởi giá trị đặc tính trung bình  $\mu$ . Trường hợp có hai biến số,  $k_{m_1 m_2}(r)$ , sử dụng hàm kiểm tra  $t_3(m_i, m_j) = m_j$ , trong đó chỉ có giá trị đặc tính của nhóm 2 được xem xét. Trường hợp các đặc tính là độc lập với nhau MCF = 1, nếu MCF < 1, thì các đặc tính có tương quan nghịch với nhau và nếu MCF > 1, thì các đặc tính có tương quan thuận (quan hệ tương hỗ) tại khoảng cách  $r$ . Chẳng hạn, tương quan nghịch (quan hệ cạnh tranh) xảy ra nếu các cây cách nhau một khoảng  $r$  và sẽ có giá trị các đặc tính nhỏ hơn giá trị trung bình (Illian và cộng sự, 2008).

#### Mô hình không

Giả thuyết cơ sở cho các phân tích trong bài báo này là các điều kiện môi trường tại ô tiêu chuẩn là đồng nhất. Bởi vì điều kiện môi trường không đồng nhất sẽ ảnh hưởng đến phân bố không gian của cây và lựa chọn các mô hình không phù hợp với sự không đồng nhất. Chúng tôi đã kiểm tra tính đồng nhất này dựa vào phân bố không gian của tất cả các cây trưởng thành (dbh  $\geq 10$  cm) bởi vì cây trưởng thành có khả năng sống phủ kín các diện tích được nghiên cứu và đã trải qua giai đoạn chọn lọc tự nhiên khó khăn nhất. Chất lượng môi trường sống không đồng nhất (nếu có) sẽ phản ánh thông qua phân bố không đồng nhất của cây thành thực (Getzin và cộng sự, 2008). Các ô tiêu chuẩn nghiên cứu được xác định là đồng nhất về điều kiện môi trường. Vì vậy, chúng tôi đã áp dụng mô hình không gian hoàn toàn ngẫu nhiên (complete spatial randomness - CSR) cho hàm một biến số và độc lập (Independence) cho hàm hai biến số để mô tả mô hình không gian.

Trong tất cả các phân tích mô hình không gian, đã thực hiện 199 lần mô phỏng Monte Carlo và sử dụng 5 giá trị lớn nhất và 5 giá trị nhỏ nhất để xây dựng khoảng tin cậy xấp xỉ 95%. Sự khác biệt có ý nghĩa so với giả thuyết không là mô hình thực nghiệm nằm ngoài khoảng tin cậy. Sau đó, phép kiểm tra Goodness-of-Fit test được áp dụng cho mức sai số  $\leq 5\%$  để giảm sai số loại I. Tất cả các phân tích không gian nêu trên đều được thực hiện trên phần mềm Programita (Wiegand & Moloney, 2004).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đặc điểm cấu trúc lâm phần

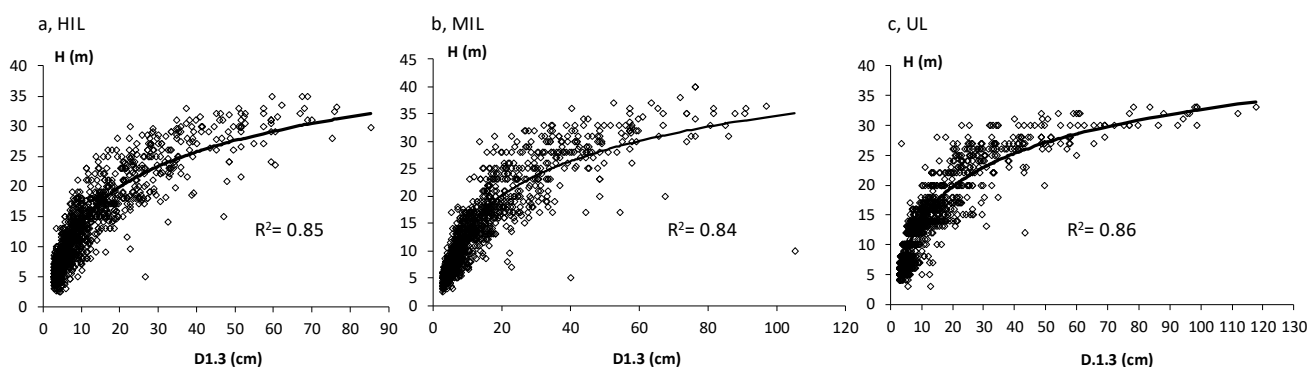
Kết quả tính toán cho thấy tính đa dạng loài và trữ lượng gỗ ở cả ba trạng thái rừng đều rất cao (bảng 1). Số cây có đường kính từ 2,5 cm được đo đếm biến động từ 1341 - 1551 cây, lớn nhất ở trạng thái UL. Độ nhiều của loài trạng thái biến động từ 83 - 115 loài cây, lớn nhất là trạng thái MIL. Đường kính lớn nhất

biến động từ 85,35 - 117,83 cm và chiều cao lớn nhất biến động từ 33 - 55 m. Cả ba trạng thái rừng đều có trữ lượng gỗ rất cao từ 408,47 (HIL) - 619,42 (MIL) m<sup>3</sup>/ha. Quan hệ giữa

đường kính và chiều cao cây rừng ở ba trạng thái rừng được mô phỏng theo dạng hàm Logarit và cho thấy đều ở mức rất chặt với R<sup>2</sup> = 0,84 - 0,86 và giá trị p < 0,05 (Hình 1).

**Bảng 1. Một số chỉ tiêu cấu trúc của 03 trạng thái rừng**

Chỉ tiêu	HIL	MIL	UL
Số cây	1427	1341	1551
Số loài	96	115	83
Chiều cao lớn nhất (m)	55	40	33
Đường kính lớn nhất (cm)	85,35	105,41	117,83
Tổng tiết diện ngang (m <sup>2</sup> /ha)	33,024	46,127	43,791
Trữ lượng (m <sup>3</sup> /ha)	408,47	619,42	570,28



**Hình 1. Quan hệ giữa đường kính ngang ngực và chiều cao của cây rừng ở trạng thái rừng (Khai thác tác động mạnh - HIL (hình 1a), Khai thác tác động trung bình - MIL (hình 1b) và Chưa khai thác - UL (hình 1c))**

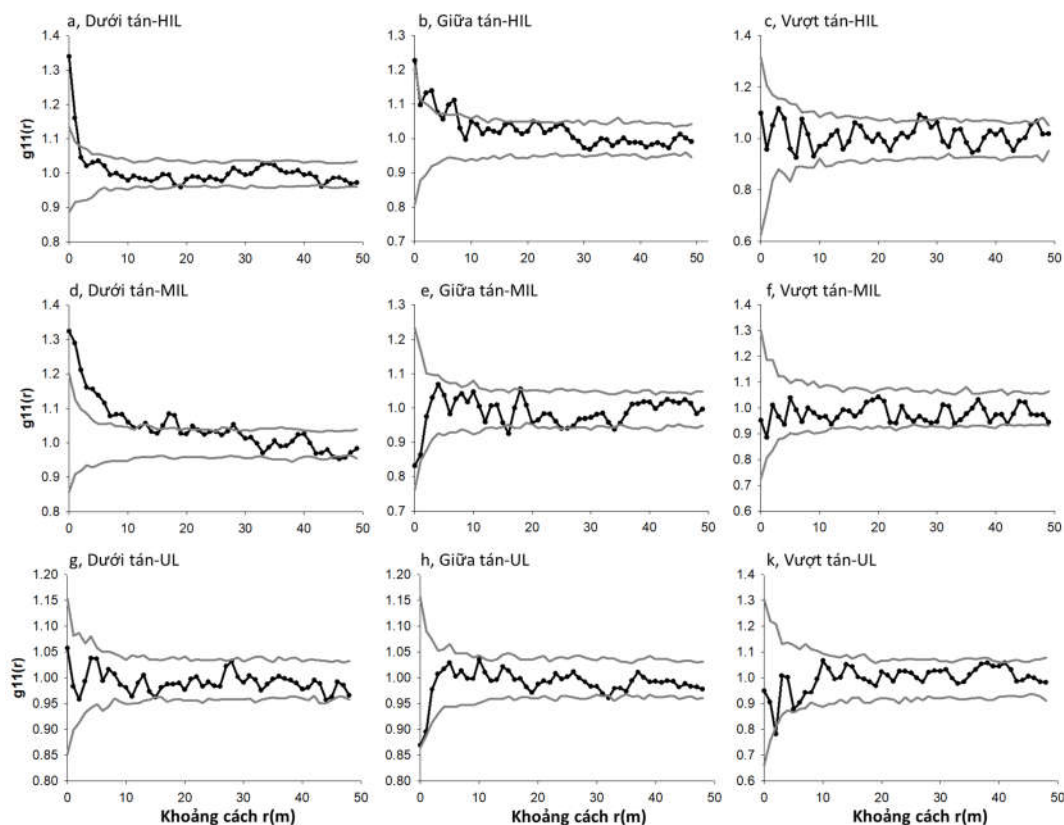
**3.2. Phân tích mô hình không gian một biến số**

Kết quả phân tích mô hình không gian của cả ba trạng thái rừng cho thấy hàm tương quan theo cặp một biến số của 3 tầng tán (dưới, giữa và vượt tán) đều tiệm cận giá trị 1 trong khoảng cách 30 m (Hình 2). Điều này chứng tỏ cả ba ô tiêu chuẩn đều đồng nhất về điều kiện môi trường. Kết quả tương tự cũng được thể hiện thông qua hàm tương quan đặc tính một biến số cho thấy mức độ đồng đều về đường kính ngang ngực của cây rừng ở cả ba trạng thái rừng (Hình 3).

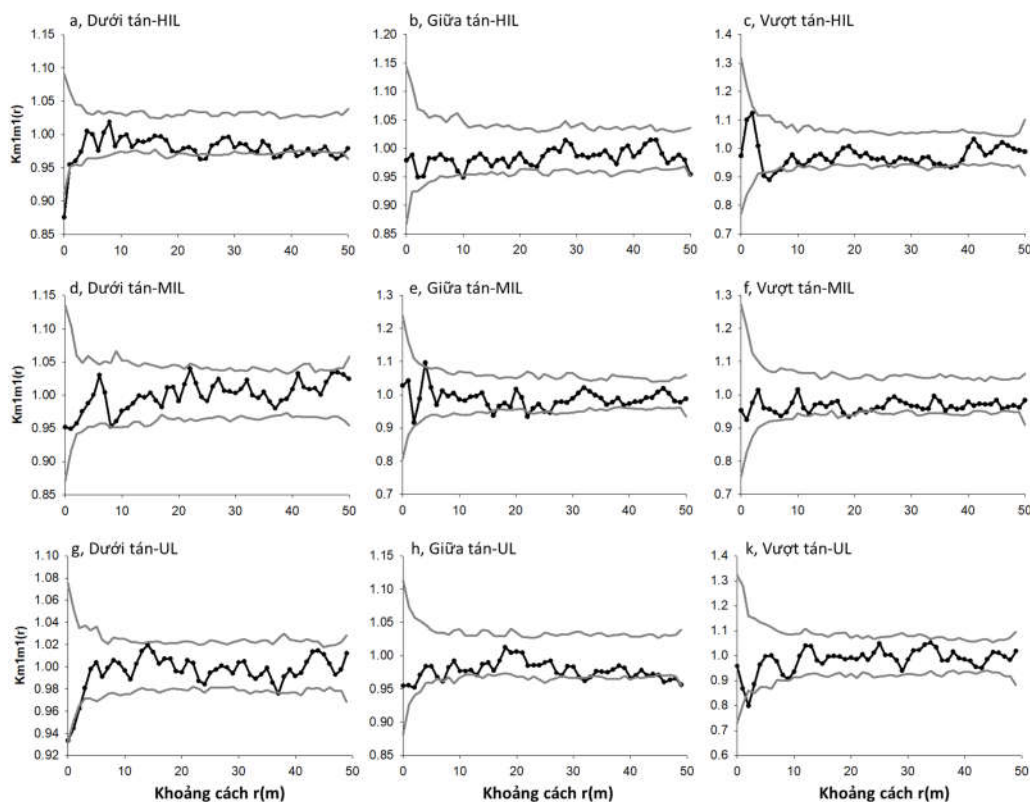
Quan hệ về khoảng cách giữa các cây rừng cho thấy xu thế chuyển từ phân bố dạng cụm sang phân bố dạng ngẫu nhiên theo tầng tán từ dưới tán đến vượt tán ở trạng thái rừng đã bị tác động (Hình 2a-f). Ở trạng thái UL, tất cả cây rừng của ba tầng tán đều có phân bố dạng

ngẫu nhiên (Hình 2g-k). Như vậy, cây rừng có xu hướng phân bố ngẫu nhiên khi kích thước cây tăng lên ở cả ba trạng thái rừng được nghiên cứu.

Giá trị của hàm tương quan đặc tính nhỏ hơn 1 ở khoảng cách dưới 3 m cho thấy cây rừng ở tầng dưới tán (Hình 3a, g) và tầng vượt tán (Hình 3c, f, k) có xu thế ức chế lẫn nhau về đường kính. Xu thế cạnh tranh này được thể hiện tương đối rõ ràng ở cả ba trạng thái rừng. Ở tầng giữa tán, cây rừng chủ yếu có quan hệ độc lập với nhau về đường kính thể hiện bởi giá trị của hàm tương quan đặc tính xấp xỉ 1 ở cả ba trạng thái rừng. Mặc dù có quan hệ cạnh tranh ức chế lẫn nhau ở tầng dưới tán nhưng cây rừng ở tầng giữa và vượt tán cũng cho thấy xu thế dịch chuyển từ quan hệ độc lập sang quan hệ cạnh tranh về đường kính.



**Hình 2. Quan hệ không gian theo khoảng cách của cây rừng ở ba tầng tán của ba trạng thái rừng** (Khai thác tác động mạnh - HIL (hình 2a-c), Khai thác tác động trung bình - MIL (hình 2d-f) và Chưa khai thác - UL (hình 2g-k). Đường màu đen là mô hình thực nghiệm, đường màu xám là khoảng tin cậy 95%)

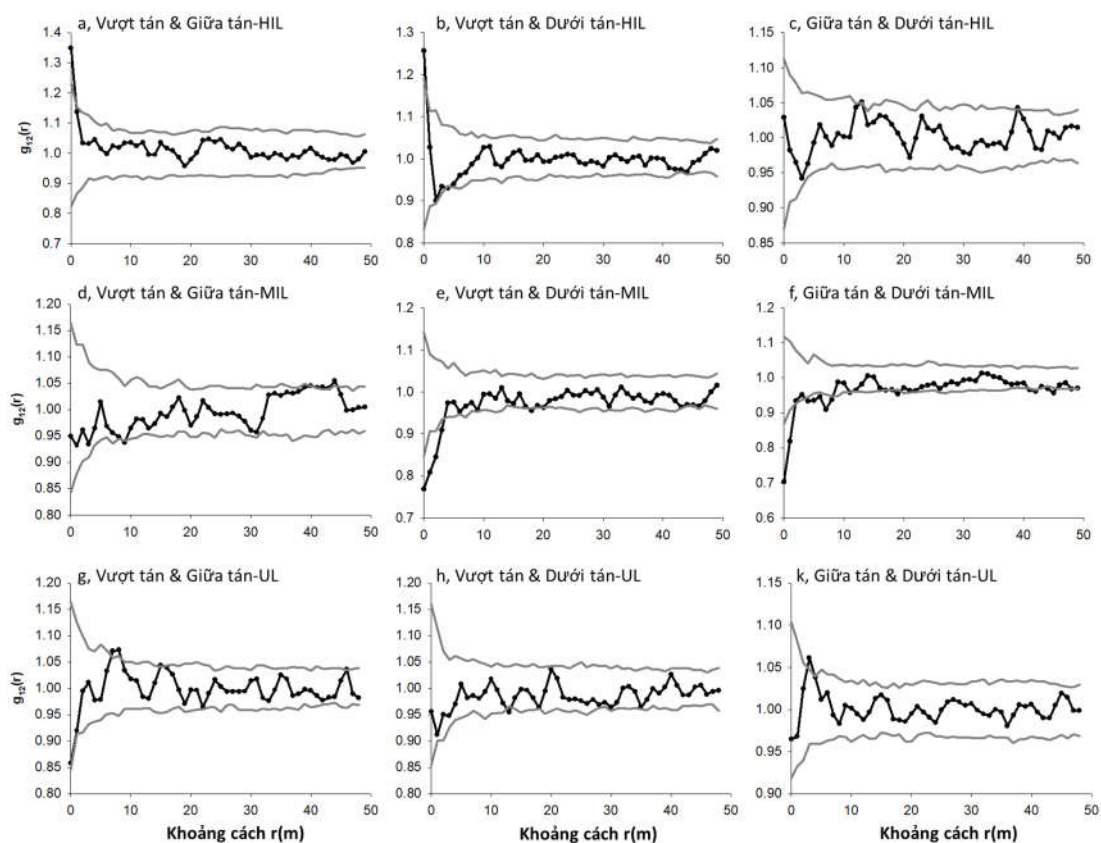


**Hình 3. Quan hệ không gian theo đường kính của cây rừng ở ba tầng tán của ba trạng thái rừng** (Khai thác tác động mạnh - HIL (hình 3a-c), Khai thác tác động trung bình - MIL (hình 3d-f) và Chưa khai thác - UL (hình 3g-k). Đường màu đen là mô hình thực nghiệm, đường màu xám là khoảng tin cậy 95%.)

Mặc dù quan hệ không gian theo khoảng cách không thể hiện rõ nhưng quan hệ theo đường kính cho thấy có bằng chứng rõ ràng của sự cạnh tranh về môi trường sống của cây rừng ở cả ba trạng thái rừng được nghiên cứu. Sự chuyển đổi từ phân bố dạng cụm sang dạng ngẫu nhiên hoặc đều của cây rừng ở tầng dưới tán đến tầng vượt tán được cho là kết quả của quá trình chết phụ thuộc mật độ - density dependent mortality (Peters, 2003). Những cây ở tầng trên có kích thước lớn hơn thể hiện khả năng cạnh tranh mạnh hơn cây ở tầng dưới (Peters, 2003; Picard và cộng sự, 2009). Pelissier (1998) cũng cho rằng xu hướng phân

bố đều của cây trưởng thành là dấu hiệu của sự cạnh tranh mạnh mẽ giữa các cá thể cây với nhau. Phân bố dạng cụm của cây rừng ở hai trạng thái rừng đã bị tác động cho thấy nguyên nhân có thể là việc khai thác chọn trong quá khứ đã tạo ra các lỗ trống và tạo điều kiện cho cây non phát triển với mật độ cao. Ngoài ra, phân bố dạng cụm còn có thể là kết quả của quá trình phát tán hạn chế - dispersal limitation (Condit và cộng sự, 2000). Trong khi đó, phân bố dạng ngẫu nhiên ở trạng thái UL lại cho thấy sự ổn định trong phân bố của cây rừng ở trạng thái ít bị tác động ở cả ba tầng tán.

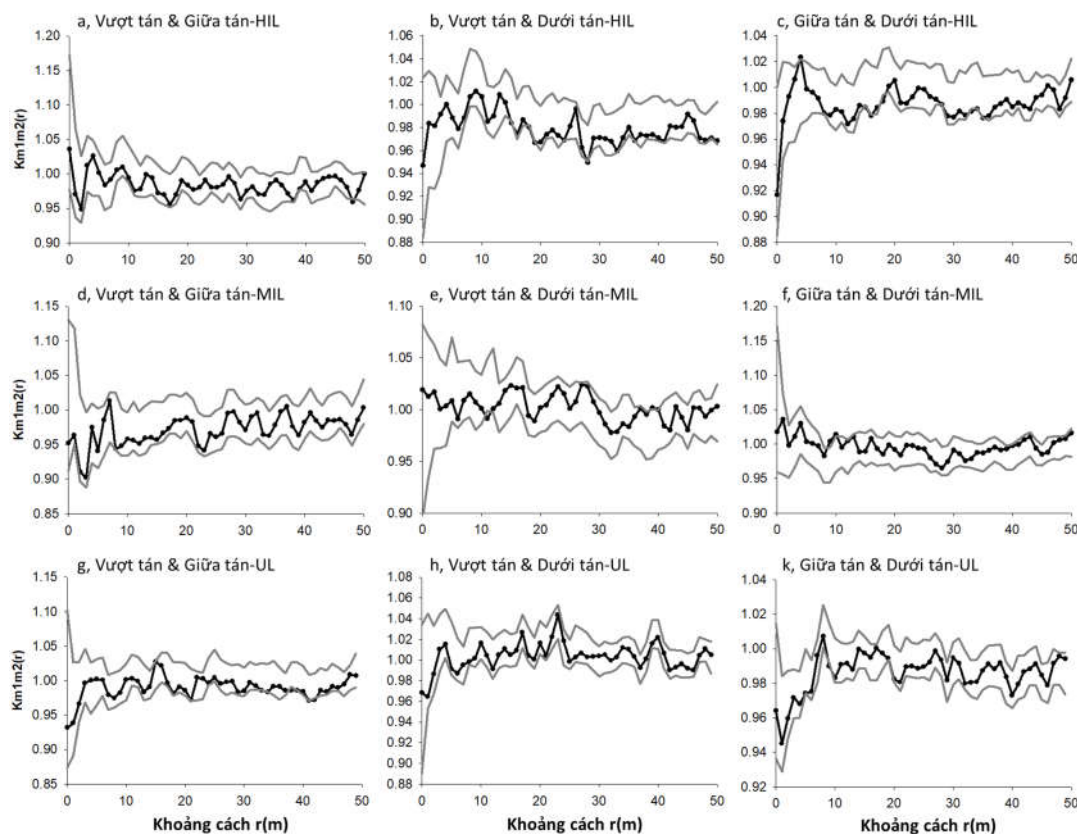
### 3.3. Phân tích mô hình không gian hai biến số



**Hình 4. Quan hệ không gian theo khoảng cách của cây rừng giữa các tầng tán của ba trạng thái rừng (Khai thác tác động mạnh - HIL (hình 4a-c), Khai thác tác động trung bình - MIL (hình 4d-f) và Chưa khai thác - UL (hình 4g-k). Đường màu đen là mô hình thực nghiệm, đường màu xám là khoảng tin cậy 95%.)**

Phân tích mô hình không gian giữa các tầng tán của cây rừng ở ba trạng thái rừng cho thấy phân bố cây rừng ở trạng thái HIL và UL độc lập hơn trạng thái MIL (hình 4). Ở trạng thái HIL, cây rừng ở tầng giữa và dưới tán có xu hướng phân bố với mật độ cao xung quanh các cây vượt tán ở khoảng cách gần dưới 1 m và phân bố độc lập ở các khoảng cách lớn hơn 1

m (hình 4a-b). Tương tự ở trạng thái UL, cây rừng ở tầng tán thấp hơn có phân bố mật độ cao xung quanh cây tầng trên ở khoảng cách dưới 10 m (hình 4g, k). Ngược lại, ở trạng thái MIL, cây dưới tán có xu thế phân bố với mật độ thấp xung quanh các cây tầng trên ở khoảng cách từ 0 - 8 m và phân bố độc lập ở các khoảng cách lớn hơn 8 m (hình 4e-f).



**Hình 5. Quan hệ không gian theo đường kính của cây rừng giữa các tầng tán của ba trạng thái rừng** (Khai thác tác động mạnh - HIL (hình 5a-c), Khai thác tác động trung bình - MIL (hình 5d-f) và Chưa khai thác - UL (hình 5g-k). Đường màu đen là mô hình thực nghiệm, đường màu xám là khoảng tin cậy 95%.)

Kết quả phân tích quan hệ không gian theo đường kính của cây rừng cho thấy rằng quan hệ này là độc lập trong không gian ở cả ba trạng thái rừng. Như vậy, không có sự cạnh tranh hay tương hỗ của cây rừng được thể hiện thông qua đường kính cây giữa các tầng tán với nhau mặc dù quan hệ này được thể hiện rõ ràng hơn thông qua khoảng cách cây - cây ở hình 3.

Quan hệ tương hỗ theo khoảng cách của cây rừng giữa các tầng tán ở trạng thái HIL và UL cho thấy ảnh hưởng của lỗ trống và cơ chế phát tán hạn chế đến phân bố của cây non ở tầng tán dưới lân cận cây ở tầng tán trên. Ở trạng thái MIL, cây non ở tầng dưới tán có xu hướng phân bố tách rời cây ở hai tầng tán trên. Điều này cho thể được giải thích là do những cây non ưa sáng có xu thế phân bố với mật độ cao ở các lỗ trống được tạo ra do khai thác chọn những cây gỗ lớn. Quan hệ độc lập của cây rừng nhiệt đới có thể được giải thích bởi lý thuyết trung lập - Neutral theory (Hubbell, 2006), theo đó tính đa dạng loài cao của rừng nhiệt đới làm cho không loài nào chiếm ưu thế

rõ rệt và làm suy giảm tính cạnh tranh giữa các loài trong quần xã.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phân tích mô hình điểm không gian một biến số và hai biến số được sử dụng để so sánh cấu trúc không gian của ba trạng thái rừng là khai thác tác động mạnh (HIL), tác động trung bình (MIL) và chưa khai thác (UL). Kết quả phân tích đã chỉ ra được sự ổn định của cây rừng đối với trạng thái UL, trong khi quan hệ cạnh tranh giữa cây - cây được tìm thấy ở trạng thái HIL và MIL. Liên hệ với lý thuyết sinh thái, một số cơ chế sinh thái chính có khả năng điều chỉnh phân bố và quan hệ của cây rừng như: quá trình chết phụ thuộc mật độ, phát tán hạn chế và lý thuyết trung lập. Ảnh hưởng của việc khai thác chọn trong quá khứ đã tạo ra các xáo trộn của cấu trúc không gian của rừng tự nhiên. Từ căn cứ này, các biện pháp lâm sinh có thể được đề xuất để giảm thiểu tính cạnh tranh, thúc đẩy khả năng sinh trưởng và quản lý rừng bền vững.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong Đề tài mã số **106-NN.06-2016.22**

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Condit, R., P. S. Ashton, P. Baker, S. Bunyavejchewin, S. Gunatilleke, N. Gunatilleke, S. P. Hubbell, R. B. Foster, A. Itoh, J. V. LaFrankie, H. S. Lee, E. Losos, N. Manokaran, R. Sukumar and T. Yamakura (2000). Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* **288**(5470): 1414-1418.
2. Diggle, P. J. (2003). *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. London, Arnold (Hodder Headline Group).
3. Getzin, S., T. Wiegand, K. Wiegand and F. He (2008). Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *Journal Of Ecology* **96**(4): 807-820.
4. Getzin, S., Worbes, M., Wiegand, T., & Wiegand, K. (2011). Size dominance regulates tree spacing more than competition within height classes in tropical Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, *27*(1), 93-102.
5. He, F. L., P. Legendre and J. V. LaFrankie (1997). Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science* **8**(1): 105-114.
6. Hubbell, S. P. (2006). Neutral theory and the evolution of ecological equivalence. *Ecology* **87**(6): 1387-1398.

7. Illian, J., D. Stoyan, H. Stoyan and A. Penttinen (2008). *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. Sussex, Wiley.

8. Pelissier, R. (1998). Tree spatial patterns in three contrasting plots of a southern Indian tropical moist evergreen forest. *Journal of Tropical Ecology* **14**: 1-16.

9. Peters, H. A. (2003). Neighbour-regulated mortality: the influence of positive and negative density dependence on tree populations in species-rich tropical forests. *Ecology Letters* **6**(8): 757-765.

10. Picard, N., A. Bar-Hen, F. Mortier and J. Chadoeuf (2009). Understanding the dynamics of an undisturbed tropical rain forest from the spatial pattern of trees. *Journal Of Ecology* **97**(1): 97-108.

11. Ripley, B. D. (1976). The Second-Order Analysis of Stationary Point Processes. *Journal of Applied Probability* **13**(2): 255-266

12. Stoll, P. and E. Bergius (2005). Pattern and process: competition causes regular spacing of individuals within plant populations. *Journal Of Ecology* **93**(2): 395-403.

13. Tilman, D. (1994). Competition and biodiversity in spatially structure habitats. *Ecology* **75**(1): 2-16.

14. Weiner, J., P. Stoll, H. Muller-Landau and A. Jasentuliyana (2001). The effects of density, spatial pattern, and competitive symmetry on size variation in simulated plant populations. *American Naturalist* **158**(4): 438-450.

15. Wiegand, T. and K. A. Moloney (2004). Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* **104**(2): 209-229.

## SPATIAL ASSOCIATION OF FOREST TREES AFTER LOGGING BASED ON THEIR DISTANCES AND DIAMETERS

Nguyen Hong Hai

*Vietnam National University of Forestry*

### SUMMARY

One of the principal objectives in forest ecology is to understand mechanisms and processes regulating distribution, abundance, and association of forest trees. Our study compares the spatial structure of logged forest stands including high impact logging (HIL) and medium impact logging (MIL) to the unlogged forest (UL) based on canopy stories to identify the most important underlying mechanisms and processes. On each forest stand, one ha plot was designed and measured diameter at breast height (dbh), tree height, species and relative coordinates of all trees with  $dbh \geq 2.5$  cm. Methods of univariate and bivariate spatial point pattern analysis were used to analyze distribution and association of forest trees based on their distances and diameters on three vertical strata: understorey, midstory and overstorey. The results showed stationary of trees in UL while competition between tree-tree was found in HIL and MIL. Relevant ecological theories showed that principal mechanisms may regulate tree distribution and association such as dependent mortality, dispersal limitation and neutral theory. Effects of selective logging in the past disturbed spatial structure of these natural forests. Based on these findings, silvicultural treatments may be applied to reduce competitive interaction, facilitate productive increment and sustainable forest management.

**Keywords:** Mark correlation function, pair correlation function, selective logging, spatial pattern analysis, tropical broadleaved rain forest.

Ngày nhận bài : 05/4/2019

Ngày phản biện : 21/5/2019

Ngày quyết định đăng : 29/5/2019