

MỞ ĐẦU

Đặt vấn đề

Theo Hiệp định khung của LHQ về biến đổi khí hậu (UNFCCC, 1992) và Nghị định thư Kyoto (1997), những nước đã ký Nghị định thư Kyoto đều phải có trách nhiệm báo cáo những thay đổi về sinh khối và dự trữ các bon trong các hệ sinh thái rừng của nước mình. Việt Nam đã phê chuẩn UNFCCC ngày 16 tháng 11 năm 1994 và Nghị định thư Kyoto ngày 25 tháng 09 năm 2006. Vì thế, Việt Nam cũng phải có trách nhiệm báo cáo những thay đổi về sinh khối và dự trữ các bon trong các hệ sinh thái rừng của nước mình.

Trước đây, nhiều tác giả cũng đã xây dựng những hàm thể tích (Đông Sỹ Hiền, 1974; Nguyễn Ngọc Lung và Đào Công Khanh, 1999; Vũ Tiến Hinh, 2005, 2012) và những hàm sinh khối (Lê Hồng Phúc, 1995; Viên Ngọc Nam, 1998; Bảo Huy, 2010; Võ Đại Hải, 2008; Phạm Thế Dũng và Vũ Đình Hương, 2010) đối với những loài cây gỗ và những kiểu rừng khác nhau ở Việt Nam. Theo Kimmins (1998) và Brown (2002), bên cạnh những nghiên cứu về sinh khối đối với các kiểu rừng ở phạm vi quốc gia và vùng, khoa học vẫn cần phải nghiên cứu sinh khối đối với các kiểu rừng ở phạm vi địa phương. Hiện nay vẫn còn thiếu những phương pháp ước lượng và đánh giá sinh khối và dự trữ carbon đối với rừng tự nhiên ở Ninh Thuận. Điều đó đã gây ra những khó khăn cho việc quản lý rừng, xác định dự trữ năng lượng và tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng. Xuất phát từ đó, đề tài luận án này xây dựng những hàm sinh khối trên mặt đất để làm cơ sở cho việc ước lượng và đánh giá sinh khối và khả năng dự trữ carbon trên mặt đất đối với rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới (Rkx) và rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới (Rtr) ở tỉnh Ninh Thuận.

Mục tiêu tổng quát

Ước lượng và đánh giá sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với Rkx và Rtr để làm cơ sở cho việc quản lý rừng, kỹ thuật lâm sinh, điều tra rừng và tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng ở tỉnh Ninh Thuận.

Mục tiêu cụ thể

- a. Phân tích kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc quần thụ để làm cơ sở cho việc chọn loài cây gỗ trong thu mẫu sinh khối và ước lượng nhanh sinh khối đối với Rkx và Rtr.

- b. Xây dựng các hàm sinh khối trên mặt đất với những biến dự đoán thích hợp để làm cơ sở cho việc ước lượng sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ thuộc Rkx và Rtr.
- c. Xác định sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với Rkx và Rtr để làm cơ sở cho quản lý rừng, kỹ thuật lâm sinh, điều tra rừng và tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng ở tỉnh Ninh Thuận.

Phạm vi nghiên cứu

Sinh khối và dự trữ các bon trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ thuộc Rkx và Rtr ở khu vực Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận.

Ý nghĩa của đề tài

Về lý luận, đề tài luận án cung cấp những thông tin để phân tích so sánh chức năng của Rkx và Rtr ở mức địa phương, vùng và quốc gia. Về thực tiễn, Về thực tiễn, đề tài luận án không chỉ cung cấp các hàm thống kê sinh khối và những số liệu về sinh khối, mà còn cả kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc quần thụ của hai kiểu Rkx và Rtr. Những thông tin này là căn cứ khoa học cho việc xây dựng kế hoạch quản lý rừng, điều tra rừng và tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng ở khu vực Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận.

Những đóng góp mới của luận án

(1) Xây dựng được các hàm sinh khối trên mặt đất, các hệ số điều chỉnh sinh khối trên mặt đất và tỷ lệ giữa các thành phần sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ thuộc rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới và rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới ở khu vực Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận.

(2) Xác định được tổng sinh khối và tổng dự trữ carbon trên mặt đất đối với Rkx hơi khô nhiệt đới ở VQG Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận tương ứng dao động từ 47,9 tấn/ha và 22,5 tấn/ha ở trạng thái rừng IIIA₁ đến 147,0 tấn/ha và 69,1 tấn/ha ở trạng thái rừng IIIA₃; trung bình 87,0 tấn/ha và 41,1 tấn/ha. Đối với rừng Rtr hơi khô nhiệt đới, tổng sinh khối và tổng dự trữ carbon trên mặt đất tương ứng dao động từ 35,1 tấn/ha và 16,5 tấn/ha ở trạng thái rừng IIIA₁ đến 92,0 tấn/ha và 43,2 tấn/ha ở trạng thái rừng IIIA₂; trung bình 57,0 tấn/ha và 26,8 tấn/ha.

Bố cục của luận án bao gồm phần mở đầu, 3 chương và phần kết luận. Chương 1: Tổng quan. Chương 2: Đối tượng, nội dung và phương pháp nghiên cứu. Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận. Phần kết luận. Tổng số 160 trang; 68 bảng; 26 hình và đồ thị; 36 phụ lục. Luận án tham khảo 80 tài liệu trong nước và ngoài nước.

Chương 1. TỔNG QUAN

Từ 80 tài liệu tổng quan cho thấy, có 5 phương pháp ước lượng sinh khối và dự trữ các bon của rừng: cân đo trực tiếp sinh khối tại rừng; hàm thống kê sinh khối; số liệu điều tra rừng cùng với hệ số chuyển đổi và điều chỉnh sinh khối (BCEF) hoặc tỷ lệ những thành phần sinh khối (R_i); sóng âm (Rada) và viễn thám; trong đó ba phương pháp đầu được sử dụng phổ biến nhất.

Theo IPCC (2006), hệ sinh thái rừng có 5 bể các bon: sinh khối trên mặt đất, sinh khối dưới mặt đất, vật rụng, xác chết của thực vật và vật chất hữu cơ trong những lớp đất. Bể các bon trên mặt đất là to lớn nhất; trong đó dự trữ các bon lại tập trung chủ yếu trong sinh khối trên mặt đất của quần thụ. Ước lượng chính xác khối lượng các bon của tất cả các bể các bon của rừng là một công việc phức tạp và tốn kém về nhân lực, thời gian và kinh phí. Vì thế, đề tài luận án chỉ xây dựng những hàm thống kê sinh khối trên mặt đất để làm cơ sở cho việc ước lượng và đánh giá sinh khối và dự trữ các bon trên mặt đất đối với những cây gỗ và quần thụ thuộc R_{kx} và R_{tr} ở khu vực nghiên cứu. Mặt khác, để chọn những cây gỗ thích hợp trong nghiên cứu sinh khối đối với hai kiểu R_{kx} và R_{tr}, đề tài luận án đã phân tích tổ thành rừng, phân bố N/D và phân bố N/H của hai kiểu rừng này. Từ các hàm $B_i = f(D)$ và phân bố N/D, có thể xác định B_i theo các cấp D.

Độ chính xác của các hàm thống kê (V_T , B_i , BEF_i , R_i) phụ thuộc chặt chẽ không chỉ vào dạng hàm, số lượng và kích thước cây mẫu và ô mẫu, mà còn vào số lượng biến dự đoán và những tiêu chuẩn chọn hàm thống kê thích hợp... Trong nghiên cứu này, đề tài luận án đã sử dụng ô mẫu thay đổi từ 0,2 – 1,0 ha để phân tích tổ thành rừng, cấu trúc và biến động sinh khối của rừng, còn số lượng cây mẫu được chọn điển hình theo những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế trong quần xã. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, hàm lũy thừa với biến dự đoán D hoặc $D^2 \cdot H$ là hàm thích hợp để xây dựng các hàm sinh khối ở mức cây gỗ và quần thụ. Với quan niệm hàm sinh khối thích hợp là hàm mô tả đối tượng nghiên cứu với sai lệch nhỏ nhất, hướng giải quyết của đề tài luận án bắt đầu từ việc kiểm định sai lệch của nhiều hàm khác nhau, sau đó chọn những hàm thích hợp theo tiêu chuẩn “Tổng sai lệch bình phương nhỏ nhất” (SSR_{\min}). Đối với những hàm sinh khối ở mức cây cá thể, biến dự đoán thường là D và H

hoặc tổ hợp giữa hai biến này ở dạng D^*H , D^2H và D^3/H . Đối với những hàm thống kê sinh khối ở mức quần thụ, biến dự đoán là G và M .

Bên cạnh những hàm sinh khối, đề tài luận án này cũng xây dựng các hệ số điều chỉnh sinh khối (BEF_i) và tỷ lệ sinh khối (R_i) đối với các thành phần của R_{kx} và R_{tr} ở khu vực Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận.

Chương 2

ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là cây gỗ và quần thụ thuộc R_{kx} và R_{tr} . Địa điểm nghiên cứu được đặt tại VQG Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận. Tọa độ địa lý: $11^{\circ}58'32''$ đến $12^{\circ}10'00''$ vĩ Bắc; $108^{\circ}41'00''$ đến $108^{\circ}49'05''$ kinh Đông. Khí hậu phân chia thành 2 mùa rõ rệt; trong đó mùa khô kéo dài 6 tháng từ 12 năm trước đến tháng 5 năm sau, còn mùa mưa từ tháng 6 đến tháng 11. Nhiệt độ không khí trung bình $22,0^{\circ}C$. Lượng mưa trung bình năm là 1.000,0 mm. Độ ẩm không khí trung bình 80%. Độ cao từ 1.100 - 1.200 m so với mặt biển. Đất feralit đỏ vàng phát triển trên đá Macma chua và trung tính.

2.2. Nội dung nghiên cứu

- (1) Kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của R_{kx} và R_{tr} .
- (2) Xây dựng các hàm sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ ở R_{kx} và R_{tr} .
- (3) Sinh khối và dự trữ các bon đối với R_{kx} và R_{tr} .
- (4) Thảo luận

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp luận

Hướng giải quyết của đề tài luận án bắt đầu từ việc thu thập những thành phần sinh khối trên những cây mẫu điển hình theo nhóm loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế bằng cách cân đo trực tiếp tại rừng. Kế đến xây dựng và chọn các hàm B_i , BEF_i và R_i dựa theo những biến dự đoán thích hợp. Sau đó sử dụng các hàm sinh khối thích hợp cùng với những ô mẫu để ước lượng sinh khối ở mức cây cá thể và quần thụ thuộc những trạng thái rừng khác nhau. Sinh khối của kiểu rừng là tổng sinh khối của các trạng thái rừng.

Những giả thuyết nghiên cứu

- (1) Những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế đóng góp lớn nhất về trữ lượng gỗ và sinh khối trong quần thụ. Giả thuyết này được kiểm chứng thông qua phân tích kết cấu loài cây gỗ của các quần thụ.
- (2) Những loài cây gỗ có kích thước tương đồng với nhau thì sinh khối và thể tích thân cây của chúng cũng tương đồng với nhau. Giả thuyết này dựa trên cơ sở các hàm sinh khối được xây dựng từ sinh khối trung bình của các loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế.
- (3) Sinh khối cây gỗ và quần thụ thay đổi tùy theo kiểu rừng. Giả thuyết này được kiểm chứng thông qua phân tích so sánh sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ thuộc hai kiểu Rkx và Rtr.
- (4) Sinh khối cây gỗ có mối quan hệ chặt chẽ với D và H. Tương tự, sinh khối quần thụ có mối quan hệ chặt chẽ với N, G và M. Giả thuyết được kiểm chứng thông qua phân tích mối quan hệ giữa thành phần sinh khối của cây gỗ và quần thụ với các biến dự đoán D, H, N, G và M.

2.3.2. Phương pháp thu thập số liệu

(a) Đối tượng nghiên cứu là 4 trạng thái rừng IIB, IIIA₁, IIIA₂, IIIA₃ ở Rkx và 3 trạng thái rừng IIB, IIIA₁, IIIA₂ ở Rtr.

(b) Phương pháp bố trí ô tiêu chuẩn là phương pháp rút mẫu điển hình. Tổng số 35 ô tiêu chuẩn; trong đó 20 ô tiêu chuẩn ở Rkx và 15 ô tiêu chuẩn ở Rtr. Kích thước ô tiêu chuẩn là 0,2 ha.

(c) Xác định đặc điểm lâm học của hai kiểu rừng. Những đặc điểm lâm học được nghiên cứu bao gồm tổ thành rừng, N (cây/ha), G (m²/ha), M (m³/ha), phân bố N/D, phân bố N/H, phân bố G/D và phân bố M/D. Đối với mỗi ô tiêu chuẩn, xác định chu vi thân cây ($D \geq 8$ cm) bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm; sau đó quy đổi ra D (cm). Chỉ tiêu H được đo bằng thước đo cao Blume - Leise với độ chính xác 0,5 m.

(d) Phương pháp thu thập sinh khối trên những cây mẫu. Đối với những quần thụ thuộc Rkx, số lượng cây mẫu là 47 cây; trong đó phân chia đều từ cấp $D = 8 - 94$ cm. Đối với những quần thụ thuộc Rtr, số lượng cây mẫu là 41 cây; trong đó phân chia đều từ cấp $D = 8 - 48$ cm. Tổng số cây mẫu của Rkx và Rtr là 88 cây. Phương pháp xác định sinh khối được thực hiện theo những chỉ dẫn chung của lâm học. Để xác định sinh khối của 2 kiểu rừng từ số liệu điều tra rừng, đề tài đã thu thập diện tích các trạng thái rừng thuộc 2 kiểu rừng (S_i , ha) và số liệu điều tra trên những ô mẫu thuộc Rkx và Rtr. Diện tích các trạng thái rừng được thu thập từ số liệu của VQG Phước Bình (2002).

2.3.3. Phương pháp xử lý số liệu

Nội dung 1. Phân tích tổ thành loài cây gỗ của Rkx và Rtr. Tổ thành quần thụ được xác định theo phương pháp của Thái Văn Trưng (1999). Cấu trúc của các trạng thái rừng được xác định thông qua phân bố N/D, phân bố N/H và phân bố M/D. Để dự đoán số cây theo cấp D, đề tài kiểm định hàm phân bố N/D ở các trạng thái rừng theo hàm phân bố mũ và phân bố lognormal.

Nội dung 2. Xây dựng những hàm sinh khối đối với cây cá thể. Hàm ước lượng $H = f(D)$ và $V = f(D, H)$ được xây dựng dựa theo 3 hàm (2.1) – (2.3).

$$H = 1/(a + b/D) \quad (2.1)$$

$$H = a \cdot D^b \quad (2.2)$$

$$V_T = a \cdot D^b \cdot H^c \quad (2.3)$$

Những hàm sinh khối đối với các thành phần ($B_i = B_T, B_C, B_L$ và B_{CL}) được xác định theo hai dạng: $B_i = f(D)$ và $B_i = f(D, H)$. Những hàm $B_i = f(D)$ được kiểm định theo 5 hàm (2.4) – (2.8). Những hàm thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSR_{\min} .

$$B_i = a \cdot \exp(-b \cdot D^c) \quad (2.4)$$

$$B_i = D^2 / (a + b \cdot D + c \cdot D^2) \quad (2.5)$$

$$B_i = a \cdot D^b \quad (2.6)$$

$$B_i = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot D))^c \quad (2.7)$$

$$B = a \cdot \exp(b \cdot D) \quad (2.8)$$

Những hàm ước lượng $B_i = f(D, H)$ được kiểm định theo 5 hàm (2.9 – 2.13). Những hàm thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSR_{\min} .

$$B = a \cdot D^b \cdot H^c \quad (2.9)$$

$$B = a + b \cdot D^2 + c \cdot D^3 + d \cdot (D^3/H) \quad (2.10)$$

$$B = a + b \cdot D^2 + c \cdot (D^2/H) \quad (2.11)$$

$$B = a \cdot (D^2 \cdot H)^b \quad (2.12)$$

$$B = a \cdot (D \cdot H)^b \quad (2.13)$$

Nội dung 3. Phương pháp ước lượng sinh khối dựa theo số liệu điều tra rừng. Ở đây B_i được xác định theo 5 phương pháp. Phương pháp 1 xác định sinh khối quần thụ dựa theo số liệu của những ô mẫu kết hợp với hàm $B = f(D)$. Phương pháp 2 xác định sinh khối cây gỗ dựa theo thể tích thân cây gỗ. Hàm $B_i = f(V)$ thích hợp được kiểm định theo 2 hàm (2.14) và (2.15). Phương pháp 3 xác định sinh khối cây gỗ dựa theo hệ số điều

chính sinh khối: $B_i = V_{\text{Thân}} * BEF_i$. Hàm $BEF_i = f(X)$ ($X = D$ và V) thích hợp được kiểm định theo 3 hàm (2.16) và (2.18).

$$B_i = a * V^b \quad (2.14)$$

$$B_i = V^2 / (a + b * V - c * V^2) \quad (2.15)$$

$$BEF_i = (a + b/X)^2 \quad (2.16)$$

$$BEF_i = a * X^b \quad (2.17)$$

$$BEF_i = \sqrt{a + b/X} \quad (2.18)$$

Phương pháp 4 xác định sinh khối cây cá thể dựa theo tỷ lệ sinh khối của các thành phần: $B_i = B_{\text{Thân}} * R_i$. Hàm $R_i = f(D)$ thích hợp được kiểm định theo 3 hàm (2.19) và (2.21).

$$R_i = a + b * \ln(D) \quad (2.19)$$

$$R_i = 1 / (a + b * \sqrt{D}) \quad (2.20)$$

$$R_i = a * D^b \quad (2.21)$$

Phương pháp 5 xác định sinh khối quần thể dựa theo hàm $B_i = f(G)$ và $B_i = f(M)$. Hàm $B_i = f(X)$ ($X = G$ và M) thích hợp được kiểm định theo 3 hàm (2.22) và (2.24).

$$B_i = \sqrt{a + b * X^2} \quad (2.22)$$

$$B_i = a * X^b \quad (2.23)$$

$$B_i = X^2 / (a + b * X + c * X^2) \quad (2.24)$$

Nội dung 4. So sánh những phương pháp xác định sinh khối. Trong đề tài này, sinh khối ở mức cây gỗ đã được ước lượng theo 6 phương pháp khác nhau: $B_i = f(D)$; $B_i = f(D, H)$; $B_i = f(V)$; $B_i = V * BEF_i$ với $BEF_i = f(D)$; $B_i = V * BEF_i$ với $BEF_i = f(V)$; $B_i = B_T * R_i$ với $R_i = f(D)$. Sinh khối quần thể được xác định theo 4 phương pháp: Sử dụng hàm sinh khối cây cá thể và số liệu điều tra trên những ô mẫu; $B_i = f(G)$; $B_i = f(M)$; Hàm phân bố N/D cùng với những hàm $B_i = f(D)$. Sự khác biệt giữa các phương pháp ước lượng sinh khối cây gỗ và quần thể được so sánh bằng bảng ANOVA.

Nội dung 5. Ước lượng sinh khối và dự trữ C của Rkx và Rtr. Sinh khối bình quân trên 1 ha được xác định bằng các hàm sinh khối kết hợp với số liệu của các ô mẫu. Khối lượng các bon (C, tấn) dự trữ trong sinh khối trên mặt đất đối với Rkx và Rtr được xác định bằng cách nhân diện tích rừng với sinh khối 1 ha; trong đó $P_C = 0,47$. Khối lượng CO_2 (tấn) mà hai kiểu đã hấp thu được xác định bằng cách nhân khối lượng C (tấn/ha) với hệ số chuyển đổi từ CO_2 thành C.

Chương 3

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của Rkx và Rtr

3.1.1. Kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của Rkx

Kết quả nghiên cứu cho thấy, số loài cây gỗ bắt gặp là 39 loài. Mật độ dao động từ 212 – 483 cây/ha; trung bình 374 cây/ha. Tiết diện ngang dao động từ 7,7 – 22,3 m²/ha; trung bình 13,6 m²/ha. Trữ lượng gỗ dao động từ 51,4 - 190,0 m³/ha; trung bình 104,0 m³/ha. Phân bố N/D của trạng thái rừng IIB có dạng 1 đỉnh lệch trái và phù hợp với phân bố lognormal (3.1). Phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA₁, IIIA₂ và IIIA₃ có dạng giảm theo hình chữ “J” và phù hợp với hàm phân bố mũ (3.2 – 3.4).

$$f(x) = (1/D_i * 4,24 \sqrt{2\pi}) * \exp(-\ln(D_i - 15,7)^2 / 2 * 4,24^2) \quad (3.1)$$

$$N = 120,634 * \exp(-0,04342 * D) - 12,1688 \quad (3.2)$$

$$N = 326,199 * \exp(-0,07162 * D) - 4,40842 \quad (3.3)$$

$$N = 486,372 * \exp(-0,10759 * D) + 6,53792 \quad (3.4)$$

Phân bố N/H của trạng thái rừng IIB có dạng một đỉnh, còn trạng thái rừng IIIA₁ – IIIA₃ có dạng nhiều đỉnh.

3.1.2. Kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của Rtr

Kết quả nghiên cứu cho thấy, số loài cây gỗ bắt gặp là 25 loài. Mật độ dao động từ 211 – 414 cây/ha; trung bình 297 cây/ha. Tiết diện ngang từ 5,5 – 14,0 m²/ha; trung bình 8,8 m²/ha. Trữ lượng gỗ từ 48,0 - 99,2 m³/ha; trung bình 64,4 m³/ha. Phân bố N/D của 3 trạng thái rừng IIB, IIIA₁ và IIIA₂ có dạng giảm theo hình chữ “J” và phù hợp với hàm phân bố mũ (3.5 – 3.7). Đường cong phân bố N/H của cả 3 trạng thái rừng này đều có dạng nhiều đỉnh.

$$N = 172,106 * \exp(-0,085892 * D) + 0,788579 \quad (3.5)$$

$$N = 154,023 * \exp(-0,086861 * D) - 0,722805 \quad (3.6)$$

$$N = 241,783 * \exp(-0,068680 * D) - 7,16333 \quad (3.7)$$

3.2. Xây dựng các hàm sinh khối đối với cây gỗ thuộc Rkx và Rtr

3.2.1. Xây dựng các hàm sinh khối đối với cây gỗ thuộc Rkx

3.2.1.1. Xây dựng các hàm B_i = f(D)

Bằng cách so sánh tương quan và sai lệch của 5 hàm sinh khối (2.4) – (2.8), đề tài luận án đã xác định được những hàm ước lượng B_i = f(D) đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.8) - (3.12) (Bảng 3.1 và 3.2).

Bảng 3.1. Các hàm $B_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	Hàm $B_i = f(D)$:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{To} = 0,104406*D^2,44907$	(3.8)
Thân	$B_T = 0,0952326*D^2,40401$	(3.9)
Cành	$B_C = D^2/(13,2235 - 0,1453*D + 0,00061*D^2)$	(3.10)
Lá	$B_L = D^2/(146,878 - 0,11542*D + 0,00429*D^2)$	(3.11)
Cành và lá	$B_{CL} = D^2/(12,2757 - 0,12973*D + 0,00054*D^2)$	(3.12)

Bảng 3.2. Kiểm định các hàm $B_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,99	13,94	8,17	2,06	7.384,1	(3.8)
Thân	99,98	13,96	9,23	4,37	7.409,7	(3.9)
Cành	99,98	5,07	3,94	16,49	952,9	(3.10)
Lá	99,96	0,74	0,49	10,63	20,3	(3.11)
Cành và lá	99,98	4,97	3,74	12,94	913,6	(3.12)

3.2.1.2. Xây dựng các hàm ước lượng $B_i = f(D, H)$

Bằng cách so sánh tương quan và những sai lệch của 5 hàm sinh khối (2.9) – (2.13), đề tài luận án đã xác định được những hàm ước lượng $B_i = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.13) - (3.17) (Bảng 3.3 và 3.4).

Bảng 3.3. Các hàm $B_i = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Hàm $B_i = f(D, H)$:	
$B_{To} = 8,51043 + 0,0677469*D^2,36951*H^0,233666$	(3.13)
$B_T = 0,071817*D^2,33498*H^0,175445$	(3.14)
$B_C = -2,20707 + 0,05007*D^2 + 0,00126*D^3 + 0,01057*(D^3/H)$	(3.15)
$B_L = -0,148969 + 0,00697*D^2 - 0,00003*D^3 + 0,00068*(D^3/H)$	(3.16)
$B_{CL} = -2,36374 + 0,05694*D^2 + 0,00122*D^3 + 0,01138*(D^3/H)$	(3.17)

Bảng 3.4. Kiểm định các hàm $B_i = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,98	16,25	10,35	10,03	9.508,4	(3.13)
Thân	99,98	13,27	7,57	1,90	6.522,2	(3.14)
Cành	99,98	4,42	2,69	8,59	703,8	(3.15)
Lá	99,60	0,75	0,49	13,68	20,6	(3.16)
Cành và lá	99,99	4,34	2,61	8,58	679,4	(3.17)

3.2.2. Xây dựng các hàm sinh khối đối với cây gỗ thuộc Rtr**3.2.2.1. Xây dựng các hàm $B_i = f(D)$**

Những phân tích thống kê cho thấy, các hàm ước lượng $B_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.18) - (3.22) (Bảng 3.5 và 3.6).

Bảng 3.5. Các hàm $B_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	Hàm $B_i = f(D)$:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{T_0} = 0,221072 * D^2,26362$	(3.18)
Thân	$B_T = 0,198298 * D^2,21079$	(3.19)
Cành	$B_C = 0,0367155 * D^2,35033$	(3.20)
Lá	$B_L = 0,00061583 * D^2,93267$	(3.21)
Cành và lá	$B_{CL} = 0,0326799 * D^2,41842$	(3.22)

Bảng 3.6. Kiểm định các hàm $B_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,68	23,1	15,6	4,8	17690,2	(3.18)
Thân	99,66	17,5	12,0	5,2	10144,2	(3.19)
Cành	99,72	5,1	3,6	5,3	841,7	(3.20)
Lá	99,48	1,1	0,7	9,1	38,5	(3.21)
Cành và lá	99,73	5,6	3,7	4,1	1064,4	(3.22)

3.2.2.2. Xây dựng các hàm ước lượng $B_i = f(D, H)$

Những phân tích thống kê cho thấy, các hàm ước lượng $B = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.23) - (3.27) (Bảng 3.7 và 3.8).

Bảng 3.7. Các hàm $B_i = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Hàm $B_i = f(D, H)$:	
$B_{T0} = -36,6254 + 1,63824 * D^2 + 0,01484 * D^3 - 0,90699 * (D^3/H)$	(3.23)
$B_T = -28,1845 + 1,2815 * D^2 + 0,010773 * D^3 - 0,705187 * (D^3/H)$	(3.24)
$B_C = 0,0109769 * D^0,454818 * H^2,64175$	(3.25)
$B_L = -1,46167 + 0,08332 * D^2 + 0,001258 * D^3 - 0,06336 * (D^3/H)$	(3.26)
$B_{CL} = 0,0072315 * D^0,047762 * H^3,30274$	(3.27)

Bảng 3.8. Kiểm định các hàm $B_i = f(D, H)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,70	23,2	16,3	6,7	16.644,3	(3.18)
Thân	99,68	17,5	12,3	6,6	9493,9	(3.19)
Cành	99,73	5,0	3,5	5,3	797,0	(3.20)
Lá	99,53	1,1	0,7	14,9	34,3	(3.21)
Cành và lá	99,75	5,5	3,7	4,1	982,8	(3.22)

3.2.3. Xây dựng các hàm sinh khối trên mặt đất từ số liệu điều tra Rkx

3.2.3.1. Hàm sinh khối dựa theo thể tích thân cây

(1) Hàm thể tích thân cây

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $H = f(D)$ có dạng như hàm (3.28). Hàm ước lượng $V = f(D, H)$ có dạng như hàm (3.29). Các hàm ước lượng $B_i = f(V)$ có dạng như hàm 3.30 - 3.34 (Bảng 3.9 - 3.10).

$$H = 1/(0,0244541 + 0,984367/D) \quad (3.28)$$

$$r^2 = 99,4\%; Se = 0,003; P < 0,001.$$

$$V = 0,0000349 * D^{1,99334} * H^{1,01211} \quad (3.29)$$

$$R^2 = 99,9\%; Se = 0,003; P < 0,001.$$

(2) Hàm ước lượng sinh khối dựa theo thể tích thân cây

Các hàm ước lượng $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.30) - (3.34) (Bảng 3.9 và 3.10).

Bảng 3.9. Các hàm $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	Hàm $B_i = f(V)$:
(1)	(2)
Tổng số	$B_{T_0} = V^2/(-0,000033+0,001361*V-0,000011*V^2)$ (3.30)
Thân	$B_T = 581,374*V^{1,00316}$ (3.31)
Cành	$B_C = V^2/(-0,000078+0,006204*V-0,000139*V^2)$ (3.32)
Lá	$B_L = 9,69685*V^{0,761433}$ (3.33)
Cành và lá	$B_{CL} = V^2/(-0,000140+0,005939*V-0,000123*V^2)$ (3.34)

Bảng 3.10. Kiểm định hàm $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tổng số	99,98	16,40	11,18	18,60	9.953,1 (3.30)
Thân	99,98	16,85	12,78	7,49	10.797,1 (3.31)
Cành	99,98	5,33	3,25	35,05	1.054,7 (3.32)
Lá	99,59	0,73	0,49	11,43	20,7 (3.33)
Cành và lá	99,98	4,92	3,14	19,42	895,6 (3.34)

3.2.3.2. Xây dựng các hàm điều chỉnh sinh khối đối với cây gỗ thuộc Rkx

(1) Hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$

Những phân tích thống kê cho thấy, các hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.35) – (3.38) (Bảng 3.11 – 3.12).

Bảng 3.11. Các hàm $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rkx.

Thành phần	Hàm $BEF_i = f(D)$ đối với các thành phần:
(1)	(2)
Tổng số	$BEF_{T_0} = (0,835973 + 1,65451/D)^2$ (3.35)

Thân	$BEF_T = (0,726805 + 1,786060/D)^2$	(3.36)
Cành	$BEF_C = (0,370148 + 1,695580/D)^2$	(3.37)
Cành và lá	$BEF_{CL} = (0,380201 + 1,75667/D)^2$	(3.38)

Bảng 3.12. Kiểm định sai lệch của các hàm $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	98,19	0,0181	0,0137	1,67	0,0125	(3.35)
Thân	99,36	0,0104	0,0082	1,26	0,0042	(3.36)
Cành	96,36	0,0140	0,0104	5,42	0,0075	(3.37)
Cành và lá	97,16	0,0132	0,0097	4,84	0,0066	(3.38)

Bằng cách thay thế D vào các hàm (3.35) – (3.38) ở Bảng 3.11, có thể nhận thấy các hệ số BEF_i đều giảm dần theo sự gia tăng cấp D (cm); trong đó BEF_i ở cấp D = 10 - 46 cm suy giảm nhanh hơn so với cấp D = 46 – 94 cm. Nói chung, khi dự đoán BEF_i (tấn/m³) dựa theo cấp D = 10 - 94 cm, thì các hệ số BEF_{To} , BEF_T , BEF_C và BEF_{CL} bình quân tương ứng là 0,783; 0,608; 0,177 và 0,187 (tấn/m³).

(2) Hàm ước lượng $BEF_i = f(V)$

Những phân tích thống kê cho thấy, các hàm ước lượng $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.39) – (3.42) (Bảng 3.13 – 3.14).

Bảng 3.13. Các hàm ước lượng $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ thuộc Rkx.

Thành phần	Hàm $BEF_i = f(V)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$BEF_{To} = \sqrt{0,618877 + 0,006341/V}$	(3.39)
Thân	$BEF_T = \sqrt{0,372672 + 0,005066/V}$	(3.40)
Cành	$BEF_C = \sqrt{0,030549 + 0,001097/V}$	(3.41)
Cành và lá	$BEF_{CL} = \sqrt{0,034115 + 0,001237/V}$	(3.42)

Bảng 3.14. Kiểm định sai lệch của các hàm $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ thuộc Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	89,80	0,0430	0,0327	3,70	0,0703	(3.39)
Thân	89,53	0,0422	0,0337	4,91	0,0678	(3.40)
Cành	96,41	0,0139	0,0110	5,20	0,0074	(3.41)
Cành và lá	95,76	0,0161	0,0125	5,48	0,0099	(3.42)

Bằng cách thay thế V vào các hàm (3.39) – (3.42) ở Bảng 3.13, có thể nhận thấy các giá trị BEF_i đều giảm dần theo sự gia tăng V ; trong đó BEF_i ở cấp $V < 0,4652$ (tương ứng cấp $D < 28$ cm) giảm nhanh hơn so với cấp $V = 0,4652 - 8,9113$ (tương ứng cấp $D = 28 - 94$ cm). Nói chung, khi dự đoán BEF_i (tấn/m³) dựa theo V (m³) tương ứng với cấp $D = 10 - 94$ cm, thì BEF_{T_0} , BEF_T , BEF_C và BEF_{CL} bình quân tương ứng là 0,801; 0,625; 0,185 và 0,195 (tấn/m³).

(3) Hàm ước lượng tỷ lệ sinh khối đối với cây gỗ ở Rkx

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $R_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rkx có dạng như hàm (3.43) – (3.46) (Bảng 3.15 – 3.16). Nói chung, tốc độ gia tăng R_{T_0} và R_{CL} ở cấp $D = 10 - 46$ cm nhanh hơn so với cấp $D = 46 - 94$ cm. So với sinh khối thân cây thuộc cấp $D = 10 - 94$ cm (100%), các giá trị R_{T_0} , R_C , R_L và R_{CL} bình quân tương ứng là 130,0%, 28,5%, 1,5% và 30,0%.

Bảng 3.15. Các hàm ước lượng $R_i = f(D)$ đối với những cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	Hàm $R_i = f(D)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$R_{T_0} = 1,08383 + 0,05718 * \ln(D)$	(3.43)
Cành	$R_C = 0,0345055 + 0,0662483 * \ln(D)$	(3.44)
Lá	$R_L = 1 / (6,17273 + 9,12935 * \sqrt{D})$	(3.45)
Cành và lá	$R_{CL} = 0,08383 + 0,05718 * \ln(D)$	(3.46)

Bảng 3.16. Kiểm định sai lệch của các hàm $R_i = f(D)$ đối với những cây gỗ ở Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,58	0,0026	0,0012	0,74	0,0004	(3.43)
Cành	99,40	0,0036	0,0012	0,74	0,0005	(3.44)
Lá	96,62	0,0012	0,0005	2,40	0,0001	(3.45)
Cành và lá	99,58	0,0026	0,0012	0,55	0,0002	(3.46)

3.2.3.3. Xây dựng hàm sinh khối đối với quần thụ thuộc Rkx

(1) Hàm ước lượng $B_i = f(G)$

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $B_i = f(G)$ đối với Rkx có dạng như hàm (3.47) – (3.49) (Bảng 3.17 – 3.18).

Bảng 3.17. Các hàm $B_i = f(G)$ đối với Rkx.

Thành phần	Hàm $B_i = f(G)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{T_0} = G^2 / (-0,00541 + 0,17501 * G - 0,00088 * G^2)$	(3.47)
Thân	$B_T = G^2 / (-0,06271 + 0,22824 * G - 0,00114 * G^2)$	(3.48)
Cành và lá	$B_{CL} = G^2 / (-0,10538 + 0,71008 * G - 0,00294 * G^2)$	(3.49)

Bảng 3.18. Kiểm định các hàm $B_i = f(G)$ đối với Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	97,6	11,1	8,6	11,1	2.103,8	(3.47)
Thân	97,9	7,9	6,2	10,3	1.072,5	(3.48)
Cành và lá	97,4	2,7	2,1	10,3	126,8	(3.49)

(2) Hàm ước lượng $B_i = f(M)$

Hàm ước lượng $B_i = f(M)$ đối với Rkx có dạng như hàm (3.50) – (3.52) (Bảng 3.19 – 3.20).

Bảng 3.19. Các hàm $B_i = f(M)$ đối với Rkx.

Thành phần	Hàm $B_i = f(M)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{To} = M^2 / (9,55951 + 1,00007 * M + 0,00109 * M^2)$	(3.50)
Thân	$B_T = M^2 / (9,67883 + 1,301610 * M + 0,00142 * M^2)$	(3.51)
Cành và lá	$B_{CL} = M^2 / (32,4375 + 4,08979 * M + 0,00492 * M^2)$	(3.52)

Bảng 3.20. Kiểm định các hàm $B_i = f(M)$ đối với Rkx.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	98,4	9,2	6,4	8,3	1.436,2	(3.50)
Thân	98,6	6,5	4,5	7,6	730,0	(3.51)
Cành và lá	98,2	2,2	1,5	7,5	91,7	(3.52)

3.2.4. Xây dựng các hàm sinh khối trên mặt đất từ số liệu điều tra Rtr

3.2.4.1. Hàm sinh khối dựa theo thể tích thân cây

(1) Hàm thể tích thân cây

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $H = f(D)$ có dạng như hàm (3.53). Hàm ước lượng $V = f(D, H)$ có dạng như hàm (3.54). Hàm ước lượng $B_i = f(V)$ có dạng như hàm 3.55 – 3.59 (Bảng 3.21 – 3.22).

$$H = 1,58532 * D^{0,716512} \quad (3.53)$$

$$r^2 = 94,7\%; Se = 1,3; MAE = 1,1; MAPE = 9,7\%; P < 0,001.$$

$$V = 0,000035 * D^{1,99997} * H^{1,00003} \quad (3.54)$$

$$R^2 = 99,9\%; Se = 0,00003; MAE = 00002; MAPE = 0,02\%.$$

(2) Hàm ước lượng sinh khối dựa theo thể tích thân cây

Các hàm ước lượng $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.55) - (3.59) (Bảng 3.21 và 3.22).

Bảng 3.21. Các hàm $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	Hàm $B_i = f(V)$:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{T_0} = 777,839 \cdot V^{0,83301}$	(3.55)
Thân	$B_T = 576,648 \cdot V^{0,81357}$	(3.56)
Cành	$B_C = 176,646 \cdot V^{0,86493}$	(3.57)
Lá	$B_L = 24,1928 \cdot V^{1,08280}$	(3.58)
Cành và lá	$B_{CL} = 201,023 \cdot V^{0,89003}$	(3.59)

Bảng 3.22. Kiểm định các hàm $B_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,68	22,9	15,5	4,8	17.289,6	(3.55)
Thân	99,66	17,3	11,9	5,3	9.926,6	(3.56)
Cành	99,72	5,0	3,6	5,3	825,2	(3.57)
Lá	99,49	1,1	0,9	9,2	37,2	(3.58)
Cành và lá	99,74	5,5	3,7	4,1	1036,7	(3.59)

3.2.4.2. Xây dựng các hàm điều chỉnh sinh khối đối với cây gỗ thuộc Rtr

(1) Hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.60) – (3.63) (Bảng 3.23 – 3.24).

Bảng 3.23. Các hàm $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rtr.

Thành phần	Hàm $BEF_i = f(D)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$BEF_{T_0} = 3,98667 \cdot D^{-0,452887}$	(3.60)
Thân	$BEF_T = 3,5747 \cdot D^{-0,505579}$	(3.61)
Cành	$BEF_C = 0,662015 \cdot D^{-0,365971}$	(3.62)
Cành và lá	$BEF_{CL} = 0,588873 \cdot D^{-0,297814}$	(3.63)

Bảng 3.24. Kiểm định sai lệch của các hàm $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,98	0,0030	0,0020	0,18	0,00030	(3.60)
Thân	99,98	0,0020	0,0010	0,19	0,00020	(3.61)
Cành	99,97	0,0007	0,0005	0,22	0,00002	(3.62)
Cành và lá	99,97	0,0007	0,0004	0,18	0,00001	(3.63)

Bằng cách thay thế D vào các hàm (3.60) – (3.63) ở Bảng 3.23, có thể nhận thấy BEF_i của những thành phần cây gỗ ở Rtr đều giảm dần từ cấp $D = 8 - 48$ cm; trong đó BEF_i ở cấp $D < 28$ cm giảm nhanh hơn so với cấp $D = 28 - 48$ cm. Nói chung, các hệ số BEF_{To} , BEF_T , BEF_C và BEF_{CL} bình quân của các cây gỗ ở cấp $D = 8 - 48$ cm tương ứng là 0,965; 0,737; 0,209 và 0,230 (tấn/m³).

(2) Hàm ước lượng $BEF_i = f(V)$

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.64) – (3.67) (Bảng 3.25 – 3.26).

Bảng 3.25. Các hàm $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ thuộc Rtr.

Thành phần	Hàm $BEF_i = f(V)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$BEF_{To} = 0,778104 * V^{-0,166735}$	(3.64)
Thân	$BEF_T = 0,576873 * V^{-0,186159}$	(3.65)
Cành	$BEF_C = 0,176799 * V^{-0,134731}$	(3.66)
Cành và lá	$BEF_{CL} = 0,201092 * V^{-0,109643}$	(3.67)

Bảng 3.26. Kiểm định sai lệch của các hàm $BEF_i = f(V)$ đối với cây gỗ thuộc Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,98	0,002	0,001	0,15	0,00023	(3.64)
Thân	99,99	0,002	0,001	0,16	0,00015	(3.65)
Cành	99,97	0,007	0,005	0,20	0,00014	(3.66)
Cành và lá	99,97	0,006	0,004	0,17	0,00001	(3.67)

Bằng cách thay thế V vào các hàm (3.64) – (3.67) ở Bảng 3.25, có thể nhận thấy các hệ số BEF_i đều giảm dần theo sự gia tăng V ; trong đó BEF_i giảm nhanh ở cấp $V < 0,473 \text{ m}^3$ (tương ứng $D < 28 \text{ cm}$), giảm chậm ở cấp $V = 0,473 - 2,048 \text{ m}^3$ (tương ứng $D = 28 - 48 \text{ cm}$). Nói chung, các hệ số BEF_{T_0} , BEF_T , BEF_C và BEF_{CL} bình quân đối với cây gỗ ở cấp $V = 0,016 \text{ m}^3 - 2,048 \text{ m}^3$ (tương ứng $8 \text{ cm} < D < 48 \text{ cm}$) tương ứng là 0,965; 0,737; 0,209 và 0,230 (tấn/m³).

(3) Hàm ước lượng tỷ lệ sinh khối đối với cây gỗ ở Rtr

Những phân tích thống kê cho thấy, hàm ước lượng $R_i = f(D)$ đối với cây gỗ ở Rtr có dạng như hàm (3.68) – (3.71) (Bảng 3.27 – 3.28).

Bảng 3.27. Các hàm ước lượng $R_i = f(D)$ đối với những cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	Hàm $R_i = f(D)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$R_{T_0} = 1,12951 * D^{0,0490917}$	(3.68)
Cành	$R_C = 0,184868 * D^{0,139972}$	(3.69)
Lá	$R_L = 0,00317027 * D^{0,716111}$	(3.70)
Cành và lá	$R_{CL} = 0,164518 * D^{0,208156}$	(3.71)

Bảng 3.28. Kiểm định sai lệch của hàm $R_i = f(D)$ đối với những cây gỗ ở Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,83	0,0014	0,0011	0,10	0,000060	(3.68)
Cành	99,98	0,0003	0,0003	0,09	0,000003	(3.69)
Lá	99,93	0,0003	0,0002	0,80	0,000003	(3.70)
Cành và lá	99,99	0,0003	0,0002	0,07	0,000002	(3.71)

Nói chung, R_{T_0} và R_{CL} đều gia tăng dần từ cấp $D = 8 - 48 \text{ cm}$. Tốc độ gia tăng R_{T_0} và R_{CL} ở những cấp $D = 8 - 28 \text{ cm}$ nhanh hơn so với những cấp $D = 28 - 48 \text{ cm}$. So với sinh khối thân, giá trị trung bình của R_{T_0} , R_C , R_L và R_{CL} từ cấp $D = 8 - 48 \text{ cm}$ tương ứng là 132,2%, 29,0%, 3,4% và 32,2%.

3.2.4.3. Xây dựng các hàm sinh khối đối với quần thụ

(1) Hàm ước lượng $B = f(G)$

Hàm ước lượng $B_i = f(G)$ đối với Rtr có dạng như hàm (3.72) – (3.74) (Bảng 3.29 – 3.30). Tương tự, hàm ước lượng $B_i = f(M)$ có dạng như hàm (3.75) – (3.77) (Bảng 3.31 – 3.32).

Bảng 3.29. Các hàm $B_i = f(G)$ đối với Rtr.

Thành phần	Hàm $B_i = f(G)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{To} = G^2/(-0,015164 + 0,16361*G - 0,000802*G^2)$	(3.72)
Thân	$B_T = G^2/(-0,015068 + 0,213354*G - 0,000842*G^2)$	(3.73)
Cành và lá	$B_{CL} = G^2/(-0,067551+0,691491*G - 0,005003*G^2)$	(3.74)

Bảng 3.30. Kiểm định các hàm $B_i = f(G)$ đối với Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,9	1,2	0,8	1,2	18,3	(3.72)
Thân	99,9	0,7	0,5	1,0	6,6	(3.73)
Cành và lá	99,8	0,5	0,3	1,9	3,0	(3.74)

(2) Hàm ước lượng $B = f(M)$

Hàm ước lượng $B_i = f(M)$ đối với Rtr có dạng như hàm (3.75) – (3.77) (Bảng 3.31 – 3.32).

Bảng 3.31. Các hàm $B_i = f(M)$ đối với Rtr.

Thành phần	Hàm $B_i = f(M)$ đối với các thành phần:	
(1)	(2)	
Tổng số	$B_{To} = M^2/(14,6290 + 0,793641*M + 0,001549*M^2)$	(3.75)
Thân	$B_T = M^2/(19,55760 + 1,02961*M + 0,002252*M^2)$	(3.76)
Cành và lá	$B_{CL} = M^2/(60,6301 + 3,38047*M + 0,004798*M^2)$	(3.77)

Bảng 3.32. Kiểm định các hàm $B_i = f(M)$ đối với Rtr.

Thành phần	r^2	$\pm Se$	MAE	MAPE	SSR	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	98,4	5,5	4,0	9,8	403,8	(3.75)
Thân	98,4	4,1	3,0	9,7	230,6	(3.76)
Cành và lá	98,5	1,3	0,9	10,1	25,0	(3.77)

3.2.5. So sánh sai lệch của các hàm sinh khối đối với R_{kx} và R_{tr}

3.2.5.1. So sánh các hàm sinh khối cây gỗ với 2 biến D và H

Những phân tích thống kê cho thấy, đối với R_{kx}, hàm $B_{T_0} = f(D)$ có SSR (7.384,1) nhỏ hơn so với hàm $B_{T_0} = f(D, H)$ (9.508,4). Trái lại, so với biến dự đoán D, sử dụng hai biến D và H để ước lượng B_T , B_C , B_L và B_{CL} lại nhận được SSR nhỏ hơn. Đối với R_{tr}, các hàm $B_i = f(D)$ có SSR lớn hơn khoảng 7% so với những hàm $B_i = f(D, H)$. Kết quả phân tích ANOVA (Bảng 3.33 và 3.34) cho thấy, giá trị B_i trung bình nhận được từ các hàm $B_i = f(D)$ và $B_i = f(D, H)$ ở cả R_{kx} và R_{tr} đều không có những sai lệch rõ rệt ($P > 0,900$) so với B_i của những cây không tham gia xây dựng hàm sinh khối. So sánh MAPE cho thấy, mặc dù các hàm $B_i = f(D)$ ở R_{kx} và R_{tr} đều có MAPE lớn hơn so với các hàm $B_i = f(D, H)$, nhưng mức độ sai khác nhỏ hơn 2%. Nói chung, so với sinh khối thực tế, các hàm $B_i = f(D)$ và hàm $B_i = f(D, H)$ đều nhận giá trị MAPE < 10%. Do không phải xác định H cây gỗ, nên các hàm $B_i = f(D)$ có ưu điểm lớn hơn so với các hàm $B_i = f(D, H)$. Vì thế, các hàm $B_i = f(D)$ được đề xuất áp dụng để ước lượng sinh khối ở mức cây gỗ và quần thụ thuộc R_{kx} và R_{tr} ở khu vực nghiên cứu

Bảng 3.33. Kiểm định các hàm sinh khối đối với cây gỗ ở R_{kx}.

Sai lệch	Hàm	Các thành phần sinh khối:				
		Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SSR	$B = f(D)$	7.384,1	7.409,7	952,9	20,3	913,6
	$B = f(D,H)$	9.508,4	6.522,2	703,8	20,6	679,4
ANOVA	$B = f(D)$	0,956	0,940	0,946	0,955	0,960
	$B = f(D,H)$	0,968	0,955	0,961	0,988	0,972
MAPE	$B = f(D)$	5,4	4,3	7,4	7,6	6,7
	$B = f(D,H)$	3,0	4,0	7,2	5,9	10,0

Bảng 3.34. Kiểm định các hàm sinh khối đối với cây gỗ ở R_{tr}.

Sai lệch	Hàm	Các thành phần sinh khối:				
		Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SSR	$B = f(D)$	17.690,2	10.144,2	841,7	38,5	1.064,4
	$B = f(D,H)$	16.644,3	9493,9	797,0	34,3	982,8

ANOVA	$B = f(D)$	0,986	0,996	0,955	0,960	0,943
	$B = f(D,H)$	0,983	0,993	0,954	0,944	0,944
MAPE	$B = f(D)$	5,6	7,8	3,8	10,4	7,5
	$B = f(D,H)$	5,0	4,9	3,9	7,6	7,5

3.2.5.2. So sánh những phương pháp xác định sinh khối đối với cây gỗ

Sinh khối ở mức cây gỗ thuộc Rkx và Rtr đã được tính toán theo 6 phương pháp: $B_i = f(D)$; $B_i = f(D, H)$; $B_i = f(V)$; $B_i = BEF_{i(D)} * V_i$; $BEF_{i(V)} * V_i$ và $B_i = R_i * V_i$. Đối với Rkx, hàm ước lượng $B_i = f(D)$ và $B_i = f(D, H)$ tương ứng có dạng như hàm (3.8) – (3.12) và hàm (3.13) – (3.17). Tương tự, các hàm (3.30) – (3.46) được chọn để ước lượng các thành phần sinh khối dựa theo V , BEF_i và R_i . Đối với Rtr, hàm ước lượng $B_i = f(D)$ và $B_i = f(D, H)$ tương ứng có dạng như các hàm (3.18) – (3.22) và (3.23) – (3.27). Tương tự, các hàm (3.55) – (3.71) được chọn để ước lượng các thành phần sinh khối dựa theo V , BEF_i và R_i . Những phân tích thống kê cho thấy, 6 phương pháp ước lượng các thành phần B_{T_0} , B_T , B_C và B_{CL} đều không có những khác biệt rõ rệt về mặt thống kê ($P = 1,0$). Điều đó chứng tỏ cả 6 phương pháp này đều có thể được sử dụng để xác định sinh khối trên mặt đất đối với các cây gỗ ở Rkx và Rtr.

3.2.5.3. So sánh những phương pháp xác định sinh khối với quần thụ

Sinh khối quần thụ có thể được xác định bằng các hàm $B_i = f(D)$ kết hợp với phân bố N/D (Phương pháp 1). Sinh khối quần thụ cũng có thể được xác định bằng các hàm $B_i = f(G)$ và $B_i = f(M)$ (Phương pháp 2). Phân tích sai lệch (%) giữa hai phương pháp xác định sinh khối đối với Rkx cho thấy, các thành phần sinh khối ở trạng thái rừng IIB, IIIA₁ và IIIA₂ được xác định theo phương pháp 1 đều nhỏ hơn so với phương pháp 2; trong đó sai lệch ở trạng thái rừng IIB là 17,6% đến 21,7%, còn sai lệch ở trạng thái rừng IIIA₁ và IIIA₂ từ 1,2% đến 4,8%. Trái lại, đối với trạng thái rừng IIIA₃, sai lệch của phương pháp 1 lớn hơn từ 9,0% (B_T) đến 10,1% (B_{CL}) so với phương pháp 2. Đối với Rtr, các thành phần sinh khối được xác định theo phương pháp 1 chỉ lớn hơn từ 0,3 – 2,5% so với phương pháp 2. Nói chung, sai lệch giữa hai phương pháp này đều nằm trong giới hạn cho phép của điều tra tài nguyên rừng (sai số < 10%). Vì thế, hai phương pháp này có thể được ứng dụng để xác định sinh khối ở mức quần thụ thuộc Rkx và Rtr dựa theo số liệu điều tra rừng

3.3. Sinh khối và dự trữ các bon trên mặt đất đối với Rkx và Rtr

3.3.1. Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với R_{kx}

Kết quả nghiên cứu cho thấy, B_{To} thấp nhất là trạng thái rừng IIIA₁ (47,9 tấn/ha), cao nhất là trạng thái rừng IIIA₃ (147,0 tấn/ha); trung bình 4 trạng thái rừng là 87,5 tấn/ha. Hai thành phần B_T và B_{CL} thấp nhất là trạng thái rừng IIIA₁ (tương ứng 36,4 và 11,4 tấn/ha), cao nhất là trạng thái rừng IIIA₃ (tương ứng 112,0 và 35,0 tấn/ha). So với B_{To} trung bình trên 1 ha của 4 trạng thái rừng (87,0 tấn/ha hay 100%), B_T đóng góp 66,6 tấn/ha (76,1%), còn lại B_{CL} là 20,9 tấn/ha (23,9%). Tương tự, giá trị C_{To} trung bình trên 1 ha ở trạng thái rừng IIB, IIIA₁, IIIA₂ và IIIA₃ tương ứng là 26,2; 22,5; 46,6 và 69,1 (tấn/ha).

Giá trị B_{To} (tấn) đối với R_{kx} là 243.714,2 tấn (100%); trong đó cao nhất là trạng thái rừng IIB (136.654,2 tấn hay 56,1%), thấp nhất là trạng thái rừng IIIA₁ (5.175,0 tấn hay 4,5%). So với B_{To} (243.714,2 tấn hay 100%), B_T chiếm 76,0% (185.305,6 tấn), còn lại B_{CL} là 24,0% (58.408,6 tấn). Tương tự, giá trị C_{To} là 114.497,9 tấn (100%); trong đó cao nhất là trạng thái rừng IIB (64.163,8 tấn hay 56,1%), thấp nhất là trạng thái rừng IIIA₁ (5.175,0 tấn hay 4,5%).

3.3.2. Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với R_{tr}

Kết quả nghiên cứu cho thấy, B_{To} trung bình trên 1 ha thấp nhất ở trạng thái rừng IIIA₁ (35,1 tấn/ha), cao nhất ở trạng thái rừng IIIA₂ (92,0 tấn/ha); trung bình 3 trạng thái rừng (IIB, IIIA₁, IIIA₂) là 57,0 tấn/ha. Giá trị B_T và B_{CL} thấp nhất ở trạng thái rừng IIIA₁ (tương ứng 26,7 và 8,4 tấn/ha), cao nhất ở trạng thái rừng IIIA₂ (tương ứng 69,5 và 22,6 tấn/ha). So với B_{To} trên 1 ha đối với 3 trạng thái rừng này (57,0 tấn/ha hay 100%), B_T đóng góp 75,8% (43,1 tấn/ha), còn lại B_{CL} là 24,2% (13,9 tấn/ha). Tương tự, giá trị C_{To} trung bình trên 1 ha đối với 3 trạng thái rừng IIB, IIIA₁ và IIIA₂ tương ứng là 20,6; 16,5 và 43,2 tấn/ha.

Giá trị B_{To} (tấn) đối với R_{tr} là 85.543,4 tấn (100%); trong đó cao nhất ở trạng thái rừng IIB (79.518,9 tấn hay 93,0%), thấp nhất ở trạng thái rừng IIIA₂ (2.025,1 tấn hay 2,4%). So với B_{To} (85.543,4 tấn hay 100%), B_T đóng góp 75,9% (64.912,0 tấn), còn lại B_{CL} là 24,1% (20.631,4 tấn). Tương tự, C_{To} là 40.263,8 tấn (100%); trong đó cao nhất ở trạng thái rừng IIB (37.430,2 tấn hay 93,0%), thấp nhất ở trạng thái rừng IIIA₂ (952,6 tấn hay 2,4%). So với C_{To} (40.263,8 tấn hay 100%), C_T đóng góp lớn nhất (30.487,4 tấn hay 75,7%), còn lại là C_{CL} (9.776,4 tấn hay 24,3%).

3.3.3. Tổng sinh khối và dự trữ các bon trên mặt đất của R_{kx} và R_{tr}

Tổng sinh khối trên mặt đất đối với 2 kiểu Rkx và Rtr là 329.257,6 tấn (100%); trong đó Rkx chiếm 74,0% (243.714,2 tấn), còn lại Rtr là 26,0% (85.543,4 tấn). Tương tự, tổng dự trữ các bon trên mặt đất đối với 2 kiểu Rkx và Rtr là 154.761,7 tấn (100%); trong đó Rkx chiếm 74,0% (114.497,9 tấn), còn lại Rtr là 26,0% (40.263,8 tấn).

KẾT LUẬN

Số loài cây gỗ bắt gặp ở rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới thuộc khu vực Phước Bình của tỉnh Ninh Thuận là 40 loài thuộc 38 chi và 31 họ; trong đó những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế thường gặp là Sao đen, Bằng lăng, Máu chó, Trâm, Mít nài, Cây, Giẻ, Chân chim và Mò cua. Số loài cây gỗ bắt gặp ở rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới là 25 loài thuộc 23 chi và 18 họ; trong đó những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế thường gặp là Dầu trà beng, Cẩm liên, Cà chít, Cây, Giẻ, Thành ngạnh, Trâm.

Phân bố N/D của trạng thái rừng IIB thuộc rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới có dạng một đỉnh lệch trái, còn phân bố N/D của ba trạng thái rừng IIIA₁, IIIA₂ và IIIA₃ có dạng giảm theo hình chữ “J”. Phân bố N/D của ba trạng thái rừng IIB, IIIA₁ và IIIA₂ thuộc rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới có dạng giảm theo hình chữ “J”.

Tổng sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ thuộc rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới và rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới gia tăng dần theo cấp D dưới dạng hàm lũy thừa. Sinh khối trên mặt đất đối với những quần thụ thuộc hai kiểu rừng này có thể được dự đoán gần đúng bằng hàm Korsun – Strand với biến dự đoán tiết diện ngang thân cây hoặc trữ lượng gỗ thân cây.

Các thành phần sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ thuộc rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới và rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới cũng có thể được dự đoán gần đúng bằng các hàm điều chỉnh sinh khối và hàm tỷ lệ sinh khối với biến dự đoán đường kính thân cây hoặc thể tích thân cây.

Sinh khối và dự trữ các bon trung bình trên mặt đất đối với những quần thụ thuộc rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới ở Vườn quốc gia Phước Bình thuộc tỉnh Ninh Thuận tương ứng là 87,5 tấn/ha và 41,1 tấn/ha. Tương tự, hai đại lượng này đối với những quần thụ thuộc rừng thưa nửa thường xanh hơi khô nhiệt đới là 57,0 tấn/ha và 26,8 tấn/ha.