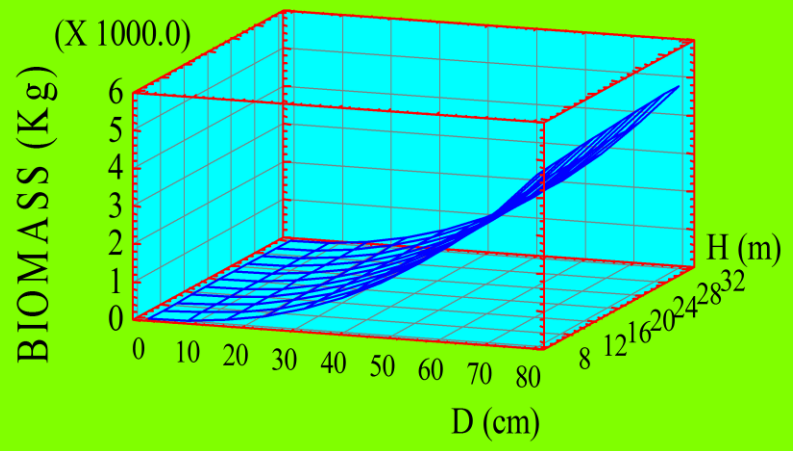
BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỂN NÔNG THÔN

Nhà xuất bản Nông nghiệp

_____oOo_____

XÂY DỰNG CÁC HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TỰ NHIÊN VÀ RỪNG TRỒNG



Hà Nội, *8/2021*

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỂN NÔNG THÔN

Nhà xuất bản Nông nghiệp

_____oOo_____

XÂY DỰNG CÁC HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TỰ NHIÊN VÀ RỪNG TRỒNG

(Dùng cho sinh viên Đại học và Cao học lâm học)

Biên soạn:

PGS. TS. Nguyễn Văn Thêm (Chủ biên)

TS. Trịnh Minh Hoàng

TS. Lê Hồng Việt

TS. Đào Thị Thùy Dương

TS. Trần Thị Ngoan

Hà Nội, 8/2021

LỜI NÓI ĐẦU

Cuốn sách "**XÂY DỰNG CÁC HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TỰ NHIÊN VÀ RỪNG TRỒNG**" được biên soạn theo yêu cầu của đào tạo Đại học và sau Đại học đối với chuyên ngành lâm học của Trường Đại học lâm nghiệp – Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai. Mục đích cơ bản của cuốn sách này là cung cấp cho người học một số phương pháp xây dựng các hàm thống kê sinh khối đối với rừng tự nhiên hỗn loài và rừng trồng thuần loài đồng tuổi.

Nội dung của cuốn sách này bao gồm 4 chương. Chương 1 tổng quan về những phương pháp thống kê sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ. Chương 2 trình bày phương pháp nghiên cứu sinh khối đối với rừng tự nhiên và rừng trồng thuần loài đồng tuổi. Chương 3 giới thiệu về kết quả xây dựng những hàm thống kê sinh khối đối với rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở khu vực Nam Trung Bộ. Chương 4 giới thiệu về kết quả xây dựng những hàm thống kê sinh khối đối với rừng trồng Keo lai đồng tuổi tại tỉnh Đồng Nai.

Biên soạn cuốn sách này là PGS. TS. Nguyễn Văn Thêm – Hội khoa học và kỹ thuật lâm nghiệp Tp. Hồ Chí Minh (Chủ biên); TS. Trịnh Minh Hoàng – Hội khoa học và kỹ thuật tỉnh Ninh Thuận; TS. Lê Hồng Việt, TS. Đào Thị Thùy Dương và TS. Trần Thị Ngoan - Giảng viên Trường Đại học lâm nghiệp – Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai. TS. Trịnh Minh Hoàng biên soạn chương 1. PGS. TS. Nguyễn Văn Thêm biên soạn các chương 2. TS. Lê Hồng Việt và TS. Đào Thị Thùy Dương biên soạn chương 3. TS. Trần Thị Ngoan biên soạn chương 4. Cuốn sách này được viết cho những sinh viên Đại học và sau Đại học đã có kiến thức cơ bản về lâm học và thống kê toán học.

Cuối cùng, chúng tôi nhận thấy rằng việc biên soạn một tài liệu với những nội dung có liên quan đến nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau sẽ không thể tránh khỏi những thiếu sót. Vì thế, chúng tôi rất mong nhận được những trao đổi và ý kiến đóng góp chân tình của bạn đọc. Những ý kiến đóng góp xin gởi về địa chỉ: TS. Đào Thị Thùy Dương, giảng viên Trường Đại học lâm nghiệp – Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai. Email: daothuyduongvfu2@gmail.com.

Đồng Nai, *tháng 10/2021*

Các tác giả

MỤC LỤC

MỤC LỤC i
DANH SÁCH CHỮ VIẾT TẮT 1
Chương 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU 4
1.1. Những thuật ngữ dùng trong cuốn sách này 4
1.2. Tầm quan trọng của thống kê sinh khối và dự trữ carbon của rừng 13
1.3. Những phương pháp ước lượng sinh khối và dự trữ carbon của rừng 16
1.4. Thảo luận 35
Chương 2. PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG HÀM SINH KHỐI 39
2.1. Phương pháp luận 39
2.2. Phương pháp thu thập số liệu 41
2.3. Phương pháp xử lý số liệu 45
Chương 3. HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TỰ NHIÊN HỖN LOÀI 55
3.1. Hàm ước lượng chiều cao và thể tích thân cây 55
3.2. Các hàm thống kê sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ 57
3.3. Các hàm thống kê sinh khối từ số liệu điều tra rừng 69
3.4. Sinh khối đối với rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới 74
3.5. Thảo luận và đề xuất áp dụng kết quả nghiên cứu 86
Chương 4. HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TRỒNG KEO LAI 89
4.1. Phân chia cấp chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai 89
4.2. Sinh trưởng của rừng trồng Keo lai trên ba lập địa khác nhau 94
4.3. Các hàm thống kê sinh khối ở mức cây bình quân 112
4.4. Các hàm thống kê sinh khối đối với rừng trồng Keo lai 152
4.5. Sinh khối của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau 156
4.6. Sự tích lũy carbon và hấp thụ dioxit carbon của rừng trồng Keo lai 174
4.7. Thảo luận và đề xuất áp dụng kết quả nghên cứu 178
TÀI LIỆU THAM KHẢO 185
PHỤ LỤC 194

DANH SÁCH CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Tên gọi đầy đủ
A (năm)	Tuổi cây và quần thụ (rừng).
AIC	Tiêu chuẩn thông tin Akaike.
BIC	Tiêu chuẩn thông tin Bayes.
B (Kg, Tấn)	Sinh khối của cây gỗ và rừng.
B_{T0} (Kg, Tấn)	Tổng sinh khối trên mặt đất của cây gỗ và rừng.
B_T (Kg, Tấn)	Sinh khối thân.
B_C (Kg, Tấn)	Sinh khối cành.
B_L (Kg, Tấn)	Sinh khối lá.
B_{CL} (Kg, Tấn)	Tổng sinh khối cành và lá.
BCEF	Hệ số chuyển đổi và điều chỉnh sinh khối.
BEF	Hệ số điều chỉnh sinh khối.
Bias = Error	Sai lệch.
Bias (%) hay MPE	Sai lệch trung bình theo phần trăm.
BFNN	Phương pháp bình phương nhỏ nhất.
CV(%)	Hệ số biến động.
D (cm)	Đường kính thân ngang ngực.
D_{Bq} (cm)	Đường kính thân ngang ngực bình quân.
$D_{Max} - D_{Min}$	Biên độ biến động đường kính thân cây.
D_T (m)	Đường kính tán.
F	Hình số hay hình dạng thân cây gỗ.
F(α = 0,05; 0,01)	Kiểm định F của Fisher.
g (m^2/ha)	Tiết diện ngang thân cây gỗ trên 1 ha.
G (m^2/ha)	Tiết diện ngang của rừng trên 1 ha.
H (m)	Chiều cao toàn thân cây.
$H_{Max} - H_{Min}$	Biên độ biến động chiều cao thân cây.
H_D (m)	Chiều cao cây ưu thế và đồng ưu thế.
M (m^3/ha)	Sản lượng gỗ hay trữ lượng gỗ trên 1 ha.

MAE	Sai số tuyệt đối trung bình.
MAPE	Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm.
ME	Sai số trung bình.
MPE	Sai số trung bình theo phần trăm.
MSE	Sai số bình phương trung bình.
MSR	Sai số bình phương trung bình do hồi quy.
MST	Tổng sai lệch bình phương trung bình của hồi quy.
MST_{Corr}	Tổng sai lệch bình phương trung bình thực tế.
N (cây/ha)	Mật độ quần thụ (rừng) trên 1 ha.
N_{TN} (cây)	Số cây thực nghiệm.
N_{UL}(cây)	Số cây ước lượng.
n (cây)	Dung lượng quan sát.
OTC	Ô mẫu hay ô tiêu chuẩn.
Pα (α = 0,05; 0,01)	Mức ý nghĩa tống kê.
p	Số lượng tham số của hàm hồi quy.
PM (%)	Suất tăng trưởng trữ lượng gỗ.
R^2	Hệ số xác định.
R_i	Tỉ lệ sinh khối của các thành phần cây gỗ.
S (Loài)	Số loài cây gỗ trong quần thụ.
S^2	Phương sai.
SEE	Sai lệch chuẩn của ước lượng.
SI (m)	Chỉ số lập địa.
SSR	Tổng sai lệch bình phương do hồi quy.
SSE	Tổng sai lệch bình phương do sai số.
SST	Tổng sai lệch toàn bộ.
SST_{Corr}	Tổng sai lệch thực tế.
TTR	Trạng thái rừng.
U	Tiêu chuẩn U của Theil.
V (m^3/ha)	Thể tích thân cây gỗ.

WD hay ρ (kg hay tấn/m^3)	Tỉ trọng gỗ.
Y_i và Y_J	Biến phụ thuộc thực nghiệm và ước lượng.
Y_{iBq} và Y_{JBq}	Biến phụ thuộc thực nghiệm bình quân và ước lượng bình quân.
ZY	Lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm về đường kính, chiều cao, tiết diện ngang, sinh khối và trữ lượng gỗ của quần thụ.
ΔY	Lượng tăng trưởng bình quân năm về về đường kính, chiều cao, tiết diện ngang, sinh khối và trữ lượng gỗ của quần thụ.

Chương 1
TỔNG QUAN TÀI LIỆU

1.1. Những thuật ngữ dùng trong cuốn sách này

Cấp đường kính (Diameter Class). Nhóm cây gỗ có đường kính ngang ngực tương tự như nhau. Cấp đường kính được phân chia tùy theo kích thước cây gỗ trong quần thụ. Thông thường, cấp đường kính dao động từ 1 – 5 cm.

Chỉ số lập địa rừng (Forest Site Index = SI). Chiều cao của những cây ưu thế và đồng ưu thế (H_D, m) của một loài cây gỗ nhất định tại tuổi cơ sở (A_0, năm). Tuổi cơ sở là tuổi quần thụ được sử dụng để phân chia chỉ số lập địa rừng.

Cấp chỉ số lập địa rừng (Forest Site Index Class). Cấp H_D (m) của một loài cây gỗ nhất định tại tuổi cơ sở (A_0, năm). Chỉ số SI có thể được phân chia thành 3÷7 cấp; trong đó mỗi cấp H_D = 1÷4m tùy theo loài cây gỗ và loại rừng trồng.

Chất lượng lập địa rừng (Forest Site Quality). Khả năng của lập địa tạo ra sản lượng rừng. Trong lâm học, chất lượng lập địa rừng thường được đánh giá theo sản lượng gỗ (M, m^3/ha) của một loại rừng trồng nhất định.

Cấp chất lượng lập địa rừng (Forest Site Quality Class). Cấp M **(**m^3/ha) của một loại rừng trồng nhất định. Cấp chất lượng lập địa rừng có thể được phân chia từ 3÷7 cấp tùy theo loại rừng trồng.

Cấp tuổi (Age Class). Biên độ tuổi của những cây gỗ và quần thụ được gộp lại. Cấp tuổi rừng được phân chia tùy theo loài cây gỗ. Ví dụ: 2 năm đối với cây gỗ sinh trưởng nhanh; 5 năm đối với cây gỗ sinh trưởng trung bình; 10 năm đối với cây gỗ sinh trưởng chậm.

Cấu trúc quần thụ (Stand Structure). Sự tổ chức và sắp xếp của các loài cây gỗ và những thành của quần thụ theo chiều thẳng đứng và chiều nằm ngang.

Cấu trúc quần xã thực vật (Plant Community Structure). Sự tổ chức và sắp xếp của các lớp tán cây thuộc các dạng sống khác nhau theo chiều thẳng đứng và chiều nằm ngang. Đôi khi cấu trúc quần xã thực vật còn mô tả cả cây chết đứng và cây đã đổ gẫy trên mặt đất.

Cấu trúc rừng (Forest Structure). Sự tổ chức và sắp xếp các thành phần của rừng theo không gian và thời gian. Sự phân bố các lớp cây rừng theo chiều thẳng đứng và chiều nằm ngang.

Cây gỗ (Tree). Thực vật chỉ có 1 thân, thân to và cao, thân mang cành và lá, thân và cành hóa gỗ, vỏ dày. Ở nghĩa rộng, những loài cây của họ Cau (Arecaceae), họ Dương sỉ (Polypodiaceae), họ Tre (Bambusoideae) cũng là cây gỗ.

Cây gỗ ưu thế (Dominant Tree). Những cây gỗ to lớn nhất phân bố ở tầng cao nhất của tán rừng. Những cây gỗ kiểm soát sự sống của những loài cây khác ở dưới tán của chúng.

Cây gỗ đồng ưu thế (Co-dominant Tree). Những cây gỗ có kích thước nhỏ hơn ngay dưới cây ưu thế. Cây đồng ưu thế có 50% tán vượt lên trên tầng ưu thế sinh thái.

Cây gỗ phụ thuộc (Depended Tree). Cây gỗ mà sự sống của nó phụ thuộc vào những cây gỗ ở tầng ưu thế sinh thái. Những cây gỗ phụ thuộc nằm dưới tán những cây gỗ khác.

Cây gỗ thu hoạch (Crop Tree). Cây gỗ được chọn để nuôi dưỡng đến kỳ khai thác chính. Cây gỗ được chọn theo loài, chất lượng, vị trí so với cây khác và ý nghĩa thương mại.

Chỉ số lập địa rừng (Forest Site Index). Chiều cao trung bình của những cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế của một loài cây gỗ nhất định ở tuổi cơ sở trên lập địa nhất định. Tuổi cơ sở là tuổi được sử dụng để phân chia chỉ số lập địa. Chỉ số lập địa rừng được sử dụng để đánh giá năng suất thực tế hay năng suất tiềm năng của một lập địa nhất định. Chỉ số lập địa rừng phụ thuộc vào loài cây gỗ. Vì thế, trên cùng một lập địa, chỉ số lập địa của loài cây gỗ này khác với chỉ số lập địa của loài cây gỗ khác.

Chiều cao ngang ngực (Breast Height). Chiều cao tiêu chuẩn từ mặt đất đến đường kính thân ngang ngực (1,3 m cách mặt đất).

Đường kính thân ngang ngực (Breast Height Diameter). Đường kính thân cây tiêu chuẩn từ mặt đất đến chiều cao thân ngang ngực (1,3 m cách mặt đất).

Hàm hồi quy (Regression Function). Hàm số mô tả quan hệ giữa biến phụ thuộc (Biến phản hồi) với một hoặc nhiều biến độc lập (Biến giải thích; Biến dự đoán) kèm theo sai số. Hàm hồi quy đơn biến là hàm hồi quy mô tả quan hệ giữa biến phụ thuộc với một biến độc lập. Hàm hồi quy đa biến là hàm hồi quy mô tả quan hệ giữa biến phụ thuộc với nhiều biến độc lập. Hàm hồi quy là hàm thống kê. Mối quan hệ giữa biến phụ thuộc với biến độc lập được nghiên cứu bằng phương pháp phân tích hồi quy tương quan. Hàm hồi quy thường được xây dựng bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất (Least Squares Method).

Hàm hồi quy ước lượng (Estimated Regression Function). Hàm hồi quy được xây dựng từ tập hợp những số liệu thống kê để mô hình hóa mối quan hệ giữa biến phụ thuộc với một hoặc nhiều biến độc lập. Hàm hồi quy ước lượng được sử dụng để dự đoán biến phụ thuộc dựa theo một hoặc nhiều biến độc lập mà cả hai biến này đều nằm trong phạm vi của tập dữ liệu thu thập được.

Hàm hồi quy dự đoán (Predicted Regression Function). Hàm hồi quy ước lượng được sử dụng để dự đoán biến phụ thuộc dựa theo một hoặc nhiều biến độc lập mà cả hai biến này đều nằm ngoài phạm vi của tập dữ liệu thu thập được.

Hình dạng thân cây gỗ (Tree Stem Shape). Hình dạng thân cây gỗ còn được gọi là hình số hay yếu tố hình dạng (Form Factor; kí hiệu F). Hình dạng thân cây gỗ là biểu thị sự suy giảm đường kính thân theo chiều cao thân. Hình số F là tỉ lệ giữa thể tích thực của thân cây và thể tích của hình viên trụ với đường kính ở vị trí cơ sở và chiều cao bằng chiều cao thân cây. Tùy theo đường kính cơ sở, người ta phân biệt hình số tuyệt đối và hình số tương đố. Hình số tuyệt đối ($F_{1.3}$) là tỉ lệ giữa thể tích thực của thân cây và thể tích của hình viên trụ với đường kính bằng đường kính ngang ngực. Hình số tương đối ($F_{0.1}$) là tỉ lệ giữa thể tích thực của thân cây và thể tích của hình viên trụ với đường kính ở vị trí 1/10 chiều cao thân cây.

Hệ số chuyển đổi và điều chỉnh sinh khối (Biomass Conversion and Expansion Factor = BCEF). Hệ số được sử dụng để chuyển thể tích thân cây gỗ và trữ lượng gỗ của quần thụ sang sinh khối và điều chỉnh thể tích thân cây gỗ và trữ lượng gỗ của quần thụ thành sinh khối của các thành phần của cây gỗ và quần thụ

(thân, cành, lá, vỏ, rễ...). Hệ số BCEF = $B_i/(WD_T \times V_T)$; trong đó B_i = sinh khối của các thành phần của cây gỗ và quần thụ, V_T = thể tích thân cây hoặc trữ lượng gỗ của quần thụ, WD_T = tỉ trọng gỗ.

Hệ số điều chỉnh sinh khối (Biomass Expansion Factor = BEF). Hệ số được sử dụng để điều chỉnh thể tích thân cây gỗ và trữ lượng gỗ của quần thụ thành sinh khối của các thành phần của cây gỗ và quần thụ (thân, cành, lá, vỏ, rễ...). Hệ số BEF = B_i/V_T; trong đó B_i = sinh khối của các thành phần của cây gỗ và quần thụ, V_T = thể tích thân cây hoặc trữ lượng gỗ của quần thụ.

Kết cấu loài cây gỗ (Tree Species Composition). Thành phần loài cây gỗ và tỉ lệ độ phong phú của mỗi loài cây gỗ trong quần thụ. Tỉ lệ độ phong phú của mỗi loài cây gỗ được phản ánh thông qua tỉ lệ số cây, tiết diện ngang và thể tích.

Kiểu rừng (Forest Type). Một nhóm thảm thực vật rừng được phân chia dựa theo những dấu hiệu trội của môi trường (khí hậu, địa hình, đất) và thảm thực vật như dạng sống ưu thế trong tầng ưu thế sinh thái, mức độ che tán của tầng ưu thế sinh thái (kín, thưa), hình thái lá (lá rộng, lá kim) và vật hậu của tán lá (thường xanh, rụng lá). Một thảm thực vật bao gồm nhiều kiểu rừng khác nhau (Thái Văn Trừng, 1999).

Kiểu rừng kín nửa thường xanh ẩm nhiệt đới (Tropical Moist Semievergreen Closed Forest Type). Kiểu rừng có tán lá kín, lá nửa thường xanh (25 - 75% số cây rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh). Kiểu rừng này xuất hiện trên núi thấp và trung bình (<700 m ở miền Bắc; < 1000 m ở miền Nam). Lượng mưa từ 1.200 - 2.500 mm/năm; 1 – 3 tháng khô (lượng mưa < 50mm/tháng); 0 – 1 tháng hạn (lượng mưa < 25 mm/tháng); 0 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng); độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí lớn hơn 85% (Thái Văn Trừng, 1999).

Kiểu rừng kín rụng lá hơi ẩm nhiệt đới (Tropical Semimoist Deciduous Closed Forest Type). Kiểu rừng có tán lá kín và hình thành từ những loài cây gỗ rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh. Kiểu rừng này xuất hiện trên núi thấp và trung bình (<700 m ở miền Bắc; < 1000 m ở miền Nam). Lượng mưa từ 600 – 1.200 mm/năm, 4 – 6 tháng khô (lượng mưa < 50 mm/tháng), 1 – 2 tháng hạn (lượng mưa

< 25 mm/tháng), 0 – 1 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng), độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí nhỏ hơn 50% (Thái Văn Trừng, 1999).

Lập địa rừng (Forest Site). Một tập hợp những điều kiện môi trường sống của rừng (khí hậu, địa hình, đất, thảm thực vật, hoạt động lâm sinh...) ở một nơi nhất định. Một cách hiểu khác là một khu vực được đánh giá theo khả năng tạo ra sản lượng rừng. Việc đánh giá dựa trên tổ hợp các nhân tố khí hậu, đất, địa hình, thảm thực vật và hoạt động của con người.

Loài cây gỗ ưu thế (Dominant Tree Species). Loài cây gỗ kiểm soát sự sống của những loài cây gỗ khác hoặc loài cây gỗ ưu thế về sinh thái. Trong lâm học, loài cây gỗ ưu thế được quy ước là loài có mật độ lớn nhất (N, cây) hoặc tiết diện ngang lớn nhất (G, m^2) hoặc thể tích thân lớn nhất (V, m^2) hoặc diện tích tán lớn nhất (C, m^2) hoặc độ bắt gặp lớn nhất (F) trên một diện tích nào đó, thông thường 1 ha. Trong thực hành, loài cây gỗ ưu thế được quy ước là loài cây gỗ có chỉ số giá trị quan trọng (IVI = Important Value Index) cao nhất (IVI_{Max}). Thông thường, chỉ số IVI (%) là tổng hay giá trị trung bình của ba tham số N%, G% và F% (McIntosh, 1951) hoặc ba tham số N%, G% và V% (Thái Văn Trừng, 1978, 1999).

Loài cây gỗ đồng ưu thế (Codominant Tree Species). Loài cây gỗ có kích thước hay vai trò sinh thái nhỏ hơn so với loài cây gỗ ưu thế và cùng với loài cây gỗ ưu thế kiểm soát sự sống của những loài cây gỗ khác.

Mật độ quần thụ (Stand Density). Số cây hay tổng tiết diện ngang hay tổng thể tích thân cây trên một đơn vị diện tích của khoảnh rừng.

Quần thụ (Stand). Tập hợp các cây gỗ trong một hệ sinh thái rừng. Tập hợp thành phần loài cây gỗ của một hệ sinh thái rừng nhất định.

Quần thụ đồng tuổi (Even Stand). Tập hợp những cây gỗ trong rừng thuần loài đồng tuổi.

Quần thụ hỗn giao (Mixed Stand). Tập hợp những cá thể của các loài cây gỗ trong rừng hỗn giao.

Quần thụ khác tuổi (Uneven-Aged Stand). Tập hợp những cây gỗ trong rừng thuần loài khác tuổi hoặc rừng hỗn giao khác tuổi.

Quần thụ thuần loài (Pure Stand, Monoculture). Tập hợp những cây gỗ của rừng thuần loài đồng tuổi.

Quần xã (Community). Tập hợp các loài sinh vật (thực vật, động vật, vi sinh vật) tương tác qua lại với nhau bằng các dòng năng lượng và vật chất trong một hệ sinh thái. Thành phần sinh học của một hệ sinh thái nhất định.

Quần xã cây gỗ (Tree Community). Tập hợp các loài cây gỗ trong một hệ sinh thái rừng. Thành phần loài cây gỗ của một hệ sinh thái rừng.

Rừng (Forest). Một khoảnh đất được bao phủ bởi những cây gỗ, cây bụi, thảm cỏ, hệ động vật và vi sinh vật và giữa chúng có mối quan hệ qua lại với nhau thông qua trao đổi năng lượng và chất khoáng. Rừng có khả năng tự tái sinh. Theo FAO, rừng là một khoảnh đất từ 0,5 ha trở lên mà có cây gỗ cao hơn 5 m che phủ ít nhất 10% diện tích mặt đất.

Rừng khô (Dry Forest). Rừng hình thành ở những nơi có khí hậu phân mùa rõ rệt với 6 tháng khô trở lên. Lượng mưa rất thấp (< 1.000 mm/năm) và nhiệt độ cao (> 30^0C). Những loài cây gỗ và cây bụi của rừng khô thường thấp, rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh. Kiểu rừng này bắt gặp cả ở miền nhiệt đới và ôn đới.

Rừng khô nhiệt đới (Tropical Dry Forest). Rừng hình thành từ những loài cây gỗ rụng lá về mùa khô hoặc mùa đông. Loại rừng này xuất hiện ở những nơi có lượng mưa rất thấp (< 1000 mm/năm) và nhiệt độ cao (> 30^0C) quanh năm thuộc miền nhiệt đới.

Rừng kín (Closed Forest). Thảm thực vật được hình thành bởi những cây thân gỗ to lớn với tán lá khép kín (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới (Tropical Moist Evergreen Closed Forest). Rừng có tán kín, lá thường xanh (>75% số cây không rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh) và xuất hiện ở vành đai nhiệt đới với lượng mưa từ 1.200 - 2.500 mm/năm; 1 – 3 tháng khô (lượng mưa < 50 mm/tháng); 0 – 1 tháng hạn (lượng mưa < 25 mm/tháng); 0 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng); độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí lớn hơn 85% (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới (Tropical Semimoist Evergreen Closed Forest). Rừng có tán lá kín, lá thường xanh (>75% số cây không rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh) và xuất hiện ở vành đai nhiệt đới với lượng mưa từ 1.200 - 2.500 mm/năml 4 – 6 tháng khô (lượng mưa < 50 mm/tháng); 1 – 2 tháng hạn (lượng mưa < 25 mm/tháng); 0 – 1 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng); độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí nhỏ hơn 85% (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng kín thường xanh mưa ẩm nhiệt đới (Tropical Wetrain Evergreen Closed Forest). Rừng có tán lá kín, lá thường xanh (>75% số cây không rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh) và xuất hiện ở vành đai nhiệt đới với lượng mưa lớn hơn 2.500 mm/năm, 0 – 3 tháng khô (lượng mưa < 50mm/tháng), 0 tháng hạn (lượng mưa < 25 mm/tháng), 0 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng), độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí lớn hơn 85% (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng lá rộng (Broadleaves Forest). Rừng bao gồm những loài cây gỗ có lá rộng.

Rừng mưa nhiệt đới (Tropical Rainforest). Rừng có tán lá kín và được hình thành từ những loài cây gỗ ưa ẩm, lá rộng và thường xanh cùng với những loài cây thuộc các dạng sống khác nhau. Loại rừng này phân bố ở miền nhiệt đới ẩm với lượng mưa lớn hơn 1.680 mm/năm. Chúng cũng phân bố ở những vùng núi cao ẩm ướt tại vành đai nhiệt đới, vùng á nhiệt đới và vùng khí hậu có tính chất đại dương.

Rừng nhiệt đới (Tropical Forest). Rừng sinh trưởng giữa các vĩ độ 23^0 Bắc và 23^0 Nam. Những đặc tính cơ bản của rừng nhiệt đới là đa dạng cao về thực vật, tính phân mùa khá rõ ràng (Không có mùa đông lạnh; 2 mùa mưa và khô rõ ràng), độ dài ngày 12 giờ. Rừng nhiệt đới được phân chia nhỏ thành một số kiểu: Rừng mưa thường xanh (Không có mùa khô); Rừng mưa theo mùa (2 - 3 tháng khô; cây gỗ tầng trên rụng lá, còn cây tầng thấp vẫn xanh); Rừng nửa thường xanh (4 - 6 tháng khô; cây gỗ tầng trên rụng lá, còn cây tầng thấp vẫn xanh); Rừng khô rụng lá (6 - 8 tháng khô; cây gỗ đều rụng lá).

Rừng nửa thường xanh (Semievergreen Forest). Rừng có 25% - 75% số cây gỗ rụng lá về mùa khô hay mùa lạnh (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng rụng lá (Deciduous Forest). Rừng có trên 75% số cây rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh (Thái Văn Trừng, 1999). Ví dụ: Rừng Tếch (*Tectona grandis*) trồng ở miền Đông Nam Bộ và Tây Nguyên.

Rừng rụng lá khô (Dry Deciduous Forest). Rừng kín có hơn 75% số cây rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh, có lớp cây bụi và cây thân thảo che phủ kín mặt đất (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng rụng lá nhiệt đới (Tropical Deciduous Forest). Rừng hình thành từ những loài cây gỗ rụng lá (>75% số cây rụng lá) về mùa khô hoặc mùa lạnh, ra lá mới và sinh sản vào cuối mùa khô, quả phát tán vào đầu mùa mưa. Loại rừng này phân bố ở vành đai nhiệt đới với lượng mưa dưới 1.500 mm/năm, nhiệt độ cao (> 30^0C) hoặc nơi có mùa đông không quá lạnh (>18^0C) ở vành đai nhiệt đới.

Rừng thưa (Thin Forest). Thảm thực vật được hình thành bởi những cây thân gỗ to lớn với tán lá thưa hoặc mật độ thưa. Rừng thưa ở vùng nhiệt đới được hình thành do sự thiếu hụt nước. Rừng thưa ở vùng ôn đới được hình thành do nhiệt độ thấp (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng thưa rụng lá hơi khô nhiệt đới (Tropical Semi-dry Deciduous Thin forest). Rừng có tán thưa hoặc mật độ thấp và hình thành từ những loài cây gỗ rụng lá về mùa khô. Loại rừng này xuất hiện ở những nơi có lượng mưa từ 600 – 1.200 mm/năm, 4 – 6 tháng khô (lượng mưa < 50mm/tháng), 1 – 2 tháng hạn (lượng mưa < 25 mm/tháng), 0 – 1 tháng kiệt (lượng mưa < 5 mm/tháng), độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất của không khí nhỏ hơn 50% (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng thuần loài (Pure Species Forest). Rừng được hình thành từ một loài cây gỗ nhất định.

Rừng thuần loài đồng tuổi (Even Pure Forest). Rừng được hình thành từ một loài cây gỗ mà các cá thể có tuổi bằng nhau.

Rừng thuần loài đồng tuổi tương đối (Relative Even Pure Forest). Rừng được hình thành từ một loài cây gỗ mà các cá thể chỉ khác nhau một cấp tuổi.

Rừng thuần loài khác tuổi (Uneven Pure Forest). Rừng được hình thành từ một loài cây gỗ mà các cá thể có tuổi khác nhau.

Rừng thường xanh (Evergreen Forest). Rừng có trên 75% số cây gỗ có lá thường xanh quanh năm (Thái Văn Trừng, 1999).

Rừng thường xanh nhiệt đới (Tropical Evergreen Forest). Rừng có lá thường xanh quanh năm (>75% số cây không rụng lá về mùa khô hoặc mùa lạnh) và xuất hiện ở miền nhiệt đới với lượng mưa trên 2.000 mm/năm, nhiệt độ trung bình 25^0C và không có mùa đông lạnh.

Rừng trồng (Planted Forest, Forest Plantation). Rừng được tạo lập bằng cách trồng hoặc gieo hạt trong quá trình trồng rừng và khôi phục rừng.

Rừng trồng hỗn giao (Mixed Forest Plantation). Rừng trồng từ một số loài cây gỗ khác nhau.

Rừng trồng hỗn giao đồng tuổi (Even Mixed Forest Plantation). Rừng trồng từ một số loài cây gỗ mà tuổi của chúng bằng nhau tuyệt đối hoặc tương đối (khác nhau một cấp tuổi).

Rừng trồng hỗn giao khác tuổi (Uneven Mixed Forest Plantation). Rừng trồng từ một số loài cây gỗ mà tuổi của chúng khác nhau hơn một cấp tuổi.

Rừng trồng thuần loài (Pure Species Forest Plantation). Rừng trồng từ một loài cây gỗ nhất định hoặc rừng trồng bao gồm 80% số cây của cùng một loài.

Rừng trồng thuần loài đồng tuổi (Even Pure Species Forest Plantation). Rừng trồng từ một loài cây gỗ nhất định mà tuổi của chúng bằng nhau tuyệt đối hoặc tương đối (khác nhau một cấp tuổi).

Rừng trồng thuần loài khác tuổi (Uneven Pure Species Forest Plantation). Rừng trồng từ một loài cây gỗ nhất định mà tuổi của chúng khác nhau hơn một cấp tuổi.

Sinh khối (Biomass). Khối lượng của một cá thể, một quần thể, một quần xã sinh vật đang sống. Thuật ngữ sinh khối cũng được dùng để biểu thị cho sinh khối của toàn bộ các vật sống trong hệ sinh thái.

Sinh khối thực vật (Plant Biomass). Khối lượng của một loài cây, một quần thể thực vật, một quần xã thực vật đang sống.

Sinh khối cây gỗ (Tree Biomass). Khối lượng của một loài cây gỗ, một quần thể cây gỗ hay quần thụ, một quần xã cây gỗ đang sống.

Tiết diện ngang (Basal Area). Diện tích mặt cắt ngang thân cả vỏ ở vị trí ngang ngực hay vị trí tiêu chuẩn (1,3 m cách mặt đất). Đơn vị tính tiết diện ngang thân là m^2.

Thực vật khối (Phytomass). Thuật ngữ biểu thị toàn bộ khối lượng của cây gỗ, kể cả khối lượng gỗ lõi đã chết.

Tỉ trọng gỗ (Wood Gravity). Thuật ngữ biểu thị trọng lượng của 1 m^3 gỗ. Tỉ trọng gỗ tươi là trọng lượng của 1 m^3 gỗ tươi. Tỉ trọng gỗ khô là trọng lượng của 1 m^3 gỗ khô tuyệt đối hay khô không khí.

Vòng năm cây gỗ (Tree Ring). Phần gỗ hình thành hàng năm tại vị trí gốc hoặc vị trí tiêu chuẩn (1,3 m cách mặt đất).

Vòng tăng trưởng hàng năm (Annual Growth Ring). Phần mở rộng của thân, cành và rễ trong vòng năm của cây gỗ. Tổng lượng gỗ sớm và gỗ muộn là lượng tăng trưởng trong một năm.

1.2. Tầm quan trọng của thống kê sinh khối và dự trữ carbon của rừng

Mặc dù hàm lượng carbon trong không khí chiến tỉ lệ rất nhỏ (0,04%), nhưng nó đóng vai trò rất quan trọng đối với sự sống trên trái đất. Trong quá trình quang hợp, cây xanh hấp thụ CO_2 từ không khí và chuyển thành carbon hydrat và thải ôxy vào không khí. Khi thực vật chết đi hoặc bị cháy, thì carbon trong các cơ quan của chúng lại được phóng thải vào không khí. Chu trình CO_2 xuất hiện và tồn tại trên trái đất qua hàng triệu năm qua (Kimmins, 1998). Tuy nhiên, theo Keeling và cs (1989), hiện nay chu trình carbon xảy ra không bình thường. Hàm lượng carbon trong không khí tăng lên từ 280 ppm vào thời kỳ tiền công nghiệp đến 390 ppm hiện nay. Sự gia tăng hàm lượng carbon trong không khí chủ yếu do những hoạt động của con người. Vào thế kỷ 19, với cuộc cách mạng công nghiệp, con người đã đốt cháy một lượng lớn nhiên liệu hóa thạch. Vào thế kỷ 20, ngành công nghiệp

phát triển mạnh đã kéo theo sự gia tăng nhu cầu nhiên liệu hóa thạch (than đá, dầu mỏ, gas…). Chính điều đó đã làm tăng hàm lượng carbon trong không khí và làm thay đổi chu trình carbon toàn cầu. Phá rừng và chuyển rừng thành những mục đích sử dụng khác cũng góp phần làm gia tăng hàm lượng carbon trong không khí. Hoạt động của con người ngày nay vẫn còn tiếp tục làm gia tăng hàm lượng carbon trong không khí (Kimmins, 1998).

Thảm thực vật và đại dương là van bảo hiểm của chu trình carbon. Sự gia tăng CO_2 trong không khí được cộng đồng thế giới chú ý là vì CO_2 là một trong những khí nhà kính nguy hiểm nhất. Khi hàm lượng CO_2 vượt ra ngoài khả năng hấp thụ của các thảm thực vật và đại dương, thì sự dư thừa CO_2 trong không khí sẽ dẫn đến sự nóng lên của bầu khí quyển bao quanh trái đất. Người ta ước tính 60% sự thay đổi khí hậu trên trái đất là do sự gia tăng khí CO_2 (Grace, 2004).

Theo IPCC (2000, 2003, 2004, 2006), các hệ sinh thái trên trái đất có 5 bể carbon: 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. Cả 5 bể carbon này liên hệ trực tiếp với quá trình quang hợp của thực vật. Bể carbon trên mặt đất là to lớn nhất và dễ dàng nhận thấy. Nó có thể bị thay đổi do khai thác rừng, phá rừng, cháy rừng, suy thoái rừng và chuyển rừng thành những mục đích khác. Bể carbon dưới mặt đất tập trung chủ yếu ở hệ thống rễ cây gỗ. Bể carbon này cũng đóng vai trò to lớn đối với sự trao đổi và dự trữ carbon trong đất. Vật rụng và xác chết của cây gỗ chỉ là một bể carbon nhỏ, nhưng nó cũng có vai trò đáng kể trong chu trình carbon. Nói chung, khối lượng carbon dự trữ chủ yếu trong sinh khối cây gỗ và trong những lớp đất (Lal, 2005; Kuimi và cs, 2012).

Hàng năm các hệ sinh thái trên trái đất hấp thụ thuần là 0,7 tỷ tấn C, bằng 1/10 sự phát thải (6,3 tỷ tấn C) do đốt cháy nhiên liệu hóa thạch. Chính vì thế, bể carbon của rừng đóng vai trò quan trọng trong việc giữ cân bằng CO_2 của trái đất (IPCC, 2000). Rừng nhiệt đới lưu trữ 46% khối lượng carbon trên mặt đất và 11,6% khối lượng carbon dưới mặt đất. Chính vì thế rừng nhiệt đới đóng vai trò vô cùng to lớn trong chu trình carbon trên trái đất (Brown và cs, 1989; Soepadmo, 1993).

Sinh khối của rừng không chỉ là yếu tố quan trọng để đánh giá cấu trúc rừng và chu trình khoáng trong các hệ sinh thái rừng, mà còn là biến chức năng quan trọng trong những mô hình sinh thái và sinh lý (Chavé và cs, 2005; Nárva, 2009). Trữ lượng gỗ và sinh khối gỗ là những chỉ báo quan trọng về khả năng cung cấp gỗ và cố định carbon của rừng. Gỗ là nguyên liệu quan trọng để chế biến bột giấy, vật liệu xây dựng và những đồ gia dụng khác (Kimmins, 1998; Nguyễn Văn Thêm, 2002; Chavé và cs, 2005). Bởi vì rừng hấp thụ và lưu trữ carbon trong sinh khối, nên rừng đóng vai trò cực kỳ to lớn trong việc điều hòa khí hậu. Tuy vậy, quá trình hô hấp và phân hủy những vật rụng và xác chết ở rừng hoặc cháy rừng cũng phóng thải một lượng lớn CO_2 vào không khí. Vai trò to lớn của rừng như một bể chứa carbon đã được xác nhận tại Nghị định thư Kyoto năm 1997. Năm 2000, IPCC đã báo cáo sinh khối và dự trữ carbon trong các hệ sinh thái rừng toàn cầu và từng châu lục khác nhau.

Trong những hệ sinh thái rừng, sinh khối cây gỗ đang sống, cây tầng thấp (cây bụi và thảm cỏ), vật chất hữu cơ trên cây chết đứng và chất hữu cơ trong đất cấu thành bể carbon chủ yếu của hệ sinh thái rừng. Bể carbon trên mặt đất được hình thành chủ yếu từ sinh khối trên mặt đất của cây gỗ. Bể carbon to lớn này có thể thay đổi hay mất mát một phần do khai thác rừng, phá rừng, cháy rừng, suy thoái rừng và chuyển rừng thành những mục đích khác (Gibbs và cs, 2007). Những thay đổi của bể carbon trên mặt đất ảnh hưởng lan truyền đến chu trình carbon xảy ra giữa hệ sinh thái rừng và không khí (Houghton, 2005). Vì thế, ước lượng chính xác dự trữ carbon của rừng là một vấn đề quan trọng. Tầm quan trọng biểu hiện ở chỗ, những thông tin về bể carbon của rừng được sử dụng để đánh giá quy mô trao đổi carbon giữa rừng và không khí; ước lượng khối lượng carbon chuyển vào không khí do khai thác rừng, phá rừng, cháy rừng, suy thoái rừng và chuyển rừng thành những mục đích khác…; trạng thái hiện tại và những thay đổi trong trương lai của các bể carbon trên trái đất (Houghton, 2005; Gibbs và cs, 2007). Nói chung, ước lượng sinh khối của rừng nhằm cung cấp những thông tin để đánh giá dự trữ carbon được rừng hấp thụ và có thể chuyển trở lại dạng CO_2 khi rừng bị khai thác, cháy, suy

thoái và chuyển thành những mục đích khác…Ngoài ra, đo đạc và đánh giá sinh khối trên mặt đất của cây gỗ và rừng còn có ý nghĩa cung cấp thông tin để xác định nguồn năng lượng thu được từ rừng (Houghton, 2005; Gibbs và cs, 2007).

Hiện nay những phương pháp tính toán sinh khối và dự trữ carbon của các hệ sinh thái rừng còn rất kém chính xác. Vì thế, việc tìm kiếm những phương pháp xác định chính xác sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối của rừng vẫn cần được đặt ra (IPCC, 2006). Những nước phát triển ở châu Âu xác định dự trữ và sự thay đổi carbon của rừng ôn đới và rừng phương bắc dựa trên số liệu điều tra rừng quốc gia. Số liệu điều tra rừng không chỉ là thông tin quan trọng để nghiên cứu trữ lượng gỗ, mà còn cả sinh khối và dự trữ carbon của rừng. Tuy vậy, điều tra rừng chỉ cung cấp số liệu về trữ lượng gỗ mà không cung cấp sinh khối của rừng. Vì thế, nếu chỉ dựa vào số liệu điều tra rừng, thì chúng ta rất khó đánh giá sinh khối và dự trữ carbon của rừng (Dixson và cs, 1994).

Theo Nghị định thư Kyoto 1997, các nước thành viên phải cam kết cắt giảm các khí nhà kính. Để đạt được điều đó, các nước có thể gia tăng dự trữ carbon trong các hệ sinh thái, nhất là hệ sinh thái rừng. Điều đó cho thấy sự cần thiết phải xây dựng những phương pháp điều tra và đánh giá chính xác sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối của rừng.

1.3. Những phương pháp ước lượng sinh khối và dự trữ carbon của rừng

1.3.1. Tình hình chung

Theo Satoo (1982), Ebermeyer là người đầu tiên đo đạc sinh khối thực vật vào năm 1876. Nhưng sinh khối của cây gỗ và quần thụ chỉ được nghiên cứu từ hơn một thế kỷ qua. Vào nửa đầu của thế kỷ XX, một số nước (Thụy Sĩ, Nhật Bản, Đức, Nga…) đã có những nghiên cứu về sinh khối của rừng. Năm 1960, thực hiện theo chương trình sinh học thế giới (IBP), nhiều nước cũng đã nghiên cứu về sinh khối của rừng. Vào thời gian này, nhiều nhà khoa học cũng đã nhận thấy vai trò to lớn của rừng trong chu trình carbon trên trái đất. Ở thập niên 1980, nhiều nhà khoa học đã tập trung nghiên cứu sinh khối và những yếu tố ảnh hưởng đến sinh khối của

rừng. Nhiều phương pháp nghiên cứu sinh khối cũng đã được phát triển trong giai đoạn này.

Thông thường, sinh khối cây gỗ được xác định chính xác nhất bằng phương pháp chặt hạ và cân đo trực tiếp sinh khối của những cây mẫu trên ô mẫu (Grace, 2004; Muukkonen, 2007). Tuy vậy, phương pháp này có nhược điểm là tốn kém về nhân lực, thời gian, kinh phí, phá hủy nhiều cây gỗ quý và đôi khi rất nguy hiểm. Phương pháp này cũng chỉ thích hợp với những ô mẫu nhỏ.

Một phương pháp khác là dự đoán sinh khối của các loài cây gỗ và rừng dựa trên những hàm thống kê sinh khối. Cơ sở của phương pháp này là ở chỗ sinh khối của cây gỗ phụ thuộc vào đường kính thân ngang ngực (D), chiều cao toàn thân (H), tiết diện ngang thân (g) và hình dạng tán cây…Mật độ quần thụ (N, cây/ha) và phân bố số cây theo cấp D (N/D) cũng quan hệ chặt chẽ với sinh khối của rừng. Những tham số này thay đổi tùy theo điều kiện lập địa (khí hậu, địa hình, đất, thảm thực vật...) của rừng. Vì thế, sinh khối và thể tích thân cây có thể được dự đoán thông qua những mối quan hệ chặt chẽ giữa chúng với D, H, G và N của quần thụ (Gibbs và cs, 2007; Muukkonen, 2007).

Sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối của rừng cũng có thể được xác định bằng phương pháp dựa trên số liệu điều tra rừng (Jalkanen và cs, 2005), phương pháp rada (Rignot và cs, 1995), phương pháp viễn thám (Drake và cs, 2003). Tuy vậy, do sử dụng những phương pháp khác nhau để điều tra sinh khối, nên kết quả nhận được cũng khác nhau. Theo Brown (2002), sở dĩ có sự sai lệch lớn giữa những phương pháp ước lượng sinh khối là do: (a) Những mô hình sinh khối được xây dựng dựa trên những cây mẫu có kích thước chưa đại diện cho toàn bộ số cây gỗ trong quần thụ; (b) Những mô hình thống kê sinh khối được xây dựng ở vùng này nhưng lại đem áp dụng cho vùng khác; (c) Chọn mô hình thống kê sinh khối chưa thích hợp; (d) Những ô mẫu chưa đại diện cho quần thụ hoặc những cây chặt hạ có kích thước khác với những cây để xây dựng những hàm hình sinh khối…

Nhiều tác giả (Lowe và cs, 2000; Jenkins và cs, 2003; Jalkanen và cs, 2005; Zianis và cs, 2005) cho rằng sinh khối của cây gỗ và quần thụ có thể được xác định

theo 5 phương pháp khác nhau. Một là cân đo trực tiếp sinh khối của các thành phần cây gỗ (thân, cành, lá, vỏ, rễ…) trên những ô mẫu điển hình. Hai là sử dụng những hàm sinh khối được xây dựng cho từng loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ hoặc nhóm rừng khác nhau. Ba là sử dụng số liệu điều tra rừng và những yếu tố chuyển đổi và điều chỉnh sinh khối (BCEF) để chuyển đổi thể tích thân cây đứng (V hoặc V_T, m^3) hay trữ lượng thân cây đứng (M, m^3) thành sinh khối của các thành phần và tổng sinh khối của cây gỗ và quần thụ. Bốn là điều tra sinh khối bằng phương pháp Rada. Năm là điều tra sinh khối bằng phương pháp viễn thám kết hợp với phương pháp cân đo trực tiếp sinh khối trên những ô mẫu.

Theo Houghton (2005), sinh khối của rừng có thể được xác định từ ba nguồn số liệu. Nguồn thứ nhất là số liệu điều tra rừng quốc gia. Nguồn thứ hai là số liệu điều tra sinh khối trực tiếp trên những ô mẫu bằng phương pháp cân đo. Nguồn thứ ba là số liệu điều tra sinh khối trực tiếp trên những ô mẫu phối hợp với phương pháp viễn thám. Ravindranath và Ostwald (2008) cho rằng sinh khối và dự trữ carbon của rừng có thể được xác định bằng phương pháp đo đếm trực tiếp ở rừng, phương pháp viễn thám và phương pháp GIS. Theo Kuimi và cs (2012), sự kết hợp giữa ảnh vệ tinh và số liệu điều tra rừng cho phép ước lượng sinh khối của rừng với độ tin cậy khá cao.

Nói chung, sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất của cây gỗ và quần thụ thường được xác định bằng ba phương pháp phổ biến nhất: (1) Cân đo trực tiếp sinh khối cây gỗ và quần thụ trên những ô mẫu điển hình; (2) Xác định sinh khối bằng những hàm thống kê sinh khối; (3) Xác định sinh khối từ số liệu điều tra rừng cùng với BCEF.

1.3.2. Phương pháp cân đo trực tiếp sinh khối của cây gỗ và rừng

Nhiều tác giả (Jenkins và cs, 2003; Lehtonen và cs, 2004; Jalkanen và cs, 2005; Zianis và cs, 2005; Chavé và cs, 2005; Tobin và cs, 2007; Repola, 2009; Kuimi và cs, 2012) cho rằng phương pháp đo đếm trực tiếp sinh khối ở rừng là phương pháp chính xác nhất. Việc đo đạc trực tiếp sinh khối ở rừng bao gồm hai phương pháp.

Một là phương pháp phá hủy hay chặt hạ cây gỗ. Phương pháp này chặt hạ tất cả cây gỗ và cân đo sinh khối của chúng trên những ô mẫu; sau đó suy diễn cho cả rừng bằng cách nhân diện tích rừng với sinh khối bình quân trên 1ha. Nhược điểm của phương pháp này là chỉ thực hiện được trong một diện tích rừng nhỏ và những cây gỗ nhỏ; chi phí lớn về thời gian và tài chính; lãng phí tài nguyên, nhất là những cây gỗ quý; không thực hiện được trong những rừng đặc dụng. Vì thế, phương pháp này chỉ được sử dụng để thu thập số liệu nhằm mục đích phát triển các hàm sinh khối và dự trữ carbon.

Hai là phương pháp không phá hủy hay không chặt hạ cây gỗ. Phương pháp này được áp dụng tốt cho mọi loại rừng, đặc biệt là rừng có nhiều loài cây gỗ quý và rừng đặc dụng. Theo phương pháp này, Montes và cs (2000) đã xác định sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ và rừng ở Morocco bằng cách so sánh hình dạng tán cây, thân cây và những thành phần khác với những cây gỗ đã được chặt hạ.

Theo Zianis và cs (2005), khi thực hiện phương pháp cân đo trực tiếp sinh khối đối với các thành phần cây gỗ (thân, cành, lá, vỏ, rễ…) trên những ô mẫu, công việc đầu tiên là phân chia đối tượng thu mẫu. Tùy theo mục tiêu nghiên cứu, đối tượng thu mẫu sinh khối có thể là những cây gỗ đơn lẻ, những nhóm cây gỗ và những quần thụ. Quần thụ có thể bao gồm những cá thể cùng loài đồng tuổi hay khác tuổi và những cá thể khác loài đồng tuổi hay khác tuổi. Để nâng cao độ chính xác của kết quả đo đạc sinh khối, những loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và quần thụ cũng có thể được phân chia chi tiết theo cấp tuổi (A, năm), cấp D (cm) và điều kiện lập địa khác nhau. Bước tiếp theo là xác định số lượng, kích thước và phương pháp rút mẫu. Tùy theo yêu cầu về độ chính xác của điều tra sinh khối, số lượng cây mẫu, số lượng và kích thước ô mẫu có thể được thiết kế cho từng loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ, quần thụ và kiểu rừng (Brown, 2002).

Nói chung, việc chặt hạ, phân chia và cân đo những thành phần khác nhau của những cây gỗ, nhất là những cây gỗ to lớn, cây gỗ quý và hiếm, không chỉ là việc làm rất khó khăn và nguy hiểm, mà còn tốn kém về thời gian, kinh phí, tài nguyên và lao động. Vì thế, trong đa số nghiên cứu sinh khối và dự trữ carbon đối

với cây gỗ và quần thụ, số lượng ô mẫu và cây mẫu thường được chọn theo phương pháp điển hình (Porte và cs, 2002; Levy và cs, 2004). Đối với rừng trồng thuần loài đồng tuổi, cây mẫu thường là cây bình quân lâm phần hoặc cây bình quân theo cấp A (năm) hay nhóm A (năm) hoặc cây bình quân theo cấp D. Đối với rừng trồng khác loài khác tuổi, cây mẫu thường được chọn theo nhóm loài cây gỗ ưu thế; trong đó chúng cũng được phân chia theo cấp A hay cấp D (Porte và cs, 2002; Levy và cs, 2004; Lehtonen và cs, 2004). Đối với rừng tự nhiên, cây mẫu thường được chọn điển hình từ những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế sinh thái trong những ô mẫu điển hình. Kích thước ô mẫu có thể thay đổi từ 200 m^2 (10×20 m) đến 10.000 m^2 (100×160 m) tùy theo kiểu rừng. Hình dạng ô mẫu thường là hình chữ nhật hoặc hình tròn (Wang và cs, 2011).

Số lượng ô mẫu và cây mẫu được chọn cũng rất khác nhau giữa các tác giả. Khi xác định sinh khối cho rừng Vân sam Sitka (9, 14, 28, 30 và 45 tuổi) ở Ireland, Tobin và Nieuwenhuis (2007) đã chọn 36 cây bình quân; trong đó mỗi tuổi là 6 cây. Khi xác định sinh khối cho rừng Thông Scots, Vân sam Nauy và Bu lô ở Phần Lan, Lehtonen và cs (2004) đã sử dụng 3.000 ô định vị được phân loại theo cấp A (10 năm) và những loài cây gỗ ưu thế sinh thái.

Cây bình quân của quần thụ có thể được chọn theo cây có đường kính bình quân cộng, cây có đường kính tương ứng với cây có tiết diện ngang bình quân hoặc cây có đường kính trung vị (D_g (cm) = đường kính của cây tại $Q_{50\%}$ hay Q_2). Ở Việt Nam, Viên Ngọc Nam (1998) đã sử dụng những cây mẫu điển hình theo cấp D tương ứng với mỗi tuổi rừng để xác định sinh khối đối với rừng Đước ở khu vực Cần Giờ thuộc Tp. Hồ Chí Minh. Cây bình quân cũng được sử dụng để ước lượng sinh khối của rừng Keo lai (Võ Đại Hải, 2008; Trần Thị Ngoan, 2018) và rừng Tràm *cajuputi* (Phạm Xuân Quý, 2010).

Sau khi bố trí hệ thống các ô mẫu và cây mẫu, một việc làm quan trọng là mô tả chi tiết tình trạng của các ô mẫu. Những thông tin cần mô tả bao gồm nơi thu mẫu (tên địa danh), vị trí ô mẫu (kinh độ, vĩ độ), địa hình (độ cao, độ dốc), loại đất, loài cây gỗ, kiểu rừng, thời gian thu mẫu (tháng, năm) và người thu mẫu...Những thông

tin này không chỉ giúp cho việc xác nhận độ tin cậy của kết quả nghiên cứu, mà còn tạo thuận lợi cho việc quản lý và kiểm tra nguồn số liệu (Lehtonen và cs, 2004; Tobin và Nieuwenhuis, 2007).

Trước khi đo đạc sinh khối trên những cây mẫu đã được chặt hạ, nhà nghiên cứu cần phải xác định phạm vi kích thước thân cây gỗ (nhỏ nhất - lớn nhất) được đo đạc sinh khối. Theo IPCC (2006), sở dĩ thông tin về sinh khối và dự trữ carbon của các thảm thực vật trên thế giới được báo cáo rất khác nhau là vì mỗi tác giả hay mỗi nước có những quy định khác nhau về đường kính thân cây gỗ nhỏ nhất (D_{Min}) được thu mẫu. Ở Phần Lan, các mẫu sinh khối được đo đạc từ những cây gỗ có D > 7,0 cm (Lehtonen và cs, 2004). Ở Croatia, các mẫu sinh khối được đo đạc từ những cây gỗ có D ≥ 5,0 cm (Marklund và cs, 1987). Ở Mỹ, các hàm thể tích và hàm sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ được xây dựng cho tất cả những cây gỗ có D > 2,5 cm (Jenkins và cs, 2003). Ở Nam Mỹ, các hàm thể tích và sinh khối ở mức cây gỗ và quần thụ được xây dựng cho tất cả những cây gỗ có D ≥ 10 cm (Sarmiento và cs, 2005). Ở Việt Nam, trữ lượng và sinh khối của rừng thường được xác định từ những cây gỗ có D ≥ 8 cm cm hoặc trên 10 cm (Viện điều tra quy hoạch rừng, 1995; Vũ Tiến Hinh, 2012).

Theo Tobin và Nieuwenhuis (2007), trước khi chặt hạ và đo đạc sinh khối cây gỗ, một việc làm cần thiết là xác định những nhân tố hay biến số cần phải được đo đạc. Về mặt sinh học, những thành phần cấu thành cây gỗ quan hệ chặt chẽ với nhau. Vì thế, những mô hình thể tích và sinh khối đối với cây gỗ thường được xây dựng dựa trên quan hệ giữa những thành phần cấu thành cây gỗ. Nói chung, khi xây dựng những mô hình thể tích và sinh khối cây gỗ và quần thụ, những thông tin cần phải thu thập bao gồm đường kính gốc (D_0, cm), D (cm), H (m), chiều cao dưới cành lớn nhất còn sống (H_{DC}, m), đường kính tán cây ở vị trí rộng nhất (D_T, m) và chiều dài tán cây (L_T, m). Những thông tin này có thể được sử dụng vào nhiều mục đích khác nhau: (1) Xây dựng những hàm thể tích thân cây đứng (V hay V_T, m^3); (2) Xây dựng những hàm sản lượng gỗ thu hoạch hay gỗ thương mại (V_{TM}, m^3); (3)

Xây dựng những hàm sinh khối đối với các bộ phận của cây gỗ (B_i, kg) với biến dự đoán là D, H hoặc tổ hợp giữa hai biến này (DH, D^2H).

Để dễ dàng cho việc cân đo sinh khối của cây gỗ, toàn bộ cây mẫu được phân chia thành những thành phần khác nhau (thân, cành, lá, vỏ, rễ). Hệ rễ của cây mẫu là một biến số rất khó xác định chính xác, bởi vì chúng thường đan xen với hệ rễ của nhiều loài cây khác. Vì thế, hệ thống rễ cây gỗ thường được xác định theo những ô mẫu có kích thước nhất định. Tobin và Nieuwenhuis (2007) đã đo đạc hệ thống rễ cây gỗ trên ô mẫu với kích thước 3×3 m, chiều sâu 2 m. Những rễ cây nhỏ nhất được đo đạc cũng thay đổi tùy theo tác giả. Khi xác định sinh khối cho rừng Thông Scots, Vân sam Nauy và Bu lô ở Phần Lan, Lehtonen và cs (2004) chỉ đo đạc những rễ có D > 5,0 mm. Trái lại, khi nghiên cứu những hệ số điều chỉnh sinh khối (BEF_i) đối với rừng Vân sam Sitka ở Ireland, Tobin và Nieuwenhuis (2007) đã đo đạc những rễ có D > 2,0 mm.

Theo Lehtonen và cs (2004) và Návar (2009), độ chính xác và sai lệch giữa các lần cân đo sinh khối cũng phải được đặt ra. Thông thường, sinh khối đối với các thành phần của cây gỗ được đo đạc với độ chính xác 0,1 kg. Thân và cành được cân đo riêng từng phân đoạn; sau đó cộng dồn sinh khối của các phân đoạn để nhận được tổng sinh khối thân và tổng sinh khối cành. Tương tự, hệ thống lá và rễ cũng được cân đo riêng từng bộ phận; sau đó cộng dồn các bộ phận để nhận được tổng sinh khối lá và tổng sinh khối rễ. Cuối cùng cộng dồn sinh khối của các thành phần để nhận được tổng sinh khối của cây gỗ.

Sau khi đo đạc các thành phần sinh khối tươi, nhà nghiên cứu cần thu thập những mẫu sinh khối tươi để xác định sinh khối khô, tỷ trọng (WD hoặc ρ) và hàm lượng carbon (%) trong sinh khối khô của các thành phần. Thông thường, để đạt được mục đích này, mỗi thành phần sinh khối tươi (thân, cành, lá, vỏ, rễ) được lấy mẫu khoảng 0,5 đến 1,0 kg. Sinh khối thân (tươi và khô) và tỷ trọng gỗ thân (tươi và khô) cũng có thể được xác định dựa trên những thớt giải tích với bề dày từ 3 đến 5 cm. Thể tích của thớt giải tích được xác định theo thể tích hình viên trụ hoặc bằng phương pháp chiếm chỗ trong bể nước (Paladinic và cs, 2009). Tỷ trọng và hàm

lượng carbon trong sinh khối khô của các bộ phận cây gỗ được xác định trong phòng thí nghiệm. Tỷ trọng của các bộ phận có thể được xác định ở trạng thái tươi hoặc trạng thái khô. Thông thường, tỷ trọng sinh khối thường chỉ được xác định cho phần gỗ thân để chuyển đổi thể tích thân thành sinh khối thân. Sinh khối cành, lá, vỏ và rễ thường chỉ được xác định bằng cách cân đo trực tiếp trọng lượng của chúng. Bước cuối cùng là xử lý số liệu sinh khối theo những mục đích đặt ra ban đầu.

1.3.3. Phương pháp hàm thống kê sinh khối

Phương pháp hàm thống kê sinh khối được đặt ra nhằm mục đích hạn chế những nhược điểm của phương pháp cân đo trực tiếp sinh khối tại rừng. Theo Brown (1997, 2002), phát triển và sử dụng các hàm thống kê sinh khối là phương pháp chuẩn để đánh giá sinh khối đối với cây gỗ, ô mẫu, quần thụ và rừng. Sử dụng những mô hình thể tích và mô hình sinh khối với độ tin cậy cao cho phép tiết kiệm thời gian, kinh phí, nhân lực và tài nguyên rừng (Brown, 2002; Zianis và cs, 2005).

Cơ sở của phương pháp hàm thống kê sinh khối là ở chỗ những thành phần của cây gỗ (thân, cành, vỏ, lá, rễ) tồn tại mối quan hệ chặt chẽ với nhau. Vì thế, sinh khối của những thành phần khó xác định trực tiếp (thân, cành, vỏ, lá, rễ) và thể tích thân cây có thể được xác định từ mối quan hệ giữa chúng với D, H và V (Schroeder và cs, 1997; Ter-Mikaelian và cs, 1997; Lehtonen và cs, 2004). Sinh khối của những cây tái sinh và cây bụi được xác định thông qua D_0 (Smith và cs, 1983). Sinh khối lá của cây gỗ còn được dự đoán dựa theo tiết diện ngang gỗ giác (Bormann, 1990). Nói chung, sinh khối và thể tích thân cây gỗ và quần thụ có thể được dự đoán thông qua những mối quan hệ chặt chẽ giữa chúng với D, H, V, G, N, diện tích tán cây (S_T) và tỷ trọng gỗ (WD hoặc ρ) (Ketterings và cs, 2001; Lehtonen và cs, 2004; Chavé và cs, 2005; Muukkonen, 2007; Chave và cs, 2014).

Đối tượng xây dựng những hàm sinh khối thay đổi tùy theo thảm thực vật. Ở nhiều nước châu Âu, các hàm sinh khối thường được phát triển cho từng loài cây gỗ (Zianis và cs, 2005). Trái lại, đối với rừng hỗn loài tự nhiên nhiệt đới, các hàm sinh

khối thường được xây dựng cho nhóm loài cây gỗ hoặc cho cả quần thụ. Những cây mẫu được chọn là những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế (Chavé và cs, 2005).

Cho đến nay nhiều mô hình thể tích và mô hình sinh khối với những hình thái rất đa dạng đã được công bố trên nhiều tài liệu khác nhau. Tùy theo phương pháp ước lượng các tham số, các hàm thống kê sinh khối có thể được phân chia thành những hàm thực nghiệm, những hàm bán thực nghiệm và những hàm lý thuyết (Zianis và cs, 2005; Návar, 2009). Sau khi phân tích những hàm thống kê sinh khối từ nhiều tài liệu tham khảo khác nhau, Návar (2009) nhận thấy 82,6% hàm tuyến tính ở dạng chuyển đổi Logarit, 12,0% có dạng hàm phi tuyến tính, còn lại 5,4% ở dạng tuyến tính và những dạng khác.

Theo Zianis và cs (2005), so sánh và chọn những hàm sinh khối thích hợp từ những hàm sinh khối đã có (Hàm dự tuyển = Candidate Function)) là việc làm cần thiết, bởi vì điều đó cho phép tiết kiệm thời gian, kinh phí và nhân lực. Thông qua những tài liệu tham khảo từ châu Âu, Mỹ, Úc và một số nước ở nhiệt đới, Zianis và cs (2005) đã tổng kết được 607 hàm thể tích và hàm sinh khối; trong đó có 280 hàm thực nghiệm với biến dự đoán D, 200 hàm thể tích và hàm sinh khối với biến dự đoán D và H hoặc tổ hợp của hai biến này. Những hàm thể tích và hàm sinh khối ở các nước châu Âu được xây dựng với rất nhiều biến dự đoán khác nhau như D, H, tuổi cây (A, năm), chỉ số lập địa (SI)...; trong đó hai biến dự đoán phổ biến là D và H. Zianis và cs (2005) cũng nhận thấy nhiều hàm sinh khối ở châu Âu chỉ được xây dựng dựa trên những số liệu thu thập từ những quần thụ đơn lẻ, còn một số dựa trên số liệu từ những vùng địa lý rộng lớn. Số lượng cây mẫu dùng để xây dựng mô hình sinh khối dao động từ 3 đến 1.503 cây, thông thường từ 6÷40 cây mẫu.

Nhiều nhà nghiên cứu cũng đã phát triển những hàm thống kê để xác định sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ thuộc những kiểu rừng khác nhau ở nhiệt đới (Brown và cs, 1989; Araujo và cs, 1999; Nárva, 2009). Một số nước ở châu Á cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu về sinh khối đối với cây gỗ và các thảm thực vật rừng khác nhau. Ketterings và cs (2001) đã phát triển những hàm ước lượng sinh khối đối với rừng hỗn giao thứ sinh ở Sumatra (Indonesia); trong đó biến dự đoán là

D và ρ. Terakunpisut và cs (2007) đã sử dụng những hàm sinh khối của Tsutsumi (1983) để đánh giá dự trữ carbon trong sinh khối của rừng quốc gia Thong Pha Phum ở Thailand. Chaiyo và cs (2011) đã sử dụng những hàm sinh khối của Ogawa và cs (1965) để ước lượng sinh khối trên mặt đất đối với rừng rụng lá hỗn giao và rừng khô ưu thế cây họ Sao Dầu ở miền Bắc Thailand. Kenzo và cs (2009) đã đo đạc sinh khối của 136 cây gỗ thuộc 23 loài cây gỗ ở rừng thứ sinh Sarawak (Malaysia) để lập mô hình sinh khối; trong đó biến dự đoán là D và D_0. Tại India, Lodhiyal (2003) đã nghiên cứu sinh khối và sản lượng sơ cấp thuần của rừng trồng *Dalbergia sissoo* Roxb ở khu vực trung tâm Hymalaya (India) dựa trên 100 cây mẫu thuộc ba nhóm đường kính khác nhau. Tại Trung Quốc, Wang và cs (2011) đã phát triển những mô hình sinh khối dựa theo D của 21 cây mẫu để ước lượng sinh khối của loài *Abies nephrolepis* (Maxim) ở khu vực Đông Bắc. Mô hình sinh khối của các thành phần cây gỗ đều có dạng hàm lũy thừa với biến dự đoán D.

Ở Việt Nam, Đồng Sỹ Hiền (1974) đã phát triển những hàm thể tích với nhiều biến dự đoán khác nhau để thống kê trữ lượng rừng. Sau này, nhiều tác giả cũng đã xây dựng những hàm thể tích đối với nhiều loài cây gỗ ở rừng tự nhiên và rừng trồng với nhiều biến dự đoán khác nhau (Nguyễn Ngọc Lung và Đào Công Khanh, 1999; Vũ Tiến Hinh, 2005, 2012). Lê Hồng Phúc (1995) đã xây dựng những hàm sinh khối đối với rừng trồng Thông ba lá *(Pinus kesiya* Royle ex Gordon*)* ở khu vực Đà Lạt (Lâm Đồng) dựa theo D. Viên Ngọc Nam (1998) đã xây dựng những hàm sinh khối dựa theo D để ước lượng sinh khối và năng suất sơ cấp của rừng Đước *(Rhizophora apiculata)* ở Cần Giờ thuộc Tp. Hồ Chí Minh. Viên Ngọc Nam và Phan Hồng Nhật (2009) đã phân tích sinh khối của rừng trồng Keo lai tại phường Long Bình thuộc thành phố Hồ Chí Minh. Viên Ngọc Nam và Tôn Thiên An (2010) đã xây dựng những hàm sinh khối dựa theo D để ước lượng sinh khối và dự trữ carbon đối với rừng Thông ba lá tự nhiên ở tỉnh Lâm Đồng. Ngô Đình Quế và cs (2006) đã xác định sinh khối và khả năng hấp thụ CO_2 của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam. Phạm Trọng Thịnh (2006) đã xây dựng những hàm thể tích đối với rừng trồng Đước *(Rhizophora apiculata* Blume*)* ở khu vực Tây Nam Bộ

dựa theo D, H và hình dạng thân cây (f). Võ Đại Hải (2008) đã xây dựng những hàm sinh khối dựa theo D bình quân để ước lượng sinh khối và dự trữ carbon đối với rừng trồng Keo lai ở Việt Nam. Bảo Huy (2010), Bao Huy và cs (2012) đã xây dựng những hàm ước lượng sinh khối đối với cây cá thể và quần thụ thuộc rừng tự nhiên hỗn loài ở khu vực Tây Nguyên; trong đó hàm sinh khối cây cá thể với biến dự đoán D, H, V, còn hàm sinh khối quần thụ với biến dự đoán N và G. Phạm Thế Dũng và Vũ Đình Hưởng (2010) đã phân tích sinh khối và giá trị năng lượng của rừng Tràm ở Long An. Phạm Xuân Quý (2012) đã xây dựng những hàm sinh khối với biến dự đoán D đối với rừng Tràm *(Melaleuca cajuputi* Powell*)* ở khu vực Tây Nam Bộ. Nguyễn Văn Thêm và Trần Thị Ngoan (2016) đã xây dựng các hàm sinh khối và hệ số điều chỉnh sinh khối đối với Thông ba lá (*Pinus keysiya* Royle ex Gordon) trên cấp đất I ở khu vực Đức Trọng, tỉnh Lâm Đồng. Trần Thị Ngoan (2019) đã xây dựng những hàm sinh khối với biến dự đoán D và H đối với rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số lập địa tại tỉnh Đồng Nai.

Nói chung, phần lớn những hàm thể tích và hàm sinh khối đối với cây gỗ và rừng nhiệt đới được xây dựng từ những biến dự đoán dễ đo đạc như D và H. Một số hàm thống kê sinh khối được phát triển không chỉ dựa vào mối quan hệ giữa sinh khối với D và H, mà còn với D_0, G, V, ρ, L_T và D_T (Brown và cs, 1989; Ketterings, 2001; Návar, 2009; Bảo Huy, 2010; Vũ Tiến Hinh, 2012).

Nhiều tác giả (Ketterings và cs, 2001; Návar và cs, 2002; Chavé và cs, 2005) cho rằng, so với hàm sinh khối với một biến dự đoán, những hàm sinh khối đa biến cho phép ước lượng sinh khối với sai lệch nhỏ hơn. Tuy vậy, điều đó chỉ đúng trong trường hợp kiểm định những sai lệch từ những cây mẫu đã được chặt hạ. Trong thực tế, do nhiều biến dự đoán (H, D_T và L_T) đối với cây gỗ và quần thụ ở rừng tự nhiên hỗn loài nhiệt đới là những biến rất khó đo đạc chính xác, nên các hàm sinh khối đa biến thường nhận sai số rất lớn. Vì thế, xác định hình thái thích hợp của các hàm sinh khối với nhiều biến dự đoán mà một số biến có thể được xác định thông qua những biến khác dễ đo đạc hơn là một việc làm cần thiết. Để loại bỏ yếu tố H trong các hàm sinh khối đối với cây gỗ ở rừng tự nhiên hỗn loài nhiệt đới,

Ketterings và cs (2001) đã biến đổi hàm sinh khối ở dạng lũy thừa ($B = a \times D^b \times H$ với $H = k \times D^c$) trở thành dạng Hàm 1.1. Nếu giả định thân cây có dạng hình nón và $H = k \times D^c$, thì thể tích và sinh khối thân cây tỉ lệ với $D^2 \times H$. Trong trường hợp này, hàm sinh khối thân cây có dạng như Hàm 1.2. Tương tự, sinh khối thân cây gỗ (B_T) là một hàm của V và ρ, nghĩa là $B_T = f(V, \rho)$. Giá trị ρ thay đổi tùy theo loài cây gỗ và vị trí địa lý. Vì thế, nếu giả định ρ ảnh hưởng đến tham số a ($a = r\rho$) của Hàm (1.2), thì hàm sinh khối có thể được viết dưới dạng Hàm 1.3. Vì Hàm (1.3) không bao gồm yếu tố H, nên nó có thể được ứng dụng để xây dựng hàm sinh khối đối với những cây gỗ ở rừng mưa nhiệt đới (Ketterings và cs, 2001).

$$B = a \times k \times D^{(b + c)} \qquad (1.1)$$

$$B = a \times D^{(2 + c)} \qquad (1.2)$$

$$B = r\rho \times D^{(2 + c)} \qquad (1.3)$$

Nhiều tác giả (Ketterings và cs, 2001; Návar và cs, 2002; Chavé và cs, 2005) cho rằng những hàm thống kê sinh khối với nhiều biến dự đoán thích hợp được ứng dụng để phân tích và so sánh biến động sinh khối theo vị trí địa lý, loài cây gỗ, kiểu rừng, lập địa và nhiều yếu tố môi trường khác. Theo quan điểm này, Chavé và cs (2005) đã xây dựng hàm B_T (kg) của cây gỗ với biến dự đoán D, H, ρ và hình dạng thân cây (F) theo Hàm 1.4. Khi giả định F không thay đổi theo kích thước thân cây, thì Hàm 1.4 có thể được biến đổi thành 3 Hàm 1.5-1.7. Dựa theo sự thay đổi của các tham số a_0, b_0 và c_0 trong ba Hàm 1.5- 1.7, Chavé và cs (2005) đã phân tích và chỉ ra những mô hình sinh khối cần phải được xây dựng tùy theo loài cây gỗ và loại rừng. Sau này nhiều hàm thống kê sinh khối đối với cây gỗ ở rừng trồng nhiệt đới cũng đã được xây dựng riêng rẽ cho từng loài, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng tùy thuộc vào tuổi, phân bố N/D và lập địa (Návar, 2009). Chavé và cs (2014) đã xây dựng hàm tổng sinh khối trên mặt đất ở mức cây gỗ theo Hàm 1.8.

$$B_T = F \times \rho \times (0{,}785 \times D^2 \times H) \qquad (1.4)$$

$$Ln(B_T) = a_0 + a_1 \times Ln(D) + a_2 \times Ln(H) + a_3 \times Ln(\rho) \qquad (1.5)$$

$$Ln(B_T) = b_0 + b_1 \times (D^2 \times H \times \rho) \qquad (1.6)$$

$$Ln(B_T) = c_0 + c_1 \times Ln(D) + c_2 \times Ln(D^2) + c_3 \times Ln(D\text{^}3) + c_4 \times Ln(\rho) \qquad (1.7)$$

$$B_i = a\times(D^2H)^b \quad (1.8a)$$

$$B_i = a\times(\rho\times D^2H\times)^b \quad (1.8b)$$

Sau khi tổng quan những hàm sinh khối, Kuimi và cs (2012) nhận thấy phần lớn những hàm thống kê sinh khối đều được xây dựng để ước lượng sinh khối đối với những cây gỗ, nhóm cây gỗ và rừng trên phạm vi không gian rộng lớn. Vì thế, khi sử dụng những hàm này để xác định sinh khối đối với những cây gỗ, nhóm cây gỗ và rừng trên phạm vi không gian hẹp (địa phương), thì kết quả nhận được có sai số lớn. Để hạn chế những thiếu sót này, các hàm sinh khối có thể được xây dựng cho những loài cây gỗ, nhóm cây gỗ và rừng ở mức địa phương.

Hiện nay có rất ít những hàm thống kê sinh khối được phát triển cho rừng mưa nhiệt đới ở khu vực Đông Nam Á. Basuki và cs (2009) đã sử dụng 122 cây gỗ từ D = 5÷200 cm để xây dựng những hàm sinh khối đối với rừng Sao Dầu ở khu vực phía đông Kalimantan (Indonesia); trong đó biến dự đoán là D và H. Chaiyo và cs (2011) đã sử dụng những hàm sinh khối của Ogawa (1965) để ước lượng sinh khối cho rừng rụng lá hỗn giao, rừng khô với ưu thế cây họ Sao Dầu và rừng Savanna ở tỉnh Ratchaburi của Thailand; trong đó mỗi loại rừng là 4 ô mẫu với diện tích 1.600 m^2.

Nói chung, theo Ketterings và cs (2001), khi đánh giá sinh khối và dự trữ carbon của rừng dựa trên những hàm thống kê sinh khối, trình tự tính toán bao gồm 4 bước: (1) Chọn dạng ổn định cho các hàm sinh khối; (2) Chọn các tham số ổn định cho các hàm sinh khối; (3) Đo đạc những biến dự đoán thích hợp; (4) Sử dụng những hàm sinh khối để xác định sinh khối của những cây gỗ khác nhau và cộng dồn lại để nhận được tổng sinh khối của quần thụ. Khi biết sinh khối bình quân của 1 ha rừng, thì sinh khối của rừng được xác định bằng cách nhân diện tích rừng với sinh khối bình quân của 1 ha.

Để ước lượng dự trữ carbon trong các bể carbon của rừng, số liệu cần phải có là hàm lượng carbon (P_C%) trong các thành phần của cây gỗ. Nói chung, giá trị P_C% trong các thành phần của cây gỗ thay đổi tùy theo loài cây gỗ; trung bình P_C = 45%÷50% so với sinh khối khô (Brown và cs, 1989). Theo IPCC (2003, 2004), khi

chuyển đổi sinh khối của cây gỗ và rừng tự nhiên nhiệt đới thành khối lượng carbon, thì hàm lượng carbon trong các thành phần dao động từ 44%÷49%, trung bình 47%. Khi xác định sinh khối và dự trữ carbon của rừng trồng nhiệt đới, Losi và cs (2003) đã sử dụng hàm lượng carbon là 48% so với sinh khối thân khô. Djomo và cs (2011) đã phân tích hàm lượng carbon trong những cây gỗ của rừng trồng nhiệt đới bằng máy phân tích CNS và nhận được tỉ lệ carbon là 46,53%. Ở Việt Nam, Vũ Tiến Hinh (2012) đã đề xuất sử dụng hàm lượng carbon trung bình trong sinh khối cây gỗ là 48,5%.

1.3.4. Phương pháp ước lượng sinh khối dựa theo số liệu điều tra rừng

Điều tra rừng theo định kỳ hàng năm ở mỗi quốc gia thường cung cấp những số liệu về diện tích, trữ lượng gỗ cây đứng, trữ lượng gỗ thương mại và lượng tăng trưởng của các loại rừng. Để tạo thuận lợi cho việc thống kê tài nguyên rừng, nhiều nước cũng đã xây dựng những hàm thể tích, biểu thể tích và biểu quá trình sinh trưởng cho những loài cây gỗ và kiểu rừng khác nhau. Vì thế, dự trữ carbon trong các hệ sinh thái rừng có thể được xác định thông qua số liệu điều tra rừng quốc gia (IPCC, 2000, 2003, 2004, 2006; Brown, 2002; Houghton, 2005).

Theo Brown (2002) và Teobaldelli và cs (2009), để chuyển V_T (m^3) từ số liệu điều tra rừng thành B_{To} (kg hoặc tấn) và dự trữ carbon trong sinh khối (C, kg hoặc tấn) đối với từng loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và rừng, trình tự tính toán bao gồm 5 bước.

Bước 1. Thống kê V_T đối với các loài cây gỗ và trữ lượng gỗ (M, m^3/ha) đối với các loại rừng khác nhau ở mức địa phương, khu vực hoặc cả nước.

Bước 2. Xác định tổng sinh khối khô và sinh khối khô của các thành phần (B_i, tấn; i = tổng số, thân, cành, lá, rễ…) đối với mỗi loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và loại rừng. Giá trị B_i được xác định bằng cách nhân tương ứng thể tích của mỗi thành phần (V_i, m^3) với tỷ trọng khô (ρ) hoặc nhân V_T với hệ số điều chỉnh sinh khối tương ứng với mỗi thành phần (BEF_i), nghĩa là $B_i = V_T \times BEF_i$.

Bước 3. Xác định tỉ lệ carbon (P_C%) trung bình trong sinh khối đối với mỗi loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và loại rừng khác nhau.

Bước 4. Xác định khối lượng carbon (C, kg hoặc tấn) trong các thành phần trên mặt đất (C_i = thân, gốc, cành, lá) đối với mỗi loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và loại rừng. Giá trị C (tấn/ha) được xác định bằng cách nhân B_i (tấn/ha) với tỉ lệ carbon (P_C%) trong sinh khối.

Bước 5. Thống kê diện tích (S, ha), M (m^3), B_i (tấn), ρ (kg/tấn), BEF_i (tấn/m^3) hoặc $BCEF_i$ (tấn/m^3) và C_i (kg/tấn) trong sinh khối đối với các thành phần cây gỗ theo loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng khác nhau…

Nhiều tác giả (Brown, 2002; Jenkins và cs, 2003; Houghton, 2005; Jalkanen và cs, 2005; Tobin và cs, 2007; Teobaldelli và cs, 2009) cho rằng V_T được thu thập từ những tài liệu điều tra rừng hoặc từ những ô mẫu trong điều tra rừng. Nó có thể được tính bình quân cho 1 đơn vị diện tích (ha) đối với loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ hoặc loại rừng hoặc tất cả rừng ở một địa phương. Tỷ trọng gỗ (WD hoặc ρ, kg/tấn) được xác định trong phòng thí nghiệm gỗ và lâm sản. Nếu chuyển từ V_T cây đứng sang B_T tươi, thì ρ là tỷ trọng gỗ tươi. Ngược lại, nếu chuyển từ V_T cây đứng sang B_T khô, thì ρ là tỷ trọng gỗ khô. Nói chung, để dễ dàng xác định sinh khối khô và dự trữ carbon của các thành phần cây gỗ, người ta thường sử dụng tỷ trọng sinh khối khô của mỗi thành phần (gỗ, vỏ, lá, rễ…). Đó là tỉ lệ khối lượng chất khô trên đơn vị thể tích tươi của mỗi thành phần (g/cm^3 hoặc kg/m^3). Khi xác định tổng sinh khối của cây gỗ, thì giá trị ρ được tính bình quân gia quyền theo trọng lượng của các thành phần. Khi ước lượng sinh khối cho nhiều loài cây gỗ, giá trị ρ được tính bình quân gia quyền theo sinh khối của những loài cây gỗ. Khi nghiên cứu cây gỗ nhiệt đới ở châu Á, Reyes và cs (1992) đã xác định được tỷ trọng gỗ của 428 loài cây gỗ thay đổi từ 0,40 – 0,69 kg/dm^3; trung bình là 0,57 kg/dm^3. Tỷ trọng gỗ trung bình của rừng hỗn giao thứ sinh ở Sepunggur (Indonesia) là 0,60 kg/dm^3, dao động từ 0,53 – 0,67 kg/dm^3 (Ketterings và cs, 2001). Theo Marklund và cs (1987) và Lehtonen và cs (2004), tỷ trọng gỗ và tỷ trọng của những thành phần khác (vỏ, lá và rễ) thay đổi tùy theo chiều cao thân cây và vị trí của các thành phần trên cây. Hiện tượng đó xảy ra là do gỗ thân và các thành phần khác của cây gỗ được cấu tạo bởi những vật chất không thuần nhất. Mặt khác, việc xác định chính xác tỷ trọng của

những thành phần khác nhau trên cây gỗ đòi hỏi những dụng cụ và máy móc rất phức tạp, tốn nhiều công sức và kinh phí. Chính vì thế, trong thực tế người ta chỉ xác định tỷ trọng của những thành phần khác nhau trên cây gỗ thông qua một vài mẫu điển hình. Nhiều nghiên cứu cũng chỉ ra rằng tỷ trọng gỗ thân thay đổi không chỉ theo hướng xuyên tâm từ đường kính gần vỏ đến ruột gỗ, mà còn theo chiều cao thân cây, vị trí địa lý, khí hậu và những biện pháp lâm sinh (Brown, 1997; Ketterings và cs, 2001; Chavé và cs, 2005; Návar, 2009). Đối với rừng hỗn giao nhiệt đới, xác định chính xác hai biến số thể tích và tỷ trọng của các thành phần cây gỗ (cành, lá, vỏ, rễ…) là một vấn đề rất khó khăn và tốn kém về kinh phí. Vì thế, khi chuyển đổi từ V_T và V_i (cành, lá, vỏ, rễ…) sang B_i (thân, cành, lá, vỏ, rễ…) đối với các loài cây gỗ ở nhiệt đới, Brown (1997) đã đề nghị sử dụng ρ trung bình bằng 0,57 (kg/dm^3).

Sinh khối của cây gỗ và rừng bao gồm sinh khối trên mặt đất và sinh khối dưới mặt đất (hệ thống rễ cây). Phần sinh khối trên mặt đất là tổng sinh khối của các thành phần như thân, cành, vỏ, lá, hoa và quả. Thông thường hệ thống lá, hoa và quả được gộp lại và gọi chung là lá. Phần sinh khối dưới mặt đất là tổng sinh khối của gốc và hệ rễ. Vì thế, tùy theo yêu cầu thống kê sinh khối và dự trữ carbon đối với cây gỗ và quần thụ, giá trị BEF_i hoặc $BCEF_i$ có thể được tính toán theo những phương pháp khác nhau. Theo chỉ dẫn của IPCC (2000, 2003, 2004, 2006), hệ số BEF_i đối với mỗi thành phần cây gỗ được xác định theo công thức (1.9); trong đó B_i là sinh khối khô của mỗi thành phần (kg hoặc tấn), $V_{T(t)}$ và $V_{T(k)}$ là thể tích thân cây đứng. Tương tự, hệ số $BCEF_i$ được xác định theo công thức (1.10); trong đó WD là tỉ trọng khô của gỗ thân cây.

$$BEF_i = B_i/V_T \qquad (1.9)$$

$$BCEF_i = BEF_i \times WD \qquad (1.10)$$

Khi điều tra khí nhà kính, các nước châu Âu thường xác định các hệ số BEF_i cho từng loài cây gỗ, loại rừng, cấp tuổi và địa phương. Những hệ số này có thể được tính toán cho từng thành phần của cây (thân, cành, lá, rễ…) hoặc tính bình quân cho tất cả các thành phần của từng loài cây gỗ hay nhóm loài cây gỗ. Nhiều

tác giả (Brown, 2002; Jenkins và cs, 2003; Houghton, 2005; Jalkanen và cs, 2005; Tobin và cs, 2007; Teobaldelli và cs, 2009) cho rằng, do thể tích cành, vỏ, lá và rễ là những thành phần khó xác định chính xác, nên BEF_i đối với những thành phần này chỉ được xác định bằng cách chia B_i cho V_T cây đứng.

Thông thường, hệ số BEF_i được sử dụng để điều chỉnh sinh khối thân cây thành tổng sinh khối trên mặt đất. Khi chưa xác định được BEF_i cho từng loài cây gỗ, loại rừng, cấp tuổi và địa phương, thì giá trị BEF_i có thể được tra theo số liệu của AFOLU do IPCC cung cấp theo định kỳ hàng năm. Giá trị P_C hoặc P_C% được phân tích trong phòng hoặc tra trong các tài liệu do IPCC cung cấp (IPCC, 2000, 2003, 2006).

Những nghiên cứu của nhiều tác giả (Brown, 2002; Lehtonen và cs, 2004; Tobin và cs, 2007; Teobaldelli và cs, 2009) đã chỉ ra rằng $BCEF_i$ và BEF_i thay đổi tùy theo loài cây gỗ, tuổi cây gỗ và quần thụ, kích thước thân cây gỗ, vị trí địa lý và lập địa…Vì thế, tùy theo yêu cầu thống kê sinh khối và dự trữ carbon đối với cây gỗ và quần thụ, hệ số BEF_i hoặc $BCEF_i$ có thể được xác định theo 2 phương pháp khác nhau. Một là xác định BEF_i và $BCEF_i$ cho loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng từ số liệu điều tra rừng và số liệu cân đo trực tiếp ở rừng. Hai là xác định BEF_i và $BCEF_i$ cho từng loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng bằng những hàm hồi quy với biến biến dự đoán D, H, G, V…Theo phương pháp thứ nhất, trước hết thu thập những số liệu về sinh khối (B_i = tổng số, thân, cành, lá...) và V_T (m^3) trên những cây mẫu hoặc ô mẫu tương ứng với loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng. Kế đến xác định BEF_i và $BCEF_i$ dựa theo quan hệ giữa B_i với V_T. Theo phương pháp thứ 2, trước hết xây dựng các hàm thống kê BEF_i hoặc $BCEF_i$ dựa trên số liệu đo đếm trực tiếp B_i và V_T trên những cây mẫu hoặc ô mẫu tương ứng với loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng. Các hàm BEF_i và $BCEF_i$ ở mức cây cá thể được xây dựng dựa theo biến dự đoán D, H và V_T. Các hàm BEF_i và $BCEF_i$ ở mức quần thụ được xây dựng dựa theo biến dự đoán G và M. Kế đến sử dụng các hàm BEF_i, $BCEF_i$ và V_T để ước lượng B_i đối với cây gỗ, nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng. Theo FAO (2007), khi chưa xác định được BEF_i hoặc $BCEF_i$ cho loài cây gỗ,

nhóm loài cây gỗ và kiểu rừng, thì các nước có thể sử dụng chung những hệ số BEF_i.

Levy và cs (2004) và Lehtonen và cs (2004) đã chỉ ra rằng, theo sự phát triển của cây gỗ và quần thụ (rừng), một số thành phần của chúng có thể gia tăng dần hay suy giảm dần thông qua đào thải. Mặt khác, cũng giống như thể tích và sinh khối của cây gỗ, các hệ số BEF_i và $BCEF_i$ cũng phụ thuộc vào những yếu tố như A, D, H và V_T của cây gỗ và quần thụ. Vì thế, các hàm BEF_i và $BCEF_i$ có thể được xây dựng ở mức cây cá thể hoặc ở mức quần thụ; trong đó biến dự đoán là A, D, H, V…Nói chung, các hàm $BEF_i = f(A)$, $BEF_i = f(D)$ và $BCEF_i = f(D)$ thường được mô tả bằng hàm lũy thừa (1.11). Khi nghiên cứu sinh khối của rừng *Pinus sylvestris* và rừng *Picea abies* ở Thụy Điển, Lehtonen và cs (2004) nhận thấy cả BEF_i và $BCEF_i$ đều thay đổi theo A (năm) của quần thụ dưới dạng hàm (1.12). Sau này hàm (1.12) cũng được sử dụng để xác định những hệ số BEF_i cho nhiều loài cây gỗ và loại rừng ở Thụy Điển (Zankanen và cs, 2005) và Phần Lan (Repola, 2009).

Bên cạnh phương pháp xác định B_i ở mức cây gỗ và quần thụ dựa theo BEF_i, người ta còn sử dụng phương pháp tỉ lệ sinh khối (R_i) của các thành phần so với B_T (Công thức (1.13); trong đó B_i và B_T tương ứng là sinh khối của các thành phần và sinh khối thân. Phương pháp này đã được Jenkins và cs (2003) sử dụng để xây dựng phương pháp xác định sinh khối đối với các thành phần (cành, vỏ, gốc, lá, ngọn...) cây gỗ, nhóm cây gỗ và rừng ở Mỹ. Sau này, phương pháp R_i đã được áp dụng trong các dự án điều tra và phân tích rừng ở Mỹ. Để thuận tiện cho việc dự đoán sinh khối và xác định quy luật biến đổi sinh khối theo tuổi cây gỗ và quần thụ, Jenkins và cs (2003) đã xây dựng các hàm sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ dưới dạng hàm lũy thừa, còn các hàm $R_i = f(D)$ có dạng hàm Sigmoid (Hàm 1.14).

$$BEF_i = \exp(a + b \times Ln(D)) \qquad (1.11)$$

$$BEF_i = b_i + b_i \times \exp(-A/100) \qquad (1.12)$$

$$R_i = B_i/B_T \qquad (1.13)$$

$$R_i = \exp(a + b/D) \qquad (1.14)$$

Dewar và Canell (1992) đã xác định dự trữ carbon trong các thành phần sinh khối của cây gỗ (tổng số, thân, cành, lá) từ số liệu điều tra rừng bằng công thức (1.15). Ở công thức (1.15), C (kg hay tấn) là khối lượng carbon của cây gỗ và các thành phần; M (m^3) = $\sum V_i$ là trữ lượng quần thụ; ρ (kg/dm^3) là tỷ trọng gỗ; P_C (%) là tỉ lệ carbon trong sinh khối; BEF (kg/kg hay tấn/tấn) là hệ số điều chỉnh sinh khối; M×ρ = B (Sinh khối quần thụ).

$$C = M \times \rho \times P_c \times BEF \qquad (1.15)$$

1.3.5. Sai số ước lượng sinh khối và dự trữ carbon của rừng

Nhiều tác giả (Jenkins và cs, 2003; Lehtonen và cs, 2004; Zianis và cs, 2005) cho rằng những hàm thể tích và hàm sinh khối cho phép ước lượng thể tích thân cây gỗ, sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối của rừng. Tuy vậy, độ chính xác của các hàm thể tích và hàm sinh khối phụ thuộc không chỉ vào hình thái của các hàm, mà còn vào số lượng biến dự đoán và những tiêu chuẩn kiểm định sai lệch của các hàm thống kê. Theo Brown và cs (1989), sinh khối đối với cây gỗ và rừng được ước lượng từ các hàm thống kê sinh khối và số liệu điều tra trực tiếp trên những ô mẫu có thể sai khác đến 20%. Nguyên nhân của những sai lệch này là do các hàm thống kê sinh khối đã được xây dựng dựa trên những biến dự đoán khác nhau (D, D_g, H, D^2H, $D^2H\rho$...) (Brown, 1997, 2002; Houghton và cs, 2001; Chavé và cs, 2005).

Một số tác giả (Brown, 1997, 2002; Houghton, 2001; Chavé và cs, 2005; Sarmiento và cs, 2005) cho rằng sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ ở rừng mưa nhiệt đới thường được ước lượng với biến động rất lớn. Những biến động này có liên quan đến 5 nguồn sai số khác nhau: (1) Tính không thuần nhất về cấu trúc rừng’ (2) Sai số chọn hàm thống kê sinh khối; (3) Sai số chọn cây mẫu; (4) Sai số chọn kích thước ô mẫu; (5) Tỉ lệ rút mẫu. Trong 5 nguồn sai số trên đây, sai số do chọn hàm thống kê sinh khối không thích hợp là nguồn sai số quan trọng nhất.

Khi ước lượng sinh khối đối với rừng tự nhiên hỗn loài nhiệt đới, sai số có thể do chọn cây mẫu không đại diện. Sai số này khó tránh khỏi, bởi vì nhà nghiên cứu chẳng thể chặt hạ được tất cả các loài cây gỗ ở mọi cấp tuổi và cấp kích thước.

Mặt khác, hình thái cây gỗ thay đổi tùy theo kích thước hay tuổi và môi trường sống, trong khi cây mẫu chỉ được chặt hạ và cân đo ở một số kích thước và môi trường nhất định. Sai số ước lượng sinh khối cây gỗ và quần thụ còn chịu ảnh hưởng lớn từ tính không thuần nhất về cấu trúc của rừng mưa nhiệt đới, kích thước ô mẫu và tỉ lệ rút mẫu. Theo Sarmiento và cs (2005), khi nghiên cứu sinh khối rừng mưa nhiệt đới ở Bắc Mỹ, nhiều tác giả đã sử dụng kích thước ô mẫu thay đổi từ 0,01÷1,0 ha và tỉ lệ rút mẫu từ 0,2÷14,0%; trong đó kích thước ô mẫu phổ biến là 0,25÷1,0 ha và tỉ lệ rút mẫu từ 2÷5,0%. Clark và cs (2001) cho rằng diện tích ô mẫu thích hợp để nghiên cứu cấu trúc, năng xuất và sinh khối đối với rừng mưa nhiệt đới có thể thay đổi từ 0,1÷4,0 ha. Ở Việt Nam, Thái Văn Trừng (1998) đã sử dụng những ô mẫu với kích thước 0,2÷1,0 ha để phân tích đặc trưng lâm học của rừng tự nhiên hỗn loài. Chavé và cs (2005) và Nárva (2005) cho rằng nhà nghiên cứu không thể dễ dàng khắc phục được những sai số trong ước lượng sinh khối của rừng nhiệt đới. Nguyên nhân là vì rừng nhiệt đới không thuần nhất về các dạng sống và cấu trúc, điều kiện môi trường sống, kiểu thảm thực vật và phạm vi không gian thu mẫu. Vì thế, những mô hình sinh khối được đề xuất thường không qua bước kiểm định độ tin cậy của mô hình. Nguyên nhân là vì, để kiểm định sai lệch của những mô hình sinh khối, nhà nghiên cứu cần phải chặt hạ toàn bộ cây gỗ trên một số ô mẫu. Điều đó là không khả thi vì những quy định khắt khe của luật bảo vệ và phát triển rừng ở mỗi quốc gia. Nói chung, độ tin cậy của các hàm thể tích và hàm sinh khối đối với cây gỗ và rừng tự nhiên nhiệt đới chỉ được đánh giá thông qua số lượng cây mẫu đã được sử dụng để xây dựng các hàm này. Khi sử dụng số lượng cây mẫu càng lớn, thì độ tin cậy của các hàm thể tích và hàm sinh khối càng cao (Chavé và cs, 2005; Nárva, 2005).

Nhiều tác giả (Chipman và cs, 1997; Phoa và cs, 2008; Das, 2014) cho rằng các hàm thống kê thích hợp phải được chọn từ một số hàm dự tuyển. Chất lượng của các hàm dự tuyển phải được đánh giá theo nhiều tiêu chuẩn thống kê khác nhau.

1.4. Thảo luận

(1) Xác định chính xác sinh khối và khối lượng carbon trong 5 bể carbon của rừng (trên mặt đất, dưới mặt đất, vật rụng, xác chết của thực vật và vật chất hữu cơ trong những lớp đất) là một công việc phức tạp và tốn kém về nhân lực, thời gian và kinh phí. Bể carbon trên mặt đất là lớn nhất; trong đó dự trữ carbon lại tập trung chủ yếu trong sinh khối trên mặt đất của quần thụ. Vì thế, các hàm thống kê sinh khối trên mặt đất được xây dựng từ số liệu thu thập ở rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới (Rkn) ở khu vực Nam Trung Bộ và rừng trồng Keo lai đồng tuổi tại tỉnh Đồng Nai.

(2) Xác định sinh khối của rừng là mấu chốt của những nghiên cứu về dự trữ carbon của rừng. Sinh khối của rừng có thể được xác định bằng nhiều phương pháp khác nhau; trong đó ba phương pháp phổ biến là cân đo trực tiếp sinh khối trên cây mẫu hoặc ô mẫu; hàm thống kê sinh khối và những số liệu điều tra rừng cùng với các hệ số BEF_i và R_i. Phương pháp nào được chọn lựa là tùy thuộc vào loài cây gỗ, kiểu rừng, điều kiện nghiên cứu và nguồn số liệu. Đối với một kiểu thảm thực vật nhất định, người ta thường sử dụng thống nhất một phương pháp. Mặt khác, mặc dù phương pháp cân đo trực tiếp sinh khối của rừng trên những ô mẫu là phương pháp chính xác nhất, nhưng phương pháp này chỉ thích hợp với những cây gỗ nhỏ, không gian nhỏ và rừng được hình thành từ những loài cây gỗ có giá trị thấp về kinh tế. Đối với rừng phân bố trên không gian rộng lớn, rừng có nhiều loài cây gỗ với giá trị cao và rừng đặc dụng, người ta thường sử dụng phương pháp ước lượng sinh khối gián tiếp bằng những hàm thống kê sinh khối. Phương pháp này cho phép ước lượng sinh khối và dự trữ carbon đối với cây gỗ, nhóm cây gỗ và rừng từ những số liệu điều tra rừng. Theo quan điển này, phương pháp hàm thống kê sinh khối được sử dụng để ước lượng sinh khối và dự trữ carbon đối với cây gỗ và quần thụ. Sinh khối quần thụ được ước lượng bằng cách kết hợp các hàm B_i với hàm phân bố N/D.

(3) Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ cũng có thể được ước lượng từ số liệu từ điều tra rừng ở mức địa phương, vùng và quốc gia. Tuy vậy, độ chính xác của việc chuyển từ thể tích thân cây đứng hay thể tích

thân cây thương mại (sản lượng gỗ thu hoạch) sang những thành phần sinh khối khác (Tổng sinh khối của cây gỗ trên mặt đất, thân, cành, lá, vỏ, gốc, rễ) phụ thuộc không chỉ vào độ chính xác của các hàm thể tích và số liệu điều tra trên những ô mẫu, mà còn vào những hệ số BEF_i hoặc $BCEF_i$. Những hệ số này có thể được xác định cho từng loài cây gỗ, nhóm loài cây gỗ, quần thụ hoặc kiểu rừng khác nhau. Để xác định sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ từ số liệu điều tra rừng, nghiên cứu này xây dựng những hàm BEF_i và hàm R_i đối với cây gỗ dựa theo biến dự đoán D và V_T. Sinh khối quần thụ được ước lượng bằng cách kết hợp các hàm V_T, BEF với hàm phân bố N/D.

(4) Độ chính xác của các hàm thống kê phụ thuộc chặt chẽ không chỉ vào số lượng và kích thước cây mẫu và ô mẫu, mà còn vào dạng hàm, số lượng biến dự đoán và những tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác của các hàm thống kê. Khi xây dựng những hàm thống kê sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ ở rừng tự nhiên, nghiên cứu này sử dụng ô mẫu 0,20 ha để phân tích kết cấu loài cây gỗ, cấu trúc và biến động sinh khối của quần thụ, còn số lượng cây mẫu được chọn điển hình theo những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế trong quần thụ. Đối với rừng trồng Keo lai, ô mẫu có kích thước 0,10 ha. Cây mẫu là cây bình quân ở các cấp tuổi (A, năm) và cấp chỉ số lập địa (SI). Cấp chỉ số SI được xác định theo chiều cao bình quân của những cây ưu thế và đồng ưu thế (H_D, m).

(5) Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng hàm lũy thừa với biến dự đoán D hoặc $D^2 \times H$ là hàm thích hợp để xây dựng các hàm sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ. Theo quan điểm thống kê, hàm thống kê thích hợp là hàm mô tả đối tượng nghiên cứu với sai lệch nhỏ nhất. Theo quan điểm này, hướng giải quyết của nghiên cứu này bắt đầu từ việc kiểm định sai lệch của nhiều hàm dự tuyển khác nhau. Sau đó chọn những hàm thích hợp theo tiêu chuẩn "Tổng sai lệch bình phương nhỏ nhất" (SSE_{Min}). Đối với những hàm thống kê sinh khối ở mức cây cá thể, biến dự đoán thường là D và H hoặc tổ hợp giữa hai biến này ở dạng $D \times H$, D^2H và D^3/H. Đối với những hàm thống kê sinh khối ở mức quần thụ, ngoài hai biến dự đoán D và H, người ta còn sử dụng các biến N, G và M hoặc tổ hợp giữa các biến này. Theo quan

điểm này, nghiên cứu này cũng xây dựng các hàm thống kê sinh khối đối với cây gỗ và quần thụ dựa theo các biến dự đoán D, H và M hoặc tổ hợp giữa các biến này.

(6) Về lý thuyết, sinh khối thân và sinh khối của các thành phần khác của cây gỗ (B_i = cành, lá, vỏ, rễ…) có thể được xác định theo quan hệ $B_i = V_i \times \rho_i \times BEF_i$; trong đó V_i, ρ_i, BEF_i tương ứng là thể tích, tỷ trọng và hệ số điều chỉnh sinh khối đối với các thành phần cây gỗ. Thể tích thân cây gỗ có thể được xác định bằng những hàm thể tích hoặc biểu thể tích cây đứng. Trái lại, tỷ trọng gỗ của những loài cây gỗ ở rừng nhiệt đới là một biến số khó xác định và tốn kém về kinh phí. Vì thế, đối với rừng tự nhiên, nghiên cứu này chỉ xác định sinh khối tươi của hai thành phần cành và lá bằng cách cân đo trực tiếp tại rừng. Sinh khối thân khô được xác định theo quan hệ $B_T = V_T \times \rho_i$; trong V_T và ρ_i tương ứng là thể tích thân cây đứng và tỉ trọng gỗ của loài i. Đại lượng V_T được xây dựng dựa theo số liệu từ những cây mẫu. Bởi vì tỉ trọng gỗ của các loài cây gỗ không giống nhau, nên sinh khối của các loài cây gỗ là khác nhau. Để đơn giản trong thống kê sinh khối của cây gỗ và quần thụ, tỉ trọng gỗ của các loài cây gỗ được lấy bằng nhau và bằng tỉ trọng gỗ trung bình của những loài cây gỗ được thu mẫu sinh khối. Đối với rừng trồng thuần loài, yếu tố tỷ trọng gỗ được loại bỏ bằng cách sử dụng mối quan hệ giữa B_i với V_T và BEF_i. Đại lượng V_T được xây dựng dựa theo số liệu từ những cây mẫu. Những hệ số BEF_i được xác định bằng cách chia B_i khô của các thành phần cây gỗ cho V_T cây đứng. Khi ước lượng dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất của các loại rừng, sử dụng hàm lượng carbon trung bình (P_C = 47%) trong sinh khối đối với cây gỗ nhiệt đới ở châu Á (IPCC, 2004).

Chương 2
PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG HÀM SINH KHỐI

2.1. Phương pháp luận

Phương pháp luận của nghiên cứu này dựa trên 7 luận điểm cơ bản.

(1) Sinh khối trên mặt đất ở mức cây gỗ (B_i = tổng số, thân, cành, lá + hoa+ quả) quan hệ chặt chẽ với kích thước thân cây (D, H, D_T, L_T). Vì thế, những hàm thống kê sinh khối ở mức cây gỗ của rừng tự nhiên được xây dựng theo 2 biến dự đoán D và H. Mặt khác, khi biết số liệu từ điều tra rừng (D, H, V, G, M và phân bố N/D), thì sinh khối quần thụ (B_i) được ước lượng dựa theo các hàm $B_i = f(D)$ kết hợp với phân bố N/D.

(2) Sinh khối trên mặt đất của cây gỗ và quần thụ thuần loài đồng tuổi quan hệ chặt chẽ với tuổi (A, năm), kích thước thân cây (D, H) và chỉ số lập địa (SI). Vì thế, những hàm thống kê sinh khối được xây dựng với biến dự đoán A, D, H và chỉ số SI. Khi biết phân bố số cây (N, cây/ha) ở những tuổi (A, năm) khác nhau (Kí hiệu: N/A), thì sinh khối quần thụ tại A năm (B_{iA}) bằng tích số giữa N_A với sinh khối cây bình quân (B_{iBq}), nghĩa là $B_{iA} = N_A \times B_{iBq}$. Các hàm thống kê sinh khối thích hợp phải được chọn từ một số hàm dự tuyển khác nhau. Mức độ chặt chẽ của mối quan hệ giữa B_i với các biến dự đoán được đánh giá theo hệ số xác định (R^2). Sai lệch của các hàm B_i so với B_i thực tế được đánh giá theo 6 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương (SSE); (2) Sai số chuẩn của ước lượng (SEE); (3) Sai số tuyệt đối trung bình (MAE); (4) Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE); (5) Sai số trung bình (ME); (6) Sai số trung bình theo phần trăm (MPE). Mục đích của phân tích hồi quy là cung cấp những hàm hồi quy để ước lượng các thành phần sinh khối của cây gỗ và quần thụ với sai lệch nhỏ nhất so với sinh khối thực tế. Theo mục đích này, hàm thống kê sinh khối thích hợp nhất được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min} hoặc SEE_{Min}.

(4) Những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế trong các rừng tự nhiên là thành phần chính của rừng. Chúng đóng góp sinh khối lớn nhất. Đo đạc sinh khối của tất cả các loài cây gỗ trong quần thụ là một công việc rất khó khăn và tốn nhiều công

sức, con người và nguồn tài chính. Mặt khác, phá hủy những cây gỗ với kích thước lớn và gỗ của chúng có nhiều giá trị sẽ dẫn đến lãng phí tài nguyên rừng. Vì thế, sinh khối của những cây mẫu ở rừng tự nhiên không chỉ được thu thập từ những loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế, mà còn cả một số loài cây gỗ có chỉ số ưu thế cao.

(5) Rừng tự nhiên hỗn loài nhiệt đới bao gồm rất nhiều loài cây gỗ. Chúng có tuổi (A, năm) khác nhau và kích thước (D,cm; H, m) khác nhau. Xác định chính xác A, D, H và tỉ trọng gỗ (W, kg) của tất cả các loài cây gỗ ở ngoài trời là việc làm rất khó khăn. Vì thế, để đơn giản trong việc xác định sinh khối của các loài cây gỗ, giả định là các cây gỗ có kích thước (D, H, V) giống nhau cũng có W giống nhau và B giống nhau.

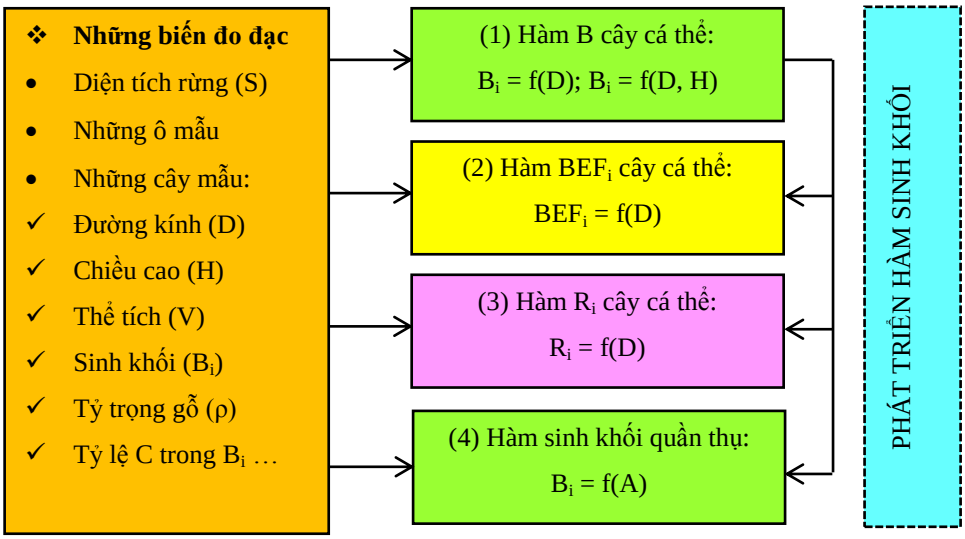
(6) Các thành phần sinh khối dưới mặt đất của cây gỗ và quần thụ là thành phần khó xác định, nhất là rừng phân bố trên các địa hình cao. Vì thế, nghiên cứu này chỉ tính sinh khối trên mặt đất của các cây gỗ và quần thụ.

(7) Khối lượng carbon (C, kg hay tấn) trong sinh khối của các loài cây gỗ và quần thụ là khác nhau. Xác định chính xác khối lượng C trong sinh khối của tất cả các loài cây gỗ ở ngoài trời là việc làm rất khó khăn. Vì thế, để đơn giản trong việc xác định khối lượng C dự trữ trong sinh khối của các loài cây gỗ, giả định là tỉ lệ C (%) trong sinh khối của các loài cây gỗ là giống nhau. Tỉ lệ C trung bình được tính theo phương pháp bình quân cộng của tỉ lệ C trong sinh khối của các loài cây gỗ.

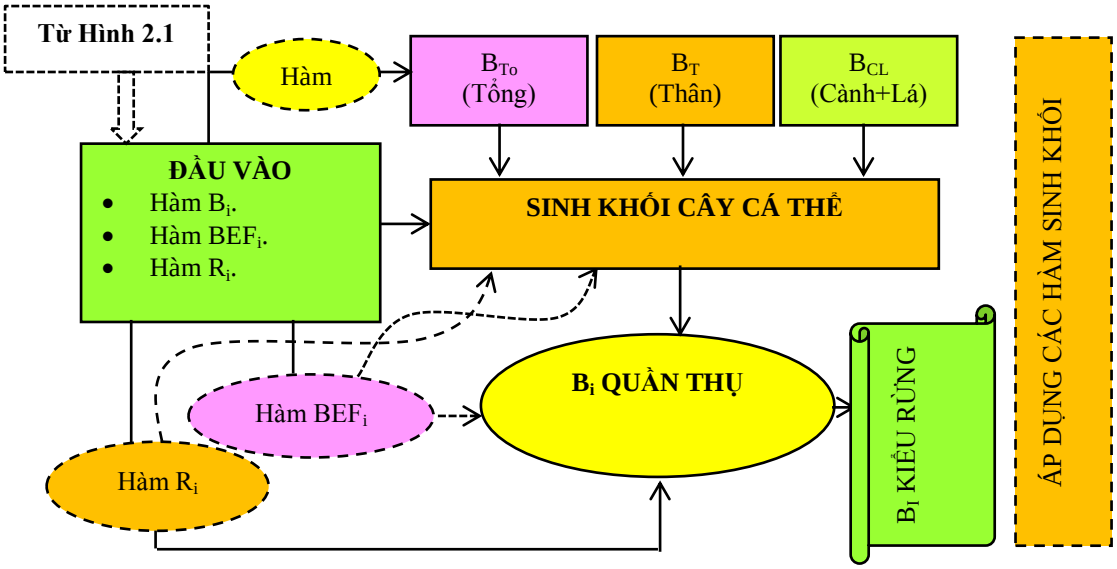
Từ 6 luận điểm trên đây, hướng giải quyết của nghiên cứu này như su:

(a) Trước hết thu thập những thành phần sinh khối trên trên mặt đất của những cây mẫu điển hình theo nhóm loài cây gỗ ưu thế và đồng ưu thế. Đối với rừng tự nhiên, những cây mẫu được thu thập ở trạng thái rừng trung bình (100 – 200 m^3/ha) và giàu (M = 200 – 300 m^3/ha). Đối với rừng trồng Keo lai đồng tuổi, sinh khối của những cây mẫu được thu thập từ cây bình quân ở các cấp A tương ứng với cây có tiết diện ngang bình quân.
(b) Kế đến xây dựng và chọn các hàm B_i, BEF_i và R_i thích hợp dựa theo một số hàm dự tuyển khác nhau. Các hàm sinh khối được ước lượng theo những biến dự đoán dễ đo đạc (D, H, SI). Hàm thống kê sinh khối thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min} hoặc SEE_{Min}.
(c) Sau đó sử dụng các hàm sinh khối thích hợp cùng với số liệu điều tra trên các ô mẫu để ước lượng sinh khối của quần thụ thuộc những trạng thái rừng và tuổi khác nhau.

Phương pháp xây dựng những hàm sinh khối và áp dụng chúng để ước lượng và đánh giá sinh khối và dự trữ carbon đối với cây gỗ và quần thụ được mô tả khái quát ở Hình 2.1 và Hình 2.2.



Hình 2.1. Sơ đồ các bước xây dựng các hàm sinh khối.



Hình 2.2. Sơ đồ áp dụng các hàm sinh khối để ước lượng sinh khối ở mức cây cá thể và quần thụ.

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

2.2.1. Phương pháp thu thập số liệu đối với rừng tự nhiên hỗn loài

2.2.1.1. Xác định kết cấu loài cây gỗ

Nghiên cứu này được thực hiện ở 4 trạng thái rừng (rất giàu M > 300 m^3/ha; giàu M = 200÷300 m^3/ha; trung bình M = 100÷200 m^3/ha; nghèo M < 100 m^3/ha) thuộc rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới (Rkn) tại khu vực Nam Trung Bộ. Kết cấu loài cây gỗ của mỗi trạng thái rừng được phân tích từ 6 ô tiêu chuẩn điển hình (OTC) với kích thước từ 0,20ha (40×50m). Tổng số 4 trạng thái rừng là 24 OTC. Đối với mỗi OTC, những chỉ tiêu nghiên cứu bao gồm thành phần loài cây gỗ (S, loài), N, D, H, G và M. Tên loài cây gỗ được xác định theo Phạm Hoàng Hộ (1999), Trần Hợp (2002), Trần Hợp và Nguyễn Bội Quỳnh (2003). Đường kính thân cây được xác định thông qua đo chu vi thân cây ngang ngực bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Chiều cao toàn thân cây được đo bằng thước đo cao Blume - Leise với độ chính xác 0,5 m.

2.2.1.2. Thu thập sinh khối của những cây mẫu

Sinh khối của những loài cây gỗ ở Rkn được thu thập từ 165 cây mẫu của 41 loài (Phụ lục 1). Đường kính cây mẫu dao động từ 6 – 72 cm. Những cây mẫu được chặt hạ cách mặt đất 10 cm đối với những cây gỗ có D < 20 cm và 30÷50 cm đối với cây gỗ có D > 20 cm. Mỗi cây mẫu được phân chia riêng rẽ thành ba thành phần thân, cành và lá. Sau đó đo đạc chính xác D và H bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Để đo đạc sinh khối thân (B_T), thân cây mẫu được phân chia thành những phân đoạn có chiều dài từ 100÷200 cm tùy theo D. Mỗi phân đoạn được đo đạc D hai đầu lớn và nhỏ (D_{Max} và D_{Min}). Số liệu này là cơ sở để tính thể tích các phân đoạn trên thân cây bằng công thức kép tiết diện bình quân. Sinh khối thân cây mẫu được xác định theo quan hệ $B_T = V_T \times WD$; trong đó V_T thể tích thân, WD là tỉ trọng gỗ khô tuyệt đối. Hai thành phần sinh khối cành tươi (B_{CT}) và sinh khối lá tươi (B_{LT}) được phân chia nhỏ và cân đo với độ chính xác 0,1 kg. Sau đó cộng dồn trọng lượng của các bộ phận để nhận được tổng sinh khối tươi của cây gỗ (B_{Tot}).

Để xác định sinh khối khô tuyệt đối (B, kg) đối với cây mẫu, mỗi bộ phận tươi (thân, cành và lá) được thu mẫu 0,5 kg. Vị trí thu mẫu sinh khối ở giữa các bộ phận thân, cành và tán lá. Để xác định sinh khối khô (B, kg), các mẫu lá được sấy ở phòng thí nghiệm với nhiệt độ từ 70^0C, còn cành và thân được sấy ở nhiệt độ 105^0C cho đến khi trọng lượng không đổi. Sau đó xác định tỉ lệ B/Bt để chuyển sinh khối tươi thành sinh khối khô. Các thành phần sinh khối khô được sử dụng để xây dựng các hàm sinh khối ở mức cây cá thể.

2.2.2. Phương pháp thu thập số liệu đối với rừng trồng Keo lai

2.2.2.1. Thu thập số liệu để phân chia chỉ số lập địa

Các số liệu đối với rừng trồng Keo lai từ 2÷10 tuổi tại tỉnh Đồng Nai được thu thập từ 4 khu vực: Vĩnh Cửu, Long Thành, Xuân Lộc và Định quán. Đây là những khu vực trồng rừng Keo lai tập trung. Khí hậu có những đặc điểm khác nhau. Địa hình thay đổi từ thấp (15÷30 m so với mặt biển, Long Thành) đến cao (300 – 450 m so với mặt biển, Định Quán). Đất có nhiều loại như đất phù sa cổ (Long Thành), đất bazalt (Xuân Lộc) và đất phiến sét (Vĩnh Cửu và Định Quán). Những khác biệt này ảnh hưởng đến năng suất của rừng trồng Keo lai.

Để xác định các OTC, trước hết phân chia rừng trồng Keo lại thành ba cấp chỉ số lập địa (SI) dựa theo chiều cao của những cây ưu thế và đồng ưu thế hay cây tầng trội (H_D, m). Khoảng cách H_D của hai cấp chỉ số SI kế cận là 4 m. Mỗi tuổi trên 1 cấp chỉ số SI được thu thập 3 OTC với kích thước 1.000 m^2 (40×25 m). Mỗi cấp chỉ số SI là 27 OTC. Tổng số 3 cấp chỉ số lập địa là 108 OTC.

Trong mỗi OTC, xác định đường kính thân ngang ngực (D, cm) và chiều cao toàn thân (H, m) của từng cây. Chu vi thân cây ngang ngực được đo bằng thước dây với độ chính xác 0,1cm; sau đó quy đổi ra D (cm). Chiều cao thân cây được đo bằng thước đo cao Blume - Leiss với độ chính xác 0,5 m. Tiếp theo sắp xếp H của các cây trong OTC theo thứ tự giảm dần từ H_{Max} đến H_{Min}. Từ đó xác định H_D trung bình của 20% số cây theo thứ tự từ cây có H_{Max} trở xuống. Sau đó giải tích 3 cây mẫu bình quân ở tầng trội. Tổng số cây mẫu là 111 cây; trong đó 108 cây (36 cây/cấp lập đia) được sử dụng để xây dựng các hàm chỉ số lập địa (SI), còn lại 3 cây

(mỗi cấp lập địa 1 cây) dùng để kiểm tra khả năng ứng dụng của các hàm chỉ số SI. Những cây mẫu có thân thẳng và tròn đều, tán lá cân đối và tròn đều. Sau khi chặt hạ, những cây mẫu được đo đạc chiều dài toàn thân bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Sau đó phân chia thân cây mẫu thành những phân đoạn có chiều dài (L, m) là 1,0 m; riêng đoạn ngọn có L_N < 1,0 m. Sau đó thu thập các thớt tại các vị trí 0,0 m; 1,0 m; 1,3 m; 2,0 m; 3,0 m...Những thớt được tập hợp theo từng cây mẫu và ghi chú thứ tự cây và vị trí thớt ở mặt thớt hướng về phía gốc cây. Thông qua số vòng năm ở mỗi thớt trên các vị trí khác nhau của thân cây, xác định H tương ứng đối với từng tuổi.

2.2.2.2. Thu thập số liệu D, H, V và sinh khối cây bình quân

Sinh trưởng (D, H và V) của cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI được phân tích từ 54 cây mẫu tại tuổi 10; trong đó mỗi cấp chỉ số SI 18 cây mẫu, mỗi tuổi trên một cấp chỉ số SI 6 cây mẫu. Sinh khối cây bình quân từ 2÷10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI được thu thập từ 162 cây mẫu; trong đó mỗi cấp chỉ số SI 54 cây mẫu, mỗi tuổi 6 cây mẫu. Ngoài ra, thu thập sinh khối của 15 cây mẫu ở 5 cấp A (2, 4, 6, 8 và 10) để kiểm tra khả năng ứng dụng của các hàm sinh khối. Tổng số cây bình quân được cân đo sinh khối là 177 cây. Những cây bình quân ở các tuổi trên ba cấp chỉ số SI là những cây có D tương ứng với cây có tiết diện ngang bình quân. Để xác định cây bình quân ở mỗi tuổi tương ứng với một cấp chỉ số SI, trước hết đo D và H của từng cây trong OTC. Từ đó xác định cây bình quân tương ứng với cây có tiết diện ngang bình quân (Dg, cm). Sau đó chọn 6 cây bình quân ở mỗi tuổi trên một cấp chỉ số SI để phân tích sinh trưởng và sinh khối. Sau khi chặt hạ và xử lý cành và nhánh, những cây mẫu được đo đạc chiều dài toàn thân bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Sau đó phân chia thân cây thành những phân đoạn có chiều dài (L, m) là 1,0 m; riêng đoạn ngọn có chiều dài L_N < 1,0 m. Đối với mỗi phân đoạn, đo đạc đường kính đầu lớn (D_{Max}) và đầu nhỏ (D_{Min}). Số liệu này được dùng để xác định thể tích các phân đoạn trên thân cây bằng công thức kép tiết diện bình quân. Thể tích đoạn ngọn được xác định theo công thức hình nón.

Những thành phần B_i tươi (B_{To}, B_T, B_C và B_L) của những cây mẫu được xác định bằng phương pháp cân đo trực tiếp tại rừng. Để đo đạc sinh khối tươi của những cây mẫu, trước hết chặt hạ chúng ở vị trí cách mặt đất 5÷10 cm tùy theo D. Kế đến phân chia những phần trên mặt đất của cây mẫu thành ba thành phần (thân, cành và lá). Đối với phần thân, đo đạc chính xác đường kính ngang ngực (H, cm) và chiều dài toàn thân (H, m) bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm. Để đo đạc sinh khối thân tươi cả vỏ (B_{Tt}), thân cây mẫu được phân chia thành những phân đoạn có chiều dài từ 0,5 đến 1,0 m tùy theo D. Tiếp đến cân đo riêng rẽ các phân đoạn thân với độ chính xác 0,1 kg và cộng dồn trọng lượng của các phân đoạn để nhận được B_{Tt}. Sinh khối cành cả vỏ tươi (B_{Ct}) và sinh khối lá tươi (B_{Lt}) được cân đo riêng rẽ từng phần với độ chính xác 0,1 kg. Sau đó cộng dồn trọng lượng của các bộ phận cành và lá để nhận được tổng sinh khối cành và lá tươi (B_{CLt}).

Để xác định sinh khối khô tuyệt đối của những thành phần trên cây bình quân, những mẫu sinh khối thân tươi ở mỗi tuổi được thu thập 3 thớt ở vị trí 1/3 đoạn gốc, 1/3 đoạn giữa và 1/3 đoạn ngọn, sau đó lấy bình quân. Mẫu sinh khối cành và lá được thu thập 0,5 kg ở phần giữa tán cây. Tổng số mẫu sinh khối tươi được thu thập là 81; trong đó mỗi thành phần (thân, cành và lá) là 27 mẫu. Để xác định sinh khối khô (B, kg), các mẫu lá tươi được sấy ở phòng thí nghiệm với nhiệt độ từ 70_0C, còn cành và thân được sấy ở nhiệt độ 105^0C cho đến khi trọng lượng không đổi. Sau đó xác định tỉ lệ B/B_t để chuyển sinh khối tươi thành sinh khối khô. Các thành phần sinh khối khô được sử dụng để xây dựng các hàm sinh khối ở mức cây bình quân.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1. Phương pháp xử lý số liệu đối với rừng tự nhiên hỗn loài

2.3.1.1. Xây dựng các hàm ước lượng chiều cao và thể tích

Chiều cao (H, m) của các loài cây gỗ trong Rkn được ước lượng từ 165 cây mẫu của 41 loài cây gỗ khác nhau; trong đó biến dự đoán là D. Hàm H = f(D) thích hợp được kiểm định theo hàm Korf (1939) (Hàm 2.1) và hàm lũy thừa (Hàm 2.2).

Hàm thể tích thân thích hợp (V_T, m^3) được ước lượng theo D và H (Hàm 2.3 và 2.4).

$$H = a_0 \times \exp(-a_1 \times D^{-a2}) \quad (2.1)$$

$$H = b_0 \times D^{b1} \quad (2.2)$$

$$V_T = c_0 \times \exp(-c_1 \times D^{-c2}) \quad (2.3)$$

$$V_T = d_0 \times D^{d1} \times H^{d2} \quad (2.4)$$

2.3.1.2. Xây dựng các hàm sinh khối ở mức cây cá thể

Hàm sinh khối cây cá thể được xây dựng theo 3 phương pháp. Một là phương pháp hàm thống kê sinh khối. Hai là phương pháp dựa vào số liệu điều tra rừng cùng với những hệ số BEF_i. Ba là phương pháp dựa vào số liệu điều tra rừng cùng với tỉ lệ sinh khối của các thành phần (R_i). Theo phương pháp thứ nhất, các hàm sinh khối (B_i = tổng số, thân, cành và lá) được xây dựng theo các biến dự đoán dễ đo đạc. Theo phương pháp thứ 2, các thành phần B_i của cây gỗ được xác định gần đúng bằng cách nhân BEF_i với V_T. Theo phương pháp thứ 3, các thành phần B_i của cây gỗ được xác định gần đúng bằng cách nhân B_T với R_i tương ứng với các thành phần.

(a) Xây dựng các hàm ước lượng sinh khối ở mức cây gỗ. Các hàm sinh khối được xây dựng theo 2 kiểu khác nhau. Kiểu thứ nhất là các hàm sinh khối với một biến dự đoán D, nghĩa là $B_i = f(D)$. Kiểu thứ hai là các hàm thống kê sinh khối với hai biến dự đoán D và H, nghĩa là $B_i = f(D, H)$. Các hàm $B_i = f(D)$ thích hợp được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.5) – (2.9). Các hàm $B_i = f(D, H)$ thích hợp được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14).

Hàm lũy thừa $B_i = a_0 \times D^{a1}$ (2.5)

Hàm Korf $B_i = b_0 \times \exp(-b_1 \times D^{-b2})$ (2.6)

Hàm Gompertz $B_i = c_0 \times \exp(-c_1 \times \exp(-c_2 \times D))$ (2.7)

Hàm Korsun-Strand $B_i = D^2/(d_0 + d_1 \times D + d_2 \times D^2)$ (2.8)

Hàm Chapman-Richards $B_i = e_0 \times (1-\exp(-e_1 \times D))^{e2}$ (2.9)

$$B_i = a_0 \times (D \times H)^{a1} \quad (2.10)$$

$$B_i = b_0 \times (D^2 \times H)^{b1} \quad (2.11)$$

$$B_i = c_1 + c_2 \times (D^2 \times H) \quad (2.12)$$

$$B_i = d_0 + d_1 \times (D^2 \times H)^{d2} \quad (2.13)$$

$$B_i = e_0 + e_1 \times D^2 + e_2 \times D^3 + e_3 \times (D^3/H) \quad (2.14)$$

(b) Phương pháp ước lượng sinh khối cây cá thể dựa theo số liệu điều tra rừng. Trong điều tra rừng, số liệu báo cáo không chỉ bao gồm D, H và V_T của những cây gỗ trong những ô mẫu, mà còn cả diện tích, N (cây/ha), G (m^2/ha) và M (m^3/ha) của các loại rừng. Mặt khác, giá trị V_T của những cây trong ô mẫu được xác định từ biểu thể tích thân cây đứng. Từ những thông tin này, sinh khối cây gỗ được xác định theo 2 phương pháp.

(b_1) Xác định sinh khối cây cá thể dựa theo hệ số BEF_i. Ba thành phần sinh khối (B_{To}, B_T, B_{CL}) đối với những cây mẫu được xác định theo công thức 2.15; trong đó B_i và V_T được xác định theo những hàm thích hợp nhất. Các hệ số BEF_i (i = tổng số, thân, cành + lá) được xác định theo công thức (2.16). Sau đó xây dựng các hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ theo hàm đa bậc (Hàm 2.17).

$$B_i = V_T \times BEF_i \quad (2.15)$$

$$BEF_i = B_i/V_T \quad (2.16)$$

$$BEF_i = a + b \times D + c \times D^2 + ... + k \times D^k \quad (2.17)$$

(b_2) Xác định B_i dựa theo R_i. Trước hết xác định tỉ lệ tổng sinh khối (R_{To}) và tỉ lệ sinh khối cành (R_C) và lá (R_L) theo công thức (2.18). Kế đến xây dựng các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối (R_{To}, R_C, R_L và R_{CL}) theo hàm đa bậc (Hàm 2.19).

$$R_i = B_i/B_T \quad (2.18)$$

$$R_i = a + b \times D + c \times D^2 + ... + k \times D^k \quad (2.19)$$

2.3.1.3. Phân tích sai lệch của các hàm sinh khối

Các hệ số hồi quy và những thống kê sai lệch đối với các hàm (2.1) – (2.19) được xác định bằng phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Mức độ chặt chẽ của mối quan hệ giữa Y (Y = H, V, B_i, BEF_i, R_i) với D và H được đánh giá theo hệ số xác định = R^2 (Công thức 2.20). Sai lệch của các hàm hồi quy so với số liệu thực tế được đánh giá theo 6 tiêu chuẩn: (1) Tổng sai lệch bình phương = SSE (Công thức 2.21); (2) Kiểm định F (Công thức 2.22); (3) Sai số

chuẩn của ước lượng = SEE (Công thức 2.23); (4) Sai số tuyệt đối trung bình = MAE (Công thức 2.24); (5) Sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE) (Công thức 2.25); (6) Sai lệch trung bình (ME) và sai lệch trung bình theo phần trăm (MPE) (Công thức 2.26). Mức độ phù hợp của hàm sinh khối được đánh giá theo 3 tiêu chuẩn: (1) Tiêu chuẩn thông tin Bayes (Công thức 2.27); (2) Tiêu chuẩn thông tin Akaike (Công thức 2.28); (3) Tiêu chuẩn U của Theil (Công thức 2.29). Ở công thức (2.20) – (2.29), Y_i và Y_J = giá trị của biến phụ thuộc thực nghiệm và ước lượng từ hàm thống kê sinh khối; Y_{iBq} = giá trị trung bình của biến phụ thuộc thực nghiệm; MSR = bình phương trung bình của sai lệch do hồi quy; MSE = sai số bình phương trung bình; n = dung lượng quan sát; p = số tham số của hàm sinh khối.

$$R^2 = [1- \frac{\sum(Y_i - Y_J)^2}{\sum(Y_i - Y_{iBq})^2}]\times 100 \quad (2.20)$$

$$SSE = \sum_{(i=1,n)}(Y_i - Y_J)^2 \quad (2.21)$$

$$F = \frac{MSR}{MSE} \quad (2.22)$$

$$MSR = \frac{\sum(Y_J - Y_{iBq})^2}{p}$$

$$MSR = \frac{\sum(Y_J - Y_{iBq})^2}{p}$$

$$SEE = \sqrt{MSE} \quad (2.23)$$

$$MAE = |((Y_i - Y_J)/n))| \quad (2.24)$$

$$MAPE = \frac{MAE}{Y_i}\times 100 \quad (2.25)$$

$$ME = (Y_i - Y_J) \quad (2.26a)$$

$$MPE = \frac{(Y_i - Y_J)}{Y_i}\times 100 \quad (2.26b)$$

$$BIC = n\times Ln(SSE/n) + p\times Ln(n) \quad (2.27)$$

$$AIC = n\times Ln(SSE/n) + 2\times p \quad (2.28)$$

$$U = \frac{SEE}{\sqrt{Y^2_i/n} + \sqrt{Y^2_J/n}} \quad (2.29)$$

Kiểm định F được sử dụng để xác định sự tồn tại của các hàm hồi quy. Hệ số R^2 cho biết mức độ chặt chẽ của mối quan hệ giữa biến phụ thuộc và các biến dự đoán. Các thống kê sai lệch (SSE, SEE, MAE, MAPE, ME và MPE) được sử dụng để đánh giá sai số của hàm hồi quy. Ba tiêu chuẩn BIC, AIC và U được sử dụng để xác định mức độ phù hợp tương đối của hàm hồi quy. Mục đích của phân tích hồi

quy là xác định hàm thống kê sinh khối với sai lệch nhỏ nhất. Theo mục đích này, trước hết so sánh các sai lệch và phân hạng các hàm dự tuyển theo 4 tiêu chuẩn (SSE, AIC, BIC, U). Hàm thích hợp nhất là hạng 1, còn hàm kém nhất là hạng 5. Sau đó chọn hàm sinh khối thích hợp theo 4 tiêu chuẩn SSE_{Min}, AIC_{Min}, BIC_{Min} và U_{Min}; trong đó tiêu chuẩn ưu tiên là SSE_{Min}. Sự khác biệt giữa ba phương pháp ước lượng sinh khối ($B_i = f(D)$ và $B_i = f(D, H)$; $B_i = V_T \times BEF_i$; $B_i = B_T \times R_i$) được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm hồi quy.

2.3.2. Phương pháp xử lý số liệu đối với rừng trồng Keo lai

2.3.2.1. Phân chia cấp chỉ số lập địa

(a) Xây dựng hàm $H_D = f(A)$ bình quân chung đối với rừng trồng Keo lai. Hàm $H_D = f(A)$ được xây dựng theo hàm Schumacher (1939) (Hàm 2.30); trong đó m, b và c là các tham số.

$$H_D = m \times \exp(-b/A^c) \qquad (2.30a)$$

$$Ln(H_D) = Ln(m) - b/A^c \qquad (2.30b)$$

Theo định nghĩa, chỉ số SI là H_D tại tuổi cơ sở (A_0, năm). Theo định nghĩa này, hàm chỉ số $SI = f(A_0)$ có dạng như hàm 2.31. Chia hàm 2.30a cho hàm 2.31, nhận được hàm H_D (Hàm 2.32). Chia hàm 2.31 cho hàm 2.30a, nhận được hàm chỉ số SI (Hàm 2.33).

$$SI = m \times \exp(-b/A_0^c) \qquad (2.31)$$

$$H_D = \frac{SI \times \exp(-b/A^{-c})}{\exp(-b/A_0^{-c})} \qquad (2.32)$$

$$SI = \frac{H_D \times \exp(-b/A_0^{-c})}{\exp(-b/A^{-c})} \qquad (2.33)$$

(b) Xác định tuổi cơ sở (A_0) và đường cong chỉ số SI. Đối với khu vực nghiên cứu, biên độ tuổi của rừng trồng Keo lai dao động từ 2 – 10 năm. Vì thế, tuổi A_0 thích hợp được xác định trong khoảng A = 6 - 10 năm. Tuổi A_0 thích hợp là thời điểm mà hàm H_D tại A_0 được sử dụng để ước lượng H_D tại tuổi A (năm) với sai lệch nhỏ nhất (SSE_{Min}).

(c) Xác định số lượng chỉ số SI. Số lượng chỉ số SI được xác định dựa theo biên độ biến động của H_D tại A_0 ($H_{DMax} - H_{DMin}$). Số lượng chỉ số SI là 3.

(d) Xây dựng các hàm chỉ số SI ở giữa các cấp chỉ số SI và các hàm chỉ số SI ở ranh giới giữa các cấp chỉ số SI tại tuổi A_0. Từ 111 cây giải tích, chọn 108 cây để xây dựng các hàm chỉ số SI = f(A), còn 3 cây dùng để kiểm định khả năng ứng dụng của hàm chỉ số SI. Độ dốc (b) của các hàm chỉ số SI được chọn bằng nhau. Sau khi xác định hệ số b từ hàm (2.31); thay thế b và H_D ở các cấp chỉ số SI tại tuổi A_0 vào hàm (2.33) để xác định các hàm chỉ số SI ở giữa và ranh giới giữa các cấp chỉ số SI tại tuổi A_0.

(e) Kiểm định khả năng ứng dụng của các hàm chỉ số SI. Khả năng ứng dụng của các hàm chỉ số SI được kiểm định từ 3 cây giải tích không tham gia xây dựng mô hình; trong đó mỗi cấp chỉ số SI là 1 cây. Sự phù hợp của các hàm chỉ số SI tương ứng với ba cấp chỉ số SI đã được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm chỉ số SI = f(A) và các hàm H_D = f(A) đối với những cây không tham gia xây dựng mô hình. Khi P > 0,05, thì các hàm chỉ số SI = f(A) là phù hợp.

(g) Xây dựng biểu chỉ số SI và đường cong chỉ số SI. Sau khi xác định được các hàm chỉ số SI cho ba cấp chỉ số SI, thay A và H_D tại A_0 của ba cấp chỉ số SI vào hàm (2.9) để nhận được H_D tại tuổi A. Từ đó lập bảng chỉ số SI và xây dựng các đường cong chỉ số SI.

2.3.2.2. Xây dựng các hàm sinh trưởng ở mức cây bình quân

Để ước lượng D, H và V thân cây bình quân đối với rừng trồng Keo lai ở những tuổi và chỉ số SI khác nhau, xây dựng các hàm D = f(A), H = f(A) và V = f(A). Các hàm thích hợp được kiểm định từ 2 hàm Korf (2.34) và Gompertz (2.35); trong đó Y = D, H và V, còn A = 2 – 10 năm. Các hệ số và các thống kê sai lệch của hai hàm này được xác định bằng phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Sai lệch của 2 hàm này được đánh giá theo 6 tiêu chuẩn: R^2; SSE; SEE; MAE; MAPE; ME; MPE. Hàm thích hợp nhất được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}.

$$Y = m \times \exp(-b \times A^{-c}) \qquad (2.34)$$

$$Y = m \times \exp(-b \times \exp(-c \times A)) \qquad (2.35)$$

2.3.2.3. Xây dựng các hàm sinh trưởng đối với rừng trồng Keo lai

Trữ lượng gỗ (M, m^3/ha) của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI được xác định theo công thức (2.36); trong đó N và V tương ứng là mật độ quần thụ và thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2÷10 tuổi tương ứng với ba cấp chỉ số SI. Thể tích thân cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI được xác định từ những hàm V = f(A) thích hợp nhất. Mật độ của rừng trồng Keo lai được xác định theo hàm 2.37; trong đó m, b và k là các tham số.

$$M = N \times V \qquad (2.36)$$

$$N = m \times \exp(-b \times A) + k \qquad (2.37)$$

Sau đó xây dựng hàm ước lượng M = f(A) đối với ba cấp chỉ số SI; trong đó hàm thích hợp được kiểm định theo 2 hàm (2.34) và hàm (2.35). Các hệ số hồi quy và những thống kê sai lệch (SSE, SEE; MAE; MAPE, ME; MEP) của các hàm M = f(A) được xác định bằng phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Hàm M = f(A) thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}.

2.3.2.4. Xác định quá trình sinh trưởng đối với rừng trồng Keo lai

Bằng cách khảo sát các hàm sinh trưởng đối với cây bình quân (D = f(A), H = f(A), V = f(A)) và hàm N = f(A) và M = f(A) đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI, xác định được không chỉ các giá trị trung bình (D, H, V, N và M) ở những tuổi khác nhau, mà còn cả lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm (ZD, ZH, ZV, ZM), lượng tăng trưởng bình quân năm (ΔD, ΔH, ΔV và ΔM) và suất tăng trưởng (Pd%, Ph%, PV% và Pm%). Tuổi ứng với ZD_{Max}, ZH_{Max}, ZV_{Max}, ZM_{Max} đối với các cấp chỉ số SI là thời điểm mà D, H, V và M chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Cấp tuổi ứng với ΔM_{Max} là tuổi thành thục số lượng đối với rừng trồng Keo lai.

2.3.2.5. Xây dựng các hàm sinh khối ở mức cây bình quân

(a) Xây dựng những hàm ước lượng sinh khối dựa theo hai biến A và D. Các hàm ước lượng những thành phần sinh khối (B_i, i = tổng số, thân, cành, lá) ở mức cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI dựa theo 2 biến dự đoán A và D được kiểm định theo 4 hàm dự tuyển (2.38 – 2.41); trong đó Y = B_i và X = A và D. Những hệ số và

những thống kê sai lệch của 4 hàm này được xác định bằng phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Hàm sinh khối thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}.

Hàm Korf: $Y = m \times \exp(-b \times X^{-c})$ (2.38)

Hàm Korsun - Strand: $Y = X^2/(a + b \times X + c \times X^2)$ (2.39)

Hàm lũy thừa: $Y = a \times X^b$ (2.40)

Hàm Chapman-Richards: $Y = a \times (1-\exp(-b \times X))^c$ (2.41)

(b) Xây dựng các hàm ước lượng sinh khối dựa theo hai biến D và H. Các hàm $B_i = f(D, H)$ ở mức cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.42 – 2.46). Các hệ số hồi quy và những thống kê sai lệch của các hàm này được xác định bằng phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Hàm sinh khối thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}.

$B_i = a \times D^b \times H^c$ (2.42)

$B_i = a + b \times D^2 + c \times D^3 + d \times (D^3/H)$ (2.43)

$B_i = a + b \times D^2 + c \times (D^2/H)$ (2.44)

$B_i = a \times (D^2 \times H)^b$ (2.45)

$B_i = a \times (D \times H)^b$ (2.46)

(c) Xây dựng hàm ước lượng tổng sinh khối dựa theo 4 biến A, D, H và SI. Các hàm sinh khối này được sử dụng để phân tích mối quan hệ giữa sinh khối của rừng trồng Keo lai với A và chỉ số SI. Những hàm B_{T0} đối với cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI được kiểm định theo ba hàm (2.47) ÷(2.49); trong đó D và H tương ứng là giá trị bình quân của chúng ở tuổi A, còn SI là chỉ số lập địa của rừng trồng Keo lai tại tuổi A_0.

$B_{T0} = \exp(b_0 + b_1 \times \mathrm{Ln}(D) + b_2 \times \mathrm{Ln}(H) - b_3 \times \mathrm{Ln}(SI/H))$ (2.47)

$B_{T0} = b_0 + b_1 \times (D^2 \times H) - b_2 \times (SI/H)$ (2.48)

$B_{T0} = b_0 + b_1 \times A + b_2 \times A^2 + b_3 \times (D^2 \times H) - b_4 \times (SI/H)$ (2.49)

Bởi vì các biến độc lập ở 3 hàm này có quan hệ chặt chẽ với nhau, nên các hệ số hồi quy và các thống kê sai lệch của những hàm này được xác định theo phương pháp hồi quy Ridge (Ridge Regression) với trọng số bằng $1/(D^2 \times H)^2$. Phương pháp

này không chỉ cho phép loại bỏ hiện tượng cộng tuyến tính giữa các biến độc lập và làm giảm biến động của các hệ số hồi quy, mà còn phản ánh đúng chiều hướng của mối quan hệ giữa B_{T0} với các biến độc lập.

2.3.2.6. Xác định sinh khối cây bình quân dựa theo số liệu điều tra rừng

Các hàm $BEF_i = f(A)$ và $BEF_i = f(D)$, $R_i = f(A)$ và $R_i = f(D)$ được xây dựng theo hàm đa bậc (Hàm 2.50); trong đó $Y_i = BEF_i$ và R_i, X = A và D. Sai lệch của hai hàm này được kiểm định thông qua so sánh R^2, SSE, SEE, ME, MAE, MAPE. Hàm BEF_i và R_i thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}. Sau đó khảo sát các hàm này để xác định sự biến đổi của các hệ số BEF_i và R_i theo cấp A và cấp D.

$$Y_i = a + bX + \ldots + k \times X^k \qquad (2.50)$$

2.3.2.7. Kiểm tra mức độ tin cậy của các hàm sinh khối

Sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai được ước lượng theo 5 hàm: $B_i = f(A)$; $B_i = f(D)$; $B_i = f(D, H)$; $B_i = V_{T\times}BEF_i$ và $B_i = B_T \times R_i$. Khả năng ứng dụng của các hàm sinh khối này được kiểm định từ 15 cây mẫu ở 5 cấp A (2, 4, 6, 8 và 10) không tham gia xây dựng mô hình; trong đó mỗi cấp chỉ số SI 5 cây. Bằng cách tuyến tính hóa các hàm sinh khối, mức độ phù hợp của các hàm sinh khối so với sinh khối của những cây mẫu không tham gia xây dựng mô hình được kiểm định bằng phương pháp so sánh điểm chặn và độ dốc của các hàm sinh khối**.** Khi P > 0,05, thì các hàm sinh khối đối với cây bình quân là phù hợp.

2.3.2.8. Ước lượng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai

Các thành phần sinh khối trên mặt đất (B_{To}, B_T, B_C, $B_{L,}$ B_{CL}) đối với rừng trồng Keo lai ở những tuổi khác nhau được xác định theo công thức 2.51; trong đó N (cây/ha) được ước lượng theo hàm 2.37, còn B_i được ước lượng theo hàm B_i thích hợp.

$$B_i \text{ (tấn/ha)} = N \times B_i \qquad (2.51)$$

Sau đó xây dựng các hàm $B_i = f(A)$ để xác định quá trình biến đổi sinh khối của rừng trồng Keo lai theo tuổi và các cấp chỉ số SI. Hàm ước lượng $B_i = f(A)$ thích hợp được kiểm định theo hàm Korf (Hàm 2.52) và hàm Korsun-Strand (Hàm 2.53).

$$B_i = a_0 \times \exp(-a_1 \times A^{-a2}) \quad (2.52)$$

$$B_i = A^2/(b_0 + b_1 \times A + b_2 \times A^2) \quad (2.53)$$

Các hệ số và thống kê sai lệch của 2 hàm này được xác định theo phương pháp hồi quy tương quan phi tuyến tính của Marquardt. Sai lệch của các hàm này được kiểm định thông qua so sánh R^2, SSE, SEE, ME, MAE, MAPE. Hàm sinh khối thích hợp được chọn theo tiêu chuẩn SSE_{Min}. Sau đó khảo sát các hàm sinh khối ở mức quần thụ để xác định sinh khối của các thành phần (B_i, tấn/ha), lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm (ZB_i, tấn/ha/năm), lượng tăng trưởng bình quân năm (ΔB_i, tấn/ha/năm) và suất tăng trưởng sinh khối PB_i%) tương ứng với những tuổi khác nhau. Từ những đại lượng ZB_{iMax} và ΔB_{iMax}, xác định những thời điểm mà B_i chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm.

2.3.2.9. Ước lượng dự trữ carbon trên mặt đất đối với rừng trồng Keo lai

Dự trữ carbon trên mặt đất (C, tấn) đối với 1 ha rừng trồng Keo lai (M_C, tấn/ha) ở những tuổi và cấp chỉ số SI khác nhau được xác định bằng cách nhân sinh khối 1 ha (B_i, tấn) với tỉ lệ carbon trong những thành phần sinh khối (P_i%). Tỉ lệ C(%) trong những thành phần sinh khối của cây Keo lai được lấy bình quân bằng 0,47 (IPCC, 2006). Tổng dự trữ carbon đối với rừng trồng Keo lai ở những cấp A và cấp chỉ số SI khác nhau được xác định bằng cách nhân diện tích với khối lượng carbon dự trữ trong 1 ha rừng. Khối lượng CO_2 (M_{CO2}, tấn/ha) mà 1 ha rừng trồng Keo lai đã hấp thu để tạo thành sinh khối được xác định bằng cách nhân khối lượng C (tấn/ha) với hệ số chuyển đổi từ CO_2 thành C, nghĩa là $CO_2 = C \times 3{,}67$ (3,67 = 44/12). Tổng khối lượng CO_2 mà rừng trồng Keo lai đã hấp thụ ở những cấp A và cấp chỉ số SI khác nhau được xác định bằng cách nhân diện tích rừng với khối lượng CO_2 của 1 ha rừng.

2.4. Công cụ xử lý số liệu

Công cụ xử lý số liệu là các phần mềm Excel, IBM SPSS Statistics 26.0 và Statgraphics Centurion 15.2.11.0. Phần mềm Excel và IBM SPSS Statistics 26.0 được sử dụng để tập hợp số liệu, lập bảng và vẽ biểu đồ. Phần mềm Statgraphics Centurion 15.2.11.0 được sử dụng để xây dựng các hàm sinh khối.

Chương 3

HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TỰ NHIÊN HỖN LOÀI

3.1. Hàm ước lượng chiều cao và thể tích thân cây gỗ

3.1.1. Hàm ước lượng chiều cao

Chiều cao của các cây mẫu được được ước lượng theo D. Thể tích thân cây được được ước lượng theo D và H. Hàm ước lượng H = f(D) đối với những cây mẫu được kiểm định theo 2 hàm Korf (2.1) và hàm lũy thừa (2.2). Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 2 hàm này được dẫn ra ở Bảng 3.1 và 3.2; Hình 3.1.

Bảng 3.1. Những hàm ước lượng chiều cao đối với những cây mẫu ở Rkn tại khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	Phương trình H = f(D):	
Korf	$H = 545134{,}0 \times \exp(-12{,}2298 \times D^{-0{,}0531925})$	(3.1)
Lũy thừa	$H = 3{,}13057 \times D^{0{,}546125}$	(3.2)

Bảng 3.2. Tương quan và sai lệch của những hàm ước lượng chiều cao đối với những cây mẫu ở Rkn tại khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	r^2	±SEE	MAE	MAPE	SSE	
Korf	94,13	5,1	1,14	6,1	358,5	(3.1)
Lũy thừa	94,18	4,8	1,13	6,1	355,1	(3.2)

Hệ số xác định (r^2) của hàm lũy thừa (94,18%) tương tự như hàm Korf (94,13%). Hàm Korf nhận những sai lệch (SEE, MAE, MAPE) cũng tương tự như hàm lũy thừa. Giá trị SSE của hàm lũy thừa (355,1) nhỏ hơn so với hàm Korf (358,5). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 3.2 là hàm thích hợp để ước lượng H thân cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.1.2. Hàm ước lượng thể tích thân cây

Thể tích thân cây được được ước lượng theo 2 dạng $V_T = f(D)$ và $V_T = f(D,H)$. Hàm ước lượng $V_T = f(D)$ được xây dựng bằng hàm Korf (2.3). Hàm ước

lượng V_T = f(D, H) được xây dựng theo hàm lũy thừa (2.4). Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 2 hàm này được dẫn ra ở Bảng 3.3 và 3.4, Hình 3.1.

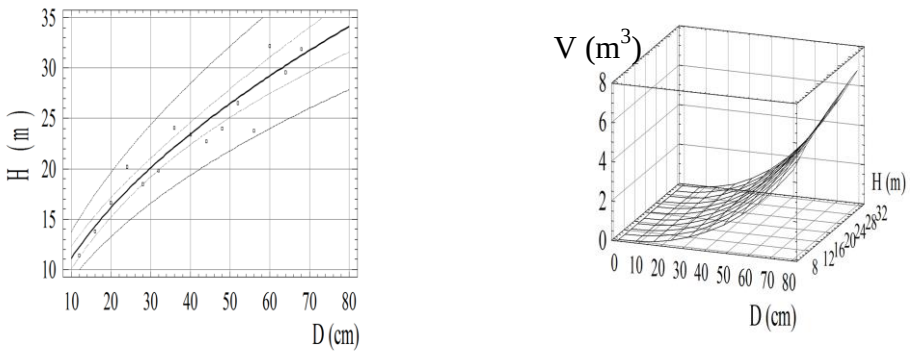
Bảng 3.3. Những hàm ước lượng thể tích thân cây mẫu ở Rkn tại khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	Phương trình V_T:	
Korf	$V_T = 128347,\times\exp(-27,0348\times D^{-0,230097)}$	(3.3)
Lũy thừa	$V_T = 0,0000711156\times D^{2,38226}\times H^{0,299033}$	(3.4)

Bảng 3.4. Tương quan và sai lệch của những hàm ước lượng thể tích thân cây mẫu ở Rkn tại khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	r^2	±SEE	MAE	MAPE	SSE	
Korf	99,90	0,114	0,0297	21,0	0,18	(3.3)
Lũy thừa	99,99	0,001	0,0002	0,12	0,00003	(3.4)

(a) (b)



Hình 3.1. Đồ thị biểu diễn quan hệ H = f(D) và V = f(D, H) đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Hệ số xác định (R^2) của hàm lũy thừa (99,99%) cao hơn so với hàm Korf (99,90%). Sai lệch của hàm Korf (SEE, MAE, MAPE) lớn hơn so với hàm lũy thừa. Giá trị SSE của hàm Korf với biến dự đoán D (0,18) lớn hơn so với hàm lũy thừa với hai biến dự đoán D và H (0,00003). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 3.4 là hàm thích hợp để ước lượng thể tích thân cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.2. Các hàm thống kê sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ

3.2.1. Số liệu để xây dựng các hàm thống kê sinh khối

Số liệu sinh khối khô tuyệt đối của 165 cây mẫu thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ được tổng hợp ở Bảng 3.5 và 3.6.

Bảng 3.5. Đặc trưng thống kê sinh khối của 165 cây mẫu thuộc rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới tại khu vực Nam Trung Bộ

Chỉ tiêu	Trung bình	Min	Max	Max-Min	±SEE	CV%
D (cm)	27,3	6,8	72,5	65,7	15,9	58,3
H (m)	18,3	9,7	32,4	22,7	5,9	32,4
G (m^2)	0,0781	0,0037	0,4126	0,4089	0,0873	111,8
Hình số (F)	0,4348	0,2410	0,6117	0,3707	0,0772	17,8
V (m^3)	0,7816	0,0199	5,3486	5,3287	1,09451	140,0
B_{To}(kg)	584,3	19,4	3870,4	3851,0	798,6	136,7
B_T(kg)	448,7	11,4	3070,1	3058,7	628,2	140,0
B_C(kg)	126,9	6,6	768,9	762,3	163,9	129,2
B_L(kg)	8,7	1,4	31,4	30	7,1	81,3
B_{CL}(kg)	135,6	8	800,3	792,3	170,8	125,9
WD(kg/m^3)	0,574	0,320	0,735	0,415	0,0755	13,1

3.2.2. Hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất

Hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất ở mức cây gỗ được xây dựng theo 2 dạng: $B_{To} = f(D)$ và $B_{To} = f(D, H)$. Hàm $B_{To} = f(D)$ được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.5) – (2.9), tương ứng là hàm lũy thừa, Korf, Gompertz, Korsun – Strand và Chapman-Richards. Hàm ước lượng $B_{To} = f(D, H)$ được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14). Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 10 hàm dự tuyển này được dẫn ra ở Bảng 3.7 - 3.10. Ở Bảng 3.9 và 3.10, 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14) được kí hiệu tương ứng là 5 hàm (3.10) – (3.14).

Bảng 3.6. Số liệu sinh khối theo cấp D đối với những cây mẫu ở rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới tại khu vực Nam Trung Bộ

D	H	N	Sinh khối của các thành phần (kg):					V	WD
(cm)	(m)	(cây)	B_{T0}	B_T	B_C	B_L	B_{CL}	(m^3)	(kg/m^3)
≤8	9,7	14	14,2	11,4	1,4	1,4	2,8	0,0199	0,575
12	12,2	29	39,4	32,1	4,8	2,5	7,3	0,0559	0,553
16	14,2	19	81,6	66,7	11,2	3,7	14,9	0,1162	0,580
20	16,1	13	144,8	117,8	21,9	5,1	27,0	0,2052	0,573
24	17,8	15	232,9	187,4	38,8	6,6	45,4	0,3265	0,556
28	19,3	12	349,6	277,2	64,2	8,2	72,4	0,4829	0,630
32	20,8	12	500,3	389,7	100,8	9,9	110,7	0,6788	0,598
36	22,2	11	689,0	526,0	151,3	11,7	163,0	0,9164	0,534
40	23,5	10	919,0	687,7	217,7	13,6	231,3	1,1981	0,612
44	24,7	5	1.190,4	875,9	298,9	15,6	314,5	1,5260	0,633
48	25,9	9	1.499,7	1.093,1	388,9	17,7	406,6	1,9043	0,600
52	27,1	5	1.837,2	1.340,8	476,7	19,8	496,5	2,3358	0,629
56	28,2	2	2.189,2	1.618,8	548,4	22,0	570,4	2,8202	0,581
60	29,3	2	2.548,4	1.929,9	594,3	24,2	618,5	3,3622	0,424
64	30,3	2	2.911,9	2.273,4	612,0	26,5	638,5	3,9605	0,493
68	31,4	3	3.289,9	2.654,7	606,3	28,9	635,2	4,6250	0,559
≥72	32,4	2	3.686,7	3.070,6	584,6	31,4	616,0	5,3495	0,627
BQ	22,7	165	584,3	448,7	126,9	8,7	135,6	0,781	0,574

Bảng 3.7. Những hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	Các hàm dự tuyển:	
Lũy thừa	$B_{T0} = 0,119028 \times D^{2,42782}$	(3.5)
Korf	$B_{T0} = 7,90584E6 \times \exp(-25,661 \times D^{-0,282892})$	(3.6)
Gompertz	$B_{T0} = 8277,27 \times \exp(-7,57267 \times \exp(-0,0310067 \times D))$	(3.7)
Korsun - Strand	$B_{T0} = D\text{^}2/(3,94914-0,079837 \times D+ 0,000622 \times D^2)$	(3.8)
Chapman	$B_{T0} = 9944,2 \times (1 - \exp(-0,00000513 \times D^{2,67277}))$	(3.9)

Bảng 3.8. Kiểm định những hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Phương trình B_{To} = f(D):				
	Lũy thừa	Korf	Gompertz	Korsun	Drakin
F - Tính	5.531,8	13.347,4	175.254,8	44.199,8	14.377,6
$F_{(0,01;\ k,\ n)}$	4,7	3,9	3,9	3,9	3,9
P_{α}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
r^2	99,86	99,97	99,99	99,99	99,97
SSE	252.934,8	67.450,8	5.083,2	20.023,0	61.475,3
SEE	129,9	69,4	19,1	37,8	66,3
MAE	29,3	17,0	4,8	8,4	13,4
MAPE	14,8	16,6	8,1	8,6	3,3
ME	-10,3	3,9	-0,9	-4,1	-3,6
MPE	-13,6	14,7	-6,9	-8,4	-1,3
BIC	1.220,5	1.007,5	580,9	807,1	992,2
AIC	1.214,3	998,2	571,6	797,8	982,9
U	0,114	0,061	0,017	0,033	0,058
Hạng theo SSE	5	4	1	2	3
Hàm	(3.5)	(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)

Bảng 3.9. Những hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Phương trình B_{To} = f(D, H):	
$B_{T0} = 0,179103 \times D^{2,6238} \times H^{-0,358543}$	(3.10)
$B_{T0} = 0,0402312 \times (D^2 \times H)^{0,953214}$	(3.11)
$B_{T0} = 10,0654 + 0,0234189 \times (D^2 \times H)$	(3.12)
$B_{T0} = -35,0563 + 0,0583243 \times (D^2 \times H)^{0,92248}$	(3.13)
$B_{T0} = 49,2459 - 1,6033 \times D^2 - 0,0255 \times D^3 + 1,86556 \times (D^3/H)$	(3.14)

Bảng 3.10. Kiểm định những hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Các hàm dự tuyển:				
	(3.10)	(3.11)	(3.12)	(3.13)	(3.14)
F - Tính	3.482,2	5.361,6	3.641,0	4.424,1	23.275,4
$F_{(0,01;\ k,\ n)}$	3,9	4,7	4,7	3,9	3,4
P_{α}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
R^2	99,87	99,86	99,79	99,89	99,99
SSE	250.024,8	260.908,2	393.248,6	201.577,8	26.708,0
SEE	129,1	131,9	161,9	115,9	42,2
MAE	29,1	29,9	28,8	27,7	10,2
MAPE	14,7	14,9	16,5	28,2	14,1
ME	-10,31	-10,57	0,00	-0,01	0,00
MPE	-13,6	-13,8	-14,5	21,7	-8,2
BIC	1.223,7	1.225,6	1.293,3	1.188,1	859,7
AIC	1.214.,4	1.219,4	1.287,1	1.178,8	847,3
U	0,118	0,116	0,142	0,106	0,040
Hạng theo SSE	3	4	5	2	1

Phân tích các thống kê tương quan và sai lệch của 5 hàm B_{T0} = f(D) (Bảng 3.8) cho thấy tất cả 5 hàm này đều tồn tại (P < 0,01) với hệ số xác định rất cao; trong đó thấp nhất là hàm lũy thừa (r^2 = 99,87%), cao nhất là hàm Gompertz (r^2 = 99,99%). Giá trị MAPE nhỏ nhất ở hàm Chapman-Richards (3,3%), cao nhất ở hàm Korf (16,6%). Tất cả 5 hàm này đều nhận sai số hệ thống (ME); trong đó hàm Korf mang giá trị dương, còn 4 hàm khác mang giá trị âm. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U đều nhận giá trị thấp nhất ở hàm Gompertz (tương ứng SSE = 5.083,2; BIC = 580,9; AIC = 571,6; U = 0,017), cao nhất ở hàm lũy thừa (tương ứng SSE = 252.934,8; BIC = 1.220,5; AIC = 1214,3; U = 0,114). Theo phân hạng, hàm Gompertz xếp hạng 1, còn hàm lũy thừa xếp hạng thấp nhất (5). Từ những phân tích

tương quan và sai lệch cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm 3.7 là hàm thích hợp để ước lượng B_{To} theo D đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Từ các thống kê tương quan và sai lệch của 5 hàm B_{T0} = f(D, H) (Bảng 3.10) cho thấy, tất cả 5 hàm này đều tồn tại (P < 0,01) với hệ số R^2 rất cao; trong đó cao nhất là hàm 3.14 (99,99%), thấp nhất là hàm 3.12 (99,79%). Hàm 3.14 nhận giá trị MAPE nhỏ nhất (14,1%), cao nhất ở hàm 3.13 (28,2%). Tất cả 5 hàm này đều nhận sai số hệ thống (ME); trong đó hàm 3.12 và 3.14 mang giá trị dương, còn 3 hàm khác mang giá trị âm. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U đều nhận giá trị cao nhất ở hàm 3.12 (tương ứng SSE = 393.249,0; BIC = 1293,3; AIC = 1287,1; U = 0,142), thấp nhất ở hàm 3.14 (tương ứng SSE = 26.708,0; BIC = 859,7; AIC = 847,3; U = 0,040). Theo phân hạng, hàm 3.14 xếp hạng cao nhất (1), hàm 3.12 xếp hạng thấp nhất (5). Theo 4 tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm (3.14) là hàm thích hợp để ước lượng B_{To} theo hai biến D và H đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

So sánh sai lệch của hàm 3.7 (Bảng 3.8) và hàm 3.14 (Bảng 3.10) cho thấy giá trị SSE của hàm 3.14 (26.708,0) lớn hơn 5,25 lần so với hàm 3.7 (5.083,2). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm (3.7) là hàm thích hợp để ước lượng B_{To} theo D đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.2.3. Hàm ước lượng sinh khối thân

Hàm ước lượng sinh khối thân được xây dựng theo 2 dạng: B_T = f(D) và B_T = f(D, H). Hàm ước lượng B_T = f(D) được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.5) – (2.9). Hàm ước lượng B_T = f(D, H) được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14). Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 10 hàm này được dẫn ra ở Bảng 3.11 - 3.14. Ở Bảng 3.13 và 3.14, 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14) được kí hiệu tương ứng là 5 hàm (3.20) – (3.24).

Phân tích số liệu ở Bảng 3.12 cho thấy tất cả 5 hàm dự tuyển này đều tồn tại (P < 0,01) với hệ số xác định rất cao; trong đó thấp nhất là hàm Korf (r^2 = 99,96%), cao nhất là hàm lũy thừa (r^2 = 99,99%). Giá trị MAPE nhỏ nhất ở hàm lũy thừa

(0,10%), cao nhất ở hàm Gompertz (25,0%). Tất cả 5 hàm này đều nhận sai số hệ thống rất nhỏ (ME); trong đó hàm lũy thừa và hàm Korf mang giá trị dương, còn ba hàm khác mang giá trị âm. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U đều nhận giá trị thấp nhất ở hàm lũy thừa (tương ứng SSE = 1,05; BIC = -824,7; AIC = -830,9; U = 0,0003), cao nhất ở hàm Korf (tương ứng SSE = 48.038,7; BIC = 951,5; AIC = 942,2; U = 0,066). Theo phân hạng, hàm lũy thừa xếp hạng 1, hàm Korf xếp hạng thấp nhất (5). Từ phân tích những thống kê tương quan và sai lệch cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm 3.15 (Bảng 3.11) là hàm thích hợp để ước lượng B_T theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Bảng 3.11. Những hàm ước lượng sinh khối thân theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	Phương trình $B_T = f(D)$:	
Lũy thừa	$B_T = 0,0573021 \times D^{2,54609}$	(3.15)
Korf	$B_T = 3,17495E8 \times \exp(-27,578 \times D^{-0,203206})$	(3.16)
Gompertz	$B_T = 11623,0 \times \exp(-7,2586 \times \exp(-0,0234179 \times D))$	(3.17)
Korsun - Strand	$B_T = D^2/(4,29696 - 0,064197 \times D + 0,000391 \times D^2)$	(3.18)
Chapman	$B_T = 18025,7 \times (1-\exp(-0,0000022384 \times D^{2,64708}))$	(3.19)

Bảng 3.12. Kiểm định những hàm ước lượng sinh khối thân theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Các hàm dự tuyển:				
	Lũy thừa	Korf	Gompertz	Korsun	Drakin
F - Tính	834.972.032	18.602	28.243	96.816	124.476
$F_{(0,01;\ k,n)}$	4,7	3,9	3,9	3,9	3,9
P_α	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
r^2	99,99	99,96	99,97	99,99	99,99
SSE	1,05	48.038,7	30.598,7	8.941,9	7.063,4
SEE	0,26	56,59	45,17	24,42	21,70
MAE	0,05	15,14	11,94	6,65	5,20

MAPE	0,05	19,00	25,03	11,24	4,74
ME	0,04	8,01	-3,85	-3,31	2,13
MPE	0,02	18,34	-23,28	-10,78	4,48
BIC	-824,7	951,5	877,1	674,1	635,2
AIC	-830,9	942,2	867,8	664,8	625,9
U	0,0003	0,066	0,052	0,028	0,025
Hạng theo SSE	1	5	4	3	2
	(3.15)	(3.16)	(3.17)	(3.18)	(3.19)

Phân tích số liệu ở Bảng 3.14 cho thấy tất cả 5 hàm dự tuyển này đều tồn tại ($P < 0,01$) với hệ số xác định rất cao và tương tự như nhau ($R^2 > 99,99\%$). Hàm 3.20 nhận giá trị MAPE nhỏ nhất (0,17%), cao nhất ở hàm 3.23 (9,48%). Tất cả 5 hàm này đều nhận sai số hệ thống rất nhỏ (ME); trong đó 2 hàm 3.20 và 3.21 mang giá trị âm, còn 3 hàm khác mang giá trị dương. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U nhận giá trị thấp nhất ở hàm 3.24 (tương ứng SSE = 59,9; BIC = -157,1; AIC = -163,3; U = 0,0024), cao nhất ở hàm 3.23 (tương ứng SSE = 6.466,3; BIC = 620,6; AIC = 611,3; U = 0,024). Theo phân hạng, hàm 3.24 xếp hạng 1, hàm 3.23 xếp hạng thấp nhất (5). Từ phân tích những thống kê tương quan và sai lệch cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm (3.24) là hàm thích hợp để ước lượng B_T theo D và H đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Bảng 3.13. Những hàm ước lượng sinh khối thân theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Phương trình $B_T = f(D, H)$:	
$B_T = 0,0187127 \times D^{2,00792} \times H^{0,983689}$	(3.20)
$B_T = 0,0183761 \times (D^2 \times H)^{0,999609}$	(3.21)
$B_T = 0,0238157 + 0,0182953 \times (D^2 \times H)$	(3.22)
$B_T = -8,2684 + 0,0229958 \times (D\text{^}2 \times H)^{0,980494}$	(3.23)
$B_T = -0,521598 - 0,021154 \times D^2 + 0,00127 \times D^3 + 0,23484 \times (D^3/H)$	(3.24)

Bảng 3.14. Kiểm định những hàm ước lượng sinh khối thân theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Các hàm dự tuyển:				
	(3.20)	(3.21)	(3.22)	(3.23)	(3.24)
F - Tính	5120338,4	7963829,8	7670084,7	84085,6	6325850,4
$F_{(0,01;\ k,\ n)}$	3,9	4,7	4,7	3,9	3,4
P_{α}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
R^2	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
SSE	106,2	109,7	114,0	6.466,3	59,9
SEE	2,7	2,7	2,8	20,8	2,0
MAE	0,5	0,5	0,5	5,3	0,4
MAPE	0,17	0,18	0,16	9,48	0,40
ME	-0,05	-0,05	0,00	0,36	0,00
MPE	-0,1	-0,1	0,0	8,5	0,2
BIC	-57,4	-57,1	-50,9	620,6	-157,1
AIC	-66,7	-63,3	-57,1	611,3	-163,3
U	0,0031	0,0030	0,0031	0,0241	0,0024
Hạng theo SSE	3	2	4	5	1

So sánh sai lệch của hàm 3.15 (Bảng 3.12) và hàm 3.24 (Bảng 3.14) cho thấy giá trị SSE của hàm 3.24 (59,9) lớn hơn 57 lần so với hàm 3.15 (1,05). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm (3.15) là hàm thích hợp để ước lượng B_T theo D đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.2.4. Hàm ước lượng sinh khối cành và sinh khối lá

Hàm ước lượng sinh khối cành và sinh khối lá thích hợp được kiểm định theo 2 hàm lũy thừa và hàm Korsun – Strend với biến dự đoán D. Kết quả phân tích hồi quy tương quan được dẫn ra ở Bảng 3.15 và 3.16.

Bảng 3.15. Những hàm ước lượng sinh khối cành và sinh khối lá dựa theo đường kính đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Tham số	Hàm sinh khối cành		Hàm sinh khối lá	
	Lũy thừa	Korsun-Strend	Lũy thừa	Korsun-Strend
a	0,076673	33,216800	0,074279	28,943500

b	2,153270	-1,029840	1,413580	2,621820
c		0,009613		0,010333
	(3.25)	(3.26)	(3.27)	(3.28)

Bảng 3.16. Kiểm định những hàm ước lượng sinh khối cành và sinh khối cành lá theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Sinh khối cành		Sinh khối lá	
	Lũy thừa	Korsun-Strend	Lũy thừa	Korsun-Strend
R^2	94,47	99,99	99,99	99,98
SSE	279.483,0	460,41	0,61	1,32
SEE	136,5	5,7	0,2	0,307
MAE	29,82	1,55	0,04	0,07
MAPE	121,0	16,7	0,6	1,6
ME	-9,347	-1,007	0,003	0,009
MPE	-116,24	-16,51	0,13	0,86
	(3.25)	(3.26)	(3.27)	(3.28)

Phân tích tương quan và sai lệch đối với hàm B_C (Bảng 3.16) cho thấy hàm Korsun – Strend có hệ số r^2 (99,99%) cao hơn so với hàm lũy thừa (94,47%). Giá trị SSE ở hàm lũy thừa (279.483,0) lớn hơn 607 lần so với hàm Korsun – Strend (460,4). Giá trị MAPE và MPE ở hàm lũy thừa (tương ứng 121,0% và -116,2%) cũng lớn hơn so với hàm Korsun – Strend (tương ứng 16,7% và 16,5%). Đối với tích hàm B_L (Bảng 3.16), hệ số r^2 ở hàm lũy thừa (99,99%) cũng tương tự như hàm Korsun – Strend (99,98%). Giá trị SSE của hàm Korsun – Strend (1,32) lớn hơn 2,2 lần so với hàm lũy thừa (0,61). Giá trị MAPE và MPE của hàm Korsun – Strend (tương ứng 1,6% và 0,86%) lớn hơn so với hàm lũy thừa (tương ứng 0,6% và 0,13%). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm (3.26) và hàm (3.27) tương ứng là hàm thích hợp để ước lượng B_C và B_L theo D đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.2.5. Hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá

Hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá được xây dựng theo 2 dạng: B_{CL} = f(D) và B_{CL} = f(D, H). Hàm B_{CL} = f(D) được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.5) – (2.9), tương ứng là hàm lũy thừa, Korf, Gompertz, Korsun – Strand và Chapman-Richards. Hàm ước lượng B_{CL} = f(D, H) được kiểm định theo 5 hàm dự tuyển (2.10)÷(2.14). Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 10 hàm này được dẫn ra ở Bảng 3.17÷3.20. Ở Bảng 3.19 và 3.20, 5 hàm dự tuyển (2.10) – (2.14) được kí hiệu tương ứng là 5 hàm (3.34) – (3.38).

Bảng 3.17. Những hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Hàm	Phương trình B_{CL} = f(D):	
Lũy thừa	B_{CL} = 0,0905504×D^2,1245	(3.29)
Korf	B_{CL} = 14121,9×exp(-33,1434×D^-0,568135)	(3.30)
Gompertz	B_{CL} = 808,661×exp(-14,772×exp(-0,0630869×D))	(3.31)
Korsun – Strand	B_{CL} = D^2/(29,4409 – 0,901894×D + 0,00847×D^2)	(3.32)
Chapman	B_{CL} = 662,376×(1 – exp(-1,90147E-7×D^3,98059))	(3.33)

Bảng 3.18. Kiểm định những hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Các hàm dự tuyển:				
	Lũy thừa	Korf	Gompertz	Korsun	Drakin
F – Tính	92,6	118,0	153,5	163,3	161,8
$F_{(0,01;\ k,\ n)}$	4,7	3,9	3,9	3,9	3,9
P_{α}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
r^2	93,05	94,09	95,06	95,54	95,39
SSE	688.870,6	585.350,3	489.717,4	441.731,5	456.877,4
SEE	214,30	197,54	180,69	171,61	174,52
MAE	37,83	31,09	29,06	22,30	25,63
MAPE	55,77	36,02	51,72	21,58	41,64

ME	-7,42	-0,96	6,24	1,45	4,20
MPE	-49,71	10,32	38,89	8,03	29,62
BIC	1.385,8	1.364,0	1.334,6	1.317,6	1.323,1
AIC	1.379,6	1.354,7	1.325,3	1.308,3	1.313,8
U	0,853	0,814	0,746	0,708	0,721
Hạng theo SSE	1	5	4	3	2
	(3.29)	(3.30)	(3.31)	(3.32)	(3.33)

Phân tích số liệu ở Bảng 3.18 cho thấy tất cả 5 hàm dự tuyển này đều tồn tại ($P < 0,01$) với hệ số xác định rất cao; trong đó thấp nhất là hàm lũy thừa (r^2 = 93,05%), cao nhất là hàm Korsun - Strand (r^2 = 95,54%). Giá trị MAPE nhỏ nhất ở hàm Korsun - Strand (21,58%), cao nhất ở hàm Korf (55,77%). Tất cả 5 hàm này đều nhận sai số hệ thống (ME); trong đó hàm lũy thừa và hàm Korf mang giá trị âm, còn ba hàm khác mang giá trị dương. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U nhận giá trị thấp nhất ở hàm Korsun-Strand (tương ứng SSE = 441.731,2; BIC = 1.317,6; AIC = 1.308,3; U = 0,708), cao nhất ở hàm lũy thừa (tương ứng SSE = 186,0; BIC = 1.385,8; AIC = 1.379,6; U = 0,853). Theo phân hạng, hàm lũy thừa xếp hạng 1, hàm Korf xếp hạng thấp nhất (5). Theo 4 tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm 3.32 (Bảng 3.17) là hàm thích hợp để ước lượng B_{CL} theo D đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Bảng 3.19. Những hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Phương trình B_{CL} = f(D, H):	
$B_{CL} = 1,47291 \times D^{5,68837} \times H^{-5,09361}$	(3.34)
$B_{CL} = 0,0350349 \times (D^2 \times H)^{0,83411}$	(3.35)
$B_{CL} = 11,9011 + 0,00510415 \times (D^2 \times H)$	(3.36)
$B_{CL} = -30,5397 + 0,109662 \times (D^2 \times H)^{0,740213}$	(3.37)
$B_{CL} = 56,8241 - 1,617 \times D^2 - 0,02691 \times D^3 + 1,65037 \times (D^3/H)$	(3.38)

Từ số liệu ở Bảng 3.20 cho thấy, tất cả 5 hàm dự tuyển này đều tồn tại (P < 0,01) với hệ số xác định rất cao; trong đó thấp nhất là hàm 3.34 (r^2 = 87,43%), cao nhất là hàm 3.38 (r^2 = 95,37%). Hàm 3.34 nhận giá trị MAPE nhỏ nhất (28,4%), cao nhất ở hàm 3.37 (95,2%). Tất cả 5 hàm dự tuyển này đều nhận sai số hệ thống (ME); trong đó hàm 3.35 và 3.38 mang giá trị âm, còn ba hàm khác mang giá trị dương. Bốn tiêu chuẩn SSE, BIC, AIC và U nhận giá trị cao nhất ở hàm 3.34 (tương ứng SSE = 1.244.938,1; BIC = 1.483,4; AIC = 1.477,2; U = 1,065), thấp nhất ở hàm 3.38 (tương ứng SSE = 458.920,7; BIC = 1.318,8; AIC = 1.312,6; U = 0,750. Theo phân hạng, hàm 3.38 xếp hạng 1, hàm 3.34 xếp hạng thấp nhất (5). Từ phân tích những thống kê tương quan và sai lệch cho thấy, theo 4 tiêu chuẩn SSE_{Min}, BIC_{Min}, AIC_{Min} và U_{Min}, hàm (3.38) là hàm thích hợp để ước lượng B_{CL} theo D và H đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

So sánh sai lệch của hàm 3.32 (Bảng 3.18) và hàm 3.38 (Bảng 3.20) cho thấy giá trị SSE của hàm 3.32 (441.731,5) nhỏ hơn so với hàm 3.38 (458.920,7). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 3.32 là hàm thích hợp để ước lượng B_{CL} = f(D) đối với các cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Bảng 3.20. Kiểm định những hàm ước lượng tổng sinh khối cành và lá theo D và H đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê sai lệch	Các hàm dự tuyển:				
	(3.34)	(3.35)	(3.36)	(3.37)	(3.38)
F - Tính	44,2	92,2	86,4	65,6	66,9
$F_{(0,01;\ k,\ n)}$	3,9	4,7	4,7	3,9	3,4
P_{α}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
R^2	87,43	93,02	92,01	93,37	95,37
SSE	1244.938,1	691.464,5	791.444,5	657.235,1	458.920,7
SEE	288,1	214,7	229,7	209,3	174,9
MAE	36,7	37,9	36,2	37,0	26,1
MAPE	28,4	55,9	71,0	95,2	80,0
ME	0,09	-7,40	0,00	0,44	-0,01

MPE	15,6	-49,8	-62,4	61,2	-48,8
BIC	1.483,4	1.386,4	1.408,7	1.378,0	1.318,8
AIC	1.477,2	1.380,2	1.402,5	1.371,8	1.312,6
U	1,065	0,855	0,902	0,865	0,750
Hạng theo SSE	5	2	4	3	1

3.3. Các hàm thống kê sinh khối từ số liệu điều tra rừng

3.3.1. Các hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rkn

Những hệ số BEF_i theo các cấp D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ được ghi lại ở Bảng 3.21. Các hệ số BEF_i ở Bảng 3.21 được tính từ công thức $BEF_i = B_i/V_T$; trong đó V_T được ước lượng bằng hàm (3.4), còn $B_i = B_{To}$, B_T, B_C, B_L, B_{CL}. Giá trị BEF_T là hằng số và bằng tỉ trọng gỗ trung bình của các loài cây gỗ được thu mẫu sinh khối (WD = 0,574; Bảng 3.5).

Bảng 3.21. Hệ số BEF_i theo cấp đường kính đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Cấp D (cm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + Lá
≤8	0,714	0,574	0,070	0,070	0,141
12	0,704	0,574	0,086	0,045	0,130
16	0,702	0,574	0,096	0,032	0,128
20	0,706	0,574	0,107	0,025	0,132
24	0,713	0,574	0,119	0,020	0,139
28	0,724	0,574	0,133	0,017	0,150
32	0,737	0,574	0,148	0,015	0,163
36	0,752	0,574	0,165	0,013	0,178
40	0,767	0,574	0,182	0,011	0,193
44	0,780	0,574	0,196	0,010	0,206
48	0,788	0,574	0,204	0,009	0,214
52	0,787	0,574	0,204	0,008	0,213

56	0,776	0,574	0,194	0,008	0,202
60	0,758	0,574	0,177	0,007	0,184
64	0,735	0,574	0,155	0,007	0,161
68	0,711	0,574	0,131	0,006	0,137
≥72	0,689	0,574	0,109	0,006	0,115
Bình quân	0,738	0,574	0,146	0,018	0,164

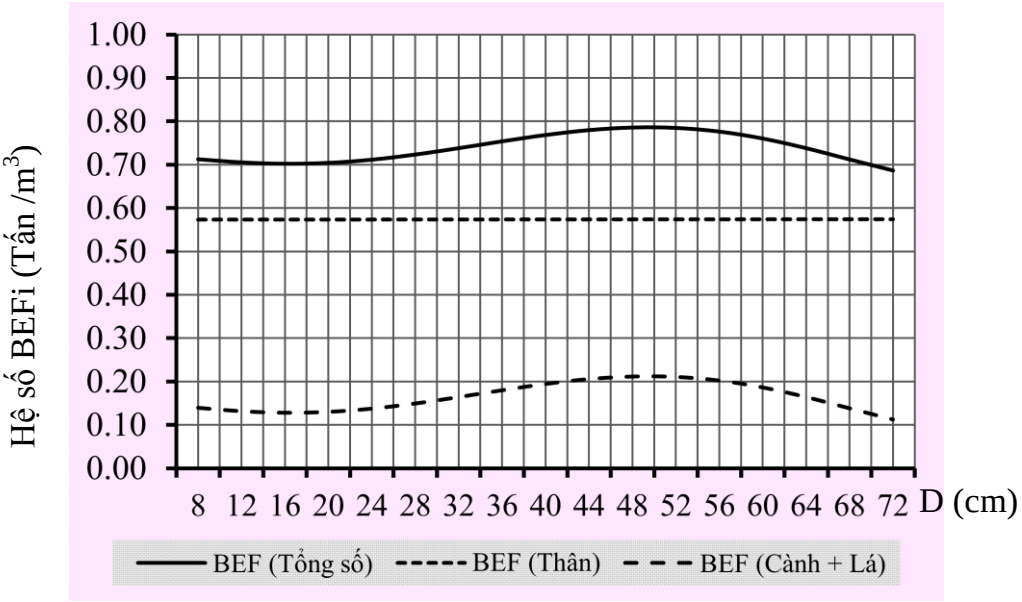
Phân tích hồi quy tương quan cho thấy các hệ số BEF_i (Tấn/m^3) (i = tổng số, cành, lá, cành + lá) có quan hệ rất chặt chẽ với D (cm) (R^2 > 99,8%). Hàm ước lượng 4 hệ số (BEF_{To}, BEF_C, BEF_L, BEF_{CL}) theo D có dạng hàm bậc 5 (Hàm 3.39÷3.42 ở Bảng 3.22 và 3.23; Hình 3.2). Sai số MAPE của các hàm này nhỏ hơn 3,5%, còn MPE < 0,01%. Sở dĩ các hàm này nhận sai lệch nhỏ là vì $BEF_i = B_i/V_T$; trong đó V_T được ước lượng bằng hàm (3.4).

Bảng 3.22. Những hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Tham số	Hàm BEF_i (Tấn/m^3) đối với các thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + Lá
Hằng số	0,727027	-0,011368	0,164209	0,157818
D	0,000666	0,016839	0,017363	0,001460
D^2	0,000267	0,001110	0,000833	0,000220
D^3	0,000018	0,000038	0,000020	0,000017
D^4	3,32E-07	5,69E-07	2,34E-07	3,16E-07
D^5	1,85E-09	2,91E-09	1,05E-09	1,77E-09
Hàm	(3.39)	(3.40)	(3.41)	(3.42)

Bảng 3.23. Kiểm định những hàm ước lượng yếu tố BEF theo D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê	Hàm BEF_i ($Tấn/m^3$) đối với các thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + Lá
r^2	99,74	99,97	99,87	99,71
SSE	0,000356	0,000086	0,000068	0,000398
SEE	0,005689	0,002804	0,002486	0,006015
MAE	0,001324	0,000624	0,000555	0,001389
MAPE	0,18	0,48	3,46	0,91
ME	-5,822E-11	1,693E-08	-2,840E-06	6,572E-06
MPE	-3,0E-04	3,4E-03	-3,7E-02	2,3E-03
Hàm	(3.39)	(3.40)	(3.41)	(3.42)



Hình 3.2. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa BEF_i ($tấn/m^3$) với D (cm) đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.3.2. Các hàm ước lượng tỉ lệ các thành phần sinh khối của cây gỗ

Tỉ lệ các thành phần sinh khối (Tổng số = R_{T0}; Cành = R_C; Lá = R_L; Cành và Lá = R_{CL}) theo cấp D đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ được ghi

lại ở Bảng 3.24. Số liệu ở Bảng 3.24 được xác định từ công thức $R_i = B_i/B_T$; trong đó $B_T = V_T \times WD$, còn $B_i = B_{To}$, B_C, B_L, B_{CL}. Giá trị $R_T = 1,0$.

Phân tích hồi quy tương quan cho thấy các tỉ lệ R_i (R_{To}, R_C, R_L, R_{CL}) đều tồn tại mối quan hệ rất chặt chẽ với D (cm) ($R^2 > 98,7\%$). Hàm ước lượng 4 tỉ lệ sinh khối này theo D có dạng hàm bậc 3 - 5 (Hàm 3.43 – 3.46 ở Bảng 3.25 và 3.26; Hình 3.3). Sai số MAPE của các hàm này nhỏ hơn 4,0% và MPE < 0,01%. Sở dĩ các hàm này đều nhận sai lệch nhỏ là vì $B_T = V_T \times WD$; trong đó được V_T được ước lượng bằng hàm (3.4) và WD là hằng số (0,574). Từ Hình 3.3 cho thấy, hai tỉ lệ R_{T0} và R_{CL} đều nhận giá trị cao ở cấp D < 12 cm và cấp D = 32 – 60 cm. Trường hợp đầu xảy ra là do những cây ở cấp D < 12 cm có thân nhỏ nhưng nhiều cành và lá. Hai tỉ lệ R_{T0} và R_{CL} nhận giá trị cao ở cấp D = 32 – 60 cm là do hệ thống cành và lá của phần lớn các loài cây gỗ ở giai đoạn này đang trong thời kỳ phát triển mạnh. Mặt khác, nhiều loài cây gỗ ở vào giai đoạn thành thục chỉ đạt đến kích thước D > 60 cm. Ở thời kỳ này, hệ thống cành và lá của nhiều loài cây gỗ bị đào thải mạnh, còn kích thước thân (D, H) vẫn gia tăng. Vì thế, hai tỉ lệ R_{T0} và R_{CL} suy giảm nhanh từ D > 60 cm.

Bảng 3.24. Tỉ lệ sinh khối của các thành phần cây gỗ theo cấp đường kính

Cấp D (cm)	Tỉ lệ sinh khối (R_i) của các thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành + Lá
≤8	1,342	1,0	0,219	0,123	0,342
12	1,280	1,0	0,202	0,078	0,280
16	1,256	1,0	0,200	0,056	0,256
20	1,250	1,0	0,206	0,044	0,250
24	1,255	1,0	0,219	0,035	0,255
28	1,267	1,0	0,237	0,030	0,267
32	1,286	1,0	0,260	0,026	0,286
36	1,309	1,0	0,287	0,022	0,309
40	1,334	1,0	0,314	0,020	0,334
44	1,357	1,0	0,339	0,018	0,357

48	1,371	1,0	0,355	0,016	0,371
52	1,371	1,0	0,356	0,015	0,371
56	1,354	1,0	0,340	0,014	0,354
60	1,322	1,0	0,309	0,013	0,322
64	1,281	1,0	0,269	0,012	0,281
68	1,239	1,0	0,228	0,011	0,239
≥72	1,200	1,0	0,190	0,010	0,200
Bình quân	1,298	1,0	0,267	0,032	0,298

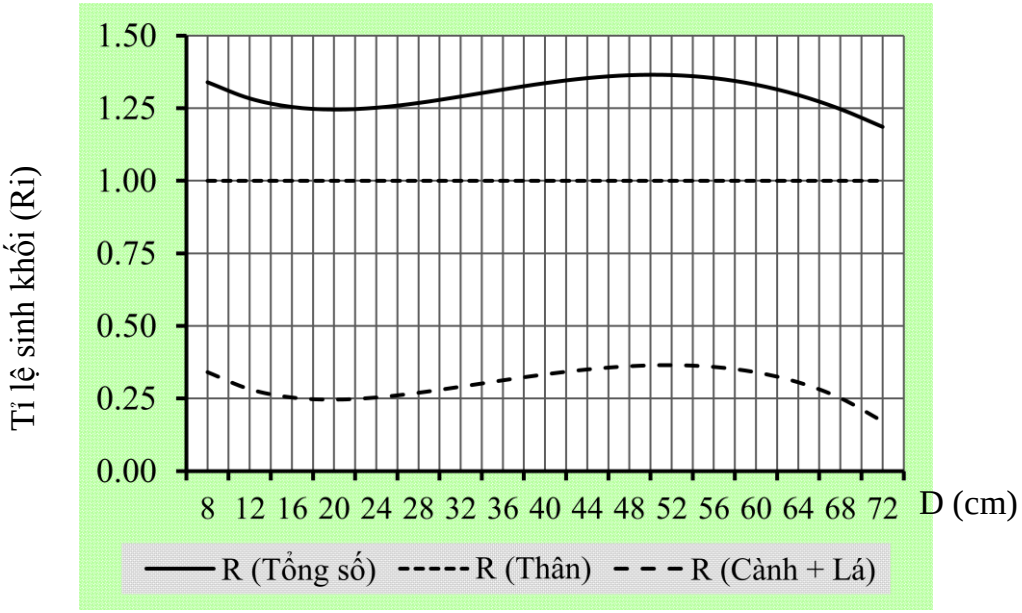
Bảng 3.25. Những hàm ước lượng $R_i = f(D)$ đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Tham số	Hàm tỉ lệ sinh khối R_i của các thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + Lá
Hằng số	1,556410	0,302856	0,290167	0,556407
D	0,037637	0,015093	0,030980	0,037637
D^2	0,001467	0,000634	0,001499	0,001467
D^3	1,97E-05	6,270E-06	3,63E-05	1,97E-05
D^4	7,76E-08		4,27E-07	7,77E-08
D^5			1,94E-09	
Hàm	(3.43)	(3.44)	(3.45)	(3.46)

Bảng 3.26. Kiểm định những hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối của các thành phần đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thống kê	Hàm tỉ lệ sinh khối R_i của các thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + Lá
r^2	98,74	98,95	99,80	98,73
SSE	0,00351	0,00473	0,00033	0,00353
SEE	0,01711	0,01908	0,00549	0,01714
MAE	0,00392	0,00301	0,00123	0,00393

MAPE	0,30	1,15	4,05	1,37
ME	0,00000	-0,00002	0,00000	-0,00015
MPE	-0,001	-0,011	-0,008	-0,050
Hàm	(3.43)	(3.44)	(3.45)	(3.46)



Hình 3.3. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa R_i với D (cm) đối với cây gỗ thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

3.3.3. So sánh sai lệch về ước lượng sinh khối cây gỗ từ các hàm khác nhau

Tổng sinh khối thực tế của cây gỗ và sinh khối ước lượng từ 3 phương pháp ($B_i = f(D)$; $B_i = V_T \times BEF_i$ và $B_i = R_i \times B_T$) được ghi lại ở Bảng 3.27 và Hình 3.4. Bằng phương pháp so sánh các đường hồi quy tuyến tính (Bảng 3.28) cho thấy, cả điểm chặn và độ dốc của 3 hàm ước lượng B_i theo 3 phương pháp này khác biệt không rõ rệt (tương ứng P = 0,9672 và P = 0,8567) so với sinh khối thực tế. Vì thế, ba phương pháp này được đề xuất để ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ và quần thụ ở Rkn thuộc khu vực Nam Trung Bộ.

3.4. Sinh khối trên mặt đất đối với rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới

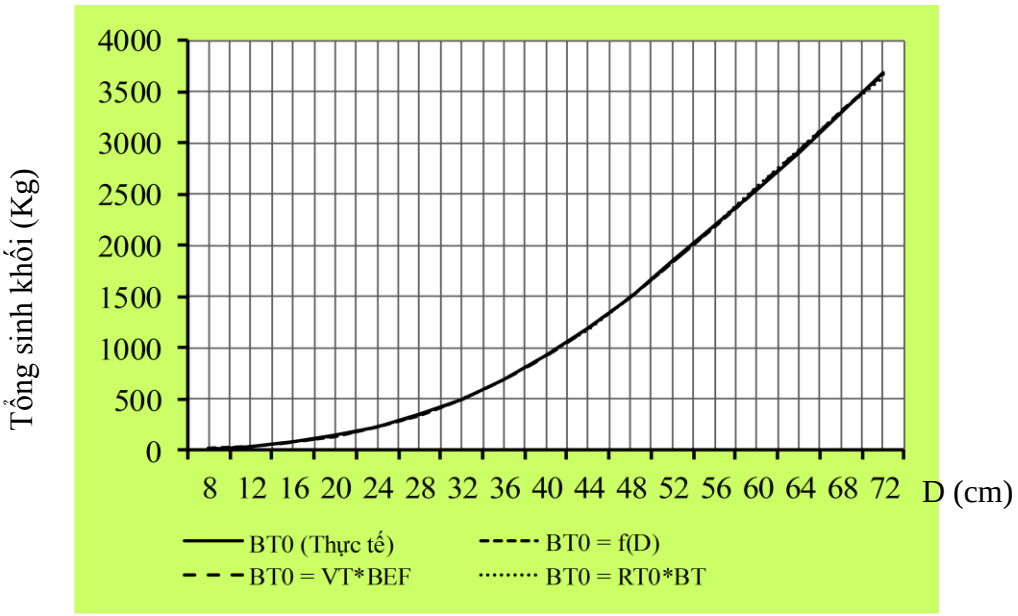
3.4.1. Đặc điểm kết cấu loài cây gỗ đối với bốn trạng thái rừng khác nhau

Kết cấu loài cây gỗ đối với bốn trạng thái rừng (rất giàu, giàu, trung bình, nghèo) được dẫn ra ở Bảng 3.29 – 3.32. Tổng số loài cây gỗ bắt gặp ở 4 trạng thái

rừng này là 130 loài của 53 họ (Phụ lục 2); trong đó số loài cây gỗ bắt gặp ở trạng thái rừng rất giàu, giàu, trung bình và nghèo tương ứng là 65, 61, 54 và 51 loài. Số loài cây gỗ có chỉ số IVI > 4,0% là 19 loài (Bằng lăng; Bằng lăng ổi; Bình linh; Cám; Cầy; Chiếc tam lang; Dầu con rái; Dầu song nàng; Huỷnh; Kháo; Lim xẹt; Nhọ nồi; Sến mủ; Thành ngạnh; Thẩu tấu lá dày; Trám trắng; Trâm trắng; Trường mật; Vên vên).

Bảng 3.27. So sánh tổng sinh khối trên mặt đất của cây gỗ được ước lượng theo các hàm khác nhau

Cấp D (cm)	Ước lượng B_{T0} của cây gỗ theo ba phương pháp khác nhau:			
	B_{T0} (Thực tế)	$B_{T0} = f(D)$	$B_{T0} = V_T \times BEF_{T0}$	$B_{T0} = R_{T0} \times B_T$
≤8	14,2	22,5	14,2	15,3
12	39,4	44,8	39,5	41,2
16	81,6	82,3	81,6	83,7
20	144,8	140,9	144,5	146,7
24	232,9	226,6	232,3	234,6
28	349,6	344,8	349,3	351,5
32	500,3	499,5	501,1	502,8
36	689,0	693,1	690,9	691,3
40	919,0	925,6	920,7	919,0
44	1190,4	1195,1	1189,9	1185,7
48	1499,7	1497,8	1496,2	1490,7
52	1837,2	1828,3	1833,2	1829,2
56	2189,2	2180,4	2189,5	2191,4
60	2548,4	2547,5	2556,6	2568,7
64	2911,9	2922,9	2923,3	2945,1
68	3289,9	3300,3	3293,6	3310,3
≥72	3686,7	3673,9	3673,1	3641,0



Hình 3.4. Đồ thị so sánh tổng sinh khối trên mặt đất của cây gỗ thuộc Rkn được ước lượng theo ba phương pháp khác nhau.

Bảng 3.28. So sánh sai lệch giữa sinh khối của cây kiểm tra với sinh khối của cây gỗ được ước lượng từ 3 hàm $B_i = f(D)$, $B_i = V_T \times BEF_i$ và $B_i = R_i \times B_T$

3.28.1. Các tham số của hàm hồi quy tuyến tính

Tổng sinh khối theo:	Điểm chặn	Độ dốc	
Cây kiểm tra	2,03393	-0,02663	(3.47)
$B_{T0} = f(D)$	2,01274	-0,02622	(3.48)
$B_{T0} = V_T \times BEF_i$	2,03404	-0,02663	(3.49)
$B_{T0} = R_{T0} \times B_T$	2,02723	-0,02651	(3.50)

3.28.2. Kiểm định sai lệch về điểm chặn và độ dốc của hàm hồi quy tuyến tính

Nguồn	SS	Df	MS	F	P
D (cm)	18,3341	1	18,33410	18868,23	0,0000
Điểm chặn	0,0003	3	0,00008	0,09	0,9672
Độ dốc	0,0007	3	0,00025	0,26	0,8567
Mô hình	18,3351	7			

Bảng 3.29. Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái rừng rất giàu. ĐVT: 1ha

TT	Loài cây gỗ	N (cây)	G (m^2)	V (m^3)	Tỉ lệ (%):			
					N	G	V	IVI
1	Vên vên	120	5,4	47,8	12,4	12,8	13,4	12,9
2	Dầu con rái	86	3,7	32,9	8,9	8,7	9,2	8,9
3	Dầu song nàng	69	2,9	25,8	7,1	6,8	7,2	7,1
4	Sến mủ	59	2,5	21,1	6,1	5,8	5,9	6,0
5	Bằng lăng ổi	52	2,0	16,4	5,3	4,7	4,6	4,9
	Cộng 5 loài	386	16,3	144,0	39,8	38,8	40,5	39,7
60	Loài khác	583	25,8	211,7	60,2	61,2	59,5	60,3
65	Tổng số	969	42,1	355,7	100	100	100	100

Bảng 3.30. Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái rừng giàu. ĐVT: 1ha

TT	Loài cây gỗ	N (cây)	G (m^2)	V (m^3)	Tỉ lệ (%):			
					N	G	V	IVI
1	Bình linh	44	2,1	17,7	7,7	7,9	7,7	7,8
2	Trường mật	58	1,4	10,1	10,2	5,2	4,4	6,6
3	Huỷnh	10	1,8	19,5	1,8	6,7	8,4	5,6
4	Trâm trắng	43	1,4	9,3	7,6	5,0	4,0	5,5
5	Vên vên	12	1,5	14,7	2,0	5,5	6,4	4,6
6	Kháo	14	1,4	13,1	2,5	5,1	5,7	4,4
7	Bằng lăng	28	1,1	8,5	5,0	4,2	3,7	4,3
8	Thành ngạnh	19	1,2	10,4	3,4	4,4	4,5	4,1
	Cộng 8 loài	228	11,9	103,4	40,1	43,9	44,7	42,9
53	Loài khác	343	15,2	127,8	59,9	56,1	55,3	57,1
61	Tổng số	571	27,1	231,2	100	100	100	100

Bảng 3.31. Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái rừng trung bình. ĐVT: 1ha

TT	Loài cây gỗ	N (cây)	G (m^2)	V (m^3)	Tỉ lệ (%):			
					N	G	V	IVI
1	Cám	30	2,5	23,9	6,6	12,5	14,1	11,0
2	Trường mật	27	1,9	17,4	5,9	9,3	10,3	8,5
3	Cầy	13	1,6	15,2	2,7	7,7	8,9	6,5
4	Thẩu tấu lá dày	28	1,0	7,8	6,2	5,0	4,6	5,3
5	Chiếc tam lang	39	0,6	3,7	8,6	3,0	2,2	4,6
6	Bằng lăng	17	0,8	7,2	3,7	4,0	4,3	4,0
	Cộng 6 loài	154	8,4	75,2	33,6	41,4	44,3	40
48	Loài khác	302	11,8	94,7	66,4	58,6	55,7	60,2
54	Tổng số	456	20,2	169,9	100	100	100	100

Bảng 3.32. Kết cấu loài cây gỗ của trạng thái rừng nghèo. ĐVT: 1ha

TT	Loài cây gỗ	N (cây)	G (m^2)	V (m^3)	Tỉ lệ (%):			
					N	G	V	IVI
1	Bằng lăng	28	1,3	10,4	10,6	14,4	15,0	13,3
2	Trâm trắng	21	0,8	5,8	8,0	8,2	8,3	8,2
3	Trường mật	18	0,6	5,0	6,7	6,8	7,2	6,9
4	Thành ngạnh	18	0,5	3,9	6,7	5,8	5,6	6,1
5	Bình linh	16	0,5	3,4	6,1	5,4	4,9	5,5
6	Nhọ nồi	14	0,4	3,0	5,5	4,7	4,3	4,8
7	Lim xẹt	9	0,5	3,8	3,5	5,3	5,5	4,8
8	Trám trắng	12	0,4	2,8	4,5	4,0	4,1	4,2
	Cộng 8 loài	136	5,1	38,1	51,6	54,4	55,0	53,7
43	Loài khác	124	4,2	31,2	48,4	45,6	45,1	46,3
51	Tổng số	260	9,3	69,3	100	100	100	100

Mật độ quần thụ giảm dần từ trạng thái rừng rất giàu (969 cây/ha) đến trạng thái rừng giàu (571 cây/ha), trạng thái rừng trung bình (456 cây/ha) và trạng thái rừng nghèo (260 cây/ha). Tiết diện ngang giảm dần từ trạng thái rừng rất giàu (42,1 m^2/ha) đến trạng thái rừng giàu (27,1 m^2/ha), trạng thái rừng trung bình (20,2 m^2/ha) và trạng thái rừng nghèo (9,3 m^2/ha). Trữ lượng gỗ giảm dần từ trạng thái rừng rất giàu (355,7 m^3/ha) đến trạng thái rừng giàu (231,2 m^3/ha), trạng thái rừng trung bình (169,9 m^3/ha) và trạng thái rừng nghèo (69,3 m^3/ha).

3.4.2. Cấu trúc của bốn trạng thái rừng khác nhau

3.4.2.1. Phân bố đường kính thân cây

Đặc trưng thống kê đường kính thân cây đối với 4 trạng thái rừng (rất giàu, giàu, trung bình, nghèo) được ghi lại ở Bảng 3.33.

Bảng 3.33. Đặc trưng thống kê đường kính đối với 4 trạng thái rừng khác nhau.

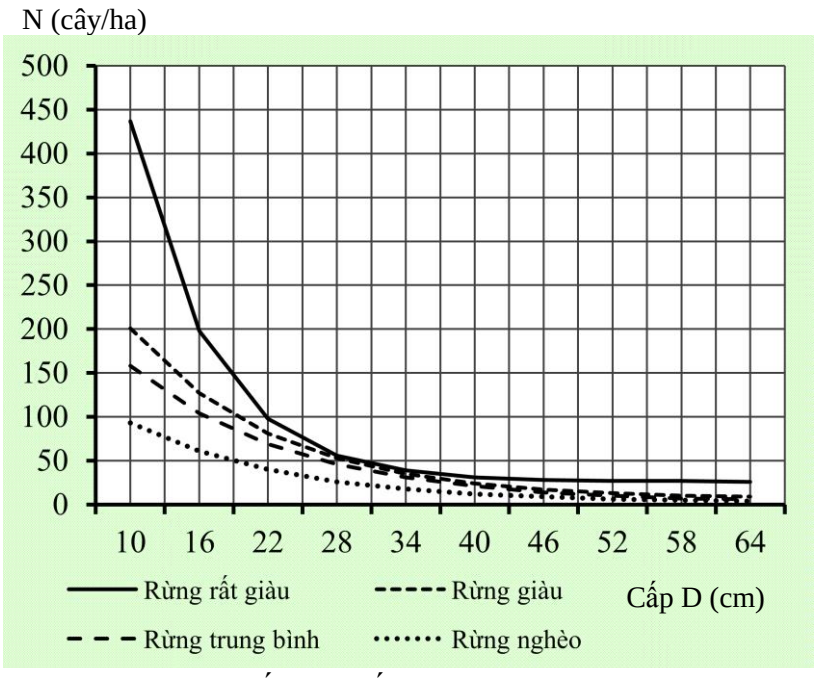
TT	Thống kê	Trạng thái rừng:			
		Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
1	N (cây/ha)	1168	685	547	312
2	D_{BQ} (cm)	19,7	21,0	20,4	19,1
3	Cấp D_{Min} (cm)	10	10	10	10
4	Cấp D_{Max} (cm)	64	64	64	46
5	Cấp D_{Max} - D_{Min}	54	54	54	36
6	± SD (cm)	13,0	12,8	12,1	9,5
7	CV%	65,9	60,9	59,1	49,8
8	S_K	1,537	1,339	1,56	0,952
9	K_U	1,777	1,23	2,224	0,091

Đường kính bình quân nhận giá trị thấp nhất ở trạng thái rừng nghèo (19,1 cm), cao nhất ở trạng thái rừng trung bình (21,0 cm). Phạm vi biến động cấp D ở ba trạng thái rừng rất giàu, giàu và trung bình từ 10 - 64 cm, còn trạng thái rừng nghèo từ 10 – 46 cm. Hệ số biến động đường kính nhận giá trị rất cao và có khuynh hướng giảm dần từ trạng thái rất giàu (CV = 65,9%) đến trạng thái nghèo (CV = 49,8%). Hình thái đường cong phân bố N/D của cả 4 trạng thái rừng này đều có dạng phân

bố giảm không đồng đều từ cấp D = 10 cm đến cấp D > 64 cm (S_k > 0; Ku > 0) (Bảng 3.34).

Bảng 3.34. Phân bố đường kính đối với 4 trạng thái rừng khác nhau. ĐVT: 1ha

TT	Cấp D (cm)	Số cây theo trạng thái rừng:			
		Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
1	≤10	445	202	153	92
2	16	166	126	105	60
3	22	126	82	89	45
4	28	62	47	43	28
5	34	58	43	18	19
6	40	40	22	15	11
7	46	29	21	13	5
8	52	14	13	8	-
9	58	16	8	7	-
10	≥64	13	7	5	-
	Tổng số	969	571	456	260



Hình 3.5. Phân bố N/D đối với 4 trạng thái rừng khác nhau.

Những kiểm định thống kê cho thấy phân bố N/D đối với 4 trạng thái rừng này phù hợp với hàm phân bố mũ giảm (Bảng 3.35). Vì thế, các hàm này được sử dụng để ước lượng số cây theo cấp D đối với 4 trạng thái rừng. Sinh khối của 4 trạng thái rừng khác nhau được xác định bằng cách kết hợp các hàm phân bố N/D với các hàm sinh khối ở mức cây cá thể.

Bảng 3.35. Những hàm phân bố N/D đối với 4 trạng thái rừng. ĐVT: 1ha

TT	Tham số	Trạng thái rừng:			
		Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
1	m	1759,2	431,8	314,0	190,0
2	b	-0,145	-0,079	-0,070	-0,073
3	k	26,238	6,030	2,0	2,0
4	R^2	98,2	99,7	97,3	98,6
5	SSE	2808	126	638	121
6	SEE	20	4,2	8,9	3,8
7	MAE	13,87	2,63	5,20	2,94
8	MAPE	37,2	11,4	20,1	18,5
	Hàm	(3.51)	(3.52)	(3.53)	(3.54)

3.4.2.2. Phân bố chiều cao thân cây

Phân bố N/H đối với 4 trạng thái rừng (rất giàu, giàu, trung bình, nghèo) được dẫn ra ở Bảng 3.36. Chiều cao bình quân nhận giá trị thấp nhất ở trạng thái rừng nghèo (13,9 m), cao nhất ở trạng thái rừng giàu (14,8 m). Phạm vi biến động cấp H ở cả 3 trạng thái rừng rất giàu, giàu và trung bình từ 10 – 24 m, còn trạng thái rừng nghèo từ 10 – 22 m. Hệ số biến động H nhận giá trị nhỏ nhất ở trạng thái rừng nghèo (CV = 22,1%), cao nhất ở trạng thái trung bình (CV = 25,0%). Hình thái đường cong phân bố N/H của cả 4 trạng thái rừng này đều có dạng phân bố một đỉnh lệch trái ($S_K > 0$); trong đó số cây tập trung nhiều nhất ở cấp H = 12 m (Bảng 3.37).

Bảng 3.36. Đặc trưng thống kê chiều cao đối với 4 trạng thái rừng khác nhau

TT	Thống kê	Trạng thái rừng:			
		Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
1	N (cây/ha)	1168	685	547	312
2	H_{BQ} (m)	13,9	14,8	14,8	13,9
3	Cấp H_{Min} (m)	10	10	10	10
4	Cấp H_{Max} (m)	24	24	24	22
5	Cấp H_{Max} - H_{Min}	14	14	14	12
6	± SH (m)	3,3	3,7	3,7	3,1
7	CV%	23,8	24,9	25,0	22,1
8	S_K	1,126	0,969	0,685	0,949
9	K_U	0,890	0,024	-0,293	0,256

Bảng 3.37. Phân bố chiều cao đối với 4 trạng thái rừng khác nhau. ĐVT: 1ha

TT	Cấp H (m)	Trạng thái rừng:			
		Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
1	≤10	155	39	56	33
2	12	350	208	125	95
3	14	180	114	72	58
4	16	129	73	79	30
5	18	72	46	62	22
6	20	38	38	19	12
7	22	25	29	26	10
8	≥24	20	24	17	
	Tổng số	969	571	456	260

3.4.3. Sinh khối trên mặt đất đối với những trạng thái rừng khác nhau

Sinh khối trên mặt đất (Tấn/ha) đối với bốn trạng thái rừng (rất giàu, giàu, trung bình, nghèo) được ước lượng bằng các hàm $B_i = f(D)$ kết hợp với các hàm

phân bố N/D. Bốn thành phần sinh khối (B_{T0}, B_T, B_C, B_L) ở các cấp D được xác định bằng cách nhân số cây với sinh khối bình quân ở các cấp D. Bảng 3.38÷3.42 ghi lại các thành phần sinh khối trên mặt đất đối với 4 trạng thái rừng thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ.

Bảng 3.38. Tổng sinh khối trên mặt đất đối với trạng thái rừng rất giàu thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Cấp D	Sinh khối của các thành phần (tấn/ha):				
(cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
10	11,5	8,8	1,8	0,8	2,7
16	16,6	13,2	2,6	0,7	3,4
22	18,4	14,7	3,1	0,6	3,7
28	19,7	15,5	3,7	0,5	4,1
34	23,0	17,7	4,8	0,4	5,3
40	28,4	21,3	6,7	0,4	7,1
46	37,5	27,5	9,6	0,5	10,0
52	49,6	36,2	12,9	0,5	13,4
58	64,0	47,8	15,6	0,6	16,2
64	75,8	59,1	15,9	0,7	16,6
Tổng	344,4	261,9	76,8	5,8	82,6

Từ số liệu ở Bảng 3.38÷3.42 cho thấy, B_{To} gia tăng từ trạng thái rừng nghèo (57,9 tấn/ha) đến trạng thái rừng trung bình (150,7 tấn/ha), trạng thái rừng giàu (189,0 tấn/ha) và trạng thái rừng rất giàu (344,4 tấn/ha). So sánh với B_{To} ở trạng thái rừng rất giàu (344,4 tấn/ha hay 100%), giá trị này ở ba trạng thái rừng giàu, trung bình và nghèo tương ứng thấp hơn 45,1%, 56,2% và 83,2%. So với B_{T0} ở 4 trạng thái rừng (100%), tỉ lệ sinh khối của 4 thành phần (B_T, B_C, B_L và B_{CL}) tương ứng bằng 76,3%, 21,7%, 1,9% và 23,6%.

Bảng 3.39. Tổng sinh khối trên mặt đất đối với trạng thái rừng giàu thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Cấp D	Sinh khối của các thành phần (tấn/ha):				
(cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
10	5,3	4,1	0,8	0,4	1,2
16	10,6	8,5	1,7	0,5	2,2
22	15,2	12,2	2,6	0,5	3,1
28	18,6	14,7	3,5	0,4	3,9
34	20,6	15,9	4,3	0,4	4,7
40	22,0	16,5	5,2	0,3	5,5
46	22,8	16,7	5,8	0,3	6,1
52	23,9	17,4	6,2	0,3	6,5
58	23,7	17,7	5,8	0,2	6,0
64	26,2	20,5	5,5	0,2	5,8
Tổng	189,0	144,0	41,4	3,5	44,9

Bảng 3.40. Tổng sinh khối trên mặt đất đối với trạng thái rừng trung bình thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Cấp D	Sinh khối của các thành phần (tấn/ha):				
(cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
10	4,1	3,2	0,7	0,3	1,0
16	8,7	6,9	1,4	0,4	1,8
22	13,0	10,4	2,2	0,4	2,6
28	16,2	12,8	3,0	0,4	3,4
34	18,3	14,1	3,8	0,3	4,2
40	19,3	14,4	4,5	0,3	4,8
46	18,8	13,7	4,8	0,2	5,0
52	18,4	13,4	4,8	0,2	5,0
58	16,6	12,4	4,0	0,2	4,2
64	17,5	13,6	3,7	0,2	3,8
Tổng	150,7	114,9	32,9	2,9	35,8

Bảng 3.41. Tổng sinh khối trên mặt đất đối với trạng thái rừng nghèo thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Cấp D (cm)	Sinh khối của các thành phần (tấn/ha):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
10	2,4	1,9	0,4	0,2	0,6
16	5,1	4,1	0,8	0,2	1,0
22	7,5	6,0	1,3	0,2	1,5
28	9,1	7,2	1,7	0,2	1,9
34	10,6	8,2	2,2	0,2	2,4
40	11,0	8,2	2,6	0,2	2,8
46	12,1	8,8	3,1	0,1	3,2
Tổng	57,9	44,4	12,1	1,4	13,5

Bảng 3.42. Tổng hợp sinh khối trên mặt đất đối với 4 trạng thái rừng thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Trạng thái rừng	Sinh khối của các thành phần (tấn/ha):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành+Lá
Rất giàu	344,4	261,9	76,8	5,8	82,6
Giàu	189,0	144,0	41,4	3,5	44,9
Trung bình	150,7	114,9	32,9	2,9	35,8
Nghèo	57,9	44,4	12,1	1,4	13,5

3.4.4. Dự trữ các bon trên mặt đất đối với những trạng thái rừng khác nhau

Dự trữ các bon trên mặt đất đối với 4 trạng thái rừng khác nhau được xác định bằng cách nhân sinh khối với tỉ lệ carbon trong sinh khối (P_C = 0,47). Khối lượng CO_2 được hấp thụ bởi 4 trạng thái rừng khác nhau được xác định bằng cách nhân khối lượng carbon với hệ số chuyển đổi từ CO_2 thành C (3,67). Bảng 3.43 và 3.44 ghi lại tương ứng tổng khối lượng carbon trên mặt đất (tấn/ha) và khối lượng CO_2 được hấp thụ bởi 4 trạng thái rừng khác nhau. Tổng dự trữ carbon trong sinh

khối trên mặt đất ($C_{To,}$ tấn/ha) đối với 4 trạng thái rừng (nghèo, trung bình, giàu và rất giàu) tương ứng là 27,3; 70,8; 88,8; 161,9 tấn/ha. Tương tự, khối lượng dioxit carbon được 4 trạng thái rừng (nghèo, trung bình, giàu và rất giàu) hấp thụ tương ứng là 100,0; 260,0; 326,0; 594,0 tấn/ha.

Bảng 3.43. Dự trữ carbon trên mặt đất đối với những trạng thái rừng thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thành phần	Dự trữ carbon đối với ba trạng thái rừng (tấn/ha):			
	Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
Tổng số	161,9	88,8	70,8	27,2
(%)	100	100	100	100
Thân	123,1	67,7	54,0	20,9
(%)	76,0	76,2	76,2	76,7
Cành	36,1	19,5	15,5	5,7
(%)	22,3	21,9	21,8	20,9
Lá	2,7	1,6	1,4	0,7
(%)	1,7	1,9	1,9	2,4
Cành và lá	38,8	21,1	16,8	6,3
(%)	24,0	23,8	23,8	23,3

Bảng 3.44. Khối lượng dioxit carbon được hấp thụ ở những trạng thái rừng thuộc Rkn ở khu vực Nam Trung Bộ

Thành phần	Khối lượng hấp thụ CO_2 theo trạng thái rừng (tấn/ha):			
	Rất giàu	Giàu	Trung bình	Nghèo
Tổng số	594,0	326,0	260,0	100,0

3.5. Thảo luận và đề xuất áp dụng kết quả nghiên cứu

3.5.1. Phương pháp xây dựng hàm sinh khối đối với cây gỗ

Sinh khối trên mặt đất ở mức cây gỗ thuộc Rkn đã được xác định theo ba phương pháp khác nhau. Một là phương pháp hàm sinh khối với biến dự đoán D, H và tổ hợp của hai biến này. Hai là phương pháp dựa theo số liệu điều tra rừng cùng

với các hệ số BEF_i. Ba là phương pháp dựa theo thể tích thân cây đứng (V_T), tỉ trọng gỗ (WD) và tỉ lệ sinh khối của các thành phần (R_i). Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm $B_i = f(D)$ nhận sai lệch nhỏ hơn so với hàm $B_i = f(D, H)$. Khi sử dụng tỉ trọng gỗ bình quân cho các loài cây gỗ, thì sinh khối của tất cả cây gỗ có cùng kích thước là như nhau. Vì thế, các hàm $B_i = f(D)$, $B_{T0} = V_T \times BEF_{T0}$ và $B_{T0} = B_T \times R_{T0}$ không được sử dụng để phân tích sinh khối theo loài cây gỗ. Tổng sinh khối trên mặt đất của cây gỗ được xác định theo hàm $B_{T0} = f(D)$, $B_{T0} = V_T \times BEF_{T0}$ và $B_{T0} = B_T \times R_{T0}$ là như nhau. Đối với B_T, sở dĩ hàm lũy thừa nhận SSE_{Min} là vì $B_T = V_T \times W$; trong đó V_T được ước lượng theo hàm lũy thừa với hai biến D và H, còn WD = 0,574.

Các hệ số BEF_i được xác định bằng cách chia sinh khối khô của mỗi thành phần cây gỗ (B_i, kg) cho thể tích thân cây đứng (V_T, m^3). Các tỉ lệ R_i được xác định bằng cách chia B_{To} và B_{CL} cho B_T. Các hệ số BEF_i và R_i được ước lượng bằng những hàm đa bậc với biến dự đoán D. Các hệ số BEF_i và R_i thay đổi tùy theo cấp D. Hệ số BEF_{To} và BEF_T nhận giá trị cao ở cấp D < 12 cm và cấp D = 32 – 60 cm, thấp ở cấp D = 12 - 32 cm. Hiện tượng này xảy ra là do những cây gỗ ở giai đoạn non (D < 12 cm) phát triển mạnh cành và lá. Khi đạt đến cấp D = 32 – 60 cm, phần lớn các loài cây gỗ tạo ra hệ thống cành và lá lớn nhất. Trái lại, khi đạt đến cấp D > 60 cm, phần lớn các loài cây gỗ ở vào giai đoạn thành thục. Ở giai đoạn này, mặc dù kích thước thân đạt lớn nhất, nhưng hệ thống cành và lá lại bị suy giảm. Vì thế, các hệ số BEF_i và R_i của cây gỗ bị suy giảm.

3.5.2. Đề xuất áp dụng kết quả nghên cứu

Sinh khối ở mức cây gỗ có thể được xác định theo ba phương pháp. Một là sử dụng các hàm $B_i = f(D)$ (Hàm 3.7 ở Bảng 3.7) kết hợp với số liệu điều tra trên các ô mẫu và phân bố N/D của quần thụ. Hai là sử dụng hàm $V_T = f(D, H)$ (Hàm 3.4 ở Bảng 3.3) kết hợp với các hệ số BEF_i (Hàm 3.39 – 3.42 ở Bảng 3.22). Ba là sử dụng các hàm $V_T = f(D, H)$ (Hàm 3.4 ở Bảng 3.3) kết hợp với tỉ trọng gỗ (WD) và các tỉ lệ R_i (Hàm 3.43 và 3.46 ở Bảng 3.25).

(a) Xác định B_i theo phương pháp 1. Bước 1 là thống kê kích thước (D, H) của từng cây gỗ trên các ô mẫu thuộc các trạng thái rừng khác nhau. Bước 2 là xác định sinh khối trên mặt đất của từng cây gỗ bằng cách thay thế D vào các hàm $B_i = f(D)$. Khi biết phân bố N/D của quần thụ, thì sinh khối quần thụ được xác định bằng cách thay thế cấp D vào các hàm $B_i = f(D)$. Bước 3 là cộng dồn sinh khối của các cây gỗ trong ô mẫu và quy đổi ra đơn vị 1 ha. Sau đó tính sinh khối đối với mỗi trạng thái rừng và toàn bộ các trạng thái rừng ở khu vực nghiên cứu bằng cách nhân diện tích với sinh khối bình quân 1 ha.

(b) Xác định B_i theo phương pháp 2. Bước 1 là xác định thể tích thân cây gỗ trong ô mẫu bằng hàm $V_T = f(D, H)$. Bước 2 là tính sinh khối cho mỗi cây gỗ trong ô mẫu bằng quan hệ $B_i = V_T \times BEF_i$. Bước 3 thực hiện tương tự như phương pháp 1.

(c) Xác định B_i theo phương pháp 3. Bước 1 là xác định thể tích thân cây gỗ trong ô mẫu bằng hàm $V_T = f(D, H)$. Bước 2 là xác định sinh khối thân cây gỗ trong ô mẫu theo quan hệ $B_T = V_T \times WD$ với WD = 0,574. Khi tính B_T cho loài cây gỗ, thì WD là tỉ trọng gỗ của loài cây gỗ. Bước 3 là tính B_{T0} và B_{CL} cho từng cây theo quan hệ $B_i = B_T \times R_i$, với i = tổng, cành+lá. Bước 4. Thực hiện tương tự như bước 3 ở phương pháp 1.

Khi biết các thành phần sinh khối trên mặt đất đối với cây gỗ và mỗi trạng thái rừng, thì dự trữ carbon trong các thành phần sinh khối (C_i, tấn) được xác định bằng cách nhân tương ứng sinh khối của các thành phần (B_i, tấn) với hàm lượng carbon (P_C) trong sinh khối, nghĩa là C_i (tấn hoặc kg) = $B_i \times P_C$, với P_C = 0,47. Dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất đối với toàn bộ rừng ở khu vực nghiên cứu được xác định bằng cách cộng dồn khối lượng carbon của các trạng thái rừng. Khả năng hấp thụ CO_2 đối với các trạng thái rừng được xác định bằng cách nhân tổng trữ lượng carbon trong sinh khối với hệ số 3,67.

Chương 4

HÀM SINH KHỐI ĐỐI VỚI RỪNG TRỒNG KEO LAI

4.1. Phân chia cấp chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai

4.1.1. Đặc trưng chiều cao tầng trội của rừng trồng Keo lai

Đặc trưng thống kê chiều cao cây tầng trội (H_D, m) của rừng trồng Keo lai từ 2÷10 tuổi ở tỉnh Đồng Nai được dẫn ra ở Bảng 4.1 và Phụ lục 3. Từ số liệu ở Bảng 4.1 cho thấy, H_D gia tăng dần từ tuổi 2 (6,7 m) đến tuổi 6 (18,0 m) và tuổi 10 (22,4 m). Biên độ dao động của H_D từ 5,1 m ở tuổi 2 đến 10,5 m ở tuổi 6 và 13,3 m ở tuổi 10. Hệ số biến động của H_D (CV%) giảm dần từ tuổi 2 (23,9%) đến tuổi 6 (15,0%) và tuổi 10 (14,7%). Nói chung, H_D của rừng trồng Keo lai có biến động khá lớn. Điều đó không chỉ do ảnh hưởng của tuổi và chất lượng cây trồng ban đầu, mà còn do sự khác biệt về điều kiện lập địa. Vì thế, phân chia rừng trồng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai thành những cấp chỉ số SI khác nhau là việc làm cần thiết.

Bảng 4.1. Đặc trưng chiều cao tầng trội của rừng trồng Keo lai từ 2÷10 tuổi

A(năm)	N (cây)	H_D(m)	±SEE	CV%	H_{DMin}	H_{DMax}	H_{DMax}-H_{DMin}
2	108	6,7	1,6	23,9	4,0	9,1	5,1
4	108	14,0	2,4	17,1	9,4	17,9	8,5
6	108	18,0	2,7	15,0	12,2	22,7	10,5
8	108	20,3	3,8	18,7	13,6	26,8	13,2
10	108	22,4	3,3	14,7	15,7	29,0	13,3

4.1.2. Xây dựng hàm ước lượng $H_D = f(A)$ đối với rừng trồng Keo lai

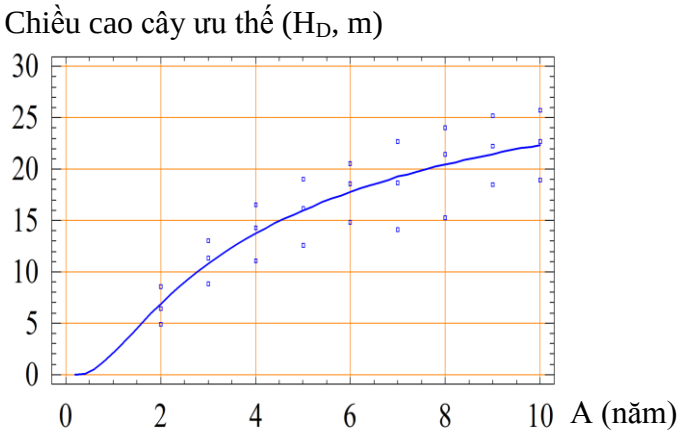
Những phân tích thống kê cho thấy hàm ước lượng $H_D = f(A)$ đối với rừng trồng Keo lai phù hợp với hàm Schumacher (Hàm 4.1 và Hình 4.1). Hệ số xác định của hàm (4.1) rất cao (R^2 = 83,3%) và sai số SEE = ±2,8 m; MAPE = 16,1%.

$$H_D = 38{,}61 \times \exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464}) \qquad (4.1)$$

R^2 = 83,3%; SEE = ±2,8; MAE = 2,2; MAPE = 16,1%

4.1.3. Xác định tuổi cơ sở để phân chia chỉ số lập địa

Tuổi cơ sở (A_0, năm) thích hợp được chọn tại thời điểm mà H_D ở tuổi A được dự đoán theo hàm chỉ số SI = f(A_0) với SSE_{Min}. Tại khu vực nghiên cứu, biên độ tuổi của rừng trồng Keo lai dao động từ 1 – 10 năm. Vì thế, tuổi cơ sở thích hợp được xác định trong khoảng A = 6 - 12 năm. Kết qủa kiểm định sai lệch dự đoán H_0 từ tuổi 6 – 10 năm bằng hàm (4.1) được ghi lại ở Bảng 4.2 và Bảng 4.3.



Hình 4.1. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ H_D = f(A) đối với rừng trồng Keo lai từ 1÷10 tuổi tại tỉnh Đồng Nai.

Bảng 4.2. Dự đoán H_D đối với rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai bằng hàm chỉ số SI = f(A) khi A_0 = 6÷10 năm

A (năm)	H_D(m)	Giá trị dự đoán H_D (m) tại A_0 (năm):				
		6	7	8	9	10
6	18,0	18,0	19,5	20,8	21,9	22,8
7	18,5	17,1	18,5	19,7	20,7	21,6
8	20,3	17,6	19,1	20,3	21,4	22,3
9	21,9	18,0	19,5	20,8	21,9	22,8
10	22,4	17,7	19,2	20,4	21,5	22,4

Bảng 4.3. Sai lệch dự đoán H_D đối với rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai bằng hàm chỉ số SI = f(A) khi A_0 = 6÷10 năm

A (năm)	Giá trị SSE tương ứng với các A_0 (năm):				
	6	7	8	9	10
6	0,00	1,02	0,23	0,00	0,16
7	0,87	0,00	0,36	1,37	0,61
8	0,17	0,31	0,00	0,29	0,02
9	0,00	1,09	0,27	0,00	0,19
10	0,10	0,45	0,01	0,18	0,00

Từ số liệu ở Bảng 4.3 cho thấy, SSE nhận giá trị cao nhất tại tuổi 7 (2,87), thấp nhất tại tuổi 8 (0,86). Vì thế, tuổi 8 là tuổi cơ sở để xây dựng các hàm và đường cong chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai. Tuổi 8 cũng phù hợp với tuổi thành thục công nghệ đối với rừng trồng Keo lai ở miền Đông Nam Bộ (Nguyễn Huy Sơn và cs, 2006).

4.1.4. Xác định số lượng chỉ số lập địa tại tuổi cơ sở

Từ số liệu ở Bảng 4.1 cho thấy, biên độ dao động của H_D tại tuổi 8 là 13,0 m (làm tròn). Thông thường thước đo chiều cao cây gỗ có sai số 0,5 m. Vì thế, nếu phân chia H_D = 13,0 m thành 3 cấp, thì mỗi cấp là 4,0 m (lấy tròn). Khoảng cách H_0 giữa hai cấp chỉ số SI kế cận lớn hơn 8 lần sai số đo chiều cao của cây gỗ. Vì thế, rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai đã được phân chia thành 3 cấp chỉ số SI hay 3 cấp chỉ số SI. Khoảng cách H_D giữa ba cấp chỉ số SI tại tuổi 8 là 4,0 m. Ba chỉ số SI tại A_0 (8 năm) nhận ba giá trị H_D = 24,0m đối với chỉ số lập địa I (SI_{24}), H_D = 20,0m đối với chỉ số lập địa II (SI_{20}) và H_D = 16,0m đối với chỉ số lập địa III (SI_{16}). Các chỉ số SI ở ranh giới giữa chỉ số SI_{24} và SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 22m và 18m. Biên độ trên của chỉ số SI_{24} là 26m, còn biên độ dưới của chỉ số SI_{16} là 14m.

4.1.5. Xây dựng các hàm chiều cao cây ưu thế đối với rừng trồng Keo lai

Các hàm $H_D = f(A)$ trên 3 chỉ số SI được xây dựng theo hàm 4.1; trong đó SI là 3 chỉ số SI tại tuổi A0 (SI = 16, 20 và 24m). Các hàm HD tương ứng với 3 cấp chỉ số SI có dạng như hàm 4.2÷4.8 (Bảng 4.4).

Bảng 4.4. Các hàm chiều cao cây ưu thế trên 3 cấp chỉ số SI của rừng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai

Chỉ số SI	Các hàm H_D (m):	
26	$H_D = \frac{26\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}$	(4.2)
24	$\mathbf{H_D = \frac{24\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}}$	**(4.3)**
22	$H_D = \frac{22\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}$	(4.4)
20	$\mathbf{H_D = \frac{20\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}}$	**(4.5)**
18	$H_D = \frac{18\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}$	(4.6)
16	$\mathbf{H_D = \frac{16\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}}$	**(4.7)**
14	$H_D = \frac{14\times\exp(-2{,}76734/A^{0{,}707464})}{\exp(-2{,}76734/A_0^{0{,}707464})}$	(4.8)

4.1.6. Kiểm định mức độ phù hợp của các hàm chỉ số lập địa

Những phân tích thống kê (Bảng 4.5 – 4.7) cho thấy điểm chặn của ba hàm chỉ số SI và ba hàm $H_0 = f(A)$ đối với những cây kiểm tra không khác biệt rõ rệt (P = 0,239 đối với cấp SI_{24}; P = 0,285 đối với cấp SI_{20}; P = 0,261 đối với cấp SI_{16}. Tương tự, độ dốc của chúng cũng không có sự khác biệt rõ rệt (P = 0,570 đối với cấp SI_{24}; P = 0,611 đối với cấp SI_{20}; P = 0,380 đối với cấp SI_{16}. Điều đó chứng tỏ các hàm 4.2 - 4.8 là những hàm thích hợp để xây dựng biểu cấp chỉ số SI và đường cong chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai.

Bảng 4.5. So sánh sai lệch giữa hàm chỉ số SI = f(A) với hàm H_0 = f(A) đối với những cây mẫu kiểm tra trên cấp SI_{24}

4.5.1. Các tham số của hàm hồi quy tuyến tính

Hàm	Điểm chặn	Độ dốc
SI = f(A)	0,830540	-0,245320
Cây kiểm tra	0,822433	-0,259875

4.5.2. Kiểm định sai lệch về điểm chặn và độ dốc của hàm hồi quy tuyến tính

Nguồn	SS	Df	MS	F	P
D (cm)	10,52790	1	10,52790	405,3	< 0,01
Điểm chặn	0,03886	1	0,03886	1,5	0,239
Độ dốc	0,00874	1	0,00874	0,34	0,570
Mô hình	10.5755,0	3			

Bảng 4.6. So sánh sai lệch giữa hàm chỉ số SI = f(A) với hàm H_0 = f(A) đối với những cây mẫu kiểm tra trên cấp SI_{20}

4.6.1. Các tham số của hàm hồi quy tuyến tính

Hàm	Điểm chặn	Độ dốc
SI = f(A)	0,814667	-0,182518
Cây kiểm tra	0,806467	-0,195494

4.6.2. Sai lệch về điểm chặn và độ dốc của hàm hồi quy tuyến tính

Nguồn	SS	Df	MS	F	P
D (cm)	5,894320	1	5,894320	227,96	< 0,01
Điểm chặn	0,031657	1	0,031657	1,22	0,285
Độ dốc	0,006946	1	0,006946	0,27	0,611
Mô hình	5,932930	3			

Bảng 4.7. So sánh sai lệch giữa hàm chỉ số SI = f(A) với hàm H_0 = f(A) đối với những cây mẫu kiểm tra trên cấp SI_{16}

4.7.1. Các tham số của hàm hồi quy tuyến tính

Hàm	Điểm chặn	Độ dốc
SI = f(A)	0,786333	-0,153739
Cây kiểm tra	0,826140	-0,175956

4.7.2. Sai lệch về điểm chặn và độ dốc của hàm hồi quy tuyến tính

Nguồn	SS	Df	MS	F	P
D (cm)	4,483830	1	4,483830	179,55	< 0,01
Điểm chặn	0,033941	1	0,033941	1,36	0,261
Độ dốc	0,020362	1	0,020362	0,82	0,380
Mô hình	4,538130	3			

4.1.7. Xây dựng biểu và các đường cong chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai

Biểu chiều cao H_0 và các đường cong chỉ số SI được xây dựng bằng cách thay thế A (năm) của rừng trồng Keo lai vào các hàm chỉ số SI (Hàm 4.2 - 4.8; Bảng 4.8; Hình 4.2).

4.2. Sinh trưởng của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau

4.2.1. Các hàm sinh trưởng ở mức cây bình quân

4.2.1.1. Các hàm sinh trưởng đường kính bình quân

Số liệu D cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp SI được ghi lại ở Phụ lục 4. Từ số liệu này, các hàm ước lượng D = f(A) được kiểm định theo 2 hàm Korf (2.38) và Gompertz (2.39). Kết quả phân tích hồi quy theo 2 hàm này cho thấy, đối với cấp I (SI_{24}), giá trị SSE của hàm Gompertz (34,5) lớn hơn 6,8 lần so với hàm Korf (5,1). Đối với cấp II (SI_{20}), giá trị SSE của hàm Gompertz (26,6) lớn hơn 3,6 lần so với hàm Korf (7,4). Đối với cấp III (SI_{16}), giá trị SSE của hàm Gompertz (41,0) lớn hơn 2,3 lần so với hàm Korf (17,6). Đối với cả 3 cấp SI, giá trị SSE của hàm Gompertz (30,4) lớn hơn 5,2 lần so với hàm Korf (5,8). Từ những

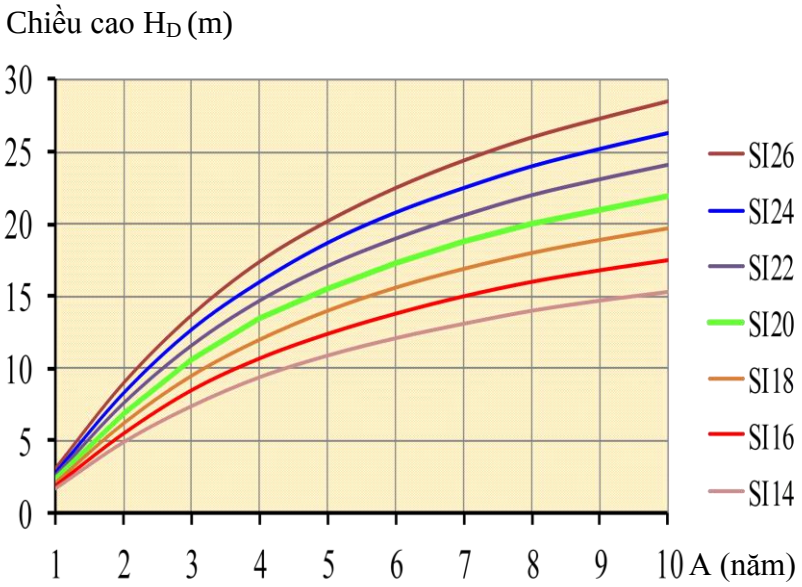
phân tích thống kê trên đây cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng D = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Hàm 4.9 – 4.12 ở Bảng 4.9 và 4.10).

Bảng 4.8. Biểu chỉ số SI đối với rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	Chiều cao H_D (m) đối với ba cấp chỉ số SI(m):						
	SI_{26}	SI_{24}	SI_{24}-SI_{20}	SI_{20}	SI_{16}-SI_{20}	SI_{14}	SI_{12}
1	3,1	2,8	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
2	9,0	8,3	7,6	6,9	6,2	5,5	4,9
3	13,7	12,7	11,6	10,6	9,5	8,5	7,4
4	17,4	16,0	14,7	13,4	12,0	10,7	9,4
5	20,2	18,7	17,1	15,5	14,0	12,4	10,9
6	22,5	20,8	19,0	17,3	15,6	13,8	12,1
7	24,4	22,5	20,6	18,8	16,9	15,0	13,1
8	26,0	24,0	22,0	20,0	18,0	16,0	14,0
9	27,3	25,2	23,1	21,0	18,9	16,8	14,7
10	28,5	26,3	24,1	21,9	19,7	17,5	15,3

Bảng 4.9. Các hàm ước lượng đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	Phương trình D = f(A)	
24	$D = 31,2808 \times \exp(-2,73731 \times A^{-0,735119})$	(4.9)
20	$D = 25,0532 \times \exp(-2,83963 \times A^{-0,794667})$	(4.10)
16	$D = 24,7709 \times \exp(-2,94157 \times A^{-0,676557})$	(4.11)
Bình quân	$D = 26,9723 \times \exp(-2,83635 \times A^{-0,737503})$	(4.12)



Hình 4.2. Đường cong chiều cao cây tầng trội (H_D, m) và đường cong chỉ số SI (m) đối với rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai.

Bảng 4.10. Kiểm định sai lệch của 2 hàm Korf và Gompertz để ước lượng đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Chỉ số SI (m)	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
24	99,89	0,85	0,002	0,12	1,2	5,1	(4.9)
20	99,79	1,03	0,007	0,15	3,1	7,4	(4.10)
16	99,32	1,58	0,001	0,27	3,7	17,6	(4.11)
Bình quân	99,84	0,91	0,003	0,15	2,1	5,8	(4.12)

4.2.1.2. Các hàm sinh trưởng chiều cao thân cây bình quân

Từ số liệu H cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Phụ lục 5), các hàm ước lượng H = f(A) được kiểm định theo 2 hàm Korf (2.38) và Gompertz (2.39). Kết quả phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với cấp SI_{24}, hệ số R^2 của hàm Korf (99,89%) lớn hơn so với hàm Gompertz (99,22%). Hàm Korf nhận những giá trị (SEE = 1,02; ME = 0,001; MAE = 0,16; MAPE = 1,3% và SSE = 7,4) nhỏ hơn so với hàm Gompertz (SEE = 2,81; ME = 0,027; MAE = 0,50;

MAPE = 6,2% và SSE = 55,4); trong đó giá trị SSE của hàm Gompertz lớn hơn 7,5 lần so với hàm Korf (7,4). Đối với cấp SI_{20}, giá trị SSE của hàm Gompertz (55,4) lớn hơn 4,5 lần so với hàm Korf (7,4). Đối với cấp SI_{16}, giá trị SSE của hàm Gompertz (68,0) lớn hơn 2,0 lần so với hàm Korf (33,4). Đối với cả 3 cấp chỉ số SI, giá trị SSE của hàm Gompertz (144,2) lớn hơn 5,0 lần so với hàm Korf (28,8). Từ những phân tích thống kê trên đây cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng H = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Hàm 4.13 – 4.16 ở Bảng 4.11 và 4.12).

Bảng 4.11. Các hàm ước lượng chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	Phương trình H = f(A):	
24	$H = 39,0314 \times \exp(-2,73395 \times A^{-0,703197})$	(4.13)
20	$H = 30,8288 \times \exp(-2,80994 \times A^{-0,771698})$	(4.14)
16	$H = 30,7331 \times \exp(-2,94927 \times A^{-0,650567})$	(4.15)
Bình quân	$H = 32,7685 \times \exp(-2,80662 \times A^{-0,722334})$	(4.16)

Bảng 4.12. Tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
24	99,89	1,02	0,001	0,16	1,3	7,4	(4.13)
20	99,85	1,02	0,008	0,17	2,5	7,4	(4.14)
16	99,08	2,18	-0,000	0,36	4,0	33,4	(4.15)
Bình quân	99,81	2,03	0,002	0,19	2,1	28,8	(4.16)

4.2.1.3. Các hàm thể tích thân cây bình quân

Từ số liệu V cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Phụ lục 6), các hàm ước lượng V = f(A) được kiểm định theo 2 hàm Korf (2.34) và Gompertz (2.35). Kết quả phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với cấp chỉ số SI_{24}, giá trị SSE của hàm Gompertz lớn hơn 1,7 lần so với hàm Korf. Đối với cấp

chỉ số SI_{20}, giá trị SSE của hàm Gompertz lớn hơn 30,9 lần so với hàm Korf. Đối với cấp chỉ SI_{16}, giá trị SSE của hàm Korf (0,0059) thấp hơn so với hàm Gompertz (SSE = 0,0061). Đối với cả ba cấp chỉ số SI, giá trị SSE của hàm Gompertz (0,0144) lớn hơn 1,8 lần so với hàm Korf (0,0081). Từ những phân tích trên đây cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng V = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa (Hàm 4.17 – 4.20 ở Bảng 4.13 và 4.14).

Bảng 4.13. Các hàm ước lượng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	Phương trình V = f(A)	
24	$V = 1{,}70141\times\exp(-8{,}06496\times A^{-0{,}689754})$	(4.17)
20	$V = 0{,}920076\times\exp(-8{,}15145\times A^{-0{,}720512})$	(4.18)
16	$V = 2{,}0023\times\exp(-9{,}11306\times A^{-0{,}507079})$	(4.19)
Bình quân	$V = 1{,}63871\times\exp(-8{,}05432\times A^{-0{,}597368})$	(4.20)

Bảng 4.14. Tương quan và sai lệch của những hàm ước lượng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa.

Chỉ số SI (m)	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
24	99,75	0,028	-0,000	0,0041	4,2	0,0056	(4.17)
20	99,80	0,003	-0,000	0,0021	8,9	0,00008	(4.18)
16	97,93	0,029	0,0002	0,0042	23,8	0,0059	(4.19)
Bình quân	99,71	0,034	-0,0002	0,0031	13,8	0,0081	(4.20)

4.2.2. Các hàm sinh trưởng đối với rừng trồng Keo lai

4.2.2.1. Các hàm mật độ đối với rừng trồng Keo lai Keo lai

Những phân tích thống kê cho thấy hàm ước lượng N (cây/ha) = f(A) trên 3 cấp chỉ số SI của rừng trồng Keo lai tương ứng có dạng như hàm 4.21 – 4.24. Bốn mô hình này đều nhận sai số rất nhỏ (MAPE < 1,0%).

$$N_{(SI24)} = 1756{,}6\times\exp(-0{,}08971\times A) + 569 \qquad (4.21)$$

r^2 = 99,6%; S = 19,8; ME = -0,0002; MAE = 11,6; MAPE = 0,62%.

$N_{(SI20)} = 2945,8 \times \exp(-0,03919 \times A) - 634$ (4.22)

r^2 = 99,7%; S = 15,4; ; ME = -0,164; MAE = 9,5; MAPE = 0,53%

$N_{(SI16)} = 3999,9 \times \exp(-0,02428 \times A) - 1686$ (4.23)

r^2 = 99,2%; S = 23,9; ME = -0,058; MAE = 17,7; MAPE = 0,96%

$N_{(SI16-24)} = 3139,9 \times \exp(-0,035982 \times A) - 839$ (4.24)

r^2 = 99,8%; S = 14,2; ME = -0,030; MAE = 8,7; MAPE = 0,47%

4.2.2.2. Các hàm ước lượng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai

Bằng cách kết hợp các hàm V = f(A) và N = f(A), xác định được trữ lượng gỗ (M, m^3/ha) của rừng Keo lai theo ba cấp chỉ số lập địa (Bảng 4.15).

Bảng 4.15. Trữ lượng gỗ (M, m^3/ha) của rừng Keo lai theo ba cấp chỉ số lập địa

A (năm)	Trữ lượng gỗ (M, m^3/ha) của rừng Keo lai theo cấp SI:			
	SI_{24}	SI_{20}	SI_{16}	Bình quân
2	23,4	13,7	7,0	16,6
3	74,2	45,4	22,0	49,7
4	137,7	86,1	42,7	91,3
5	201,7	127,6	66,1	134,3
6	260,5	165,7	90,1	175,1
7	311,7	198,7	113,2	211,3
8	355,1	226,0	134,6	242,6
9	391,4	247,8	153,8	268,6
10	420,9	264,4	170,7	289,4

Những phân tích hồi quy tương quan M = f(A) theo 2 hàm Korf (2.38) và Gompertz (2.39) cho thấy, đối với cấp chỉ số SI_{24}, giá trị SSE của hàm Gompertz (202,5) lớn hơn 7,2 lần so với hàm Korf (28,2). Đối với cấp chỉ số SI_{20}, giá trị SSE của hàm Gompertz (56,5) lớn hơn 2,3 lần so với hàm Korf (24,6). Đối với cấp chỉ số SI_{16}, giá trị SSE của hàm Gompertz (21,2) lớn hơn 5,9 lần so với hàm Korf (3,6). Đối với cả ba cấp SI, giá trị SSE của hàm Gompertz (74,5) lớn hơn 3,3 lần so với

hàm Korf (22,6). Từ những phân tích trên đây cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng M = f(A) đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Hàm 4.25-4.28; Bảng 4.16 và 4.17).

Bảng 4.16. Các hàm ước lượng trữ lượng gỗ đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI (m)	Phương trình M = f(A):	
24	$M = 840,237 \times \exp(-7,69321 \times A^{-1,05005})$	(4.25)
20	$M = 486,999 \times \exp(-8,34325 \times A^{-1,14191})$	(4.26)
16	$M = 603,1 \times \exp(-8,07009 \times A^{-0,807421})$	(4.27)
Bình quân	$M = 638,404 \times \exp(-7,52414 \times A^{-0,982493})$	(4.28)

Bảng 4.17. Tương quan và sai lệch của những hàm ước lượng lượng trữ lượng gỗ đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

Chỉ số SI(m)	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
24	99,98	2,0	-0,247	1,42	8,5	28,2	(4.25)
20	99,87	1,87	0,212	1,32	10,6	24,6	(4.26)
16	99,98	0,72	0,098	0,54	8,2	3,6	(4.27)
Bình quân	99,97	1,79	0,213	1,28	8,9	74,5	(4.28)

4.2.3. Sinh trưởng và năng suất của rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai

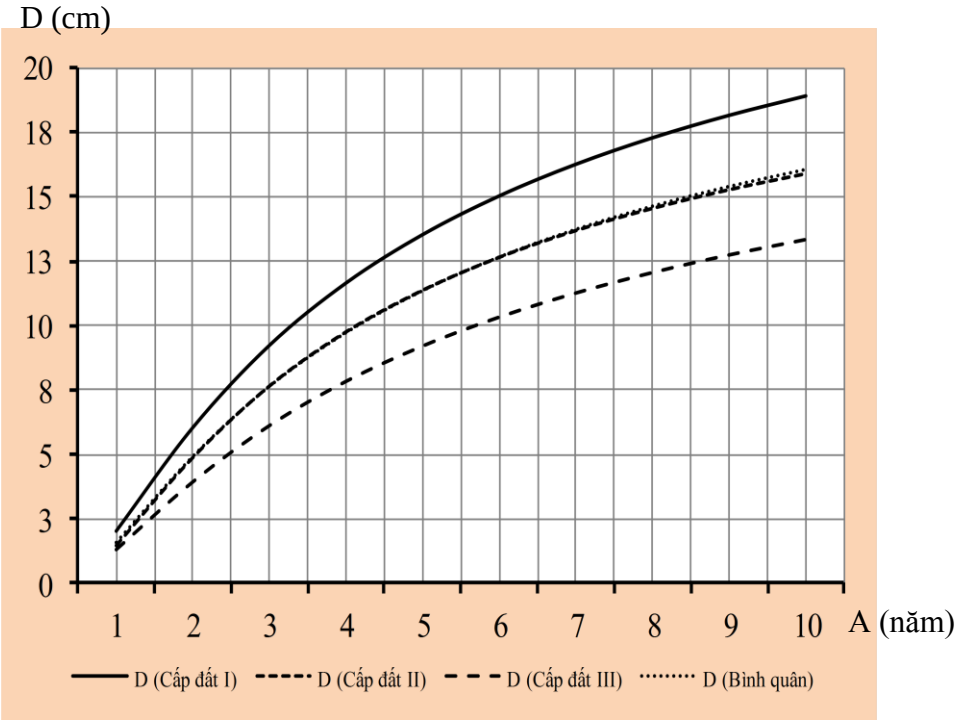
4.2.3.1. Sinh trưởng đường kính thân cây bình quân

Bằng cách khảo sát bốn hàm 4.9 – 4.12 (Bảng 4.9), xác định được lượng tăng trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau (Bảng 4.18 – 4.20; Hình 4.3 và 4.4).

Bảng 4.18. Sinh trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	D (cm)	ZD (cm/năm)	ΔD (cm/năm)	Pd%
2	4,9	3,3	2,5	67,9
4	9,7	2,1	2,4	21,4

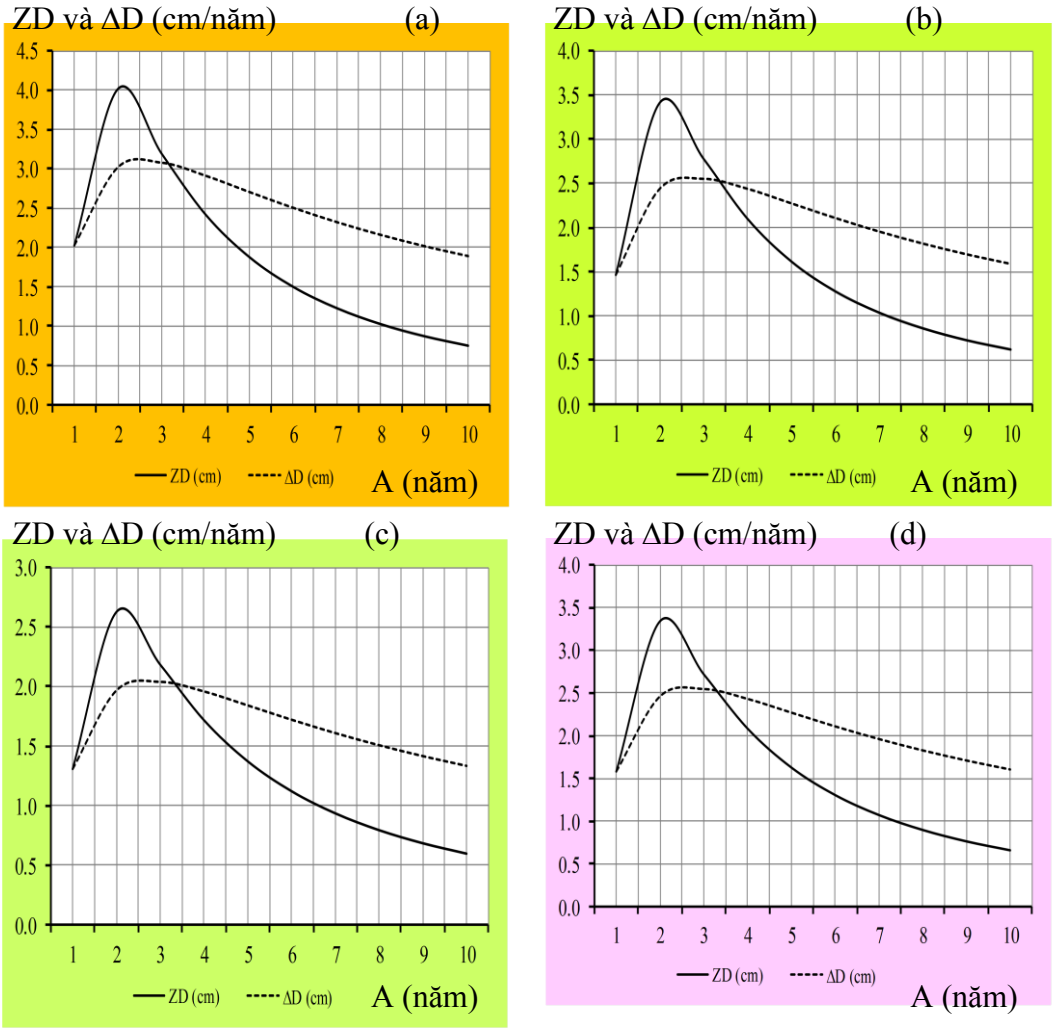
6	12,7	1,3	2,1	10,3
8	14,6	0,9	1,8	6,1
10	16,0	0,7	1,6	4,1



Hình 4.3. Đồ thị biểu diễn quá trình sinh trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai 10 tuổi trên ba chỉ số SI khác nhau.

Phân tích số liệu ở Bảng 4.18 - 4.20 cho thấy sinh trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và cấp chỉ số SI. Lượng tăng trưởng thường xuyên hàng năm lớn nhất về đường kính (ZD_{Max}) giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (4,0 cm/năm) đến cấp chỉ số SI_{20} (3,4 cm/năm) và cấp chỉ số SI_{16} (2,6 cm/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 3,3 cm/năm. Thời điểm xuất hiện ZD_{Max} trên cả 3 cấp chỉ số SI tại tuổi 2. Tương tự, lượng tăng trưởng bình quân năm lớn nhất (ΔD_{Max}) cũng giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24}(3,0 cm/năm) đến cấp chỉ số SI_{20} (2,4 cm/năm) và cấp chỉ số SI_{16} (2,0 cm/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 2,5 cm/năm. Thời điểm xuất hiện ΔD_{Max} trên chỉ số SI_{24} tại tuổi 2, còn cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 4; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi tuổi 4. Suất tăng trưởng đường kính

(Pd%) trên cả 3 cấp chỉ số SI suy giảm rất nhanh theo tuổi; trong đó cấp chỉ số SI_{24}suy giảm nhanh hơn so với cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16}.



Hình 4.4. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng đường kính của rừng trồng Keo lai 10 tuổi trên 3 chỉ số SI_{24} (a), SI_{20} (b), SI_{16} (c) và bình quân chung (d).

So với D bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} (100%) (Bảng 4.20), trị số này trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 2, 4 và 10 tương ứng chỉ bằng 80,7% và 65,1%, 83,7% và 67,2%, 84,0% và 70,5%.

Bảng 4.19. Đặc trưng tăng trưởng đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai

Chỉ số SI	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
(m)	ZD_{Max}	A (năm)	D (cm)	ΔD_{Max}	A (năm)	D (cm)

24	4,0	2	6,0	3,0	2	6,0
20	3,4	2	4,9	2,4	4	9,8
16	2,6	2	3,9	2,0	4	7,8
Bình quân	3,3	2	4,9	2,5	4	9,7

Bảng 4.20. So sánh đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai

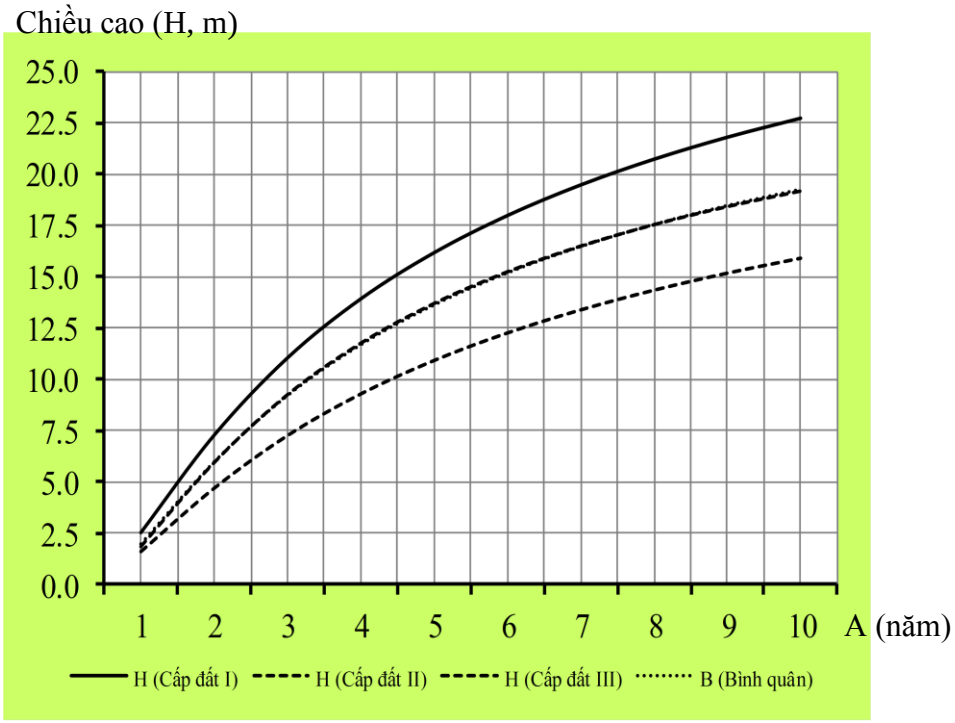
Cấp A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	D (cm)	(%)	D (cm)	(%)	D (cm)	(%)
2	6,0	100	4,9	80,7	3,9	65,1
4	11,6	100	9,8	83,7	7,8	67,2
6	15,0	100	12,6	84,2	10,3	68,7
8	17,3	100	14,5	84,2	12,1	69,8
10	18,9	100	15,9	84,0	13,3	70,5

4.2.3.2. Sinh trưởng chiều cao của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Bằng cách khảo sát bốn hàm 4.13 – 4.16 (Bảng 4.11), xác định được lượng tăng trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau (Bảng 4.21 – 4.23; Hình 4.5 và 4.6).

Bảng 4.21. Sinh trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	H (m)	ZH (m/năm)	ΔH (m/năm)	Ph%
2	6,0	4,0	3,0	66,9
4	11,7	2,5	2,9	21,2
6	15,2	1,6	2,5	10,3
8	17,5	1,1	2,2	6,1
10	19,3	0,8	1,9	4,1



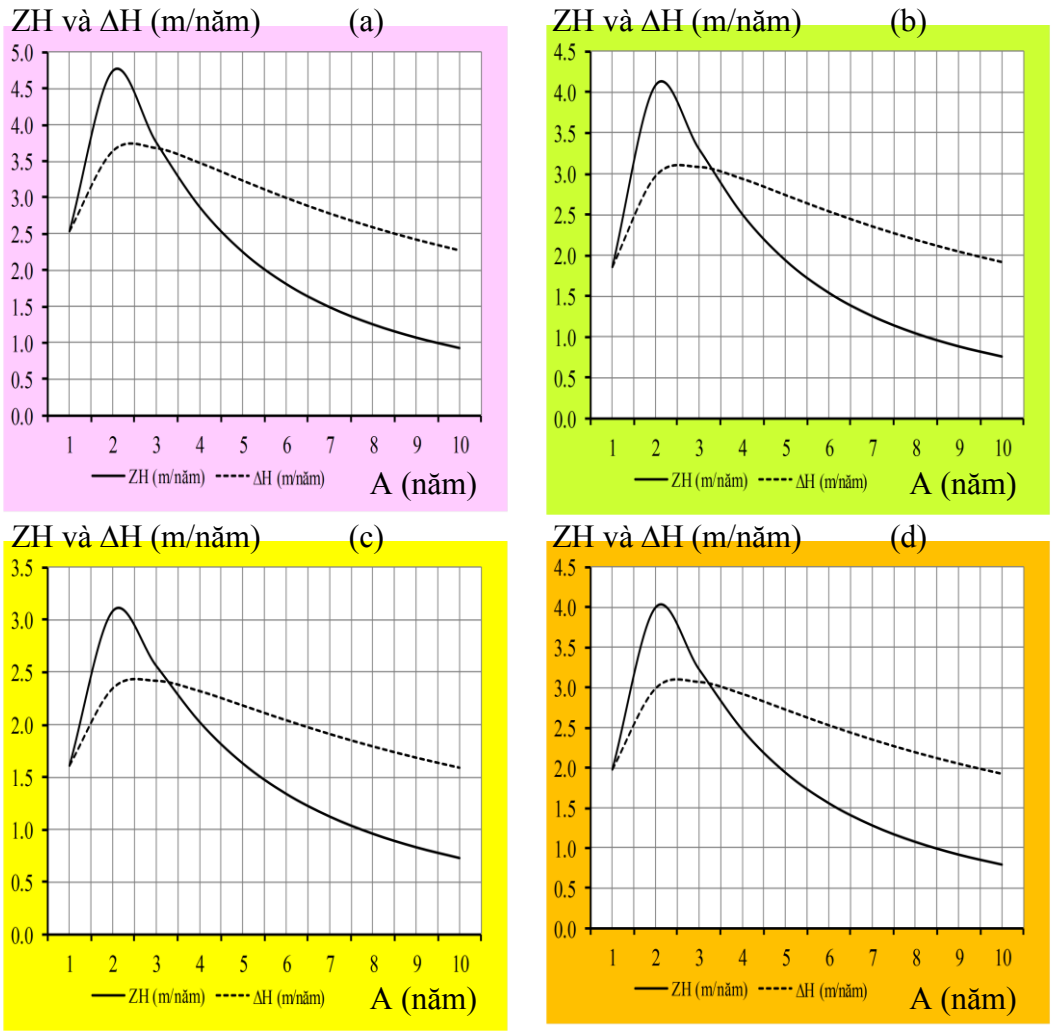
Hình 4.5. Đồ thị biểu diễn quá trình sinh trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI khác nhau.

Bảng 4.22. Đặc trưng tăng trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai

Chỉ số SI (m)	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZH_{Max}	A (năm)	H (m)	ΔH_{Max}	A (năm)	H (m)
24	4,7	2	7,3	3,6	2	7,3
20	4,1	2	5,9	3,0	2	5,9
16	3,1	2	4,7	2,3	2	4,7
Bình quân	4,0	2	6,0	3,0	2	6,0

Phân tích số liệu ở Bảng 4.21 – 4.23 cho thấy sinh trưởng chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và cấp chỉ số SI. Đại lượng ZH_{Max} giảm dần từ SI_{24} (4,7 m/năm) đến SI_{20} (4,1 m/năm) và SI_{16} (3,1 m/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 4,0 m/năm. Thời điểm xuất hiện ZH_{Max} trên cả 3 cấp

chỉ số SI tại tuổi 2. Tương tự, đại lượng ΔH_{Max} giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (3,6 m/năm) đến SI_{20} (3,0 m/năm) và SI_{16} (2,3 m/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 3,0 m/năm.



Hình 4.6. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng chiều cao của rừng trồng Keo lai trên 3 chỉ số SI_{24} (a), SI_{20} (b), SI_{16} (c) và bình quân chung (d).

Thời điểm xuất hiện ΔH_{Max} trên cả ba cấp chỉ số SI tại tuổi 2. Suất tăng trưởng chiều cao (Ph%) trên cả 3 cấp chỉ số SI suy giảm rất nhanh theo tuổi; trong đó cấp chỉ số SI_{24} suy giảm nhanh hơn so với SI_{20} và SI_{16}. So với H bình quân của rừng trồng Keo lai trên SI_{24} (100%) (Bảng 4.23), trị số này trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} tại cấp tuổi 2, 4 và 10 tương ứng chỉ bằng 81,7% và 64,5%, 84,5% và 66,7%, 84,4% và 70,0%.

Bảng 4.23. So sánh chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai

Cấp A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	H (m)	(%)	H (m)	(%)	H (m)	(%)
2	7,3	100	5,9	81,7	4,7	64,5
4	13,9	100	11,8	84,5	9,3	66,7
6	18,0	100	15,2	84,8	12,3	68,2
8	20,7	100	17,5	84,6	14,3	69,2
10	22,7	100	19,2	84,4	15,9	70,0
Trung bình		100		84,0		67,7

4.2.3.3. Sinh trưởng thể tích cây bình quân của rừng Keo lai trên ba chỉ số SI

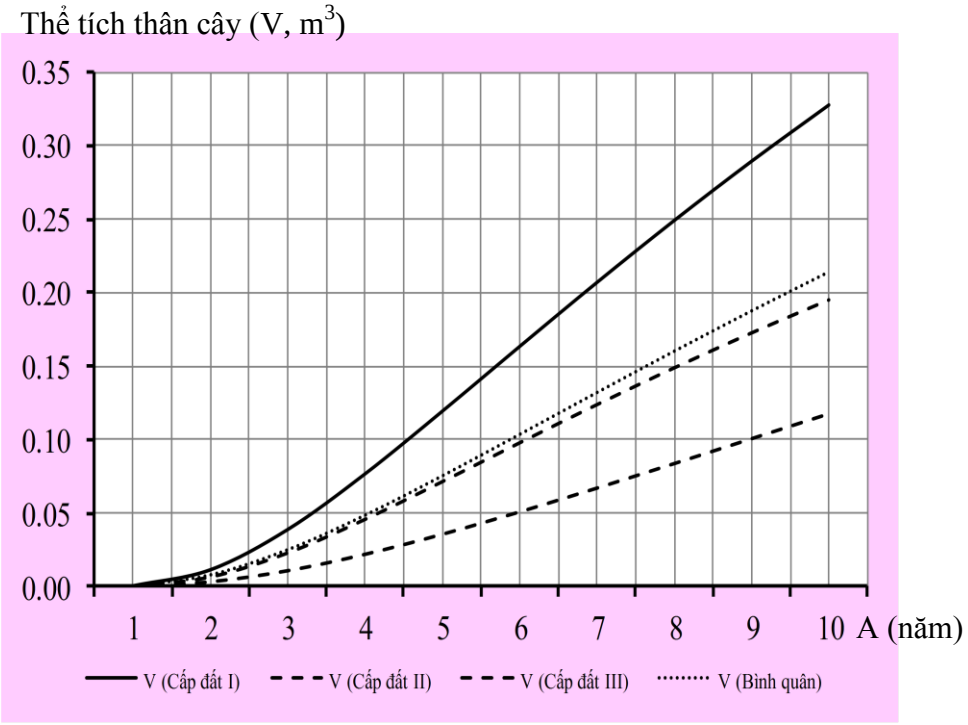
Những hàm thích hợp để ước lượng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tương ứng có dạng như hàm 4.17 – 4.20 (Bảng 4.13). Bằng cách khảo sát bốn hàm này, xác định được lượng tăng trưởng thể tích thân cây bình quân đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau (Bảng 4.24 – 4.26; Hình 4.7 và 4.8).

Bảng 4.24. Sinh trưởng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

A (năm)	V (m^3)	ZV (m^3/năm)	ΔV (m^3/năm)	PV%
2	0,0080	0,0075	0,0040	93,5
4	0,0486	0,0235	0,0121	48,3
6	0,1035	0,0282	0,0173	27,2
8	0,1601	0,0281	0,0200	17,6
10	0,2141	0,0265	0,0214	12,4

Bảng 4.25. Đặc trưng tăng trưởng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

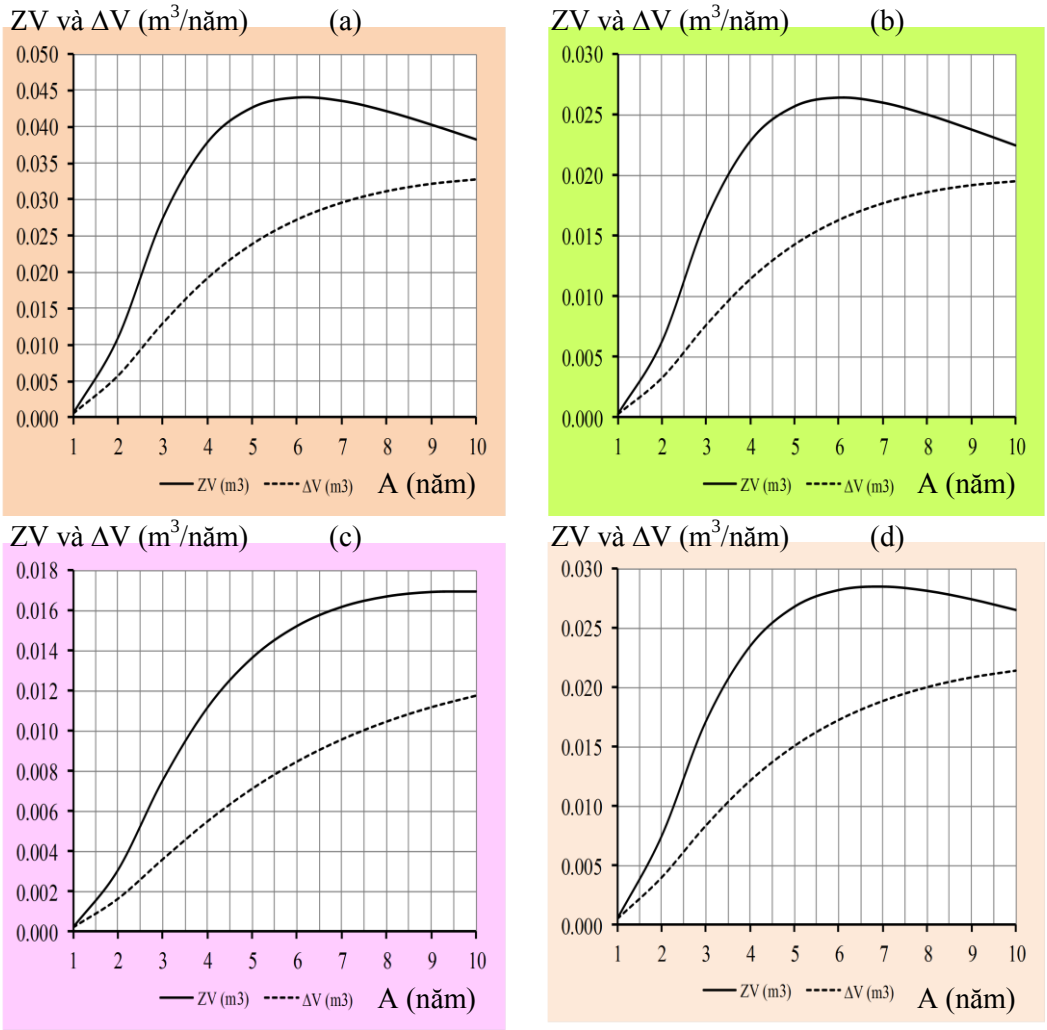
Chỉ số SI (m)	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZV_{Max}	A (năm)	V (m^3)	ΔV_{Max}	A (năm)	V (m^3)
24	0,0440	6	0,1633	0,0328	> 10	> 0,3275
20	0,0264	6	0,0978	0,0195	> 10	> 0,1950
16	0,0169	> 10	> 0,1175	0,0118	> 10	> 0,1175
Bình quân	0,0282	6	0,1035	0,0214	> 10	> 0,2141



Hình 4.7. Đồ thị biểu diễn quá trình sinh trưởng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI.

Thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và cấp chỉ số SI. Đại lượng ZV_{Max} giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (0,0440 m^3/năm) đến chỉ số SI_{16} (0,0169 m^3/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 0,0282 m^3/năm. Thời điểm xuất hiện ZV_{Max} trên chỉ số SI_{24} và SI_{20} tại tuổi 6, còn cấp SI_{16} ở sau tuổi 10; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 6. Tương tự, đại lượng ΔV_{Max} giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (0,0328 m^3/năm) đến chỉ số SI_{16} (0,0118 m^3/năm); trung bình 3 cấp chỉ

số SI là 0,0214 m^3/năm. Thời điểm xuất hiện ΔV_{Max} trên cả ba cấp chỉ số SI ở sau tuổi 10.



Hình 4.8. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 chỉ số SI_{24} (a), SI_{20} (b), SI_{16} (c) và bình quân chung (d).

Bảng 4.26. So sánh thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai

Cấp A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	V (m^3)	(%)	V (m^3)	(%)	V (m^3)	(%)
2	0,0115	100	0,0065	57,0	0,0033	28,7
4	0,0767	100	0,0457	59,6	0,0220	28,7
6	0,1633	100	0,0978	59,9	0,0508	31,1
8	0,2490	100	0,1488	59,7	0,0837	33,6
10	0,3275	100	0,1950	59,5	0,1175	35,9
Trung bình		100		59,2		31,6

So với thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} (100%) (Bảng 4.26), trị số này trên SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 2, 4 và 10 tương ứng chỉ bằng 57,0% và 28,7%, 59,6% và 28,7%, 59,5% và 35,9%. Nói chung, so với thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ cấp tuổi 2 – 10 trên chỉ số SI_{24} (100%), giá trị này trên SI_{20} và SI_{16} thấp hơn tương ứng 40,8% và 68,4%.

4.2.3.4. Sinh trưởng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai

Bằng cách khảo sát bốn hàm M = f(A) (Hàm 4.25 – 4.28; Bảng 4.16), xác định được lượng tăng trưởng trữ lượng gỗ đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau (Bảng 4.27 - 4.29; Hình 4.9 và 4.10).

Bảng 4.27. Sinh trưởng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

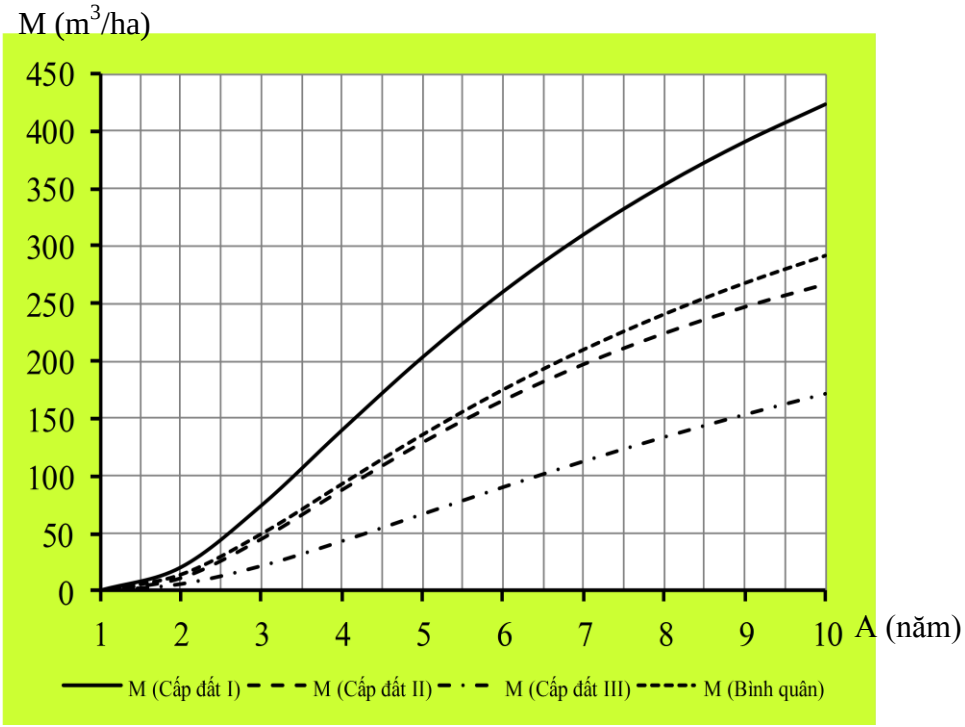
A (năm)	M (m^3/ha)	ZM (m^3/ha/năm)	ΔM (m^3/ha/năm)	PM%
2	14,2	14,0	7,1	98,6
4	92,9	43,4	23,2	46,7
6	175,0	39,2	29,2	22,4
8	240,7	30,8	30,1	12,8
10	291,7	23,9	29,2	8,2

Bảng 4.28. Đặc trưng tăng trưởng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. ĐVT: (m^3/ha/năm)

Chỉ số SI (m)	Lượng tăng trưởng hàng năm			Lượng tăng trưởng bình quân		
	ZM_{Max}	A (năm)	M (m^3)	ΔM_{Max}	A (năm)	M (m^3)
24	65,5	4	139,7	44,2	8	353,2
20	42,7	4	87,8	28,0	8	224,0
16	23,5	6	90,3	17,2	> 10	>171,5
Bình quân	43,4	4	92,9	30,1	8	240,7

Trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và cấp chỉ số SI. Đại lượng ZM_{Max} giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (65,5 m^3/ha/năm) đến SI_{20} (42,7 m^3/ha/năm) và SI_{16} (23,5 m^3/ha/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 43,4 m^3/ha/năm.

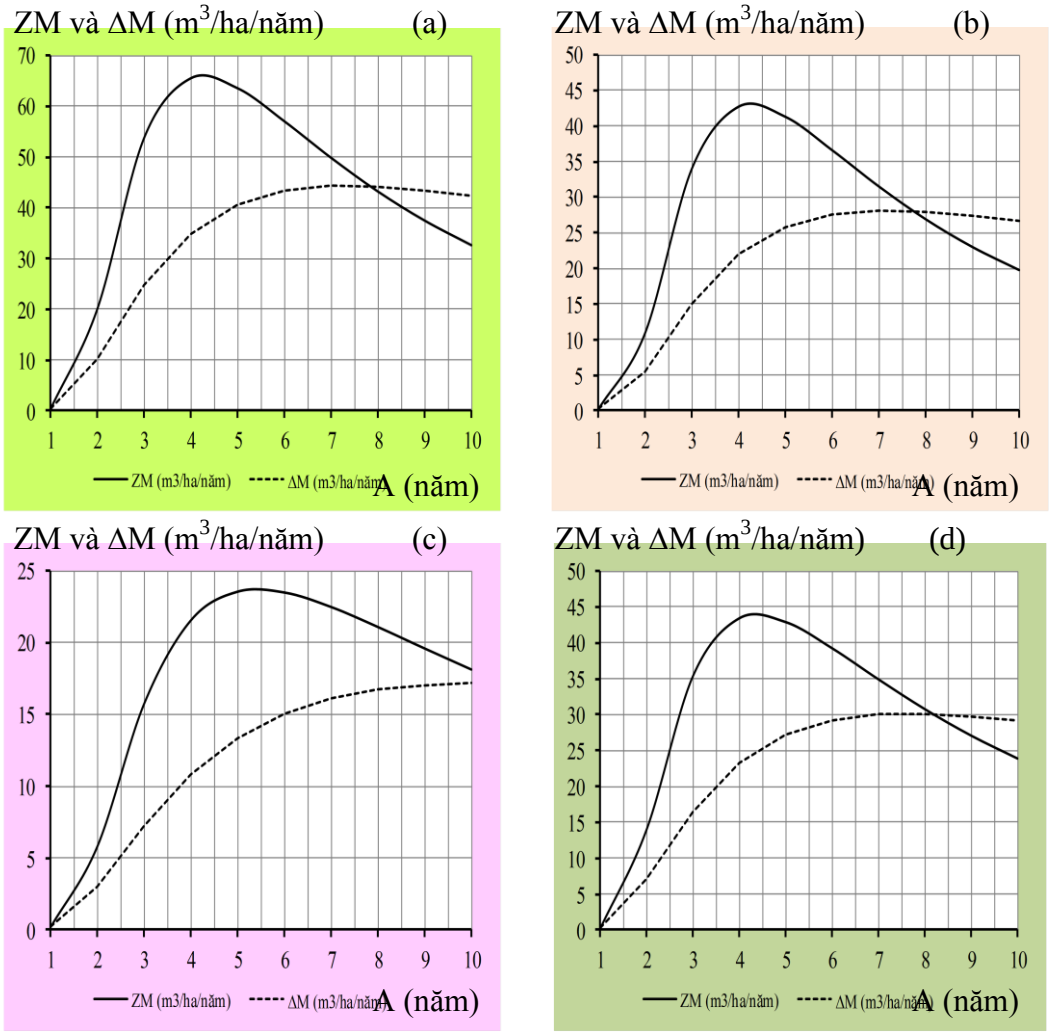
Thời điểm xuất hiện ZM_{Max} trên chỉ số SI_{24} và SI_{20} tại tuổi 4, còn SI_{16} ở sau tuổi 6; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 4. Tương tự, đại lượng ΔM_{Max} giảm dần từ cấp chỉ số SI_{24} (44,2 m^3/ha/năm) đến SI_{20} (28,0 m^3/ha/năm) và SI_{16} (17,2 m^3/ha/năm); trung bình 3 cấp chỉ số SI là 30,1 m^3/ha/năm. Thời điểm xuất hiện ΔM_{Max} trên chỉ số SI_{24} và SI_{20} tại tuổi 8, còn chỉ số SI_{16} ở sau tuổi 10; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 8.



Hình 4.9. Đồ thị biểu diễn quá trình sinh trưởng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI khác nhau.

Bảng 4.29. So sánh trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: 1 ha.

Cấp A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	M (m^3)	(%)	M (m^3)	(%)	M (m^3)	(%)
2	20,5	100	11,1	54,3	6,0	29,3
4	139,7	100	87,8	62,9	43,3	31,0
6	260,2	100	165,7	63,7	90,3	34,7
8	353,2	100	224,0	63,4	133,8	37,9
10	423,3	100	266,8	63,0	171,5	40,5
Trung bình		100		61,5		34,7



Hình 4.10. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai trên 3 chỉ số SI_{24} (a), SI_{20} (b), SI_{16} (c) và bình quân chung (d).

4.3. Các hàm thống kê sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai

4.3.1. Các hàm thống kê sinh khối theo tuổi

Sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai được ghi lại ở Bảng 4.30 – 4.32. Hàm ước lượng B_i (kg/cây) = f(A) trên ba cấp chỉ số SI đã được kiểm định theo 4 hàm dự tuyển (Korf, Korsun - Strand, lũy thừa, Drakin - Vuevski).

Bảng 4.30. Sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: kg/cây

A (năm)	N (cây)	B_{T0}	B_T	B_C	B_L	B_{CL}
2	54	3,9	1,9	0,6	1,3	2,0
3	54	14,2	9,9	2,1	2,2	4,3
4	54	35,1	28,2	3,9	2,9	6,8
5	54	54,0	43,4	6,6	4,0	10,6
6	54	93,2	76,3	11,8	5,1	16,9
7	54	124,0	105,3	13,1	5,6	18,7
8	54	161,6	135,7	19,3	6,6	25,9
9	54	219,9	194,0	18,7	7,2	25,9
10	54	250,9	216,7	26,2	7,9	34,2

Bảng 4.31. Sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: kg/cây

A (năm)	N (cây)	B_{T0}	B_T	B_C	B_L	B_{CL}
2	54	5,7	3,4	1,3	1,0	2,3
3	54	17,7	12,8	3,2	1,7	4,9
4	54	35,4	28,0	4,9	2,4	7,3
5	54	55,4	45,4	7,0	3,0	10,0
6	54	75,7	64,0	8,6	3,2	11,8
7	54	100,7	85,7	11,3	3,7	15,0
8	54	130,4	113,9	12,7	3,8	16,5
9	54	168,3	150,8	12,8	4,7	17,5
10	54	169,7	150,4	14,7	4,5	19,3

Những phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với chỉ số SI_{24}, tất cả bốn hàm dự tuyển này đều nhận hệ số xác định rất cao; trong đó cao nhất là Korsun – Strand (r^2 = 98,78%), thấp nhất là hàm lũy thừa (r^2 = 98,58%). Những sai lệch của

hàm Korsun – Strand là thấp nhất (SEE = ±9,4; ME = 0,045; MAE = 6,0; MAPE = 6,7% và SSE = 4469,9), cao nhất là hàm lũy thừa (tương ứng 10,0; -0,753; 6,8; 12,1% và 5197,8). Từ những phân tích sai lệch của 4 hàm này cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand (Hàm 4.29; Bảng 4.33 và 4.34) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(A)$ đối với chỉ số SI_{24}. Những phân tích hồi quy cũng cho thấy hàm Korsun – Strand là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng B_T, B_C, B_L và B_{CL} (Hàm 4.30 – 4.33; Bảng 4.33 và 4.34).

Bảng 4.32. Sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: kg/cây

A (năm)	N (cây)	B_{T0}	B_T	B_C	B_L	B_{CL}
2	54	6,6	5,0	0,6	1,1	1,6
3	54	15,5	11,8	1,9	1,8	3,7
4	54	23,4	17,7	3,5	2,2	5,7
5	54	35,6	27,3	6,1	2,1	8,2
6	54	50,2	39,9	6,7	3,7	10,4
7	54	67,1	54,5	8,8	3,8	12,6
8	54	79,2	66,3	10,4	2,5	13,0
9	54	94,9	78,1	12,3	4,5	16,8
10	54	109,2	91,4	13,8	3,9	17,7

Bảng 4.33. Các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi của cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(A)$:	
Tổng số	$B_{To} = A^2/(0,719514-0,0800942\times A+0,0048293\times A^2)$	(4.29)
Thân	$B_T = A^2/(1,01967-0,132002\times A+0,00763764\times A^2)$	(4.30)
Cành	$B_C = A^2/(4,52559-0,333908\times A+0,0282014\times A^2)$	(4.31)
Lá	$B_L = A^2/(1,72822+0,717259\times A+0,0385407\times A^2)$	(4.32)
Cành và lá	$B_{CL} = A^2/(2,0333-0,00815287\times A+0,0109929\times A^2)$	(4.33)

Bảng 4.34. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,78	9,4	0,045	6,0	6,7	4469,9	(4.29)
Thân	98,51	9,1	0,142	5,5	8,4	4177,0	(4.30)
Cành	96,88	1,5	-0,083	1,1	15,9	115,8	(4.31)
Lá	98,96	0,2	0,003	0,2	4,1	2,6	(4.32)
Cành và lá	97,65	1,6	-0,024	1,1	6,8	137,7	(4.33)

Đối với chỉ số SI_{20}, hàm Korsun – Strand nhận hệ số xác định cao nhất (r^2 = 97,83%), thấp nhất là hàm lũy thừa (r^2 = 96,82%). Hàm Korsun – Strand cũng nhận những sai lệch thấp nhất (tương ứng SEE = 8,8; ME = 0,210; MAE = 5,6; MAPE = 8,4%; SSE = 3980,8), cao nhất là hàm lũy thừa (tương ứng 10,6; -1,069; 7,4; 23,1% và 3980,8). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand (Hàm 4.34; Bảng 4.35 và 4.36) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(A)$. Những phân tích hồi quy cũng cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_T, B_L và B_{CL} (Hàm 4.35, 4.37, 4.38; Bảng 4.35 và 4.36), còn hàm Drakin -Vuevski (Hàm 4.36; Bảng 4.35 và 4.36) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_C = f(A)$.

Bảng 4.35. Các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(A)$:	
Tổng số	$B_{To} = A^2/(0,844007-0,115889\times A+0,00892793\times A^2)$	(4.34)
Thân	$B_T = A^2/(1,19609-0,182665\times A+0,0128251\times A^2)$	(4.35)
Cành	$B_C = 16,3975\times(1-\exp(-0,361053\times A))^{5,05592}$	(4.36)
Lá	$B_L = A^2/(0,702055+1,36534\times A+0,0634652\times A^2)$	(4.37)
Cành và lá	$B_{CL} = A^2/(2,54095-0,212801\times A+0,0480839\times A^2)$	(4.38)

Bảng 4.36. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	97,83	8,8	0,210	5,6	8,4	3.980,8	(4.34)
Thân	97,65	8,3	0,291	5,2	10,7	3495,1	(4.35)
Cành	97,18	0,8	0,015	0,6	8,9	34,9	(4.36)
Lá	97,49	0,2	-0,001	0,2	5,7	2,0	(4.37)
Cành và lá	97,84	0,9	-0,006	0,6	5,2	41,9	(4.38)

Bảng 4.37. Các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(A)$:	
Tổng số	$B_{To} = A^2/(0,718016-0,0359518\times A+0,00537707\times A^2)$	(4.39)
Thân	$B_T = A^2/(1,0225-0,0706006\times A+0,00750078\times A^2)$	(4.40)
Cành	$B_C = 87,8279\times\exp(-7,27037\times A^{-0,591869})$	(4.41)
Lá	$B_L = 4,75613\times(1-\exp(-0,294258\times A))^{2,17472}$	(4.42)
Cành và lá	$B_{CL} = 26,4894\times(1-\exp(-0,189098\times A))^{2,4416}$	(4.43)

Bảng 4.38. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,69	4,2	-0,029	3,1	9,0	903,1	(4.39)
Thân	98,59	3,7	-0,024	2,7	10,8	703,3	(4.40)
Cành	98,57	0,5	-0,006	0,4	7,8	14,5	(4.41)
Lá	92,10	0,3	0,004	0,2	9,7	5,7	(4.42)
Cành và lá	99,01	0,6	0,004	0,4	4,6	15,7	(4.43)

Trên chỉ số SI_{16}, đối với hàm $B_{To} = f(A)$, hệ số r^2 cao nhất là Korsun – Strand (98,69%), thấp nhất là hàm lũy thừa (98,31%). Hàm Korsun – Strand nhận những

sai lệch là thấp nhất (tương ứng S = 4,2; ME = -0,029; MAE = 3,1; MAPE = 9,0% và SSE = 903,1), cao nhất là hàm lũy thừa (tương ứng 4,7; -0,444; 3,6; 15,4% và 1.168,4). Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand (Hàm 4.39; Bảng 4.37 và 4.38) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(A)$. Những phân tích hồi cũng cho thấy, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_T = f(A)$ (Hàm 4.40; Bảng 4.37 và 4.38). Hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_C = f(A)$ (Hàm 4.41; Bảng 4.37 và 4.38). Hàm Drakin –Vuevski (Hàm 4.42 và 4.43; Bảng 4.37 và 4.38) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_L = f(A)$ và $B_{CL} = f(A)$.

4.3.2. Các hàm thống kê sinh khối theo đường kính

Những hàm ước lượng B_i (kg/cây) = f(D) đối với cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI được kiểm định theo 4 hàm (Korf, Korsun-Strand, lũy thừa và Drakin – Vuevski). Bằng phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với SI_{24}, cả bốn hàm này đều nhận hệ số r^2 rất cao; trong đó cao nhất là Korsun - Strand (98,64%), thấp nhất là hàm Korf (98,20%). Những sai lệch (SEE, ME, MAE, MAPE và SSE) của hàm Korsun – Strand là thấp nhất (tương ứng 9,9; 1,662; 7,4; 24,3% và 6.571,5), cao nhất là hàm Korf (tương ứng 11,4; 1,911; 8,9; 24,3% và 6.571,5). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand (Hàm 4.44; Bảng 4.39 và 4.40) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(D)$. Tương tự, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand cũng là hàm thích hợp để xây dựng 4 hàm ước lượng B_T, B_C, B_L và B_{CL} (Hàm 4.45 - 4.48; Bảng 4.39 và 4.40).

Bảng 4.39. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(D)$:	
Tổng số	$B_{To} = D^2/(18{,}3085-1{,}63124\times D+0{,}0391146\times D^2)$	(4.44)
Thân	$B_T = D^2/(19{,}3004-1{,}62895\times D+0{,}036785\times D^2)$	(4.45)
Cành	$B_C = D^2/(79{,}2933-5{,}28174\times D+0{,}0976582\times D^2)$	(4.46)
Lá	$B_L = D^2/(3{,}49641+5{,}41053\times D-0{,}168648\times D^2)$	(4.47)
Cành và lá	$B_{CL} = D^2/(28{,}8586-0{,}867796\times D-0{,}00431437\times D^2)$	(4.48)

Bảng 4.40. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,64	9,9	1,662	7,4	13,6	4.970,2	(4.44)
Thân	98,52	9,0	0,535	5,7	9,0	4.148,0	(4.45)
Cành	96,80	1,5	-0,038	1,1	9,6	118,8	(4.46)
Lá	98,89	0,2	0,000	0,2	4,2	2,8	(4.47)
Cành và lá	97,51	1,7	0,022	1,2	8,9	145,8	(4.48)

Đối với SI_{20}, hàm Korsun-Strand nhận hệ số r^2 cao nhất (97,71%), thấp nhất là hàm Korf (97,51%). Hàm Korsun – Strand cũng nhận những giá trị sai lệch thấp nhất (tương ứng SEE = 9,1; ME = 1,307; MAE = 6,4; MAPE = 13,3% và SSE = 4210,8), cao nhất là hàm Korf (tương ứng 9,5; 1,137; 6,7; 17,6% và 4565,5). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand (Hàm 4.49; Bảng 4.41 và 4.42) là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(D)$. Những phân tích hồi quy tương quan cũng cho thấy hàm Korsun – Strand cũng là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_T, B_C, B_L và B_{CL} (Hàm 4.50 – 4.53; Bảng 4.41 và 4.42).

Bảng 4.41. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(D)$:	
Tổng số	$B_{To} = D^2/(14.0055-1.54495\times D+0.0475874\times D^2)$	(4.49)
Thân	$B_T = D^2/(14.761-1.55215\times D+0.0457073\times D^2)$	(4.50)
Cành	$B_C = D^2/(74.1223-7.92078\times D+0.275313\times D^2)$	(4.51)
Lá	$B_L = D^2/(-7.17882+7.27588\times D-0.221596\times D^2)$	(4.52)
Cành và lá	$B_{CL} = D^2/(25.1995-1.6582\times D+0.056493\times D^2)$	(4.53)

Trên chỉ số SI_{16}, hàm Korsun-Strand nhận hệ số r^2 cao nhất (98,69%), thấp nhất là hàm Korf (98,09%). Hàm Korsun-Strand nhận sai lệch nhỏ nhất (tương ứng SEE = 4,2; ME = 0,069; MAE = 3,0; MAPE = 6,6% và SSE = 900,0), cao nhất là

hàm Korf (tương ứng 5,1; 1,113; 4,0; 16,9% và 1319,7). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm Korsun – Strand là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(D)$. Những phân tích hồi quy tương quan cũng cho thấy hàm Korsun – Strand là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng B_T, B_C và B_{CL}, còn hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_L (Hàm 3.54 – 3.58; Bảng 4.43 và 4.44).

Bảng 4.42. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	97,71	9,1	1,307	6,4	13,3	4.210,8	(4.49)
Thân	97,60	8,4	0,409	5,3	8,7	3.565,9	(4.50)
Cành	97,18	0,8	0,016	0,5	8,7	34,8	(4.51)
Lá	97,71	0,2	0,001	0,1	5,0	1,9	(4.52)
Cành và lá	97,80	0,9	0,030	0,6	7,6	42,6	(4.53)

Bảng 4.43. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(D)$:	
Tổng số	$B_{To} = D^2/(3,83716-0,180974\times D+0,000826636\times D^2)$	(4.54)
Thân	$B_T = D^2/(5,81635-0,37969\times D+0,00627051\times D^2)$	(4.55)
Cành	$B_C = D^2/(22,0386-0,598269\times D-0,00659913\times D^2)$	(4.56)
Lá	B_L = 165953,×exp(-14,3356×D^-0,118005)	(4.57)
Cành và lá	$B_{CL} = D^2/(10,4457+0,119627\times D-0,0120215\times D^2)$	(4.58)

Bảng 4.44. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,69	4,2	0,069	3,0	6,6	900,0	(4.54)
Thân	98,59	3,7	0,069	2,7	7,8	699,3	(4.55)
Cành	98,54	0,5	-0,019	0,4	9,3	14,8	(4.56)
Lá	91,56	0,4	0,003	0,3	9,7	6,1	(4.57)
Cành và lá	99,00	0,6	0,004	0,4	4,4	15,9	(4.58)

4.3.3. Các hàm thống kê sinh khối theo đường kính và chiều cao

Những hàm ước lượng $B_i = f(D, H)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI được kiểm định theo 5 hàm (2.42) – (2.46). Phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với chỉ số SI_{24}, hàm 2.50 có hệ số R^2 cao nhất (98,56%), thấp nhất là hàm 2.46 (97,49%). Hàm 2.50 nhận những giá trị sai lệch nhỏ nhất (SEE = 10,1; ME = 1,428; MAE = 7,6; MAPE = 18,2% và SSE = 5265,8), cao nhất là hàm 2.46 (SEE = 13,4; ME = $-2{,}8.10^{8}$; MAE = 11,1; MAPE = 34,4% và SSE = 9195,4). Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.50 là hàm thích hợp để xây dựng hàm $B_{To} = f(D, H)$. Tương tự, hàm 2.50 cũng là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_T = f(D, H)$. Hàm 2.47 là hàm thích hợp để xây dựng ba hàm ước lượng B_C, B_L và B_{CL}. Bảng 4.45 và 4.46 tổng hợp các hàm sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} (Hàm 4.59 – 4.63; Bảng 4.45 và Bảng 4.46).

Bảng 4.45. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(D, H)$:	
Tổng số	$B_{To} = 0{,}000432425\times(D\times H)^{2{,}18642}$	(4.59)
Thân	$B_T = 0{,}000182313\times(D\times H)^{2{,}30637}$	(4.60)
Cành	$B_C = 0{,}280466+1{,}35807\times D^2+0{,}00535292\times D^3-1{,}66869\times(D^3/H)$	(4.61)
Lá	$B_L = 0{,}66254+0{,}138472\times D^2+0{,}000315877\times D^3-0{,}14927\times(D^3/H)$	(4.62)
Cành - lá	$B_{CL} = 0{,}923128+1{,}54223\times D^2+0{,}0056336\times D^3-1{,}87191\times(D^3/H)$	(4.63)

Bảng 4.46. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,56	10,1	1,428	7,6	18,2	5265,8	(4.59)
Thân	98,32	9,5	1,064	6,7	19,1	4721	(4.60)
Cành	97,16	1,5	$2{,}5.10^{-14}$	1,1	16,1	105,6	(4.61)
Lá	99,01	0,2	$6{,}6.10^{-14}$	0,2	3,9	2,5	(4.62)
Cành và lá	97,78	1,6	$1{,}2.10^{-13}$	1,2	9,6	129,9	(4.63)

Đối với chỉ số SI_{20}, hàm 2.47 có hệ số R^2 cao nhất (98,08%), thấp nhất là hàm 2.46 (95,50%). Hàm 2.47 nhận những giá trị sai lệch thấp nhất (SEE = 8,4; ME = $2,7.10^{-10}$; MAE = 5,9; 13,3% và SSE = 3520,0), cao nhất là hàm 2.46 (SEE = 12,7; ME = 0,259; MAE = 7,6; MAPE= 10,8% và SSE = 8263,9). Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.47 là hàm thích hợp để xây dựng hàm B_{To} = f(D,H) và B_T = f(D, H). Hàm 2.48 là hàm thích hợp để xây dựng hàm B_C = f(D,H) và B_{CL} = f(D,H). Bảng 4.47 và 4.48 tổng hợp các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Hàm 4.64 – 4.68; Bảng 4.47 và Bảng 4.48).

Bảng 4.47. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	Phương trình B_i = f(D, H):	
Tổng số	$B_{To} = 11,2536-13,5705\times D^2+0,0746476\times D^3+15,7165\times(D^3/H)$	(4.64)
Thân	$B_T = 11,5688-13,8775\times D^2+0,074065\times D^3+16,0032\times(D^3/H)$	(4.65)
Cành	$B_C = 0,291246+0,0785646\times D^2-0,407334\times(D^2/H)$	(4.66)
Lá	$B_L = 0,746681-0,246676\times D^2+0,00016696\times D^3+0,31352\times(D^3/H)$	(4.67)
Cành+lá	$B_{CL} = 0,820314+0,0935367\times D^2-0,37298\times(D^2/H)$	(4.68)

Bảng 4.48. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,08	8,4	$2,7.10^{-10}$	5,9	13,3	3520,0	(4.64)
Thân	97,91	7,9	$2,9.10^{-10}$	5,8	19,2	3109,8	(4.65)
Cành	96,69	0,9	$-6,5.10^{-11}$	0,7	11,5	41,02	(4.66)
Lá	97,77	0,2	$7,6.10^{-15}$	0,2	5,7	1,8	(4.67)
Cành và lá	97,73	0,9	$-6,4.10^{-11}$	0,7	6,5	44,0	(4.68)

Đối với chỉ số SI_{16}, đối với hàm B_{To} = f(D,H), hàm 2.47 có hệ số R^2 cao nhất (98,67%), thấp nhất là hàm 2.46 (96,35%). Hàm 2.47 nhận những giá trị sai lệch thấp

nhất (SEE = 4,3; ME = $1,0.10^{-11}$; MAE = 3,2; MAPE = 9,6% và SSE = 914,0), cao nhất là hàm 2.46 (SEE = 7,0; ME = -0,062; MAE = 4,9; MAPE = 10,3% và SSE = 2520,1). Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.47 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{To} = f(D, H)$. Tương tự, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.47 cũng là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_T, B_C, B_L và B_{CL} (Hàm 4.69 – 4.73; Bảng 4.49 và Bảng 4.50).

Bảng 4.49. Các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(D, H)$:	
Tổng số	$B_{To} = 3,94837+0,774607\times D^2+0,0505276\times D^3-1,00299\times(D^3/H)$	(4.69)
Thân	$B_T = 3,82785+0,54583\times D^2+0,0490942\times D^3-0,826605\times(D^3/H)$	(4.70)
Cành	$B_C = -0,129934+0,134749\times D^2+0,003051\times D^3-0,11679\times(D^3/H)$	(4.71)
Lá	$B_L = 0,250444+0,0940304\times D^2-0,001618\times D^3-0,059597\times(D^3/H)$	(4.72)
Cành và lá	$B_{CL} = 0,120511+0,228778\times D^2+0,001433\times D^3-0,17639\times(D^3/H)$	(4.73)

Bảng 4.50. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối theo đường kính và chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	98,67	4,3	$1,0.10^{-11}$	3,2	9,6	914,0	(4.69)
Thân	98,56	3,8	$1,1.10^{-11}$	2.9	12.3	717,9	(4.70)
Cành	98,53	0,6	$1,2.10^{-11}$	0,4	6,3	14,9	(4.71)
Lá	91,93	0,3	$1,2.10^{-11}$	0,3	9,7	5,9	(4.72)
Cành và lá	99,02	0,6	$1,2.10^{-11}$	0,4	4,3	15,5	(4.73)

4.3.4. Hàm ước lượng tổng sinh khối cây bình quân theo D, H và chỉ số SI

Hàm ước lượng B_{T0} ở mức cây bình quân theo ba biến D, H và chỉ số SI được kiểm định theo 3 hàm (2.47), (2.48) và (2.49). Những phân tích tương quan cho thấy B_{T0} có quan hệ dương chặt chẽ với 10 biến dự đoán (A, A^2, D, Ln(D), H, Ln(H), (D^2H), SI, (SI/H) và Ln(SI/H). Các biến dự đoán này cũng có quan hệ chặt

chẽ với nhau hay cộng tuyến tính (Bảng 4.51). Vì thế, ba hàm này không chỉ được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất (BFNN), mà còn theo phương pháp hồi quy Ridge. Phương pháp hồi quy Ridge không chỉ cho phép loại bỏ hiện tượng cộng tuyến tính giữa các biến dự đoán, mà còn làm giảm biến động của các hệ số hồi quy. Điều đó cho phép dự đoán B_{T0} với sai lệch nhỏ hơn. Kết quả phân tích hồi quy tương quan theo 2 phương pháp này được dẫn ra ở Bảng 4.52 – 4.55.

Theo phương pháp BFNH (Bảng 4.52 và 4.53), hệ số R^2 nhận giá trị lớn nhất ở hàm 2.51a (98,55%), thấp nhất ở hàm 2.52a (94,06%). Ba hàm này đều nhận sai số hệ thống; trong đó lớn nhất ở hàm 2.51a (MPE = 19,0%), thấp nhất ở hàm 2.53a (MPE = 0,35%). So với SSE ở hàm 2.51a (123,5 hay 1,0), giá trị này ở hàm 2.52a (SSE = 664,6) và hàm 2.53a (SSE = 202,8) lớn hơn tương ứng 5,38 lần và 1,64 lần. Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.51a là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_{T0} = f(LnD, LnH, Ln(SI/H)).

Bảng 4.51. Ma trận tương quan giữa tổng sinh khối trên mặt đất ở mức cây bình quân với 10 biến dự đoán khác nhau

Biến	Thống kê	A	A^2	D	LnD	H	LnH	D^2H	SI	(SI/H)	LnSH
B_{T0}	r	0,89	0,90	0,92	0,83	0,92	0,84	0,96	0,32	-0,69	-0,77
	P	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01
A	r		0,98	0,86	0,85	0,86	0,85	0,79	0,00	-0,85	-0,93
	P		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,00	0,01	0,01
A^2	r			0,81	0,77	0,81	0,77	0,78	0,00	-0,75	-0,84
	P			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,00	0,01	0,01
D	r				0,98	1,00	0,98	0,94	0,45	-0,83	-0,86
	P				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ln(D)	r					0,98	1,00	0,85	0,39	-0,91	-0,91
	P					0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
H	r						0,98	0,94	0,45	-0,83	-0,86
	P						0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Ln(H)	r							0,86	0,40	-0,90	-0,91
	P							0,01	0,01	0,01	0,01
(D^2H)	r								0,52	-0,65	-0,70
	P								0,01	0,01	0,01
SI	r									0,01	0,02

	P		0,98	0,93
(SI/H)	r			0,99
	P			0,01

Bảng 4.52. Các hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo ba biến D, H và chỉ số SI đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai. Phương pháp BFNN

Tham số	Hàm tổng sinh khối:		
	(2.47a)	(2.48a)	(2.49a)
b_0	-2,26779	24,02470	1,47968
b_1	8,80496	0,02671	2,44927
b_2	10,79410	8,00262	0,95178
b_3	-1,63246		0,02007
b_4			0,64957
	(4.74)	(4.75)	(4.76)

Bảng 4.53. Kiểm định các hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo ba biến D, H và chỉ số SI đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai. Phương pháp BFNN

Thống kê	Hàm tổng sinh khối:		
	(2.47a)	(2.48a)	(2.49a)
r^2	98,55	94,06	98,18
SSE	123,5	664,6	202,8
MSE	5,40	27,69	9,22
SEE	2,30	5,26	3,03
MAE	5,20	10,32	5,81
MAPE	22,9	36,4	14,2
ME	1,8	-2,88E-06	9,36E-08
MPE	19,0	-12,4	0,35
	(4.74)	(4.75)	(4.76)

Bảng 4.54. Các hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo ba biến D, H và chỉ số SI đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai. Phương pháp hồi quy Ridge

Tham số	Hàm tổng sinh khối:		
	(2.47b)	(2.48b)	(2.49b)
b_0	1,18440	39,44040	-13,74760
b_1	0,66035	0,02304	4,34096
b_2	0,67463	-12,43330	0,52567
b_3	-1,44992		0,01649
b_4			1,44349
	(4.77)	(4.78)	(4.79)

Bảng 4.55. Kiểm định các hàm ước lượng tổng sinh khối trên mặt đất theo ba biến D, H và chỉ số SI đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai. Phương pháp hồi quy Ridge

Thống kê	Hàm tổng sinh khối:		
	(2.47b)	(2.48b)	(2.49b)
r^2	96,94	87,09	93,45
SSE	909,81	757,32	278,72
MSE	39,56	31,56	12,67
SEE	6,29	5,62	3,56
MAE	8,2	11,54	5,73
MAPE	12,9	40,0	12,8
ME	4,0	4,19E-02	2,58E-02
MPE	-1,1	6,9	2,3
	(4.77)	(4.78)	(4.79)

Theo phương pháp hồi quy Ridge (Bảng 4.54 và 4.55), hệ số R^2 nhận giá trị lớn nhất ở hàm 2.51b (96,94%), thấp nhất ở hàm 2.52b (87,09%). Ba hàm này đều nhận sai số hệ thống; trong đó lớn nhất ở hàm 2.52b (MPE = 6,9%), thấp nhất ở

hàm 2.51b (MPE = -1,1%). Hàm 2.51b nhận SSE (909,81) lớn hơn 1,2 lần và 3,3 lần tương ứng so với hàm 2.52b (SSE = 757,3) và hàm 2.53b (SSE = 278,7). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.53b là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_{T0} = f(A, A^2, (D^2×H), (SI/H)).

So sánh hai hàm được xác định theo phương pháp BFNN (Hàm 2.47a ở Bảng 4.52 và 4.53) và hồi quy Ridge (Hàm 2.47b ở Bảng 4.54 và 4.55) cho thấy, giá trị SSE theo phương pháp hồi quy Ridge (278,7) lớn hơn 2,26 lần so với phương pháp BFNN (123,5). Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.47a (Phương pháp BFNN) là hàm ước lượng B_{T0} tốt hơn so với Hàm 2.48b (Phương pháp hồi quy Ridge). Nguyên nhân là vì hàm hồi quy được xác định theo phương pháp BFNN nhận được phương sai nhỏ nhất và không chệch. Thế nhưng, theo phương pháp BFNN, đại lượng B_{T0} lại có quan hệ âm với A, Ln(D) và Ln(SI/H). Điều đó có nghĩa là B_{T0} giảm theo sự gia tăng A, D và SI. Kết quả này phản ánh không đúng mối quan hệ giữa B_{T0} với A, D và chỉ số SI. Theo phương pháp hồi quy Ridge, B_{T0} tồn tại quan hệ dương với biến A, Ln(D) và Ln(SI/H), nghĩa là B_{T0} gia tăng cùng với sự gia tăng A, D và SI. Kết quả này phản ánh đúng mối quan hệ giữa B_{T0} với A, D và chỉ số SI. Vì thế, theo tiêu chuẩn SSE_{Min}, hàm 2.47a là hàm thích hợp để ước lượng B_{T0} ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai. Trái lại, khi phân tích mối quan hệ giữa B_{T0} với A, D và chỉ số SI, thì hàm 2.49 là hàm thích hợp.

4.3.5. Xây dựng các hệ số điều chỉnh sinh khối ở mức cây bình quân

4.3.5.1. Các hàm ước lượng BEFi = f(A)

Bằng phân tích hồi quy tương quan cho thấy, các hệ số BEF_i (Tấn/m^3) (i = tổng số, thân, cành, lá, cành + lá) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai có quan hệ rất chặt chẽ với A (r^2 > 99,0%). Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo trên chỉ số SI_{24}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng BEF_{To}, BEF_T, BEF_L, BEF_{CL} và BEF_C (Hàm 4.80 - 4.84; Bảng 4.56 và 4.57).

Bảng 4.56. Các hàm BEFi = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Tham số	BEF_i (tấn/m^3) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	1,51183	1,09056	0,22778	0,33656	0,45933
A	-0,74691	-0,53243	-0,11364	-0,18273	-0,23279
A^2	0,1757	0,12472	0,02643	0,04053	0,05313
A^3	-0,01635	-0,01114	-0,00255	-0,00394	-0,00519
A^4	0,00055	0,00036	0,00009	0,00014	0,00018
	(4.80)	(4.81)	(4.82)	(4.83)	(4.84)

Bảng 4.57. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng BEF_i = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	r^2(%)	ME	±SEE	MAE	MAPE	
Tổng số	99,6	-5,4	0,0100	0,0058	1,10	(4.80)
Thân	99,8	-5,9	0,0069	0,0040	0,97	(4.81)
Cành	99,3	-4,6	0,0018	0,0010	1,65	(4.82)
Lá	99,5	-4,5	0,0026	0,0014	4,05	(4.83)
Cành và lá	99,2	-4,4	0,0031	0,0018	1,73	(4.84)

Đối với chỉ số SI_{20}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng BEF_{T0} = f(A), BEF_T = f(A), BEF_L = f(A) và BEF_{CL} = f(A). Hàm bậc 2 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng BEF_C = f(A) (Hàm 4.85 - 4.89; Bảng 4.58 và 4.59).

Bảng 4.58. Các hàm BEF_i = f(A) đối với cây bình quân trên chỉ số SI_{20}

Tham số	BEF_i (tấn/m^3) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
Hằng số	2,48167	1,82433	0,07716	0,6065	0,72672
A	-1,27949	-0,94778	0,00631	-0,35131	-0,36925

A^2	0,31000	0,23143	-0,00068	0,07953	0,08415
A^3	-0,03023	-0,02205		-0,00783	-0,00836
A^4	0,00104	0,00074		0,00028	0,00030
	(4.85)	(4.86)	(4.87)	(4.88)	(4.89)

Đối với chỉ số SI_{16}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ (Hàm 4.90 - 4.94; Bảng 4.60 và 4.61). Đối với cả 3 cấp chỉ số SI, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ (Hàm 4.95 - 4.99; Bảng 4.62 và 4.63).

Bảng 4.59. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	r^2(%)	ME	±SEE	MAE	MAPE	
Tổng số	98,8	-4,1	0,0155	0,0089	1,2	(4.85)
Thân	99,6	-4,9	0,0100	0,0057	0,9	(4.86)
Cành	98,2	-4,7	0,0010	0,0008	0,9	(4.87)
Lá	99,3	-3,8	0,0052	0,0030	7,4	(4.88)
Cành và lá	99,4	-4,0	0,0055	0,0032	2,4	(4.89)

Bảng 4.60. Các hàm $BEF_i = f(A)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Tham số	BEF_i ($tấn/m^3$) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	4,50039	3,24906	0,32944	0,74239	1,2
A	-2,12759	-1,5305	-0,08009	-0,38279	-0,55854
A^2	0,47819	0,34807	0,01351	0,08223	0,12002
A^3	-0,04659	-0,03393	-0,00112	-0,00789	-0,01156
A^4	0,00165	0,00120	0,00004	0,00028	0,00041
	(4.90)	(4.91)	(4.92)	(4.93)	(4.94)

Bảng 4.61. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,5	0,0273	-2,6	0,016	1,4	(4.90)
Thân	99,4	0,0192	-3,8	0,0112	1,3	(4.91)
Cành	99,9	0,0004	-4,7	0,0002	0,14	(4.92)
Lá	99,8	0,005	-4,0	0,003	3,7	(4.93)
Cành và lá	99,8	0,0070	-5,8	0,0040	1,8	(4.94)

Bảng 4.62. Các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Tham số	BEF_i (tấn/m^3) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	1,80333	1,31244	0,01967	0,41594	0,47928
A	-0,83796	-0,61276	0,03877	-0,22362	-0,21231
A^2	0,20071	0,14854	-0,00856	0,04941	0,04706
A^3	-0,01924	-0,01391	0,00082	-0,00480	-0,00458
A^4	0,00066	0,00046	-0,00003	0,00017	0,00016
	(4.95)	(4.96)	(4.97)	(4.98)	(4.99)

Bảng 4.63. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng $BEF_i = f(A)$ đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,3	0,0100	-5,1	0,0058	0,8	(4.95)
Thân	99,8	0,0068	-5,6	0,0040	0,7	(4.96)
Cành	99,8	0,0003	-4,7	0,0002	0,2	(4.97)
Lá	99,6	0,0032	-4,5	0,0019	4,3	(4.98)
Cành và lá	99,6	0,0027	-4,3	0,0015	1,2	(4.99)

Bằng cách khảo sát các hàm ở Bảng 4.56, 4.58, 4.60 và 4.62, xác định được các hệ số BEF ở những tuổi khác nhau đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.64 – 4.67).

Đối với cây bình quân trên chỉ số SI_{24} (Bảng 4.64), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T đều giảm nhanh từ tuổi 2 (tương ứng 0,599 và 0,441 tấn/m^3) đến tuổi 4 (tương ứng 0,430 và 0,334 tấn/m^3); sau đó gia tăng rất nhanh đến tuổi 10 (tương ứng 0,763 và 0,661 tấn/m^3). Hệ số BEF_C gia tăng liên tục từ tuổi 4 (0,056 tấn/m^3) đến tuổi 10 (0,077 tấn/m^3). Trái lại, hệ số BEF_L giảm liên tục từ tuổi 2 (0,104 tấn/m^3) đến tuổi 10 (0,025 tấn/m^3); trong đó giảm mạnh nhất từ tuổi 2 đến tuổi 4, giảm chậm từ tuổi 6 đến tuổi 10. Hiện tượng này cũng xảy ra đối với hệ số BEF_{CL}. Nói chung, giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên chỉ số SI_{24} tương ứng là 0,598; 0,489; 0,071; 0,045 và 0,110 (tấn/m^3).

Bảng 4.64. Các hệ số BEFi theo tuổi cây bình quân trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
2	0,599	0,441	0,087	0,104	0,168
4	0,430	0,334	0,056	0,038	0,093
6	0,537	0,441	0,063	0,030	0,093
8	0,663	0,568	0,070	0,026	0,096
10	0,763	0,661	0,077	0,025	0,101
Trung bình	0,598	0,489	0,071	0,045	0,110

Bảng 4.65. Các hệ số BEFi theo tuổi cây bình quân trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
2	0,938	0,690	0,087	0,164	0,263
4	0,656	0,513	0,091	0,044	0,138
6	0,788	0,659	0,090	0,034	0,124
8	0,882	0,774	0,084	0,028	0,110
10	0,891	0,790	0,072	0,027	0,100
Trung bình	0,831	0,685	0,085	0,059	0,147

Đối với cây bình quân trên chỉ số SI_{20} (Bảng 4.65), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T giảm nhanh từ tuổi 2 (tương ứng 0,938 và 0,690 tấn/m^3) đến tuổi 4 (tương ứng 0,656 và 0,513 tấn/m^3); sau đó gia tăng rất nhanh đến tuổi 10 (tương ứng 0,891 và 0,790 tấn/m^3). Hai hệ số BEF_C và BEF_L giảm rất nhanh từ 2 đến 10 tuổi. Nói chung, giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 đến tuổi 10 trên chỉ số SI_{20} tương ứng là 0,831; 0,685; 0,085; 0,059 và 0,147 (Tấn/m^3).

Bảng 4.66. Các hệ số BEFi theo tuổi cây cây bình quân trên chỉ số SI_{16}

A (năm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
2	1,812	1,328	0,215	0,247	0,477
4	1,082	0,831	0,163	0,094	0,251
6	1,025	0,820	0,139	0,064	0,204
8	0,990	0,817	0,126	0,046	0,173
10	0,957	0,804	0,116	0,037	0,153
Trung bình	1,173	0,920	0,152	0,098	0,252

Đối với cây bình quân trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.66), cả bốn hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L) đều suy giảm liên tục từ tuổi 2 đến tuổi 10; trong đó giảm mạnh nhất từ tuổi 2 đến tuổi 4, giảm chậm từ tuổi 6 đến tuổi 10. Giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) từ 2 đến 10 tuổi tương ứng là 1,173; 0,920; 0,152; 0,098 và 0,252 (Tấn/m^3).

Đối với cây bình quân trên cả ba chỉ số SI (Bảng 4.67), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T giảm nhanh từ tuổi 2 (tương ứng 0,787 và 0,577 tấn/m^3) đến tuổi 4 (tương ứng 0,600 và 0,465 tấn/m^3); sau đó gia tăng rất nhanh đến tuổi 10 (tương ứng 0,834 và 0,723 Tấn/m^3). Hai hệ số BEF_C và BEF_L giảm liên tục từ tuổi 2 đến tuổi 10. Nói chung, giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên ba chỉ số SI tương ứng là 0,742; 0,603; 0,088; 0,055 và 0,137 (Tấn/m^3).

Bảng 4.67. Các hệ số BEFi theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI (24, 20, 16m)

A (năm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối ($Tấn/m^3$):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
2	0,787	0,577	0,069	0,131	0,209
4	0,600	0,465	0,083	0,048	0,132
6	0,698	0,574	0,084	0,037	0,121
8	0,789	0,677	0,084	0,030	0,114
10	0,834	0,723	0,082	0,027	0,109
Trung bình	0,742	0,603	0,080	0,055	0,137

4.3.5.2. Các hàm ước lượng BEFi = f(D)

Phân tích hồi quy tương quan cho thấy hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng $BEF_i = f(D)$ đối với rừng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.68 – 4.75). Các hàm ước lượng này đều có hệ số xác định rất cao (r^2 > 99,0%) và sai lệch rất nhỏ (MAPE < 5,0%). Hiện tượng này xảy ra là vì các hệ số BEF_i trên cả ba cấp chỉ số SI đều được xác định từ các hàm ước lượng $B_i = f(D)$ và $V_T = f(A)$.

Bảng 4.68. Các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Tham số	BEF_i ($Tấn/m^3$) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	1,47675	1,0968	0,22286	0,31345	0,43354
D	-0,22084	-0,16541	-0,03427	-0,05132	-0,06607
D^2	0,01385	0,01033	0,00222	0,00315	0,00416
D^3	-0,00022	-0,00015	-0,00004	-0,00007	-0,00008
	(4.100)	(4.101)	(4.102)	(4.103)	(4.104)

Bảng 4.69. Thống kê tương quan và sai lệch đối với các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0032	$6,3.10^{-12}$	0,0021	0,4	(4.100)
Thân	99,9	0,0043	$6,2.10^{-12}$	0,0027	0,5	(4.101)
Cành	99,7	0,0007	$6,1.10^{-12}$	0,0004	0,7	(4.102)
Lá	99,9	0,0011	$6,1.10^{-12}$	0,0007	2,1	(4.103)
Cành và lá	99,8	0,0014	$6,1.10^{-12}$	0,0009	0,9	(4.104)

Bảng 4.70. Các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Tham số	BEF_i ($Tấn/m^3$) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	2,62223	2,04892	0,10774	0,53082	0,66646
D	-0,54703	-0,44794	-0,00969	-0,10967	-0,12291
D^2	0,04818	0,04043	0,00139	0,00816	0,00961
D^3	-0,00130	-0,00108	-0,00006	-0,00020	-0,00026
	(4.105)	(4.106)	(4.107)	(4.108)	(34.109)

Bảng 4.71. Thống kê tương quan và sai lệch đối với các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,5	0,0091	$3,2.10^{-12}$	0,0057	0,7	(4.105)
Thân	99,0	0,0138	$3,1.10^{-12}$	0,0089	1,3	(4.106)
Cành	99,8	0,0004	$2,8.10^{-12}$	0,0002	0,3	(4.107)
Lá	99,8	0,0025	$2,8.10^{-12}$	0,0016	3,9	(4.108)
Cành và lá	99,9	0,0023	$2,9.10^{-12}$	0,0015	1,1	(4.109)

Bảng 4.72. Các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Tham số	BEF_i ($Tấn/m^3$) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	4,07593	2,97766	0,29829	0,63745	1,05523
D	-0,85166	-0,62678	-0,02648	-0,14109	-0,21005
D^2	0,07979	0,06001	0,00147	0,01199	0,01815
D^3	-0,00252	-0,00190	-0,00004	-0,00036	-0,00056
	(4.110)	(4.111)	(4.112)	(4.113)	(4.114)

Bảng 4.73. Thống kê tương quan và sai lệch đối với các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0111	$1,2.10^{-12}$	0,0071	0,6	(4.110)
Thân	99,9	0,0068	$1,1.10^{-12}$	0,0043	0,5	(4.111)
Cành	99,9	0,0006	$9,0.10^{-13}$	0,0004	0,3	(4.112)
Lá	99,9	0,0023	$9,4.10^{-13}$	0,0016	2,4	(4.113)
Cành và lá	99,9	0,0034	$9,7.10^{-13}$	0,0022	1,0	(4.114)

Bảng 4.74. Các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI

Tham số	BEF_i ($Tấn/m^3$) đối với những thành phần:				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành-lá
Hằng số	1,81945	1,38838	0,033098	0,37385	0,44556
D	-0,32822	-0,26209	0,01016	-0,07223	-0,07101
D^2	0,02749	0,02257	-0,0006	0,00530	0,00535
D^3	-0,00068	-0,00055	0,00001	-0,00013	-0,00014
	(4.115)	(4.116)	(4.117)	(4.118)	(4.119)

Bảng 4.75. Thống kê tương quan và sai lệch đối với các hàm ước lượng BEFi = f(D) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,8	0,0048	$2,7.10^{-12}$	0,0031	0,4	(4.115)
Thân	99,6	0,0073	$2,7.10^{-12}$	0,0049	0,8	(4.116)
Cành	99,9	0,0003	$2,5.10^{-12}$	0,0002	0,2	(4.117)
Lá	99,8	0,0016	$2,6.10^{-12}$	0,0010	2,5	(4.118)
Cành và lá	99,9	0,0012	$2,6.10^{-12}$	0,0007	0,6	(4.119)

Bằng cách khảo sát các hàm (4.100) - (4.119) ở Bảng 4.68, 4.70, 4.72 và 4.74, xác định được khuynh hướng biến đổi của các hệ số BEF theo cấp đường kính đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai (Bảng 4.76 – 4.79).

Bảng 4.76. Các hệ số BEFi theo cấp đường kính của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên chỉ số SI_{24}

Cấp D (cm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
6	0,603	0,444	0,088	0,105	0,169
8	0,483	0,359	0,069	0,071	0,128
10	0,433	0,328	0,059	0,049	0,104
12	0,440	0,344	0,056	0,037	0,093
14	0,494	0,401	0,059	0,031	0,091
16	0,586	0,490	0,066	0,028	0,094
18	0,703	0,605	0,073	0,025	0,098
20	0,836	0,739	0,079	0,019	0,099
Trung bình	0,572	0,464	0,069	0,046	0,110

Đối với cây Keo lai trên chỉ số SI_{24} (Bảng 4.76), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T đều giảm nhanh từ cấp D = 6 cm (tương ứng 0,603 và 0,444 tấn/m^3) đến cấp D = 10 cm (tương ứng 0,433 và 0,328 tấn/m^3); sau đó gia tăng rất nhanh từ cấp D = 12 cm

(tương ứng 0,440 và 0,344 tấn/m^3) đến cấp D = 20 cm (tương ứng 0,836 và 0,739 tấn/m^3). Hệ số BEF_C gia tăng liên tục từ cấp D = 6 cm (0,088 tấn/m^3) đến cấp D = 20 cm (0,079 tấn/m^3). Trái lại, hệ số BEF_L giảm liên tục từ cấp D = 6 cm (0,105 tấn/m^3) đến cấp D = 20 cm (0,019 tấn/m^3). Hệ số BEF_{CL} giảm dần từ cấp D = 6 cm (0,169 tấn/m^3) đến cấp = 14 cm (0,091 tấn/m^3); sau đó gia tăng dần đến cấp D = 20 cm (0,099 tấn/m^3). Giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI I từ cấp D = 6 cm đến cấp D = 20 cm tương ứng là 0,572; 0,464; 0,069; 0,046 và 0,110 (Tấn/m^3).

Bảng 4.77. Các hệ số BEFi theo cấp đường kính của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên chỉ số SI_{20}

Cấp D (cm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
4	1,122	0,835	0,088	0,210	0,312
6	0,795	0,583	0,087	0,122	0,219
8	0,666	0,499	0,090	0,070	0,165
10	0,674	0,531	0,092	0,045	0,138
12	0,757	0,627	0,092	0,034	0,126
14	0,852	0,735	0,086	0,030	0,116
16	0,897	0,803	0,072	0,023	0,095
Trung bình	0,823	0,659	0,087	0,076	0,167

Đối với cây Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Bảng 4.77), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T đều giảm nhanh từ cấp D = 4 cm (tương ứng 1,122 và 0,835 tấn/m^3) đến cấp = 8 cm (tương ứng 0,666 và 0,499 tấn/m^3); sau đó gia tăng dần từ cấp D = 10 cm (tương ứng 0,674 và 0,531 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (tương ứng 0,897 và 0,803 tấn/m^3). Hệ số BEF_C giảm liên tục từ cấp D = 4 cm (0,088 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (0,072 tấn/m^3). Hệ số BEF_L cũng giảm liên tục từ cấp D = 4 cm (0,210 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (0,023 tấn/m^3). Hệ số BEF_{CL} cũng giảm dần từ cấp D = 4 cm (0,434 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (0,095 tấn/m^3). Giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T,

BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} từ cấp D = 4 cm đến cấp D = 16 cm tương ứng là 0,823; 0,659; 0,087; 0,076 và 0,167 (Tấn/m^3).

Bảng 4.78. Các hệ số BEFi theo cấp đường kính của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên chỉ số SI_{16}

Cấp D (cm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
4	1,785	1,309	0,213	0,242	0,469
6	1,295	0,968	0,184	0,145	0,327
8	1,080	0,833	0,161	0,091	0,248
10	1,021	0,814	0,142	0,065	0,207
12	0,996	0,819	0,126	0,048	0,176
14	0,884	0,759	0,111	0,023	0,128
Trung bình	1,177	0,917	0,156	0,102	0,259

Đối với cây Keo lai trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.78), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T giảm dần từ cấp D = 4 cm (tương ứng 1,785 và 1,309 tấn/m^3) đến cấp D = 14 cm (tương ứng 0,884 và 0,814 tấn/m^3). Hai hệ số BEF_C và BEF_L cũng giảm liên tục từ cấp D = 4 cm (tương ứng 0,213 và 0,242 tấn/m^3) đến cấp D = 14 cm (tương ứng 0,111 và 0,023 tấn/m^3). Hệ số BEF_{CL} giảm dần từ cấp D = 4 cm (0,469 tấn/m^3) đến cấp D = 14 cm (0,128 tấn/m^3). Giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} từ cấp D = 4 cm đến cấp D = 14 cm tương ứng là 1,177; 0,917; 0,156; 0,102 và 0,259 (Tấn/m^3).

Đối với cây Keo lai trên cả ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.79), hai hệ số BEF_{To} và BEF_T đều giảm nhanh từ cấp D = 4 cm (tương ứng 0,903 và 0,666 tấn/m^3) đến cấp D = 8 cm (tương ứng 0,607 và 0,456 tấn/m^3); sau đó gia tăng dần từ cấp D = 10 cm (tương ứng 0,610 và 0,477 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (tương ứng 0,836 và 0,729 tấn/m^3). Hệ số BEF_C và BEF_L giảm liên tục từ cấp D = 4 cm (tương ứng 0,105 tấn/m^3 và 0,172 tấn/m^3) đến cấp D = 16 cm (tương ứng 0,083 tấn/m^3 và 0,025 tấn/m^3). Giá trị trung bình của 5 hệ số (BEF_{To}, BEF_T, BEF_C, BEF_L và BEF_{CL}) đối

với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI từ cấp D = 4 cm đến cấp D = 16 cm tương ứng là 0,725; 0,575; 0,079; 0,068 và 0,149 (Tấn/m^3).

Bảng 4.79. Các hệ số BEFi theo cấp đường kính của rừng trồng Keo lai từ 2 đến 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI

Cấp D (cm)	Hệ số BEF_i theo các thành phần sinh khối (Tấn/m^3):				
	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành - lá
4	0,903	0,666	0,06434	0,16117	0,238
6	0,694	0,510	0,07379	0,10234	0,182
8	0,607	0,456	0,07988	0,06656	0,148
10	0,610	0,477	0,08321	0,04739	0,131
12	0,671	0,547	0,08434	0,03837	0,123
14	0,757	0,639	0,08385	0,03305	0,117
16	0,836	0,729	0,08233	0,02497	0,107
Trung bình	0,725	0,575	0,079	0,068	0,149

4.3.6. Các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân

4.3.6.1. Đặc điểm tỉ lệ sinh khối của các thành phần so với sinh khối thân

Đặc trưng thống kê tỉ lệ sinh khối (R_i) của các thành phần so với sinh khối thân của cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi được ghi lại ở Bảng 4.80. Từ đó cho thấy, tỉ lệ R_i thay đổi tùy theo tuổi của cây bình quân. Tỉ lệ R_{T0} giảm dần từ tuổi 2 (1,365) đến tuổi 10 (1,152) và biến động rất nhỏ (CV = 6,4%). Tỉ lệ R_C gia tăng dần từ tuổi 2 (0,119) và đạt cao nhất tại tuổi 4 (0,176); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (0,114). Tỉ lệ R_L giảm dần từ tuổi 2 (0,228) đến tuổi 10 (0,036). Tỉ lệ R_{CL} giảm dần từ tuổi 2 (0,361) đến tuổi 10 (0,150). Nói chung, ba tỉ lệ R_C, R_L và R_{CL} đều biến động khá lớn giữa các tuổi (tương ứng CV = 17,5%,72,0% và 33,1%).

Bảng 4.80. Đặc trưng thống kê tỉ lệ sinh khối của các thành phần so với sinh khối thân của cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi.

TT	Thống kê	Tỉ lệ sinh khối (R_i):			
		Tổng số	Cành	Lá	Cành và lá
1	Trung bình	1,234	0,141	0,089	0,232
2	±SEE	0,0787	0,0246	0,0642	0,0769
3	CV%	6,4	17,5	72,0	33,1
4	R_{iMin}	1,152	0,114	0,036	0,150
5	R_{iMax}	1,365	0,176	0,228	0,361
6	$R_{iMax} - R_{iMin}$	0,213	0,062	0,192	0,211

4.3.6.2. Các hàm ước lượng Ri = f(A)

Phân tích hồi quy tương quan cho thấy hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng R_{To} = f(A) và R_C = f(A) đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}. Trái lại, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng ba hàm ước lượng R_L = f(A) và R_{CL} = f(A). Cả bốn hàm này đều có r^2 > 99,0% và MAPE < 4,0% (Bảng 4.81 và 4.82).

Bảng 4.81. Các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Tham số	Hàm tỉ lệ R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + lá
Hằng số	1,40998	0,22660	0,49311	0,50389
A	-0,01731	-0,01344	-0,17720	-0,06616
A^2	-0,00488	-0,00060	0,02870	0,00195
A^3	0,000406	0,00008	-0,00224	0,00022
A^4			0,00007	-0,00001
	(4.120)	(4.121)	(4.122)	(4.123)

Bảng 4.82. Thống kê tương quan và sai lệch của các ước lượng hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0005	$2,1.10^{-10}$	0,0003	0,02	(4.120)
Cành	99,9	0,0003	$2,7.10^{-13}$	0,0002	0,13	(4.121)
Lá	99,9	0,0008	$6,5.10^{-15}$	0,0005	0,7	(4.122)
Cành và lá	99,9	0,0021	$6,5.10^{-15}$	0,0001	0,06	(4.123)

Đối với chỉ số SI_{20}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng các hàm ước lượng $R_i = f(A)$. Những hàm này đều có $r^2 > 99,0\%$ và MAPE < 4,0% (Bảng 4.83 và 4.84). Đối với cấp chỉ số SI_{16}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(A)$, $R_C = f(A)$ và $R_{CL} = f(A)$. Trái lại, hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng ba hàm ước lượng $R_L = f(A)$ (Bảng 4.85 và 4.86). Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(A)$, $R_C = f(A)$, $R_L = f(A)$ và $R_{CL} = f(A)$ (Bảng 4.87 và 4.88).

Bảng 4.83. Các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Tham số	Hàm tỉ lệ R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + lá
Hằng số	1,38028	-0,18989	0,631	0,47306
A	0,01611	0,26316	-0,28940	-0,03056
A^2	-0,01604	-0,06432	0,05564	-0,01058
A^3	0,00164	0,00620	-0,004901	0,00170
A^4	-0,00004	-0,00021	0,000163	-0,00007
	(4.124)	(4.125)	(4.126)	(4.127)

Bảng 4.84. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0007	$-6,8.10^{-15}$	0,0004	0,03	(4.124)
Cành	99,9	0,0012	$-6,8.10^{-15}$	0,0007	0,6	(4.125)
Lá	99,9	0,0021	$-5,8.10^{-15}$	0,0013	2,3	(4.126)
Cành và lá	99,9	0,0005	$-6,7.10^{-15}$	0,0003	0,2	(4.127)

Bảng 4.85. Các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Tham số	Hàm tỉ lệ R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + lá
Hằng số	1,41894	-0,04406	0,30042	0,36822
A	-0,02138	0,1738	-0,07034	0,01824
A^2	-0,00382	-0,04348	0,00699	-0,01461
A^3	0,000556	0,00433	-0,00025	0,00178
A^4	-0,00002	-0,00015		-0,00007
	(4.128)	(4.129)	(4.130)	(4.131)

Bảng 4.86. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Tổng số	99,9	0,0004	$-6,8.10^{-15}$	0,0002	0,02	(4.128)
Cành	99,4	0,0020	$-7,0.10^{-15}$	0,0012	0,7	(4.129)
Lá	99,9	0,0005	$-2,2.10^{-10}$	0,0003	0,5	(4.130)
Cành và lá	99,9	0,0009	$-6,8.10^{-15}$	0,0005	0,2	(4.131)

Bảng 4.87. Các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI

Tham số	Hàm tỉ lệ R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành + lá
Hằng số	1,40789	-0,19933	0,51906	0,37983
A	-0,00611	0,26456	-0,20936	0,02081
A^2	-0,00978	-0,06407	0,03783	-0,01950
A^3	0,001096	0,00623	-0,00324	0,00245
A^4	-0,00003	-0,00022	0,00011	-0,00009
	(4.132)	(4.133)	(4.134)	(4.135)

Bảng 4.88. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ sinh khối ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0007	$-6,7\times10^{-15}$	0,0003	0,03	(4.132)
Cành	99,6	0,0022	$-6,7\times10^{-15}$	0,0013	0,94	(4.133)
Lá	99,9	0,0013	$-6,3\times10^{-15}$	0,0008	1,10	(4.134)
Cành và lá	99,9	0,0014	$-6,7\times10^{-15}$	0,0008	0,37	(4.135)

Bằng cách khảo sát các hàm 4.120 – 4.135, xác định được khuynh hướng biến đổi của các tỉ lệ sinh khối theo tuổi cây bình quân (Bảng 4.89 – 4.92). Đối với chỉ số SI_{24} (Bảng 4.89), giá trị R_{To} giảm dần từ tuổi 2 (1,359) đến tuổi 10 (1,154). Tỉ lệ R_C giảm dần từ tuổi 2 (0,198) đến tuổi 4 (0,169); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (0,116). Tỉ lệ R_L giảm liên tục từ tuổi 2 (0,237) đến tuổi 10 (0,036). Tỉ lệ R_{CL} cũng giảm liên tục từ tuổi 2 (0,381) đến tuổi 10 (0,152). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 38,1 % ở tuổi 2; 21,1% ở tuổi 6 và 15,2% ở tuổi 10; trung bình từ tuổi 2 đến tuổi 10 là 23,5%.

Bảng 4.89. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 - 10 tuổi trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
2	1,359	0,198	0,237	0,381
4	1,289	0,169	0,118	0,282
6	1,218	0,143	0,068	0,211
8	1,167	0,124	0,046	0,169
10	1,154	0,116	0,036	0,152
Trung bình	1,234	0,149	0,095	0,235

Bảng 4.90. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 - 10 tuổi trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
2	1,361	0,125	0,238	0,382
4	1,281	0,176	0,092	0,273
6	1,195	0,138	0,050	0,188
8	1,138	0,106	0,036	0,142
10	1,128	0,093	0,032	0,125
Trung bình	1,217	0,132	0,081	0,217

Đối với chỉ số SI_{20} (Bảng 4.90), tỉ lệ R_i giảm dần từ tuổi 2 (1,361 đối với R_{To}; 0,125 đối với R_C; 0,238 đối với R_L và 0,382 đối với R_{CL}) đến tuổi 10 (1,128 đối với R_{To}; 0,0935 đối với R_C; 0,032 đối với R_L và 0,125 đối với R_{CL}). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 38,2% ở tuổi 2; 18,8% ở tuổi 6 và 12,5% ở tuổi 10; trung bình từ tuổi 2 đến tuổi 10 là 21,7%.

Bảng 4.91. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 - 10 tuổi trên chỉ số SI_{16}

A (năm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
2	1,365	0,162	0,186	0,359
4	1,303	0,193	0,115	0,304
6	1,249	0,170	0,076	0,247
8	1,211	0,154	0,056	0,211
10	1,190	0,145	0,045	0,189
Trung bình	1,261	0,168	0,092	0,260

Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.91), các tỉ lệ R_i đều giảm dần từ tuổi 2 (1,365 đối với R_{To}; 0,162 đối với R_C; 0,186 đối với R_L và 0,359 đối với R_{CL}) đến tuổi 10 (1,190 đối với R_{To}; 0,145 đối với R_C; 0,045 đối với R_L và 0,189 đối với R_{CL}). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 35,9% ở tuổi 2; 24,7% ở tuổi 6 và 18,9% ở tuổi 10; trung bình từ tuổi 2 đến tuổi 10 là 26,0%.

Bảng 4.92. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo tuổi cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 - 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI

A (năm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
2	1,365	0,120	0,227	0,362
4	1,289	0,177	0,107	0,284
6	1,215	0,148	0,064	0,210
8	1,166	0,123	0,044	0,169
10	1,152	0,113	0,036	0,150
Trung bình	1,234	0,141	0,089	0,232

Nói chung, tỉ lệ hai thành phần B_C và B_L trên cả ba cấp chỉ số SI giảm dần từ 36,2% ở tuổi 2 đến 21,0% ở tuổi 6 và 15,0% ở tuổi 10; trung bình là 23,2%. Ở tuổi 2, tỉ lệ R_L lớn hơn so với tỉ lệ R_C. Trái lại, tỉ lệ R_C từ tuổi 4 - 10 luôn lớn hơn so với tỉ lệ R_L (Bảng 4.92). Điều đó chứng tỏ sinh khối cành và sinh khối lá đóng góp rất lớn vào tổng sinh khối trên mặt đất ở tuổi nhỏ. Trái lại, khi rừng Keo lai đã khép tán ở tuổi cao hơn, thì hai thành phần sinh khối này chiếm tỉ lệ nhỏ.

4.3.6.3. Các hàm ước lượng Ri = f(D)

Bằng phân tích hồi quy tương quan cho thấy, đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(D)$, $R_C = f(A)$ và $R_{CL} = f(D)$. Trái lại, hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_L = f(D)$. Cả bốn hàm này đều có $R^2 > 99,0\%$ và MAPE < 1,2% (Bảng 4.93 và 4.94).

Bảng 4.93. Các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Tham số	Hàm R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
Hằng số	1,66961	0,28317	0,40215	0,52807
D	-0,11679	-0,02978	-0,02991	-0,04087
D^2	0,01628	0,00393	0,000322	0,00439
D^3	-0,00104	-0,00026	0,000012	-0,00032
D^4	0,00002	0,000006		0,000008
	(4.136)	(4.137)	(4.138)	(4.139)

Bảng 4.94. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI_{24}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0016	$-9,1.10^{-16}$	0,0009	0,08	(4.136)
Cành	99,9	0,0005	$-1,3.10^{-15}$	0,0002	0,18	(4.137)

Lá	99,9	0,0002	$6,1.10^{-12}$	0,0002	0,30	(4.138)
Cành và lá	99,9	0,0006	$-1,2.10^{-15}$	0,0003	0,16	(4.139)

Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(D)$, $R_C = f(D)$ và $R_{CL} = f(D)$. Hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_L = f(D)$. Cả bốn hàm này đều có $R^2 > 99,0\%$ và MAPE < 1,0% (Bảng 4.95 và 4.96).

Bảng 4.95. Các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Tham số	Hàm R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
Hằng số	1,75113	0,05114	0,50297	0,49623
D	-0,18297	-0,00978	-0,06790	-0,04051
D^2	0,03149	0,00924	0,00306	0,00621
D^3	-0,00244	-0,00099	-0,00004	-0,00065
D^4	0,00006	0,00003		0,00002
	(4.140)	(4.141)	(4.142)	(4.143)

Bảng 4.96. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0014	$-3,9.10^{-16}$	0,0008	0,07	(4.140)
Cành	99,9	0,0010	$-5,1.10^{-16}$	0,0005	0,43	(4.141)
Lá	99,9	0,0007	$2,8.10^{-12}$	0,0005	0,87	(4.142)
Cành và lá	99,9	0,0008	$-4,3.10^{-16}$	0,0005	0,27	(4.143)

Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}, hàm bậc 3 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(D)$, $R_C = f(D)$, $R_L = f(D)$ và $R_{CL} = f(D)$. Cả bốn hàm này đều có $R^2 > 99,0\%$ và MAPE < 0,5% (Bảng 4.97 và 4.98).

Bảng 4.97. Các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Tham số	Hàm R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
Hằng số	1,36121	-0,03441	0,25899	0,32636
D	0,01302	0,07958	-0,01764	0,02486
D^2	-0,00359	-0,00862	-0,00043	-0,00487
D^3	0,00012	0,00028	0,00004	0,00017
	(4.144)	(4.145)	(4.146)	(4.147)

Bảng 4.98. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0011	$8,9.10^{-13}$	0,0007	0,05	(4.144)
Cành	99,9	0,0003	$8,6.10^{-13}$	0,0002	0,13	(4.145)
Lá	99,9	0,0006	$9,0.10^{-13}$	0,0004	0,49	(4.146)
Cành và lá	99,9	0,0004	$8,8.10^{-13}$	0,0003	0,10	(4.147)

Đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI, hàm bậc 4 là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $R_{To} = f(D)$, $R_C = f(D)$ và $R_L = f(D)$, $R_{CL} = f(D)$. Cả bốn hàm này đều có $R^2 > 99,0\%$ và MAPE < 0,5% (Bảng 4.99 và 4.100).

Bảng 4.99. Các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI

Tham số	Hàm R_i đối với những thành phần:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
Hằng số	1,65722	-0,09381	0,49615	0,37804
D	-0,12976	0,05355	-0,08108	-0,00279
D^2	0,02128	-0,00087	0,006911	0,00096
D^3	-0,00163	-0,00031	-0,000358	-0,00028
D^4	0,00004	0,00001	0,000008	0,00001
	(4.148)	(4.149)	(4.150)	(4.151)

Bảng 4.100. Thống kê tương quan và sai lệch của các hàm ước lượng tỉ lệ những thành phần sinh khối theo đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI

Thành phần	R^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	
Tổng số	99,9	0,0016	0,0	0,0008	0,07	(4.148)
Cành	99,9	0,0004	$-3,3.10^{-16}$	0,0002	0,15	(4.149)
Lá	99,9	0,0003	$-3,5.10^{-16}$	0,0001	0,25	(4.150)
Cành và lá	99,9	0,0009	$-3,7.10^{-16}$	0,0005	0,22	(4.151)

Bằng cách khảo sát các hàm 4.136 – 4.151, xác định được khuynh hướng biến đổi của tỉ lệ sinh khối của cây bình quân theo cấp D trên ba cấp chỉ số lập địa khác nhau (Bảng 4.101 – 4.104). Trên chỉ số SI_{24} (Bảng 4.101), tỉ lệ R_{T0} giảm dần từ cấp D = 6 cm (1,359) đến cấp D = 20 cm (1,160). Tỉ lệ R_C và R_L giảm liên tục từ cấp D = 6 cm (0,198 và 0,237) đến cấp D = 20 cm (0,114 và 0,033). Tỉ lệ R_{CL} cũng giảm liên tục từ cấp D = 6 cm (0,381) đến cấp D = 10 cm (0,313) và cấp D = 20 cm (0,149). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 38,1% ở cấp D = 6 cm; 31,3% ở cấp D = 10 cm và 14,9% ở cấp D = 20 cm; trung bình 25,6%.

Bảng 4.101. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo cấp D đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Cấp D (cm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
6	1,359	0,198	0,237	0,381
8	1,336	0,189	0,190	0,348
10	1,315	0,179	0,148	0,313
12	1,283	0,166	0,111	0,274
14	1,241	0,151	0,081	0,232
16	1,194	0,134	0,057	0,192
18	1,158	0,120	0,041	0,160
20	1,160	0,114	0,033	0,149
Trung bình	1,256	0,156	0,112	0,256

Bảng 4.102. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo cấp D đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Cấp D (cm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
4	1,384	0,104	0,278	0,397
6	1,344	0,148	0,197	0,363
8	1,319	0,175	0,134	0,320
10	1,278	0,174	0,089	0,267
12	1,216	0,150	0,057	0,207
14	1,151	0,115	0,039	0,153
16	1,128	0,093	0,031	0,125
Trung bình	1,260	0,137	0,118	0,262

Bảng 4.103. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo cấp D đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Cấp D (cm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
4	1,364	0,164	0,184	0,359
6	1,337	0,192	0,147	0,336
8	1,299	0,191	0,111	0,299
10	1,255	0,174	0,081	0,255
12	1,213	0,154	0,057	0,212
14	1,177	0,145	0,041	0,179
Trung bình	1,274	0,170	0,103	0,273

Bảng 4.104. Tỉ lệ những thành phần sinh khối theo cấp D đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Cấp D (cm)	Tỉ lệ các thành phần sinh khối:			
	Tổng số	Cành	Lá	Cành - lá
4	1,385	0,090	0,262	0,367
6	1,348	0,147	0,193	0,350
8	1,321	0,174	0,142	0,319
10	1,285	0,175	0,103	0,277
12	1,233	0,157	0,072	0,227
14	1,180	0,131	0,049	0,181
16	1,152	0,114	0,036	0,150
Trung bình	1,272	0,141	0,122	0,267

Đối với chỉ số SI_{20} (Bảng 4.102), tỉ lệ R_{T0} giảm dần từ cấp D = 4 cm (1,384) đến cấp D = 16 cm (1,128). Tỉ lệ R_C tăng dần từ ở cấp D = 4 cm (0,104) và đạt cao nhất tại cấp D = 8 cm (0,175); sau đó giảm dần đến cấp D = 16 cm (0,093). Tỉ lệ R_L giảm dần từ cấp D = 4 cm (0,278) đến cấp D = 16 cm (0,031). Tỉ lệ R_{CL} giảm dần từ

cấp D = 4 cm (0,397 đến cấp D = 16 cm (0,125). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 39,7% ở cấp D = 4 cm; 26,7% ở cấp D = 10 cm và 12,5% ở cấp D = 16 cm; trung bình 26,2%.

Đối với chỉ số SI_{16} (Bảng 4.103), tỉ lệ R_{T0} giảm dần từ cấp D = 4 cm (1,364) đến cấp D = 14 cm (1,177). Giá trị R_C gia tăng dần từ ở cấp D = 4 cm (0,164) và đạt cao nhất tại cấp D = 6 cm (0,192); sau đó giảm dần đến cấp D = 14 cm (0,145). Tỉ lệ R_L giảm dần từ cấp D = 4 cm (0,184) đến cấp D = 14 cm (0,041). Tỉ lệ R_{CL} giảm dần từ cấp D = 4 cm (0,359) đến cấp D = 14 cm (0,179). So với B_T, hai thành phần B_C và B_L chiếm 35,9% ở cấp D = 4 cm; 25,5% ở cấp D = 10 cm và 17,9% ở cấp D = 14 cm; trung bình 27,3%.

Nói chung, tỉ lệ B_C và B_L trên cả ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.104) giảm dần từ 36,7% ở cấp D = 4 cm đến 27,7% ở cấp D = 10 cm và 15,0% ở cấp D = 16 cm; trung bình là 26,7%. Ở cấp $D \leq 6$ cm, R_L lớn hơn so với R_C. Trái lại, R_C từ cấp $D \geq 8$ cm luôn lớn hơn so với R_L. Tỉ lệ R_C gia tăng mạnh từ cấp $D \geq 4$ cm (tương ứng với cấp A = 2) là do cành sinh trưởng mạnh, còn lá phát triển kém do sự thiếu hụt ánh sáng.

4.3.7. Phân tích sai lệch và chọn các hàm ước lượng sinh khối thích hợp

Các thành phần sinh khối trên mặt đất ở mức cây bình quân được ước lượng theo 3 phương pháp ($B_i = f(D)$; $B_i = V_T \times BEF_{T0}$; $B_i = B_T \times R_i$). Khả năng ứng dụng của các hàm sinh khối với biến dự đoán A (năm) và D (cm) được kiểm định từ 15 cây không tham gia xây dựng hàm sinh khối (Phụ lục 6 và 7). Kết quả phân tích thống kê (Bảng 4.105 – 4.106) cho thấy điểm chặn (a) và độ dốc (b) của các hàm này không có sự khác biệt rõ rệt ($P >> 0,10$) so với những cây kiểm tra. Điều đó chứng tỏ 3 phương pháp này đều có thể được sử dụng để ước lượng sinh khối cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai.

Bảng 4.105. Kiểm định sai lệch của các hàm sinh khối ở mức cây bình quân được ước lượng theo tuổi và sinh khối của những cây kiểm tra trên ba cấp chỉ số SI

Sinh khối	Giá trị P_α tương ứng với các hàm sinh khối:					
	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	$a^{(*)}$	$b^{(**)}$	a	b	a	b
Tổng số	0,637	0,901	0,640	0,905	0,669	0,781
Thân	0,615	0,951	0,673	0,926	0,654	0,715
Cành	0,778	0,598	0,920	0,849	0,707	0,918
Lá	0,970	0,974	0,550	1,000	0,950	0,861
Cành và lá	0,990	0,900	0,778	1,000	0,787	0,997

Ghi chú: (*) Điểm chặn; (**) Độ dốc.

Bảng 4.106. Kiểm định sai lệch của các hàm sinh khối ở cây bình quân được ước lượng theo đường kính và sinh khối của những cây kiểm tra trên ba cấp chỉ số SI

Sinh khối	Giá trị P_α tương ứng với các hàm sinh khối:					
	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	$a^{(*)}$	$b^{(**)}$	a	b	a	b
Tổng số	0,683	0,360	0,683	0,360	0,793	0,973
Thân	0,978	0,575	0,978	0,575	0,703	0,484
Cành	0,974	0,859	0,974	0,859	0,652	0,858
Lá	0,969	0,986	0,969	0,986	0,969	0,866
Cành và lá	0,872	0,903	0,872	0,903	0,875	0,976

Ghi chú: (*) Điểm chặn; (**) Độ dốc.

4.4. Các hàm thống kê sinh khối đối với rừng trồng Keo lai

Các hàm ước lượng $B_i = f(A)$ đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI được kiểm định theo 2 hàm Korf và Gompertz. Phân tích hồi quy tương quan cho thấy cả hai hàm này trên chỉ số SI_{24} đều nhận hệ số r^2 rất cao (99,9%). Đối với B_{T0}, những sai lệch của hàm Korf (SEE = ±3,8; ME = 0,4; MAE = 2,9; MAPE = 5,6% và SSE = 86,2) lớn hơn so với hàm Gompertz (tương ứng SEE = ±0,9; ME = 0,007; MAE = 0,7; MAPE = 1,0% và SSE = 4,9). Giá trị SSE của hàm Korf (86,2) lớn hơn

18 lần so với hàm Gompertz (4,9). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_{T0} = f(A) (Hàm 4.152; Bảng 4.107). Đối với B_T, giá trị SSE của hàm Korf (94,8) lớn hơn 8 lần so với hàm Gompertz (11,9). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm B_T = f(A) (Hàm 4.153; Bảng 4.107). Đối với B_C, B_{CL}, giá trị SSE của hàm Korf (tương ứng 0,7 và 0,87) lớn hơn tương ứng 17,5 và 5,1 lần so với hàm Gompertz (tương ứng 0,04 và 0,17). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng ba hàm ước lượng B_C = f(A) và B_{CL} = f(A) (Hàm 4.154 và 4.156; Bảng 4.107). Trái lại, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_L = f(A) (Hàm 4.155; Bảng 4.107).

Bảng 4.107. Các hàm sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	Phương trình B_i = f(A):	
Tổng số	$B_{To} = 520{,}264 \times \exp(-5{,}89022 \times \exp(-0{,}250127 \times A))$	(4.152)
Thân	$B_T = 457{,}819 \times \exp(-6{,}36463 \times \exp(-0{,}255255 \times A))$	(4.153)
Cành	$B_C = 45{,}8515 \times \exp(-5{,}13556 \times \exp(-0{,}266618 \times A))$	(4.154)
Lá	$B_L = 18{,}777 \times \exp(-3{,}4403 \times A^{-0{,}750618})$	(4.155)
Cành và lá	$B_{CL} = 56{,}9071 \times \exp(-4{,}18758 \times \exp(-0{,}263338 \times A))$	(4.156)

Bảng 4.108. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	99,99	0,9	0,007	0,7	1,0	4,9	(4.152)
Thân	99,98	1,4	0,092	1,0	1,5	11,9	(4.153)
Cành	99,99	0,08	-0,006	0,05	1,1	0,04	(4.154)
Lá	99,94	0,07	0,001	0,05	0,96	0,03	(4.155)
Cành và lá	99,99	0,2	-0,009	0,1	1,2	0,17	(4.156)

Trên chỉ số SI_{20}, hàm ước lượng B_{To} = f(A) bằng hai hàm Korf và Gompertz đều nhận hệ số r^2 rất cao (99%). Giá trị SSE của hàm Korf (213,6) lớn hơn 5 lần so với hàm Gompertz (42,1). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm

ước lượng B_{To} = f(A) đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Hàm 4.157; Bảng 4.109). Khi ước lượng bốn hàm B_T = f(A), B_C = f(A), B_L = f(A) và B_{CL} = f(A) bằng hai hàm Gompertz và Korf, thì SSE của hàm Korf (tương ứng 205,7; 1,8; 0,04 và 4,1) lớn hơn tương ứng 4, 1, 13 và 8 lần so với hàm Gompertz (tương ứng 57,2; 0,2; 0,003 và 0,5). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng bốn hàm ước lượng B_T = f(A), B_C = f(A), B_L = f(A) và B_{CL} = f(A) đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Hàm 4.158 – 4.161; Bảng 4.109).

Bảng 4.109. Các hàm sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	Phương trình B_i = f(A):	
Tổng số	$B_{To} = 286,645 \times \exp(-6,70592 \times \exp(-0,35881 \times A))$	(4.157)
Thân	$B_T = 258,568 \times \exp(-7,42147 \times \exp(-0,361862 \times A))$	(4.158)
Cành	$B_C = 20,3102 \times \exp(-8,99548 \times \exp(-0,565996 \times A))$	(4.159)
Lá	$B_L = 6,89178 \times \exp(-2,39157 \times \exp(-0,391635 \times A))$	(4.160)
Cành và lá	$B_{CL} = 27,4064 \times \exp(-5,78861 \times \exp(-0,495981 \times A))$	(4.161)

Bảng 4.110. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	99,93	2,7	0,214	2,0	3,4	42,1	(4.157)
Thân	99,88	3,0	0,295	2,3	5,2	57,2	(4.158)
Cành	99,95	0,2	0,009	0,1	1,7	0,2	(4.159)
Lá	99,99	0,02	-0,000	0,02	0,3	0,003	(4.160)
Cành và lá	99,91	0,3	0,014	0,2	1,8	0,5	(4.161)

Trên chỉ số SI_{16}, hàm ước lượng B_{To} = f(A) bằng hai hàm Korf và Gompertz đều nhận hệ số r^2 rất cao (99,9%). Giá trị SSE của hàm Korf (26,4) lớn hơn 29,3 lần so với hàm Gompertz (0,9). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng B_{T0} = f(A) (Hàm 4.162; Bảng 4.111). Đối với B_T, B_L và B_{CL}, những sai lệch của hàm Korf đều lớn hơn so với hàm Gompertz. Giá trị SSE của hàm Korf

(tương ứng 19,7; 0,2 và 0,4) lớn hơn 32,8; 2 và 1,3 lần so với hàm Gompertz (tương ứng 0,6; 0,1; 0,3). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_T = f(A)$, $B_L = f(A)$, $B_{CL} = f(A)$ đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} (Hàm 4.163, 4.165 và 4.166; Bảng 4.111). Trái lại, đối với B_C, giá trị SSE của hàm Korf (0,1) nhỏ hơn 3 lần so với hàm Gompertz (0,3). Vì thế, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_C = f(A)$ đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} (Hàm 4.164; Bảng 4.111).

Bảng 4.111. Các hàm sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	Phương trình $B_i = f(A)$:	
Tổng số	$B_{To} = 205,285 \times \exp(-5,03379 \times \exp(-0,305881 \times A))$	(4.162)
Thân	$B_T = 178,218 \times \exp(-5,2794 \times \exp(-0,298033 \times A))$	(4.163)
Cành	$B_C = 41,5902 \times \exp(-6,6972 \times A^{-0,960101})$	(4.164)
Lá	$B_L = 6,34374 \times \exp(-4,30279 \times \exp(-0,583056 \times A))$	(4.165)
Cành và lá	$B_{CL} = 28,2726 \times \exp(-4,5651 \times \exp(-0,391236 \times A))$	(4.166)

Bảng 4.112. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	
Tổng số	99,99	0,4	-0,022	0,3	0,9	0,9	(4.162)
Thân	99,99	0,3	-0,012	0,2	0,9	0,6	(4.163)
Cành	99,97	0,1	0,009	0,1	1,9	0,10	(4.164)
Lá	99,72	0,1	0,001	0,1	1,3	0,1	(4.165)
Cành và lá	99,95	0,2	-0,010	0,1	1,8	0,3	(4.166)

Đối với ba cấp chỉ số SI, hai hàm Korf và Gompertz đều nhận hệ số r^2 rất cao (99%) (Bảng 4.113 và 4.114). Đối với hàm $B_{T0} = f(A)$, giá trị SSE của hàm Korf (93,2) lớn hơn 14 lần so với hàm Gompertz (6,8). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_{T0} = f(A)$ (Hàm 4.167). Đối với hàm $B_T = f(A)$, giá trị SSE của hàm Korf (90,2) lớn hơn 7,1 lần so với hàm Gompertz (12,7).

Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_T = f(A)$ (Hàm 4.168). Đối với hàm $B_C = f(A)$, giá trị SSE của hàm Gompertz (0,3) lớn hơn 1,5 lần so với hàm Korf (0,2). Vì thế, hàm Korf là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_C = f(A)$ (Hàm 4.169). Đối với hàm $B_L = f(A)$ và hàm $B_{CL} = f(A)$, giá trị SSE của hàm Gompertz (tương ứng 0,01 và 0,2) nhỏ hơn 10 và 5 lần so với hàm Korf (tương ứng 0,1 và 1,0). Vì thế, hàm Gompertz là hàm thích hợp để xây dựng hàm ước lượng $B_L = f(A)$ và $B_{CL} = f(A)$ (Hàm 4.170 và 4.171).

Bảng 4.113. Các hàm sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Thành phần	Phương trình $B_i = f(A)$:	Hàm số
Tổng số	$B_{To} = 323,978 \times \exp(-5,86208 \times \exp(-0,299642 \times A))$	(4.167)
Thân	$B_T = 287,398 \times \exp(-6,35147 \times \exp(-0,3013 \times A))$	(4.168)
Cành	$B_C = 44,0513 \times \exp(-8,59061 \times A^{-1,15145})$	(4.169)
Lá	$B_L = 7,97612 \times \exp(-3,03716 \times \exp(-0,430412 \times A))$	(4.170)
Cành và lá	$B_{CL} = 34,9158 \times \exp(-4,88586 \times \exp(-0,380288 \times A))$	(4.171)

Bảng 4.114. Kiểm định các hàm ước lượng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Thành phần	r^2(%)	±SEE	ME	MAE	MAPE	SSE	Hàm số
Tổng số	99,99	1,1	0,050	0,8	0,9	6,8	(4.167)
Thân	99,97	1,5	0,102	1,0	2,0	12,7	(4.168)
Cành	99,96	0,2	0,020	0,1	3,3	0,2	(4.169)
Lá	99,96	0,1	0,000	0,03	0,6	0,01	(4.170)
Cành và lá	99,98	0,2	-0,100	0,1	1,4	0,2	(4.171)

4.5. Sinh khối của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa

4.5.1. Sinh khối trên mặt đất ở mức cây bình quân

Bằng cách khảo sát các hàm sinh khối 4.29 – 4.43 ở Bảng 4.33 – 4.37, xác định được những thành phần sinh khối trên mặt đất ở mức cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI. Những đặc trưng tăng trưởng sinh khối đối với cây

bình quân của rừng trồng Keo lai trên 3 chỉ số SI được tổng hợp ở Bảng 4.115 và 4.116. So với B_{To} của cây bình quân trên chỉ số SI I (100%), giá trị này trên chỉ số SI_{20} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng chỉ bằng 89,9%, 91,1%, 87,8%, 79,5% và 69,5%; trung bình 83,5%. Tương tự, B_{To} của cây bình quân trên chỉ số SI_{16} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng chỉ bằng 87%, 72%, 59,3%, 50,1% và 44,8%; trung bình 62,6%.

Năng suất bình quân đối với B_{To} của cây bình quân tại tuổi 6 trên 3 chỉ số $SI_{4,}$ SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 14,5 kg/năm, 12,8 kg/năm và 8,6 kg/năm; trung bình ba cấp chỉ số SI là 12 kg/năm. Năng suất bình quân đối với B_{To} tại tuổi 10 trên 3 chỉ số $SI_{4,}$ SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 24,9 kg/năm, 17,6 kg/năm và 11,2 kg/năm; trung bình ba cấp chỉ số SI là 17,8 kg/năm.

Bảng 4.115. So sánh tổng sinh khối trên mặt đất đối với cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: kg/cây.

A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	B_{To}	%	B_{To}	%(×)	B_{To}	%(×)
2	6,9	100	6,2	89,9	6,0	87,0
4	33,6	100	30,6	91,1	24,2	72,0
6	87,2	100	76,6	87,8	51,7	59,3
8	165,0	100	131,1	79,5	82,6	50,1
10	249,1	100	173,0	69,5	111,6	44,8
Bình quân		100		83,5		62,6

(×) Tỉ lệ B(%) của cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16} so với cấp chỉ số S_{24}.

Bảng 4.116. Những đặc trưng tăng trưởng sinh khối đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI khác nhau tại tỉnh Đồng Nai.

Chỉ số SI	Sinh khối	Tăng trưởng hàng năm (ZB, kg/năm)		Tăng trưởng bình quân (ΔB, kg/năm)	
		ZB_{Max}	A (năm)	ΔB_{Max}	A (năm)
24	Tổng số	42,0	10	26,4	12
	Thân	37,2	10	22,4	12
	Cành và lá	4,4	8	3,4	12

20	Tổng số	27,2	8	17,3	10
	Thân	25,6	8	15,3	10
	Cành và lá	2,8	6	2,0	6
16	Tổng số	15,4	8	11,3	12
	Thân	13,4	8	9,6	12
	Cành và lá	2,3	6	1,8	8
Trung bình	Tổng số	27,1	8	18,0	12
	Thân	24,5	8	15,4	10
	Cành và lá	3,0	6	2,3	8

Tăng trưởng sinh khối của cây bình quân thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số SI (Bảng 4.116). Thời điểm xuất hiện ZB_{ToMax} và ZB_{TMax} trên chỉ số SI_{24} tại tuổi 10, còn chỉ số SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 8; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 8. Như vậy, so với cây bình quân trên chỉ số SI_{24}, hai đại lượng ZB_{ToMax} và ZB_{TMax} trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} đến sớm hơn một cấp A (2 năm). Thời điểm xuất hiện ΔB_{ToMax} và ΔB_{TMax} trên chỉ số SI_{24} tại tuổi 12, còn ở cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng tại tuổi 10 và 12; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 12 và 8. Như vậy, thời điểm xuất hiện ΔB_{ToMax} và ΔB_{TMax} đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} và SI_{16} tương tự như nhau, còn thời điểm này ở cấp chỉ số SI_{20} đến sớm hơn một cấp A (2 năm). Thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} trên chỉ số SI_{24} tương ứng tại tuổi 8 và 12. Thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} trên chỉ số SI_{20} tương ứng tại tuổi 6. Thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} trên chỉ số SI_{16} tương ứng tại tuổi 6 và 8. Nói chung, thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} của cây bình quân trên ba cấp chỉ số SI tương ứng tại tuổi 6 và 8. Như vậy, so với cây bình quân trên chỉ số SI_{24}I, thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} đối với cây bình quân trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} đến sớm hơn 1 – 3 cấp A (A = 2 năm).

4.5.2. Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai

4.5.2.1. Sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Bằng cách khảo sát các hàm sinh khối (4.152) – (4.156) ở Bảng 4.107, xác định được những thành phần sinh khối trên mặt đất đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} (Bảng 4.117 - 4.120; Hình 4.11). Giá trị B_{T0} (Bảng 4.117 và 4.20) gia tăng dần từ tuổi 2 (14,6 tấn/ha) đến tuổi 6 (139,9 tấn/ha) và tuổi 10 (321,0 tấn/ha). Đại lượng ZB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (7,3 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (47,4 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (7,3 tấn/ha/năm) đến tuổi 10 (32,1 tấn/ha) và dự đoán đạt cao nhất tại tuổi 12 (32,4 tấn/ha/năm). Vì thế, tuổi 8 là thời kỳ tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Suất tăng trưởng BT_0 giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (28,7%) và tuổi 10 (13,5%).

Bảng 4.117. Tăng trưởng BT_0 trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)	ZB_{To} (tấn/ha/năm)	ΔB_{To} (tấn/ha/năm)	PB%
2	14,6	7,3	7,3	50,0
4	59,7	22,5	14,9	37,7
6	139,9	40,1	23,3	28,7
8	234,6	47,4	29,3	20,2
10	321,0	43,2	32,1	13,5

Bảng 4.118. Tăng trưởng sinh khối thân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	B_T (tấn/ha)	ZB_T (tấn/ha/năm)	ΔB_T (tấn/ha/năm)	PB%
2	10,0	5,0	5,0	50,0
4	46,2	18,1	11,6	39,1
6	115,6	34,7	19,3	30,0
8	200,5	42,4	25,1	21,2
10	278,9	39,2	27,9	14,1

Bảng 4.119. Tăng trưởng B_{CL} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	B_{CL} (tấn/ha)	ZB_{CL} (tấn/ha/năm)	ΔB_{CL} (tấn/ha/năm)	PB%
2	4,8	2,4	2,4	50,0
4	13,2	4,2	3,3	31,8
6	24,0	5,4	4,0	22,5
8	34,2	5,1	4,3	14,9
10	42,1	4,0	4,2	9,4

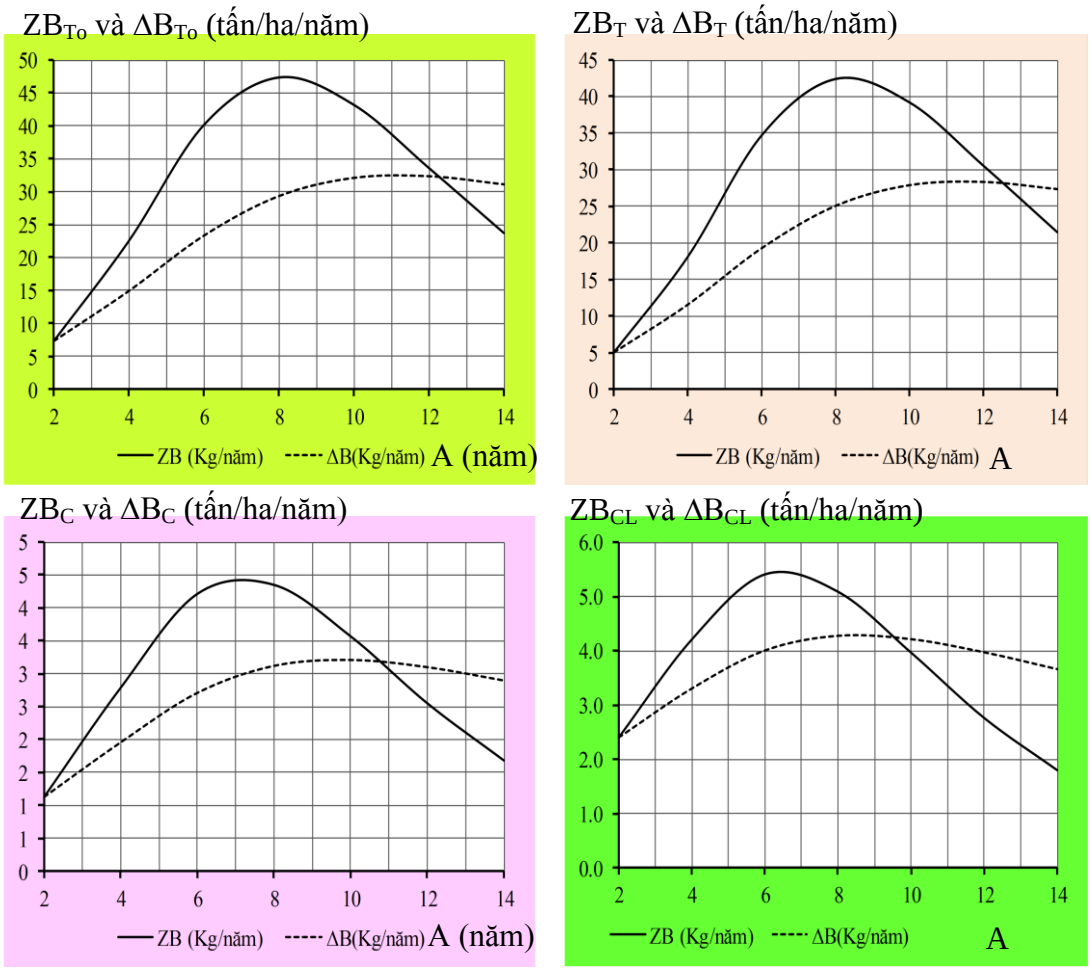
Bảng 4.120. Đặc trưng tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}. Đơn vị tính: tấn/ha/năm

Thành phần	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZB_{Max}	A (năm)	B (tấn)	ΔB_{Max}	A (năm)	B (tấn)
Tổng số	47,4	8	234,6	32,4	12	388,2
Thân	42,4	8	200,5	28,3	12	340,0
Cành	4,3	8	25,0	3,2	10	32,1
Lá	1,6	4	5,6	1,4	4	5,6
Cành + lá	5,4	6	24,0	4,3	8	34,2

Sinh khối thân (Bảng 4.118 và 4.120) gia tăng dần từ tuổi 2 (10,0 tấn/ha) đến tuổi 6 (115,6 tấn/ha) và tuổi 10 (278,9 tấn/ha). Đại lượng ZB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (5,0 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (42,4 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (5,0 tấn/ha/năm) và dự đoán đạt cao nhất tại tuổi 12 (28,3 tấn/ha/năm). Vì thế, tuổi 8 là thời kỳ sinh khối thân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Suất tăng trưởng sinh khối thân giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (30,0%) và tuổi 10 (14,1%).

Tổng sinh khối cành và lá (Bảng 4.119 và 4.120) gia tăng dần từ tuổi 2 (4,8 tấn/ha) đến tuổi 6 (24,0 tấn/ha) và tuổi 10 (42,1 tấn/ha). Đại lượng ZB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (2,4 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (5,4 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (4,0 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (2,4

tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (4,3 tấn/ha/năm). Vì thế, tổng sinh khối cành và lá của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 6.



Hình 4.11. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}.

4.5.2.2. Sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

Từ các hàm sinh khối (4.157) – (4.161) ở Bảng 4.109, xác định được những thành phần sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Bảng 4.121 - 4.124; Hình 4.12).

Bảng 4.121. Tăng trưởng BT_0 trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)	ZB_{To} (tấn/ha/năm)	ΔB_{To} (tấn/ha/năm)	PB%
2	10,9	5,4	5,4	50,0
4	58,1	23,6	14,5	40,6
6	131,5	36,7	21,9	27,9
8	196,0	32,2	24,5	16,4
10	238,1	21,1	23,8	8,8

Bảng 4.122. Tăng trưởng sinh khối thân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	B_T (tấn/ha)	ZB_T (tấn/ha/năm)	ΔB_T (tấn/ha/năm)	PB%
2	7,1	3,5	3,5	50,0
4	45,1	19,0	11,3	42,2
6	110,9	32,9	18,5	29,6
8	171,5	30,3	21,4	17,7
10	211,9	20,2	21,2	9,5

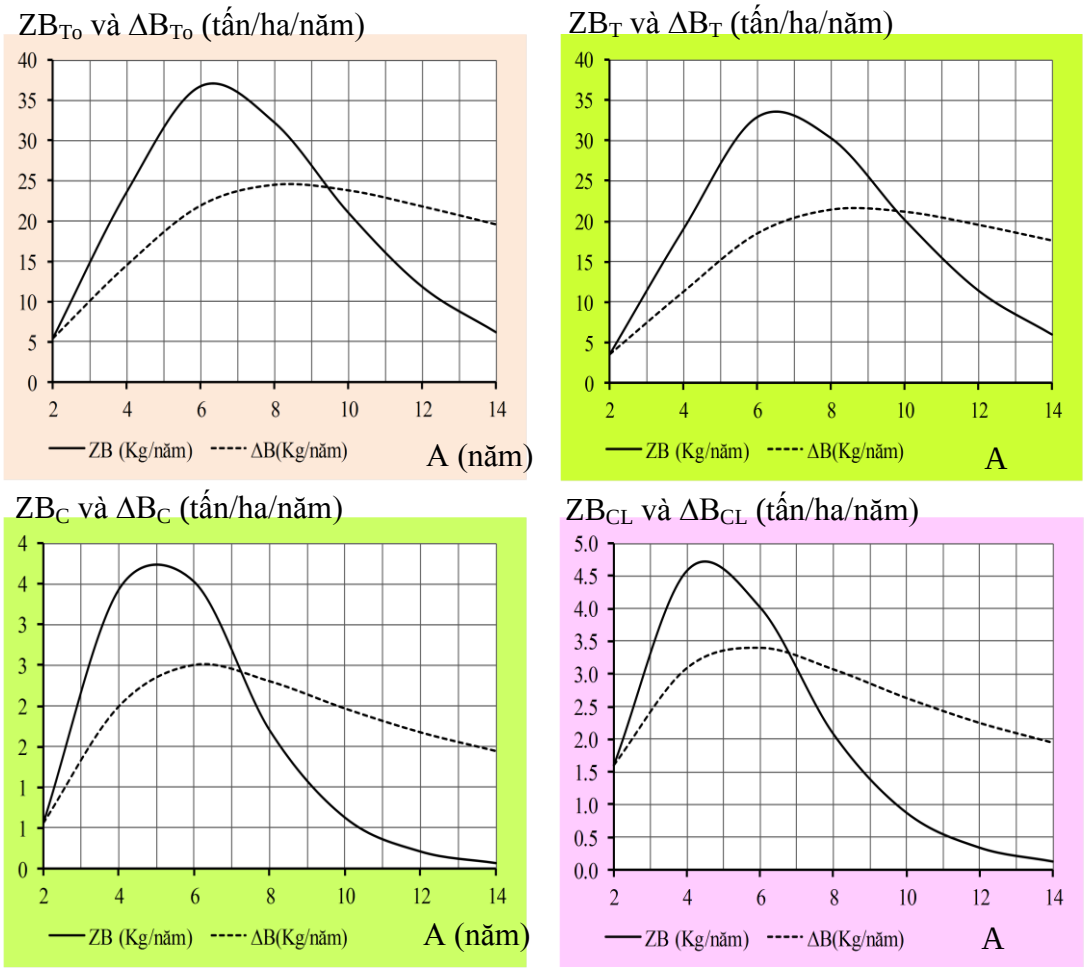
Bảng 4.123. Tăng trưởng B_{CL} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	B_{CL} (tấn/ha)	ZB_{CL} (tấn/ha/năm)	ΔB_{CL} (tấn/ha/năm)	PB%
2	3,2	1,6	1,6	50,0
4	12,4	4,6	3,1	37,0
6	20,4	4,0	3,4	19,7
8	24,6	2,1	3,1	8,5
10	26,3	0,9	2,6	3,3

Bảng 4.124. Đặc trưng tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}. Đơn vị tính: tấn/ha/năm.

Thành phần	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZB_{Max}	A (năm)	B (tấn)	ΔB_{Max}	A (năm)	B (tấn)

Tổng số	36,7	6	131,5	24,5	8	196,0
Thân	32,9	6	110,9	21,4	8	171,5
Cành	3,5	6	15,0	2,5	6	15,0
Lá	1,1	4	4,4	1,0	2	1,9
Cành - lá	4,6	4	14,2	3,1	4	12,4



Hình 4.12. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}.

Phân tích số liệu ở Bảng 4.121 và 4.124 cho thấy B_{To} của rừng Keo lai trên chỉ số SI_{20} gia tăng dần từ tuổi 2 (10,9 tấn/ha) đến tuổi 6 (131,5 tấn/ha) và tuổi 10 (238,1 tấn/ha). Đại lượng ZB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (5,4 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (36,7 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (21,1 tấn/ha/năm).

Đại lượng ΔB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (5,4 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (24,5 tấn/ha/năm). Vì thế, tuổi 6 là thời kỳ tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Suất tăng trưởng tổng sinh khối trên mặt đất giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (27,9%) và tuổi 10 (8,8%).

Sinh khối thân (Bảng 4.122 và 4.124) gia tăng dần từ tuổi 2 (7,1 tấn/ha) đến tuổi 6 (110,9 tấn/ha) và tuổi 10 (211,9 tấn/ha). Đại lượng ZB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (3,5 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (32,9 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (20,2 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (3,5 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (21,4 tấn/ha/năm). Vì thế, tuổi 6 là thời kỳ sinh khối thân chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Suất tăng trưởng sinh khối thân giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (29,6%) và tuổi 10 (9,5%).

Tổng sinh khối cành và lá (Bảng 4.123 và 4.124) gia tăng dần từ tuổi 2 (3,2 tấn/ha) đến tuổi 6 (20,4 tấn/ha) và tuổi 10 (26,3 tấn/ha). Đại lượng ZB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,6 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 4 (4,6 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (0,9 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,6 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (3,4 tấn/ha/năm). Vì thế, tổng sinh khối cành và lá của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 4. Suất tăng trưởng tổng sinh khối cành và lá giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (19,7%) và tuổi 10 (3,3%).

4.5.2.3. Sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Bằng cách khảo sát những hàm sinh khối (4.162) – (4.166) ở Bảng 4.111, xác định được những thành phần sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.125 - 4.128; Hình 4.13).

Bảng 4.125. Tăng trưởng BT_0 của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)	ZB_{To} (tấn/ha/năm)	ΔB_{To} (tấn/ha/năm)	PB%
2	13,4	6,7	6,7	50,0
4	46,7	16,7	11,7	35,7

6	91,9	22,6	15,3	24,6
8	132,8	20,4	16,6	15,4
10	162,1	14,6	16,2	9,0

Bảng 4.126. Tăng trưởng sinh khối thân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

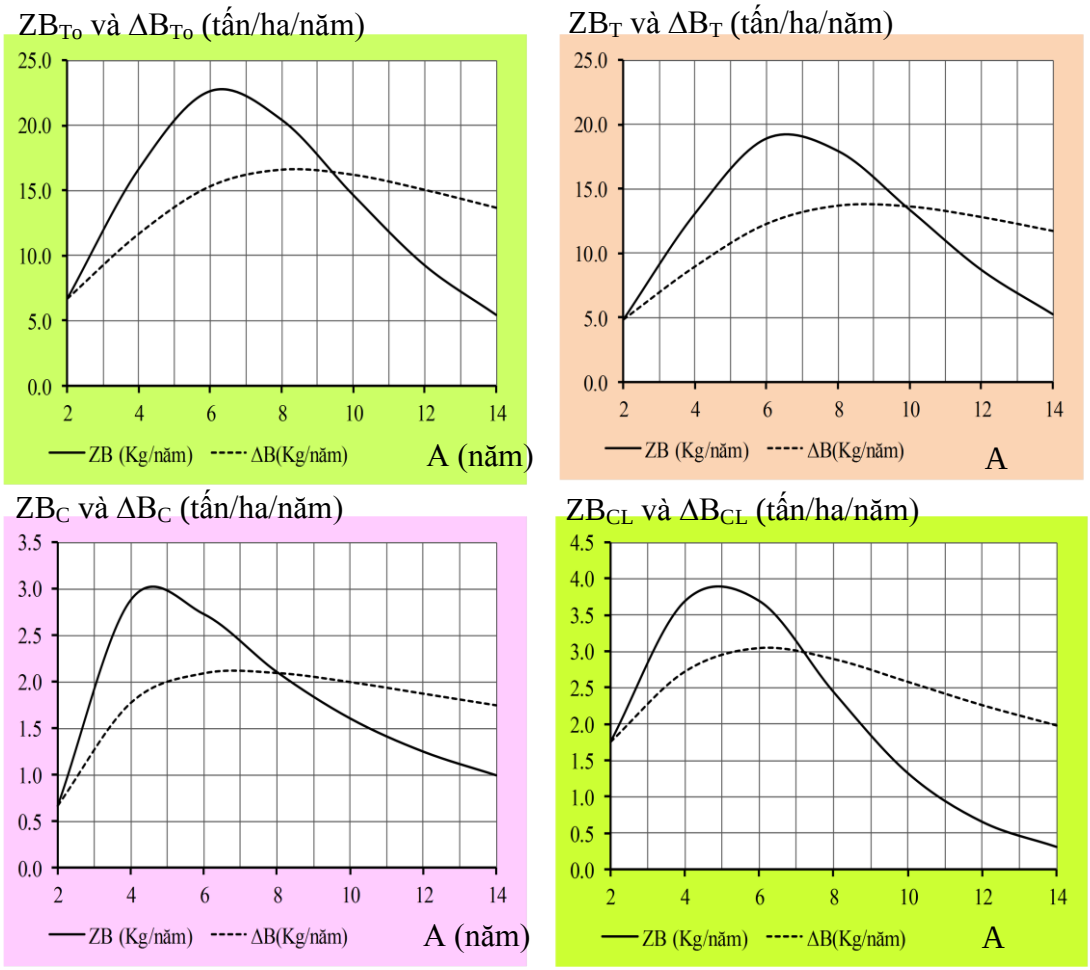
A (năm)	B_T (tấn/ha)	ZB_T (tấn/ha/năm)	ΔB_T (tấn/ha/năm)	PB%
2	9,7	4,9	4,9	50,0
4	35,9	13,1	9,0	36,5
6	73,7	18,9	12,3	25,7
8	109,6	17,9	13,7	16,4
10	136,3	13,4	13,6	9,8

Bảng 4.127. Tăng trưởng B_{CL} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

A (năm)	B_{CL} (tấn/ha)	ZB_{CL} (tấn/ha/năm)	ΔB_{CL} (tấn/ha/năm)	PB%
2	3,5	1,8	1,8	50,0
4	10,9	3,7	2,7	33,9
6	18,3	3,7	3,0	20,2
8	23,2	2,4	2,9	10,5
10	25,8	1,3	2,6	5,1

Bảng 4.128. Đặc trưng tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: tấn/ha/năm

Thành phần	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZB_{Max}	A (năm)	B (tấn)	ΔB_{Max}	A (năm)	B (tấn)
Tổng số	22,6	6	91,9	16,6	8	132,8
Thân	18,9	6	73,7	13,7	8	109,6
Cành	2,9	4	7,1	2,1	6	12,5
Lá	1,3	4	4,2	1,0	4	4,2
Cành + lá	3,7	4	10,9	3,0	6	18,3



Hình 4.13. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}.

Tổng sinh khối (B_{To}) trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.125 và 4.128) gia tăng dần từ tuổi 2 (13,4 tấn/ha) đến tuổi 6 (91,9 tấn/ha) và tuổi 10 (162,1 tấn/ha). Đại lượng ZB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (6,7 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (22,6 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (14,6 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (6,7 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (16,6 tấn/ha/năm). Vì thế, tuổi 6 là thời kỳ tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm. Suất tăng trưởng giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (24,6%) và tuổi 10 (9%).

Sinh khối thân (Bảng 4.126 và 4.128) gia tăng dần từ tuổi 2 (9,7 tấn/ha) đến tuổi 6 (73,7 tấn/ha) và tuổi 10 (136,3 tấn/ha). Đại lượng ZB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (4,9 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (18,9 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (13,4 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (4,9 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (13,7 tấn/ha/năm). Vì thế, thời kỳ sinh khối thân chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 6. Suất tăng trưởng sinh khối thân giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (25,7%) và tuổi 10 (9,8%).

Tổng sinh khối cành và lá (Bảng 4.127 và 4.128) gia tăng dần từ tuổi 2 (3,5 tấn/ha) đến tuổi 6 (18,3 tấn/ha) và tuổi 10 (25,8 tấn/ha). Đại lượng ZB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,8 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 4 (3,7 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (1,3 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,8 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (3,0 tấn/ha/năm). Vì thế, tổng sinh khối cành và lá của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 4. Suất tăng trưởng giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (20,2%) và tuổi 10 (5,1%).

4.5.2.4. Sinh khối bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Bằng cách khảo sát những hàm sinh khối (4.167 – 4.171) ở Bảng 4.113, xác định được sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.129 - 4.132; Hình 4.14).

Bảng 4.129. Tăng trưởng BT_0 của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)	ZB_{To} (tấn/ha)	ΔB_{To} (tấn/ha)	PB%
2	13,0	6,5	6,5	50,0
4	55,3	21,2	13,8	38,3
6	122,7	33,7	20,4	27,5
8	190,1	33,7	23,8	17,7
10	241,7	25,8	24,2	10,7

Phân tích số liệu ở Bảng 4.129 và 4.132 cho thấy B_{To} bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI gia tăng dần từ tuổi 2 (13,0 tấn/ha) đến tuổi 6 (122,7 tấn/ha) và tuổi 10 (241,7 tấn/ha). Đại lượng ZB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (6,5 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (33,7 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (25,8 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{To} gia tăng dần từ tuổi 2 (6,5 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 10 (24,2 tấn/ha/năm). Vì thế, tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 6. Suất tăng trưởng tổng sinh khối trên mặt đất giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (27,5%) và tuổi 10 (10,7%).

Bảng 4.130. Tăng trưởng sinh khối thân của rừng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

A (năm)	B_T (tấn/ha)	ZB_T (tấn/ha)	ΔB_T (tấn/ha)	PB%
2	8,9	4,4	4,4	50,0
4	42,9	17,0	10,7	39,6
6	101,4	29,3	16,9	28,9
8	162,5	30,5	20,3	18,8
10	210,3	23,9	21,0	11,4

Bảng 4.131. Sinh trưởng B_{CL} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI

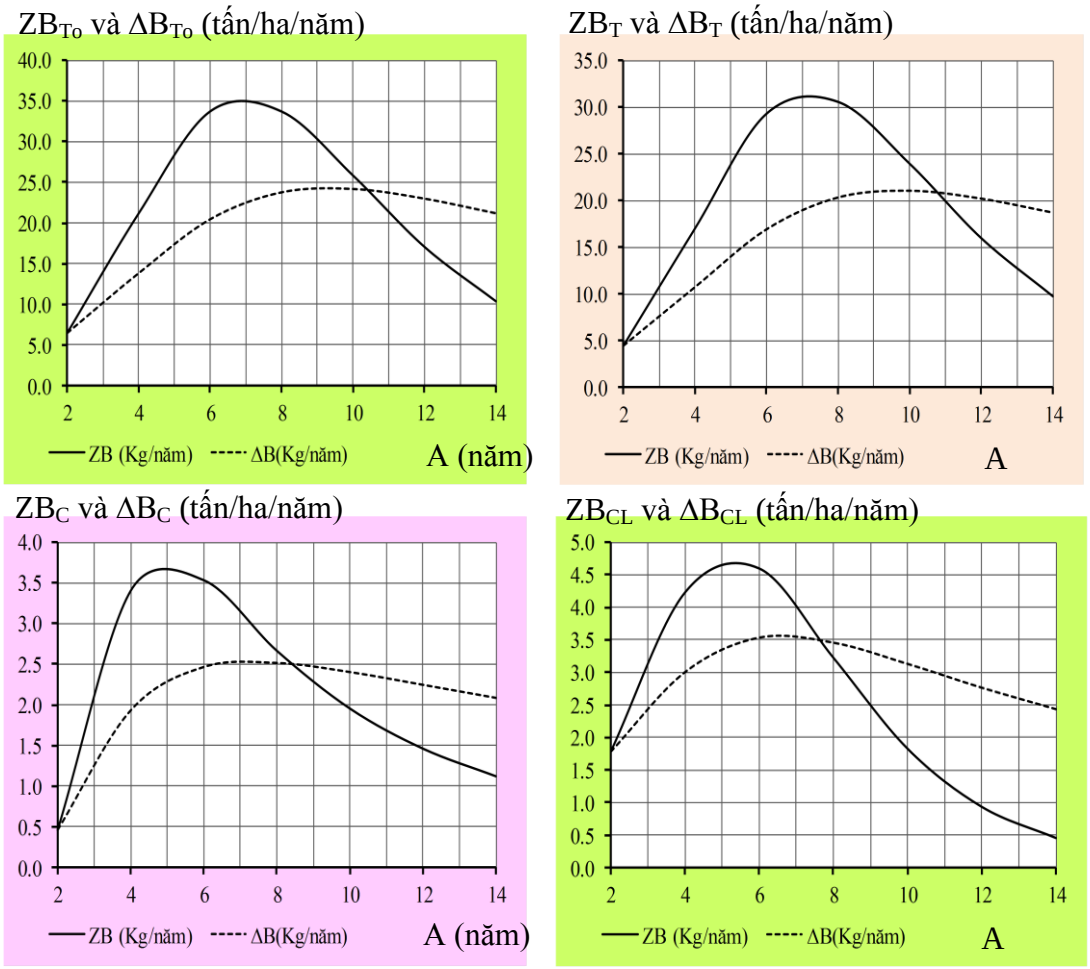
A (năm)	B_{CL} (tấn/ha)	ZB_{CL} (tấn/ha)	ΔB_{CL} (tấn/ha)	PB%
2	3,6	1,8	1,8	50,0
4	12,0	4,2	3,0	35,2
6	21,2	4,6	3,5	21,7
8	27,7	3,2	3,5	11,7
10	31,3	1,8	3,1	5,8

Sinh khối thân (Bảng 4.130 và 4.132) gia tăng dần từ tuổi 2 (8,9 tấn/ha) đến tuổi 6 (101,4 tấn/ha) và tuổi 10 (210,3 tấn/ha). Đại lượng ZB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (4,4 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 8 (30,5 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (23,9 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_T gia tăng dần từ tuổi 2 (4,4 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 10 (21,0 tấn/ha/năm). Vì thế, sinh khối thân của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh

trưởng chậm tại tuổi 8. Suất tăng trưởng giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (28,9%) và tuổi 10 (11,4%).

Bảng 4.132. Đặc trưng tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: 1 ha.

Thành phần	Lượng tăng trưởng hàng năm:			Lượng tăng trưởng bình quân:		
	ZB_{Max}	A (năm)	B (tấn)	ΔB_{Max}	A (năm)	B (tấn)
Tổng số	33,7	6	122,7	24,2	10	241,7
Thân	30,5	8	162,5	21,0	10	210,3
Cành	3,5	6	14,8	2,5	6	14,8
Lá	1,2	4	4,6	1,2	4	4,6
Cành + lá	4,6	6	21,2	3,5	6	21,2



Hình 4.14. Đồ thị biểu diễn tăng trưởng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai.

Tổng sinh khối cành và lá (Bảng 4.131 và 4.132) gia tăng dần từ tuổi 2 (3,6 tấn/ha) đến tuổi 6 (21,2 tấn/ha) và tuổi 10 (31,3 tấn/ha). Đại lượng ZB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,8 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (4,6 tấn/ha/năm); sau đó giảm dần đến tuổi 10 (1,8 tấn/ha/năm). Đại lượng ΔB_{CL} gia tăng dần từ tuổi 2 (1,8 tấn/ha/năm) và đạt cao nhất tại tuổi 6 (3,5 tấn/ha/năm). Vì thế, tổng sinh khối cành và lá của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 6. Suất tăng trưởng tổng sinh khối cành và lá giảm dần từ tuổi 2 (50%) đến tuổi 6 (21,7%) và tuổi 10 (5,8%).

4.5.2.5. So sánh sinh khối của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên 3 cấp chỉ số SI được dẫn ra ở Bảng 4.133 và 4.134. Dấu (%*) là tỉ lệ B_{T0} ở chỉ số SI_{20} và SI_{16} so với chỉ số SI_{24}.

Bảng 4.133. So sánh tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai. Đơn vị tính: tấn/ha

A (năm)	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
	B_{To}	%	B_{To}	$\%^{(*)}$	B_{To}	$\%^{(*)}$
2	14,6	100	10,9	74,7	13,4	91,8
4	59,7	100	58,1	97,3	46,7	78,2
6	139,9	100	131,5	94,0	91,9	65,7
8	234,6	100	196,0	83,5	132,8	56,6
10	321,0	100	238,1	74,2	162,1	50,5
Bình quân	154,0	100,0	126,9	84,7	89,4	68,6

So với B_{To} trên chỉ số SI_{24} (100%), B_{To} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng bằng 74%, 97,3%, 94%, 83,5% và 74,2%; trung bình 84,7%. Tương tự, B_{To} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng chỉ bằng 91,8%, 78,2%, 65,7%, 56,6% và 50,5%; trung bình 68,6%.

Bảng 4.134. Những đặc trưng tăng trưởng sinh khối của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai

Chỉ số SI (m)	Sinh khối	Tăng trưởng hàng năm (ZB, tấn/ha/năm)		Tăng trưởng bình quân (ΔB, tấn/ha/năm)	
		ZB_{Max}	A (năm)	ΔB_{Max}	A (năm)
24	Tổng số	47,4	8	32,4	12
	Thân	42,4	8	28,3	12
	Cành và lá	5,4	6	4,3	8
20	Tổng số	36,7	6	24,5	8
	Thân	32,9	6	21,4	8
	Cành và lá	4,6	4	3,4	6
16	Tổng số	22,6	6	16,6	8
	Thân	18,9	6	13,7	8
	Cành và lá	2,9	4	2,1	6
Trung bình	Tổng số	33,7	6	24,2	10
	Thân	30,5	8	21,0	10
	Cành và lá	4,6	6	3,5	6

Năng suất bình quân về B_{To} của rừng trồng Keo lai tại tuổi 6 trên 3 chỉ số SI_{24}, SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 23,3 tấn/ha/năm, 21,9 tấn/ha/năm và 15,3 tấn/ha/năm; trung bình là 20,2 tấn/ha/năm. Năng suất bình quân đối với B_{To} tại tuổi 10 trên 3 chỉ số SI_{24}, SI_{20} và SI_{16}tương ứng là 32,1; 23,8 và 16,2 tấn/ha/năm; trung bình là 24,2 tấn/ha/năm.

Tăng trưởng sinh khối của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số SI. Thời điểm xuất hiện ZB_{ToMax} và ZB_{TMax} trên chỉ số SI_{24} tại tuổi 8, còn trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 6; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 6 và 8. Như vậy, so với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}, hai đại lượng ZB_{ToMax} và ZB_{TMax} của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} đến sớm hơn một cấp A (2 năm). Thời điểm xuất hiện ΔB_{ToMax} và ΔB_{TMax} trên chỉ số SI_{24} tại tuổi 12, còn trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương

ứng tại tuổi 8; trung bình ba cấp chỉ số SI tại tuổi 10. Như vậy, so với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}, hai đại lượng ΔB_{ToMax} và ΔB_{TMax} trên chỉ số SI_{20} và chỉ số SI_{16} tương ứng đến sớm hơn hai cấp A (2 năm). Thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} cấp chỉ số SI_{24} tương ứng tại tuổi 6 và 8; còn ở chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng tại tuổi 4 và 6. Nói chung, thời điểm xuất hiện ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} trên cả ba cấp chỉ số SI tại tuổi 6. So với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}, hai đại lượng ZB_{CLMax} và ΔB_{CLMax} trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng đến sớm hơn một cấp A (2 năm).

4.5.3. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI

4.5.3.1. Kết cấu sinh khối ở mức cây bình quân

Phân tích tỉ lệ giữa sinh khối khô và sinh khối tươi ở mức cây bình quân (Bảng 4.135) cho thấy sinh khối thân khô, cành khô và lá khô biến động không lớn giữa ba cấp chỉ số SI. Tỉ lệ sinh khối thân khô trung bình là 0,519, dao động từ 0,461 đến 0,582 với CV% = 7,0%. Tỉ lệ sinh khối cành khô trung bình là 0,537, dao động từ 0,458 đến 0,631 với CV% = 7,4%. Tỉ lệ sinh khối lá khô trung bình là 0,347, dao động từ 0,211 đến 0,389 với CV% = 11,3%.

Bảng 4.135. Tỉ lệ giữa sinh khối khô và sinh khối tươi của cây Keo lai

Sinh khối	Trung binh	Min	Max	±SEE	CV%
Thân	0,519	0,461	0,582	0,036	7,0
Cành	0,537	0,458	0,631	0,040	7,4
Lá	0,347	0,211	0,389	0,039	11,3
Bình quân	0,468	0,377	0,534	0,038	8,6

4.5.3.2. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai

Kết cấu sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai được tổng hợp ở Bảng 4.136 – 4.139. So với B_{To} (100%), tỉ lệ B_T (%) gia tăng dần từ tuổi 2 (68,5% đối với chỉ số SI_{24}; 65,1% đối với chỉ số SI_{20}; 72,4% đối với chỉ số SI_{16}; trung bình 68,5%) đến tuổi 10 (86,9% đối với chỉ số SI_{24}; 89,0% đối với chỉ số SI_{20}; 84,1% đối với chỉ số SI_{16}; trung bình 87,0%). Tương tự, tỉ lệ B_{CL}

(%) giảm dần từ tuổi 2 (31,5% đối với chỉ số SI_{24}; 34,9% đối với chỉ số SI_{20}; 27,6% đối với chỉ số SI_{16}; trung bình 31,5%) đến tuổi 10 (13,1% đối với chỉ số SI_{24}; 11% đối với chỉ số SI_{20}; 15,9% đối với chỉ số SI_{16}; trung bình 13,0%).

Bảng 4.136. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)		B_T (tấn/ha)		B_{CL} (tấn/ha)	
	Giá trị	%	Giá trị	%	Giá trị	%
2	14,6	100	10,0	68,5	4,6	31,5
4	59,7	100	46,2	77,4	13,5	22,6
6	139,9	100	115,6	82,6	24,3	17,4
8	234,6	100	200,5	85,5	34,1	14,5
10	321,0	100	278,9	86,9	42,1	13,1
Bình quân		100		80,2		19,8

Bảng 4.137. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)		B_T (tấn/ha)		B_{CL} (tấn/ha)	
	Giá trị	%	Giá trị	%	Giá trị	%
2	10,9	100	7,1	65,1	3,8	34,9
4	58,1	100	45,1	77,6	13	22,4
6	131,5	100	110,9	84,3	20,6	15,7
8	196	100	171,5	87,5	24,5	12,5
10	238,1	100	211,9	89,0	26,2	11,0
Bình quân		100		80,7		19,3

Bảng 4.138. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)		B_T (tấn/ha)		B_{CL} (tấn/ha)	
	Giá trị	%	Giá trị	%	Giá trị	%
2	13,4	100	9,7	72,4	3,7	27,6
4	46,7	100	35,9	76,9	10,8	23,1
6	91,9	100	73,7	80,2	18,2	19,8
8	132,8	100	109,6	82,5	23,2	17,5
10	162,1	100	136,3	84,1	25,8	15,9
Bình quân		100		79,2		20,8

Bảng 4.139. Kết cấu sinh khối của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI

A (năm)	B_{To} (tấn/ha)		B_T (tấn/ha)		B_{CL} (tấn/ha)	
	Giá trị	%	Giá trị	%	Giá trị(×)	%
2	13	100	8,9	68,5	4,1	31,5
4	55,3	100	42,9	77,6	12,4	22,4
6	122,7	100	101,4	82,6	21,3	17,4
8	190,1	100	162,5	85,5	27,6	14,5
10	241,7	100	210,3	87,0	31,4	13,0
Bình quân		100		80,2		19,8

Nói chung, so với B_{To} (100%), B_T trên chiếm khoảng 80,2%, còn lại 19,8% là B_{CL}. Tỉ lệ B_T gia tăng dần theo tuổi là do chúng tích lũy dần theo tuổi. Trái lại, tỉ lệ B_{CL} giảm dần theo tuổi là do chúng không chỉ tăng trưởng hàng năm, mà còn đào thải hàng năm. Sinh khối lá sinh ra hàng năm và cũng bị đào thải hàng năm. Rừng trồng Keo lai có mật độ cao, sinh trưởng và khép tán rất nhanh. Sự thiếu hụt ánh sáng sau khi rừng khép tán đã dẫn đến sự đào thải nhiều cành, còn hệ thống lá phát triển kém.

4.6. Sự tích lũy carbon và hấp thụ dioxit carbon của rừng trồng Keo lai

4.6.1. Sự tích lũy carbon trên mặt đất của rừng trồng Keo lai

Khối lượng carbon trung bình tích lũy trong sinh khối đối với 1 ha (C_i, tấn/ha) rừng trồng Keo lai từ tuổi 2 – 10 được dẫn ra ở Bảng 4.140 - 4.143.

Bảng 4.140. Khối lượng carbon tích lũy trong sinh khối trên mặt đất của rừng Keo lai trên chỉ số SI_{24}

Cấp A (năm)	Khối lượng carbon trong sinh khối (Tấn/ha):					
	Tổng số		Thân		Cành + lá	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
2	6,9	100	4,7	68,5	2,3	32,9
4	28,1	100	21,7	77,4	6,2	22,1
6	65,8	100	54,3	82,6	11,3	17,2

8	110,3	100	94,2	85,5	16,1	14,6
10	150,9	100	131,1	86,9	19,8	13,1
Bình quân		100		80,0		20,0

Bảng 4.141. Khối lượng carbon tích lũy trong sinh khối trên mặt đất của rừng Keo lai trên chỉ số SI_{20}.

Cấp A (năm)	Khối lượng carbon trong sinh khối (Tấn/ha):					
	Tổng số		Thân		Cành + lá	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
2	5,1	100	3,3	65,1	1,5	29,4
4	27,3	100	21,2	77,6	5,8	21,3
6	61,8	100	52,1	84,3	9,6	15,5
8	92,1	100	80,6	87,5	11,6	12,6
10	111,9	100	99,6	89,0	12,4	11,0
Bình quân		100		81,0		19,0

Bảng 4.142. Khối lượng carbon tích lũy trong sinh khối trên mặt đất của rừng Keo lai trên chỉ số SI_{16}

Cấp A (năm)	Khối lượng carbon trong sinh khối (Tấn/ha):					
	Tổng số		Thân		Cành + lá	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
2	6,3	100	4,6	72,4	1,6	26,1
4	21,9	100	16,9	76,9	5,1	23,3
6	43,2	100	34,6	80,2	8,6	19,9
8	62,4	100	51,5	82,5	10,9	17,5
10	76,2	100	64,1	84,1	12,1	15,9
Bình quân		100		79,2		20,8

Đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} (Bảng 4.140), tổng khối lượng carbon dự trữ trong sinh khối trên mặt đất gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (6,9 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (65,8 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (150,9 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_T gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (4,7 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (54,3 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (131,1 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_{CL} cũng gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (2,3 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (11,3 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (19,8 tấn/ha).

Đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} (Bảng 4.141), tổng khối lượng carbon dự trữ trong sinh khối trên mặt đất gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (5,1 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (61,8 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (111,9 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_T gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (3,3 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (52,1 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (99,6 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_{CL} gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (1,5 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (9,6 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (12,4 tấn/ha).

Đối với rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} (Bảng 4.142), tổng khối lượng carbon dự trữ trong sinh khối trên mặt đất gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (6,3 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (43,2 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (76,2 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_T gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (4,6 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (34,6 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (64,1 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_{CL} gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (1,6 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (8,6 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (12,1 tấn/ha).

Nói chung, tổng khối lượng carbon dự trữ trong sinh khối trên mặt đất đối với rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI (Bảng 4.143) gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (6,1 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (57,7 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (113,6 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_T gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (4,2 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (47,7 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (98,8 tấn/ha). Khối lượng carbon dự trữ trong B_{CL} gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (1,7 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (10,0 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (14,7 tấn/ha). So với tổng khối lượng carbon dự trữ trong B_{To} (100%), khối lượng carbon dự trữ trong B_T là 80,2%, còn lại 19,8% trong B_{CL}.

Bảng 4.143. Khối lượng carbon tích lũy trong sinh khối trên mặt đất của rừng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Cấp A (năm)	Khối lượng carbon trong sinh khối (Tấn/ha):					
	Tổng số		Thân		Cành + lá	
	Trị số	%	Trị số	%	Trị số	%
2	6,1	100	4,2	68,5	1,7	27,7
4	26,0	100	20,2	77,6	5,6	21,7
6	57,7	100	47,7	82,6	10,0	17,3
8	89,3	100	76,4	85,5	13,0	14,6
10	113,6	100	98,8	87,0	14,7	12,9
Bình quân		100		80,2		19,8

4.6.2. Sự hấp thụ dioxit carbon của rừng trồng Keo lai

Khả năng hấp thụ CO_2 của rừng trồng Keo lai thay đổi tùy theo tuổi và chỉ số SI (Bảng 4.144). Trên chỉ số SI_{24}, tổng khối lượng CO_2 trung bình mà 1 ha rừng trồng Keo lai đã hấp thụ gia tăng dần từ cấp tuổi 2 (25,3 tấn/ha) đến cấp tuổi 6 (241,5 tấn/ha) và cấp tuổi 10 (553,8 tấn/ha). Khả năng hấp thụ CO_2 của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} tại cấp tuổi 2 là 18,7 tấn/ha, còn tại cấp tuổi 6 và 10 tương ứng là 226,8 tấn/ha và 410,7 tấn/ha. Khả năng hấp thụ CO_2 của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} tại cấp tuổi 2 là 23,1 tấn/ha, còn tại cấp tuổi 6 và 10 tương ứng là 158,5 tấn/ha và 279,7 tấn/ha. Nói chung, tổng khối lượng CO_2 trung bình mà 1 ha rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai đã hấp thụ tại cấp tuổi 2 là 22,4 tấn/ha, còn cấp tuổi 6 và 10 tương ứng là 211,8 tấn/ha và 416,9 tấn/ha. So với tổng khối lượng CO_2 mà rừng trồng Keo lai từ tuổi 2 – 10 hấp thu trên chỉ số SI_{24} (100%), trị số này trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} bằng 85,4% và 68,4%.

Bảng 4.144. Khả năng hấp thụ dioxit carbon của rừng trồng Keo lai từ 2 – 10 tuổi trên ba cấp chỉ số SI khác nhau. Dầu (*) là tỉ lệ CO_2 hấp thụ từ rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{20} và SI_{16} so với chỉ số SI_{24}

Cấp A	Chỉ số SI_{24}		Chỉ số SI_{20}		Chỉ số SI_{16}	
(năm)	Trị số	%	Trị số	%(*)	Trị số	%(*)
2	25,3	100	18,7	73,9	23,1	91,3
4	103,1	100	100,2	97,2	80,4	77,9
6	241,5	100	226,8	93,9	158,5	65,7
8	404,8	100	338,0	83,5	229,0	56,6
10	553,8	100	410,7	74,2	279,7	50,5
Bình quân				84,5		68,4

4.7. Thảo luận và đề xuất áp dụng kết quả nghên cứu

4.7.1. Đặc điểm của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

Rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai được phân chia thành ba cấp chỉ số SI dựa theo chiều cao trung bình của những cây ưu thế và đồng ưu thế tại tuổi 8 năm. Mật độ của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI đều suy giảm dần theo tuổi với tỉ lệ tương ứng là 9,0%, 3,9% và 2,4%; trung bình là 3,6%. Đường kính, chiều cao và thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số SI. Đường kính của rừng trồng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại cấp tuổi 2. Trong khoảng 10 năm đầu, đường kính bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} lớn hơn chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 16,6% và 31,7%. Suất tăng trưởng đường bình quân (PD%) của rừng trồng Keo lai trên cả 3 cấp chỉ số SI đều suy giảm rất nhanh theo tuổi; trong đó PD% ở chỉ số SI_{24} suy giảm nhanh hơn so với chỉ số SI_{20} và SI_{16}. Chiều cao của rừng trồng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 2. Trong khoảng 10 năm đầu, chiều cao bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} lớn hơn chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 16,0% và 32,3%. Suất tăng trưởng chiều cao (PH%) của rừng trồng Keo lai trên cả 3 cấp chỉ

số SI đều suy giảm rất nhanh theo tuổi. Thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 6. Trong khoảng 10 năm đầu, thể tích thân cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} lớn hơn cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16} tương ứng là 40,8% và 68,4%. Suất tăng trưởng thể tích thân cây bình quân (PV%) của rừng trồng Keo lai trên cả 3 cấp chỉ số SI đều suy giảm rất nhanh theo tuổi.

Trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai thay đổi rõ rệt theo tuổi và chỉ số SI. Trữ lượng gỗ của rừng trồng Keo lai chuyển từ giai đoạn sinh trưởng nhanh sang giai đoạn sinh trưởng chậm tại tuổi 4. Tại tỉnh Đồng Nai, năng suất trung bình của rừng trồng Keo lai tại tuổi 4, 6, 8 và 10 tương ứng là 23,2; 29,2; 30,1 và 29,2 (m^3/ha/năm). Năng suất trung bình của rừng trồng Keo lai tại tuổi 10 trên chỉ số SI_{24} (42,3, m^3/ha/năm) cao hơn 1,6 lần và 2,5 lần tương ứng so với cấp chỉ số SI_{20} và SI_{16}. Tuổi thành thục số lượng của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} và SI_{20} tại tuổi 8, còn ở chỉ số SI_{16} tại tuổi 10. Nghiên cứu của Nguyễn Huy Sơn (2006) chỉ ra rằng tuổi thành thục công nghệ của rừng trồng Keo lai tại miền Đông Nam Bộ xuất hiện tại tuổi 8.

Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất đối với rừng trồng Keo lai thay đổi theo tuổi và chỉ số SI. Tổng sinh khối trung bình trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI_{24}, SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng là 13,0; 55,3; 122,7; 190,1 và 241,7 tấn/ha. Tổng khối lượng carbon trung bình trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai trên ba chỉ số SI_{24}, SI_{20} và SI_{16} tại tuổi 2, 4, 6, 8 và 10 tương ứng là 6,1; 26,0; 57,7; 89,3 và 113,6 tấn/ha.

4.7.2. Phương pháp xây dựng hàm sinh khối ở mức cây gỗ và quần thụ

Sinh khối trên mặt đất đối với cây bình quân và quần thụ Keo lai trên ba cấp chỉ số SI tại tỉnh Đồng Nai đã được xác định bằng ba phương pháp khác nhau. Một là phương pháp hàm sinh khối với biến dự đoán A, D, H và tổ hợp của những biến này. Hai là phương pháp dựa theo số liệu điều tra rừng cùng với các hệ số BEF_i. Ba là phương pháp dựa theo số liệu điều tra rừng cùng với các hệ số BEF_i và R_i.

Theo phương pháp thứ nhất, từ sinh khối khô của cây bình quân được thu thập trực tiếp trên những cây mẫu, những hàm sinh khối đã được xây dựng dựa theo 3 biến dự đoán A, D và H. Hạn chế của phương pháp này là ở chỗ, khi phân bố sinh khối ở các tuổi của rừng Keo lai không tuân theo luật phân bố chuẩn, thì sinh khối quần thụ được ước lượng theo hàm $B_{(Quần\ thụ)} = N \times B_{iBq}$ sẽ bị chệch. Những kiểm định này là hết sức khó khăn, bởi vì thực tế rất khó xác định sinh khối thực ở tất cả các tuổi của rừng trồng Keo lai. Hàm ước lượng $B_i = f(A)$ được sử dụng để phân tích quá trình biến đổi sinh khối của cây bình quân theo A. Các hàm $B_i = f(D)$ ở mức cây bình quân được sử dụng để xác định sinh khối theo cấp D. Từ hàm $B_i = f(A)$ và $B_i = f(D)$ cùng với số liệu thống kê trên các ô mẫu, xác định được sinh khối ở mức quần thụ. Mặt khác, sinh khối quần thụ ở những tuổi khác nhau có thể được xác định bằng cách kết hợp hàm $B_i = f(A)$ và hàm $N = f(A)$.

Theo phương pháp thứ hai, sinh khối ở mức cây bình quân được xác định thông qua các hệ số BEF_i và R_i. Các hệ số BEF_i được xác định bằng cách chia sinh khối khô của mỗi thành phần cây gỗ (B_i, kg) cho thể tích thân cây đứng (V_T, m^3). Các giá trị R_i được xác định bằng cách chia B_{To} và B_{CL} cho B_T. Các hệ số BEF_i và R_i ở mức cây bình quân được ước lượng theo 2 biến dự đoán A và D. Để nhận được kết quả tương tự như phương pháp hàm sinh khối với biến dự đoán A và D, các hệ số BEF_i và R_i được xác định dựa theo các hàm $B_i = f(D)$ và hàm $V = f(D, H)$.

4.7.3. Sự biến đổi của hệ số BEFi và R_i theo tuổi của rừng trồng Keo lai

Các hệ số BEF_i và R_i đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai thay đổi tùy theo cấp chỉ số SI. Trên chỉ số SI_{24} và SI_{20}, hai hệ số BEF_{To} và BEF_T chỉ suy giảm từ tuổi 2 đến tuổi 4; sau đó gia tăng đến tuổi 10. Điều đó chứng tỏ sinh khối cành và lá từ tuổi 2 đến tuổi 4 gia tăng chậm hơn so với thể tích thân cây. Trái lại, từ giai đoạn tuổi 4 - 10, sinh khối cành và lá gia tăng nhanh hơn so với thể tích thân cây. Trên chỉ số SI_{16}, các hệ số BEF_i đều suy giảm liên tục từ tuổi 2 đến tuổi 10. Điều đó chứng tỏ sinh khối cành và lá đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{16} gia tăng chậm hơn so với thể tích thân cây.

Kết quả nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng R_{To} đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên cả ba cấp chỉ số SI đều suy giảm dần từ tuổi 2 đến tuổi 10. Giá trị R_C trên chỉ số SI_{24} gia tăng dần từ tuổi 2 đến tuổi 6; sau đó giảm dần đến tuổi 10. Trái lại, giá trị R_L đối với cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên chỉ số SI_{24} và các tỉ lệ R_i trên chỉ số SI_{16} đều suy giảm dần từ tuổi 2 đến tuổi 10.

Sự phát sinh cành và lá không chỉ liên quan với tuổi cây, mà còn với mật độ quần thụ và chất lượng lập địa. Mật độ quần thụ cao dẫn đến sự khép tán kín và làm giảm cường độ ánh sáng chiếu đến các lớp tán dưới. Sự thiếu hụt ánh sáng làm tăng sinh trưởng chiều cao, nhưng lại làm giảm sinh trưởng đường kính. Đối với hệ thống cành, một bộ phận tăng trưởng liên tục theo thời gian, còn một bộ phận khác bị đào thải dần theo thời gian. Hệ thống lá sinh ra trong năm và cũng bị đào thải hoàn toàn sau một năm. Tương tự, chất lượng lập địa cũng thay đổi theo tuổi rừng. Vì thế, các hệ số BEF_i và R_i đều thay đổi theo tuổi cây và chất lượng lập địa.

4.7.4. So sánh sinh khối của rừng trồng Keo lai ở Việt Nam

Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất của rừng trồng Keo lai thay đổi tùy theo địa phương (Bảng 4.145). Tổng sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 3 – 10 tuổi tại tỉnh Đồng Nai dao động tương ứng từ 29,8 – 241,7 tấn/ha và 14,0 – 113,6 tấn/ha.

Bảng 4.145. Sinh khối và dự trữ carbon trên mặt đất của rừng Keo lai ở những địa phương khác nhau

A (năm)	Địa phương	B (tấn/ha)	C (tấn/ha)	CO_2 (tấn/ha)	Nguồn
3	Đồng Nai	29,8	14,0	51,4	Ngoan (2018)
5		87,4	41,1	150,8	
7		157,8	74,2	272,3	
10		241,7	113,6	416,9	
3 - 12	Việt Nam	32,7-221,8	16-111$^{(\times)}$	60-407$^{(\times)}$	Quế (2006)
1 - 7	Bắc, Bắc TB, Đông Nam Bộ	1-130,2	0,5-65	1,8-238,6$^{(\times)}$	Hải (2008)
5	Tp. HCM	46,7	23,4$^{(\times)}$	85,7$^{(\times)}$	Nam và Nhật
7		82,2	41,1$^{(\times)}$	150,8$^{(\times)}$	(2009)

1-6	Bình Định	1,6-186,1	0,8-93(×)	2,9-341,5(×)	Chaw (2011)
2-12(××)	Bắc, Bắc TB, Nam TB	2,1-100,8	1-51,3		VKHLN (2008)
4-12(×××)	Bắc, Bắc TB, Nam TB	38,1-129,7	18,4-64,5		VKHLN (2008)

(×) Giá trị C và CO_2 quy đổi theo P_C = 0,50; (××) Rừng Keo lá tràm; (×××) Rừng Keo tai tượng.

Theo Ngô Đình Quế và cs (2006), tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 3 – 12 tuổi ở Việt Nam dao động từ 32,7 – 221,8 tấn/ha. Nghiên cứu của Võ Đại Hải (2008) cho thấy tổng sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai từ 1 – 7 tuổi tại miền Bắc, Bắc Trung Bộ và Đông Nam Bộ dao động tương ứng từ 1 – 130,2 tấn/ha và 0,5 – 64,7 tấn/ha. Tại Tp. Hồ Chí Minh, tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai tại tuổi 5 và 7 tương ứng là 46,7 và 82,2 tấn/ha (Viên Ngọc Nam và Phan Hồng Nhật, 2009). Tổng sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lá tràm từ 2 – 12 tuổi và Keo tai tượng từ 4 – 12 tuổi ở Việt Nam tương ứng là 2,1 – 100,8 tấn/ha và 38,1 – 129,7 tấn/ha (Viện khoa học lâm nghiệp Việt Nam, 2008).

Nói chung, sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai được báo cáo khác nhau tùy theo tác giả. Sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai tại tỉnh Đồng Nai khác biệt không lớn so với số liệu của Ngô Đình Quế và cs (2006) và Võ Đại Hải (2008), nhưng cao hơn so với số liệu báo của Viên Ngọc Nam và Phan Hồng Nhật (2009). So với sinh khối của rừng trồng Keo lá tràm và rừng trồng Keo tai tượng (Viện khoa học lâm nghiệp Việt Nam, 2008), sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai tại Đồng Nai nhận giá trị cao hơn. Sự khác biệt về sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai ở Việt Nam không chỉ là do sự khác biệt về vị trí địa lý và điều kiện lập địa, mà còn cả phương pháp thu mẫu và phương pháp xây dựng hàm sinh khối.

4.7.5. Đề xuất áp dụng kết quả nghên cứu

Sinh khối đối với rừng trồng Keo lai ở mỗi cấp tuổi trên một cấp chỉ số SI có thể được xác định theo 3 phương pháp. Một là sử dụng các hàm sinh khối ở mức cây bình quân (B_i = f(A) ở Bảng 4.33, 4.35 và 4.37; B_i = f(D) ở Bảng 4.39, 4.41 và

4.43) kết hợp với số liệu điều tra trên những ô mẫu. Hai là sử dụng hàm $V_T = f(D, H)$ ở Bảng 4.13 kết hợp với các hệ số BEF_i (Bảng 4.56; 4.58, 4.60). Ba là sử dụng các hàm sinh khối thân (Bảng 4.33, 4.35 và 4.37; Bảng 4.39, 4.41 và 4.43) và các hàm tỉ lệ R_i (Bảng 4.81, 4.83 và 4.85).

(a) Xác định B_i theo phương pháp 1. Trước hết xác định sinh khối của từng cây trên ô mẫu tương ứng với mỗi cấp tuổi và cấp chỉ số SI bằng cách thay thế D vào các hàm $B_i = f(D)$ và cộng dồn lại; sau đó quy đổi ra đơn vị 1 ha. Khi biết A cây gỗ và quần thụ trên các cấp chỉ số SI, thì áp dụng hàm $B_i = f(A)$ để tính sinh khối cho mỗi tuổi và cấp chỉ số SI. Sau đó xác định tổng sinh khối đối với rừng trồng Keo lai ở mỗi khu vực bằng cách cộng dồn sinh khối của các tuổi và các cấp chỉ số SI.

(b) Xác định B_i theo phương pháp 2. Trước hết xác định thể tích thân cây gỗ trong ô mẫu bằng hàm $V_T = f(D, H)$. Kế đến tính sinh khối cho mỗi cây gỗ trong ô mẫu bằng quan hệ $B_i = V_T \times BEF_i$. Tiếp đến cộng dồn sinh khối của các cây gỗ trong ô mẫu và quy đổi ra đơn vị 1 ha. Sau đó tính sinh khối đối với mỗi tuổi và toàn bộ các tuổi của rừng Keo lai ở khu vực nghiên cứu bằng cách nhân diện tích với sinh khối bình quân 1 ha.

(c) Xác định B_i theo phương pháp 3. Trước hết xác định sinh khối thân từ hàm $B_T = f(D)$ hoặc $B_T = f(A)$. Khi biết tỉ trọng gỗ (WD), thì $B_T = V \times WD$. Kế đến tính B_{T0}, B_C, B_L và B_{CL} cho từng cây trong ô mẫu theo quan hệ $B_i = B_T \times R_i$. Tiếp đến cộng dồn sinh khối của các cây gỗ trong ô mẫu và quy đổi ra đơn vị 1 ha. Sau đó tính sinh khối đối với mỗi tuổi và toàn bộ các tuổi của rừng Keo lai ở khu vực nghiên cứu bằng cách nhân diện tích với sinh khối bình quân 1 ha.

Các hàm sinh khối thân tương ứng với mỗi cấp A và cấp chỉ số SI được sử dụng để xác định sinh khối thu hoạch sau khai thác. Trái lại, các hàm sinh khối cành và lá tương ứng với mỗi cấp A và cấp chỉ số SI được sử dụng để xác định sinh khối để lại sau khai thác. Khi biết dự trữ năng lượng và tỉ lệ các chất khoáng trong các thành phần sinh khối, có thể xác định được chu trình năng lượng và sự quay vòng chất khoáng đối với rừng trồng Keo lai.

Hàm sinh khối với biến dự đoán A, D, H và chỉ số SI được sử dụng để phân tích biến động tổng sinh khối ở mức cây bình quân và quần thụ Keo lai theo A và chỉ số SI.

Khi biết các thành phần sinh khối trên mặt đất của rừng trồng Keo lai ở mỗi cấp A và cấp chỉ số SI, thì dự trữ carbon trong các thành phần sinh khối (C_i, tấn) được xác định bằng cách nhân tương ứng sinh khối của các thành phần (B_i, tấn) với hàm lượng carbon (P_C) trong sinh khối, nghĩa là C_i (tấn hoặc kg) = $B_i \times P_C$, với P_C = 0,47.

Dự trữ carbon đối với toàn bộ rừng trồng Keo lai ở một khu vực được xác định bằng cách cộng dồn khối lượng carbon của các cấp A và cấp chỉ số SI. Dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất đối với toàn bộ rừng trồng Keo lai ở tỉnh Đồng Nai được xác định bằng cách cộng dồn khối lượng carbon của các khu vực.

Khả năng hấp thụ CO_2 đối với rừng trồng Keo lai ở mỗi cấp A và cấp chỉ số SI được xác định bằng cách nhân tổng trữ lượng carbon trong sinh khối với hệ số 3,67. Giá trị CO_2 đối với rừng trồng Keo lai ở mỗi khu vực và toàn tỉnh ĐồngNai được xác định bằng cách nhân tổng trữ lượng CO_2 với đơn giá 1 tấn CO_2. Đơn giá 1 tấn CO_2 được xác định theo quy định chung của ngành lâm nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Araujo T. M., Higuchi N và Cavalho J. A., 1999. Comparison of formulas for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. *Forest Ecology and Management 117*: 43-52.

2. Brown, S., A. J. Gillespie and A. E. Lugo., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science 35:* 881-902.

3. Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a premier. *FAO Forestry Paper* 134.

4.Brown S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges, *Environ. Pollut. 116* (2002) 363-372.

5. Bormann, B.T., 1990. Diameter-based biomass regression models ignore large sapwood-related variation in Sitka spruce. *Canadian Journal of Forest Research 20(7)*: 1098-1104.

6. Basuki TM, Van Laake PE, Skidmore AK, Hussin YA., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management 257:* 1684-1694.

7. Bảo Huy, 2010. Phương pháp nghiên cứu ước tính trữ lượng carbon của rừng tự nhiên làm cơ sở tính toán lượng CO_2 phát thải từ suy thoái và mất rừng ở Việt Nam. *Tạp chí NNPTNT*, số 1/2009, 10 trang.

8. Bao Huy, Vo Hung, Nguyen Thi Thanh Huong, Cao Thi Ly, Nguyen Duc Dinh; Biên tập: Akiko Inoguchi, Gael Sola, Matieu Henry, Luca Birigazzi, 2012. Part B-1: Tree allometric equations in evergreen broadleaf forests in the South Central Coastal region, Viet Nam. UN - REDD Programme Viet Nam. 1-40.

9. Chipman, H., Hamada, M., and Wu C. F. J., 1997. A Bayesian Variable Selection Approach for Analyzing Designed Experiment with Complex Aliasing. Technometrics 39, 372 - 381.

10. Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., R, T.J. & Ni, J., 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications 11*(2): 356-370.

11. Chavé, Andalo, Brown, Cairns, Chambers, Eamus, Folster, Fromard, Higuchi, Kira, Lescure, Nelson, Ogawa, Puig, Riera và Yamakura., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia (2005)* 145: 87 – 99.

12. Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C.,Duque,A.,Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrízar, A., Mugasha, W.A., MullerLandau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M.,Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., Vieilledent, G., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Glob. Change. Biol. 20, 3177–3190. doi:10.1111/gcb.12629.

13. Chaiyo U, Garivait S và Wanthongchai K., 2011. Carbon Storage in Above-Ground Biomass of Tropical Deciduous Forest in Ratchaburi Province, Thailand.

14. Dewar RC, Cannell MGR., 1992. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiol 11*:49-71.

15. Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Solomon AM, Trexler MC, Wisniewski J., 1994. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. *Science 263*: 185-190.

16. Drake JB, Knox RG, Dubayah RO, Clark DB, Condit R., 2003. Aboveground biomass estimation in closed canopy Neotropical forest using lidar remote sensing: factors affecting the generality of relationships. *Global Ecology and Biogeography 12*: 147-159.

17. Djomo AN, Knohl A, Gravenhorst G., 2011. Estimation of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management 261:* 1448-1459.

18. Das, U., Gupta, S., and Gupta, S., 2014. Screening Active Factors in Supersaturated Designs. Computational Statistics and Data Analysis 77, 223 - 232.

19. Đồng Sỹ Hiền, 1974. *Biểu thể tích cây đứng rừng Việt Nam*. Nxb. KHKT, Hà Nội, 350 trang.

20. FAO, 2007. Food and Agricultura Organization. State of the World's Forests. Rome, Italy.

21. Grace J., 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. J Ecol 92: 189-202.

22. Gibbs HK, Brown S, Niles JO, Foley JA., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters 2: 1-13.*

23. Houghton RA., 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Glob Change Biol 11*: 945-958.

24. IPCC, 2000. *A Special Report of the IPCC. Land Use, Land- use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge.

25. IPCC, 2003. *Report on good practice guidance for land use, land-use change and forestry.* IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme http:// www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglu- lucf.htm., Japan.

26. IPCC, 2004. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry,* IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.

27. IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (Eds. HS Eggleston, L Buendia, K Miwa, T Ngara, K Tanabe). IGES, Japan. Retrieved 5 September 2009 from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html.

28. Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. & Bird- sey, R.A., 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science 49*: 12-35.

29. Jalkanen A, Makipaa R, Stahl G, Lehtonen A, Petersson H., 2005. Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. *Ann Forest Sci 62*: 845-851.

30. Keeling CD, Bacastrow RB, Carter AF, Piper SC, Whorf TP., 1989. A three-dimensional model of atmospheric carbon dioxide transport based on observed winds: 1. Analysis of observational data. In Aspects of climate variability in the Pacific and the western Americas. (pp. 165-236). Washington D.C., U.S.A.: *Geophysical Monographs*. American Geophysical Union.

31. Kimmins, J. P, 1998. *Forest ecology*, Prentice- Hall, upper Saddle River, New Jersey, 800 pp.

32. Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M.v., Ambagau, Y. & Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management 146* (1-3): 199-209.

33. Kenzo T, Ichie T, Hattori D, Itioka T, Handa C (2009), Developement of allometric relationships for accurate estimation of above-and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology 25*: 371-386.

34. Kuimi T. Vashum and S. Jayakumar, 2012. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Ecosyst Ecologr 2*: 216.

35. Loeschau, M., 1966. Phân chia các kiểu trạng thái rừng hỗn giao lá rộng thường xanh nhiệt đới. Tổng cục lâm nghiệp, Hà Nội, 15 trang.

36. Lê Hồng Phúc, 1995. Nghiên cứu sinh khối rừng thông ba lá *(Pinus keysia* Royle ex Gordon*)* ở Đà Lạt Lâm Đồng. *Tạp chí lâm nghiệp.* Số 9/1995.

37. Losi CJ, Siccama TG, Condit R, Morales JE., 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. Forest *Ecology and Management 184*: 355-368.

38. Lehtonen A., Makipaa R., Heikkinen J., Sievanen R. & Liski J., 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management 188*: 211-224.

39. Lodhiyal N, Lodhiyal LS., 2003. Biomass and net primary productivity of Bhabar Shisham forests in Central Himalaya, India. *Forest Ecology and Management 176*: 217-235.

40. Levy PE, Hale SE, Nicoll BC., 2004. Biomass expansion factors and root/shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry 77*:421-430.

41. Lal R., 2005. Forests soil and carbon sequestration. *Forest soils and carbon sequestration, 220*: 242-258.

42. Marklund L.G., 1987. Biomass functions for Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) in Sweden, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Forest Survey, pp. 1-127.

43. Montes, N., Gauquelin, T., Badri, W., Bertaudiere, V. & Zaoui, E.H., 2000. A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. Forest Ecology and Management 130: 37-46.

44. Muukkonen, P., 2007. Generalised allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *European Journal of Forest Research 126*:157-166.

45. Nguyễn Ngọc Lung và Đào Công Khanh, 1999. *Nghiên cứu tăng trưởng và sản lượng rừng trồng (Áp dụng cho rừng Thông ba lá (Pinus keysia Royle ex Gordon) ở Việt Nam*. Nxb. Nông nghiệp, 207 trang.

46. Nguyễn Văn Thêm, 2002. *Sinh thái rừng*. Nxb. Nông nghiệp, 250 trang.

47. Nguyễn Văn Thêm và Trần Thị Ngoan, 2016. Những hàm sinh khối và hệ số điều chỉnh sinh khối đối với Thông ba lá *(Pinus keysiya Royle ex Gordon)*

trên cấp đất I ở khu vực Đức Trọng, tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí KHKT Nông Lâm nghiệp* (2): 57 – 65.

48. Nguyễn Huy Sơn, Nguyễn Văn Thịnh, Bùi Thanh Hằng, Nguyễn Thanh Minh, Phan Minh Sáng, 2006. Nghiên cứu đặc điểm sinh trưởng của cây Keo lai và tuổi thành thục công nghệ của rừng trồng Keo lai tại Đông Nam Bộ, *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp*, Số 4/2006.
49. Ngô Đình Quế, Nguyễn Đức Minh, Vũ Tấn Phương, Lê Quốc Huy, Đinh Thanh Giang, Nguyễn Thanh Tùng và Nguyễn Văn Thắng, 2006. Khả năng hấp thụ CO_2 của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam. *Tạp chí NNPTNT* số 7/2006.
50. Nárva J., 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico. *Forest ecology and menagement 257*: 427-434.
51. Porte A, Trichet P, Bert D, Loustau D., 2002. Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (Pinus pinaster Aut.). For *Ecol Manage 158*:71-83.
52. Paladinic E, Vuletic D, Martinic I, Marjanovic H, Indir K, Benko M and Novotny V., 2009. Forest biomass and sequestered carbon estimation according to main tree components on the forest stand scale. *Periodicum Biologorum*, *Vol. 111*, No 4, 459-466, 2009.
53. Phạm Hoàng Hộ, 1999. *Cây cỏ Việt Nam*. Nxb. trẻ, TP. Hồ Chí Minh, 1200 trang.
54. Phạm Trọng Thịnh, 2006. Nghiên cứu một số yếu tố làm cơ sở cho việc tỉa thưa rừng đước *(Rhizophora apiculata* Blume*)* trồng ở vùng ven biển Nam Bộ. *Luận án tiến sỹ nông nghiệp.* Thư viện Trường đại học nông lâm Tp. Hồ Chí Minh.
55. Phoa, F., Pan, Y., and Xu, H., 2008. Analysis of Supersaturated Designs via the Dantzig Selector. Journal of Statistical Planning and Inference 139, 2362 - 2372.

56. Phạm Xuân Quý, 2010. Xây dựng mô hình dự đoán sinh khối rừng Tràm *(Melaleuca cajuputi* Powell*)* ở khu vực Tây Nam Bộ, *Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn*, Số 5/2010.

57. Phạm Thế Dũng và Vũ Đình Hưởng, 2010. *Sinh khối và giá trị năng lượng rừng tràm ở Long An*, Trong cuốn sách "*Cây tràm Melaleuca"*, Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội, trang (85-92).

58. Reyes, G., Brown, S, Chapman, J., Lugo, A.E., 1992. Wood densities of tropical tree species. USDA Forest Service, General Technical Report No. S0-88. Southern Forest Experiment Station, New Orleans.

59. Rignot, E.J., Zimmerman, R. and Van Zyl, J.J., 1995. Spaceborne applications of P band imaging radars for measuring forest biomass. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33*: 1162-1169.

60. Ravindranath NH, Ostwald M., 2008. Methods for estimating above-ground biomass. In N. H. Ravindranath, and M. Ostwald, Carbon Inventory Methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. *Springer Science + Business Media B.V* 113-14.

61. Repola J., 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. Silva Fennica 43(4): 625 – 647.

62. Satoo, T. & Madgwick, H.A.I (1982). Forest biomass. Kluwer Academic Publishers Group, London. 160 p.

63. Smith, W.B. & Brand, G.J., 1983. Allometric equations for 98 species of herbs, shrubs, and small trees. *U.S.D.A.,* Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Note NC-299. 8 p.

64. Soepadmo E., 1993. Tropical rain forests as carbon sinks. *Chemosphere, 27*: 1025-1039.

65. Schroeder, P., Brown, S., Mo, J.M., Birdsey, R. & Cieszewski, C., 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science 43(3)*: 424-434.

66. Sarmiento G, Pinillos M and Garay I., 2005. Biomass variability for tropical American lowland rainforests. *Ecotropicos 18(1)*: 1-20. 2005.

67. Thái Văn Trừng, 1999. *Những hệ sinh thái rừng nhiệt đới ở Việt Nam.* Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 297 trang.

68. Trần Hợp, 2002. *Tài nguyên cây gỗ Việt Nam*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội, 767 trang.

69. Trần Hợp và Nguyễn Bội Quỳnh, 2003**.** *Cây gỗ kinh tế ở Việt Nam*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội, 873 trang.

70. Ter-Mikaelian, M.T. & Korzukhin, M.D., 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management 97*: 1-24.

71. Tobin, B. and M. Nieuwenhuis, 2007. Biomass expansion factors for Sitka spruce (Picea sitchensis (Bong.) Carr.) *in Ireland. Eur. J. Forest. Res. 126*:189-196.

72. Terakunpisut J, Gajaseni N, Ruankawe N., 2007. Carbon sequestration potential in aboveground biomas of Thong Pha Phum National Forest, Thailand.

73. Teobaldelli, M., Z. Somogyi, M. Migliavacca and V. A. Usoltsev, 2009. Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management 257*:1004-1013.

74. Trần Thị Ngoan, 2019. Xây dựng những phương pháp ước lượng sinh khối và dự trữ carbon trong sinh khối trên mặt đất đối với rừng trồng Keo lai (*Acacia auriculiformis*×*Acacia mangium*) ở tỉnh Đồng Nai. Luận án Tiến sĩ khoa học Nông nghiệp, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh.

75. Viên Ngọc Nam, 1998. Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng Đước *(Rhizophora apiculata)* trồng tại Cần Giờ, Tp. Hồ Chí Minh. Luận văn Thạc sỹ khoa học Lâm nghiệp, Đại học Nông lâm Tp. Hồ Chí Minh. 58 trang.

76. Viên Ngọc Nam và Phan Hồng Nhật, 2009. Sinh khối cây Keo lai trồng tại phường Long Bình – quận 9 – thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp* 1/2009.

77. Viên Ngọc Nam và Tôn Thiên An, 2010. Khả năng tích tụ các bon của rừng Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) tự nhiên ở tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí NNPTNT*, 8: trang 78 - 83.

78. Viện KHLN Việt Nam, 2008. Nghiên cứu khả năng hấp thụ và giá trị thương mại carbon của một số dạng rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam.

79. Vũ Tiến Hinh, 2005. *Sản lượng rừng*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội. 212 trang.

80. Vũ Tiến Hinh, 2012. *Phương pháp lập biểu thể tích cây đứng rừng tự nhiên ở Việt Nam*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội, 196 trang

81. Vũ Tiến Hinh, 2012. *Điều tra rừng*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội. 212 trang.

82. Võ Đại Hải, 2008. Nghiên cứu sinh khối Keo lai trồng thuần loài ở Việt Nam, *Tạp chí NNPTNT*, số 2/2008.

83. Viện điều tra quy hoạch rừng, 1995. *Sổ tay điều tra rừng*. Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội. 252 trang.

84. Wang, J., Zhang, C., Xia, F., Zhao X., Wu, L. & Gadow, K. V., 2011. Biomass structure and allometry of *Abies nephrolepis* (Maxim) in Northeast China. *Silva Fennica 45(2):* 211-226.

85. Zianis D., Muukkonen P., Makipaa R. & Mencuccini M., 2005. Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs 4.* 63. p.

86. Zankanen A, Lehtonen A, Petersson H., 2005. Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. *Ann. For. Sci. 62 (2005)* 845 – 851 p.

87. Zeide B., 1993. Analysis of growth equations, Forest Science, 39, (3), tr. 594-616.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Sinh khối của cây mẫu ở rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới thuộc khu vực Nam Trung Bộ.

1.1. Kích thước của những loài cây gỗ được thu mẫu.

Chỉ tiêu	Loài cây gỗ	N(cây)	Trung bình	Min	Max	Max-Min	±SEE
	Bằng lăng	8	24.1	10.4	41.5	31.1	12.27
	Bằng lăng ổi	3	21.7	9.8	32.9	23.1	11.56
	Bình linh nghệ	4	19.0	9.4	24.9	15.5	6.70
	Bồ hòn	1	27.1	27.1	27.1	.0	.
	Cà chắc	3	28.0	15.5	50.4	34.9	19.42
	Cà đuối	2	16.4	15.2	17.5	2.3	1.63
	Cẩm lai	2	9.6	8.1	11.1	3.0	2.12
	Cẩm liên	1	55.7	55.7	55.7	.0	.
	Cẩm thị	3	14.7	12.6	17.5	4.9	2.51
	Căm xe	15	25.6	8.6	52.3	43.7	13.78
	Chiêu liêu	6	23.2	9.9	36.5	26.6	9.36
	Chiêu liêu khế	3	16.8	7.6	31.8	24.2	13.10
	Chiêu liêu nghệ	1	36.3	36.3	36.3	.0	.
	Chôm chôm rừng	1	15.4	15.4	15.4	.0	.
	Cò ke	4	13.0	6.8	20.4	13.6	5.94
	Dầu lông	21	33.2	10.3	48.8	38.5	13.33
	Dầu rái	6	55.3	42.5	72.5	30.0	11.66
D (cm)	Dầu trà beng	3	32.7	28.6	39.0	10.4	5.52
	Gáo	1	35.9	35.9	35.9	.0	.
	Gáo vàng	2	39.4	30.9	47.8	16.9	11.95
	Giáng hương	3	13.9	11.9	16.9	5.0	2.65
	Kơ nia	9	25.8	7.5	45.6	38.1	11.54
	Lim đá	2	37.3	19.4	55.1	35.7	25.24
	Lim xẹt	1	63.7	63.7	63.7	.0	.
	Móng bò	1	18.8	18.8	18.8	.0	.
	Nhàu	1	10.4	10.4	10.4	.0	.
	Săng mây	2	44.0	39.8	48.2	8.4	5.94
	Sao đen	2	30.9	22.6	39.2	16.6	11.74
	Sến mủ	3	47.2	27.8	68.5	40.7	20.42
	Sổ	1	11.5	11.5	11.5	.0	.
	Sò đo	1	10.2	10.2	10.2	.0	.
	Tà quang	1	70.9	70.9	70.9	.0	.
	Thành ngạnh	1	15.4	15.4	15.4	.0	.
	Thị	1	11.6	11.6	11.6	.0	.
	Trắc	3	17.2	15.1	18.5	3.4	1.84

	Trâm	5	26.1	9.0	58.2	49.2	22.32
	Trâm đỏ	2	56.7	48.4	65.0	16.6	11.74
	Vậy nước	2	42.3	24.4	60.1	35.7	25.24
	Vên vên	1	41.2	41.2	41.2	.0	.
	Vừng	4	13.5	11.7	15.4	3.7	1.97
	Xoài rừng	3	24.4	21.4	29.5	8.1	4.44
	Total	165	27.3	6.8	72.5	65.7	15.90
H (m)	Bằng lăng	8	17.3	12.2	23.5	11.3	4.99
	Bằng lăng ổi	3	16.1	9.7	20.8	11.1	5.74
	Bình linh nghệ	4	14.9	9.7	17.8	8.1	3.57
	Bồ hòn	1	19.3	19.3	19.3	.0	.
	Cà chắc	3	19.1	14.2	27.1	12.9	6.96
	Cà đuối	2	14.2	14.2	14.2	.0	0.00
	Cẩm lai	2	11.0	9.7	12.2	2.5	1.77
	Cẩm liên	1	28.2	28.2	28.2	.0	.
	Cẩm thị	3	13.5	12.2	14.2	2.0	1.15
	Căm xe	15	17.8	9.7	27.1	17.4	5.23
	Chiêu liêu	6	16.6	9.7	22.2	12.5	4.22
	Chiêu liêu khế	3	14.2	9.7	20.8	11.1	5.82
	Chiêu liêu nghệ	1	22.2	22.2	22.2	.0	.
	Chôm chôm rừng	1	14.2	14.2	14.2	.0	.
	Cò ke	4	12.4	9.7	16.1	6.4	3.24
	Dầu lông	21	20.8	12.2	25.9	13.7	4.99
	Dầu rái	6	28.1	24.7	32.4	7.7	3.09
	Dầu trà beng	3	21.2	19.3	23.5	4.2	2.13
	Gáo	1	22.2	22.2	22.2	.0	.
	Gáo vàng	2	23.4	20.8	25.9	5.1	3.61
	Giáng hương	3	12.9	12.2	14.2	2.0	1.15
	Kơ nia	9	18.0	9.7	24.7	15.0	4.62
	Lim đá	2	22.2	16.1	28.2	12.1	8.56
	Lim xẹt	1	30.3	30.3	30.3	.0	.
	Móng bò	1	16.1	16.1	16.1	.0	.
	Nhàu	1	12.2	12.2	12.2	.0	.
	Săng mây	2	24.7	23.5	25.9	2.4	1.70
	Sao đen	2	20.7	17.8	23.5	5.7	4.03
	Sến mủ	3	25.1	19.3	31.4	12.1	6.06
	Sổ	1	12.2	12.2	12.2	.0	.
	Sò đo	1	12.2	12.2	12.2	.0	.
	Tà quang	1	32.4	32.4	32.4	.0	.
	Thành ngạnh	1	14.2	14.2	14.2	.0	.
	Thị	1	12.2	12.2	12.2	.0	.
	Trắc	3	14.8	14.2	16.1	1.9	1.10
	Trâm	5	17.4	9.7	29.3	19.6	8.55

	Trâm đỏ	2	28.1	25.9	30.3	4.4	3.11
	Vậy nước	2	23.6	17.8	29.3	11.5	8.13
	Vên vên	1	23.5	23.5	23.5	.0	.
	Vừng	4	13.2	12.2	14.2	2.0	1.15
	Xoài rừng	3	17.7	16.1	19.3	3.2	1.60
	Total	165	18.3	9.7	32.4	22.7	5.93
	Bằng lăng	8	0.4692	.0558	1.1975	1.1417	0.46
	Bằng lăng ổi	3	0.3415	.0199	.6785	.6586	0.33
	Bình linh nghệ	4	0.1890	.0199	.3262	.3063	0.13
	Bồ hòn	1	0.4829	.4829	.4829	.0000	.
	Cà chắc	3	0.8856	.1162	2.3356	2.2194	1.26
	Cà đuối	2	0.1162	.1162	.1162	.0000	0.00
	Cẩm lai	2	0.0379	.0199	.0558	.0359	0.03
	Cẩm liên	1	2.8206	2.8206	2.8206	.0000	.
	Cẩm thị	3	0.0961	.0558	.1162	.0604	0.03
	Căm xe	15	0.5917	.0199	2.3356	2.3157	0.75
	Chiêu liêu	6	0.3384	.0199	.9158	.8959	0.31
	Chiêu liêu khế	3	0.2514	.0199	.6785	.6586	0.37
	Chiêu liêu nghệ	1	0.9158	.9158	.9158	.0000	.
	Chôm chôm rừng	1	0.1162	.1162	.1162	.0000	.
	Cò ke	4	0.0903	.0199	.2050	.1851	0.09
	Dầu lông	21	0.9756	.0558	1.9050	1.8492	0.70
	Dầu rái	6	3.0126	1.5264	5.3486	3.8222	1.58
	Dầu trà beng	3	0.7863	.4829	1.1975	.7146	0.37
V	Gáo	1	0.9158	.9158	.9158	.0000	.
(m^3)	Gáo vàng	2	1.2918	.6785	1.9050	1.2265	0.87
	Giáng hương	3	0.0759	.0558	.1162	.0604	0.03
	Kơ nia	9	0.5243	.0199	1.5264	1.5065	0.51
	Lim đá	2	1.5128	.2050	2.8206	2.6156	1.85
	Lim xẹt	1	3.9628	3.9628	3.9628	.0000	.
	Móng bò	1	0.2050	.2050	.2050	.0000	.
	Nhàu	1	0.0558	.0558	.0558	.0000	.
	Săng mây	2	1.5513	1.1975	1.9050	.7075	0.50
	Sao đen	2	0.7619	.3262	1.1975	.8713	0.62
	Sến mủ	3	2.2112	.4829	4.6242	4.1413	2.15
	Sổ	1	0.0558	.0558	.0558	.0000	.
	Sò đo	1	0.0558	.0558	.0558	.0000	.
	Tà quang	1	5.3486	5.3486	5.3486	.0000	.
	Thành ngạnh	1	0.1162	.1162	.1162	.0000	.
	Thị	1	0.0558	.0558	.0558	.0000	.
	Trắc	3	0.1458	.1162	.2050	.0888	0.05
	Trâm	5	0.9383	.0199	3.3623	3.3424	1.44
	Trâm đỏ	2	2.9339	1.9050	3.9628	2.0578	1.46
	Vậy nước	2	1.8443	.3262	3.3623	3.0361	2.15

	Vên vên	1	1.1975	1.1975	1.1975	.0000	.
	Vừng	4	0.0860	.0558	.1162	.0604	0.03
	Xoài rừng	3	0.3380	.2050	.4829	.2779	0.14
	Total	165	0.7816	.0199	5.3486	5.3287	1.09
	Bằng lăng	8	0.5371	.5210	.5580	.0370	0.01
	Bằng lăng ổi	3	0.6290	.6230	.6410	.0180	0.01
	Bình linh nghệ	4	0.5285	.4900	.5670	.0770	0.03
	Bồ hòn	1	0.6310	.6310	.6310	.0000	.
	Cà chắc	3	0.6153	.5830	.6500	.0670	0.03
	Cà đuối	2	0.5855	.5680	.6030	.0350	0.02
	Cẩm lai	2	0.6445	.6290	.6600	.0310	0.02
	Cẩm liên	1	0.5860	.5860	.5860	.0000	.
	Cẩm thị	3	0.5880	.5580	.6290	.0710	0.04
	Căm xe	15	0.6550	.6080	.7140	.1060	0.03
	Chiêu liêu	6	0.6388	.5940	.6720	.0780	0.03
	Chiêu liêu khế	3	0.6327	.6030	.6800	.0770	0.04
	Chiêu liêu nghệ	1	0.5880	.5880	.5880	.0000	.
	Chôm chôm rừng	1	0.5120	.5120	.5120	.0000	.
	Cò ke	4	0.5540	.5380	.5690	.0310	0.01
	Dầu lông	21	0.5896	.5320	.6730	.1410	0.04
	Dầu rái	6	0.5660	.5200	.5950	.0750	0.03
	Dầu trà beng	3	0.6570	.6500	.6670	.0170	0.01
	Gáo	1	0.3900	.3900	.3900	.0000	.
	Gáo vàng	2	0.5810	.5710	.5910	.0200	0.01
WD	Giáng hương	3	0.5743	.5380	.6040	.0660	0.03
	Kơ nia	9	0.6976	.6740	.7350	.0610	0.02
	Lim đá	2	0.5975	.5750	.6200	.0450	0.03
	Lim xẹt	1	0.3950	.3950	.3950	.0000	.
	Móng bò	1	0.5320	.5320	.5320	.0000	.
	Nhàu	1	0.4630	.4630	.4630	.0000	.
	Săng mây	2	0.6645	.6480	.6810	.0330	0.02
	Sao đen	2	0.5470	.5400	.5540	.0140	0.01
	Sến mủ	3	0.5890	.5700	.5990	.0290	0.02
	Sổ	1	0.5640	.5640	.5640	.0000	.
	Sò đo	1	0.5710	.5710	.5710	.0000	.
	Tà quang	1	0.6660	.6660	.6660	.0000	.
	Thành ngạnh	1	0.5990	.5990	.5990	.0000	.
	Thị	1	0.6930	.6930	.6930	.0000	.
	Trắc	3	0.5880	.5540	.6330	.0790	0.04
	Trâm	5	0.4878	.4640	.5140	.0500	0.02
	Trâm đỏ	2	0.5760	.5620	.5900	.0280	0.02
	Vậy nước	2	0.3760	.3570	.3950	.0380	0.03
	Vên vên	1	0.5900	.5900	.5900	.0000	.
	Vừng	4	0.5148	.4910	.5590	.0680	0.03
	Xoài rừng	3	0.4763	.4640	.4950	.0310	0.02
	Tổng	165	0.5773	.3200	.7350	.4150	0.08

1.2. Sinh khối của những loài cây gỗ được thu mẫu.

Sinh khối	Loài cây gỗ	N(cây)	Trung bình	Min	Max	Max-Min	±SEE
	Bằng lăng	8	367.7	50.4	916.5	866.1	347.5
	Bằng lăng ổi	3	272.3	19.4	532.3	512.9	256.5
	Bình linh nghệ	4	156.6	19.4	265.1	245.7	101.7
	Bồ hòn	1	385.0	385.0	385.0	.0	.
	Cà chắc	3	670.5	100.1	1740.6	1640.5	927.4
	Cà đuối	2	100.1	100.1	100.1	.0	0.0
	Cẩm lai	2	34.9	19.4	50.4	31.0	21.9
	Cẩm liên	1	2087.3	2087.3	2087.3	.0	.
	Cẩm thị	3	83.5	50.4	100.1	49.7	28.7
	Căm xe	15	456.6	19.4	1740.6	1721.2	557.4
	Chiêu liêu	6	270.6	19.4	708.9	689.5	238.5
	Chiêu liêu khế	3	200.7	19.4	532.3	512.9	287.6
	Chiêu liêu nghệ	1	708.9	708.9	708.9	.0	.
	Chôm chôm rừng	1	100.1	100.1	100.1	.0	.
	Cò ke	4	77.5	19.4	170.9	151.5	73.0
	Dầu lông	21	744.9	50.4	1430.8	1380.4	522.2
	Dầu rái	6	2217.0	1156.6	3870.4	2713.8	1117.4
	Dầu trà beng	3	611.3	385.0	916.5	531.5	274.4
	Gáo	1	708.9	708.9	708.9	.0	.
Tổng số	Gáo vàng	2	981.6	532.3	1430.8	898.5	635.3
	Giáng hương	3	67.0	50.4	100.1	49.7	28.7
	Kơ nia	9	409.9	19.4	1156.6	1137.2	383.9
	Lim đá	2	1129.1	170.9	2087.3	1916.4	1355.1
	Lim xẹt	1	2897.1	2897.1	2897.1	.0	.
	Móng bò	1	170.9	170.9	170.9	.0	.
	Nhàu	1	50.4	50.4	50.4	.0	.
	Săng mây	2	1173.7	916.5	1430.8	514.3	363.7
	Sao đen	2	590.8	265.1	916.5	651.4	460.6
	Sến mủ	3	1634.8	385.0	3362.7	2977.7	1545.4
	Sổ	1	50.4	50.4	50.4	.0	.
	Sò đo	1	50.4	50.4	50.4	.0	.
	Tà quang	1	3870.4	3870.4	3870.4	.0	.
	Thành ngạnh	1	100.1	100.1	100.1	.0	.
	Thị	1	50.4	50.4	50.4	.0	.
	Trắc	3	123.7	100.1	170.9	70.8	40.9
	Trâm	5	701.8	19.4	2472.4	2453.0	1060.1
	Trâm đỏ	2	2164.0	1430.8	2897.1	1466.3	1036.8
	Vậy nước	2	1368.8	265.1	2472.4	2207.3	1560.8
	Vên vên	1	916.5	916.5	916.5	.0	.

	Vừng	4	75.3	50.4	100.1	49.7	28.7
	Xoài rừng	3	273.7	170.9	385.0	214.1	107.3
	Total	165	593.4	19.4	3870.4	3851.0	798.6
	Bằng lăng	8	91.3	15.9	215.5	199.6	81.2
	Bằng lăng ổi	3	70.3	6.6	132.9	126.3	63.2
	Bình linh nghệ	4	43.5	6.6	71.3	64.7	26.9
	Bồ hòn	1	99.6	99.6	99.6	.0	.
	Cà chắc	3	152.7	29.7	380.2	350.5	197.3
	Cà đuối	2	29.7	29.7	29.7	.0	0.0
	Cẩm lai	2	11.3	6.6	15.9	9.3	6.6
	Cẩm liên	1	446.3	446.3	446.3	.0	.
	Cẩm thị	3	25.1	15.9	29.7	13.8	8.0
	Căm xe	15	109.2	6.6	380.2	373.6	119.9
	Chiêu liêu	6	70.3	6.6	171.5	164.9	56.5
	Chiêu liêu khế	3	51.8	6.6	132.9	126.3	70.4
	Chiêu liêu nghệ	1	171.5	171.5	171.5	.0	.
	Chôm chôm rừng	1	29.7	29.7	29.7	.0	.
	Cò ke	4	22.8	6.6	48.1	41.5	20.1
	Dầu lông	21	173.9	15.9	319.7	303.8	114.1
	Dầu rái	6	465.6	264.8	768.9	504.1	206.9
	Dầu trà beng	3	149.3	99.6	215.5	115.9	59.7
	Gáo	1	171.5	171.5	171.5	.0	.
	Gáo vàng	2	226.3	132.9	319.7	186.8	132.1
Cành	Giáng hương	3	20.5	15.9	29.7	13.8	8.0
	Kơ nia	9	101.3	6.6	264.8	258.2	86.3
	Lim đá	2	247.2	48.1	446.3	398.2	281.6
	Lim xẹt	1	595.9	595.9	595.9	.0	.
	Móng bò	1	48.1	48.1	48.1	.0	.
	Nhàu	1	15.9	15.9	15.9	.0	.
	Săng mây	2	267.6	215.5	319.7	104.2	73.7
	Sao đen	2	143.4	71.3	215.5	144.2	102.0
	Sến mủ	3	348.0	99.6	679.5	579.9	298.8
	Sổ	1	15.9	15.9	15.9	.0	.
	Sò đo	1	15.9	15.9	15.9	.0	.
	Tà quang	1	768.9	768.9	768.9	.0	.
	Thành ngạnh	1	29.7	29.7	29.7	.0	.
	Thị	1	15.9	15.9	15.9	.0	.
	Trắc	3	35.8	29.7	48.1	18.4	10.6
	Trâm	5	154.4	6.6	518.2	511.6	221.5
	Trâm đỏ	2	457.8	319.7	595.9	276.2	195.3
	Vậy nước	2	294.8	71.3	518.2	446.9	316.0
	Vên vên	1	215.5	215.5	215.5	.0	.
	Vừng	4	22.8	15.9	29.7	13.8	8.0
	Xoài rừng	3	73.0	48.1	99.6	51.5	25.8

	Total	165	136.0	6.6	768.9	762.3	163.9
Lá	Bằng lăng	8	7.0	2.5	13.6	11.1	4.7
	Bằng lăng ổi	3	6.0	1.4	9.9	8.5	4.3
	Bình linh nghệ	4	4.6	1.4	6.6	5.2	2.2
	Bồ hòn	1	8.2	8.2	8.2	.0	.
	Cà chắc	3	9.5	3.7	19.8	16.1	8.9
	Cà đuối	2	3.7	3.7	3.7	.0	0.0
	Cẩm lai	2	2.0	1.4	2.5	1.1	0.8
	Cẩm liên	1	22.0	22.0	22.0	.0	.
	Cẩm thị	3	3.3	2.5	3.7	1.2	0.7
	Căm xe	15	7.8	1.4	19.8	18.4	5.7
	Chiêu liêu	6	6.1	1.4	11.7	10.3	3.5
	Chiêu liêu khế	3	4.6	1.4	9.9	8.5	4.6
	Chiêu liêu nghệ	1	11.7	11.7	11.7	.0	.
	Chôm chôm rừng	1	3.7	3.7	3.7	.0	.
	Cò ke	4	2.9	1.4	5.1	3.7	1.8
	Dầu lông	21	11.1	2.5	17.7	15.2	5.6
	Dầu rái	6	22.2	15.6	31.4	15.8	6.4
	Dầu trà beng	3	10.6	8.2	13.6	5.4	2.8
	Gáo	1	11.7	11.7	11.7	.0	.
	Gáo vàng	2	13.8	9.9	17.7	7.8	5.5
	Giáng hương	3	2.9	2.5	3.7	1.2	0.7
	Kơ nia	9	7.7	1.4	15.6	14.2	4.6
	Lim đá	2	13.6	5.1	22.0	16.9	12.0
	Lim xẹt	1	26.5	26.5	26.5	.0	.
	Móng bò	1	5.1	5.1	5.1	.0	.
	Nhàu	1	2.5	2.5	2.5	.0	.
	Săng mây	2	15.7	13.6	17.7	4.1	2.9
	Sao đen	2	10.1	6.6	13.6	7.0	4.9
	Sến mủ	3	17.6	8.2	28.9	20.7	10.5
	Sổ	1	2.5	2.5	2.5	.0	.
	Sò đo	1	2.5	2.5	2.5	.0	.
	Tà quang	1	31.4	31.4	31.4	.0	.
	Thành ngạnh	1	3.7	3.7	3.7	.0	.
	Thị	1	2.5	2.5	2.5	.0	.
	Trắc	3	4.2	3.7	5.1	1.4	0.8
	Trâm	5	8.8	1.4	24.2	22.8	9.9
	Trâm đỏ	2	22.1	17.7	26.5	8.8	6.2
	Vậy nước	2	15.4	6.6	24.2	17.6	12.4
	Vên vên	1	13.6	13.6	13.6	.0	.
	Vừng	4	3.1	2.5	3.7	1.2	0.7
	Xoài rừng	3	6.6	5.1	8.2	3.1	1.6
	Total	165	8.7	1.4	31.4	30.0	7.1

Phụ lục 2. Kết cấu loài cây gỗ của rừng kín thường xanh hơi khô nhiệt đới ở khu vực Nam Trung Bộ.

2.1.Trạng thái rừng rất giàu.

TT	Loài cây gỗ	N(cây)	G(m^2)	M(m^3)	N%	G%	M%	IVI%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Vên vên	120	5,37	47,81	12,4	12,8	13,4	12,9
2	Dầu con rái	86	3,65	32,85	8,9	8,7	9,2	8,9
3	Dầu song nàng	69	2,88	25,76	7,1	6,8	7,2	7,1
4	Sến mủ	59	2,45	21,13	6,1	5,8	5,9	6,0
5	Bằng lăng ổi	52	1,99	16,41	5,3	4,7	4,6	4,9
6	Cám	37	1,66	13,87	3,8	3,9	3,9	3,9
7	Trâm vỏ đỏ	39	1,59	11,86	4,0	3,8	3,3	3,7
8	Trường mật	34	1,48	13,12	3,5	3,5	3,7	3,6
9	Trâm trắng	37	1,44	11,24	3,8	3,4	3,2	3,5
10	Làu táu trắng	15	1,58	16,09	1,6	3,8	4,5	3,3
11	Cầy	27	1,31	10,98	2,8	3,1	3,1	3,0
12	Sao đen	26	1,05	7,84	2,7	2,5	2,2	2,5
13	Chò chai	15	1,13	10,51	1,6	2,7	3,0	2,4
14	Bứa	26	0,85	6,82	2,7	2,0	1,9	2,2
15	Gõ mật	23	0,92	7,36	2,3	2,2	2,1	2,2
16	Bình linh	19	0,83	7,41	2,0	2,0	2,1	2,0
17	Dầu lá bóng	8	0,90	8,39	0,9	2,1	2,4	1,8
18	Xương cá	12	0,73	6,30	1,2	1,7	1,8	1,6
19	Bời lời nhớt	13	0,56	4,20	1,3	1,3	1,2	1,3
20	Chiêu liêu nước	14	0,50	4,08	1,5	1,2	1,2	1,3
21	Nhãn rừng	7	0,58	4,78	0,7	1,4	1,3	1,1
22	Xưng đào	9	0,49	3,87	0,9	1,2	1,1	1,1
23	Vàng vé	8	0,42	3,60	0,9	1,0	1,0	1,0
24	Cẩm thị	10	0,42	2,97	1,0	1,0	0,8	1,0
25	Lôi	10	0,28	2,12	1,0	0,7	0,6	0,8
26	Sang đen	13	0,23	1,37	1,4	0,6	0,4	0,8
27	Lim vàng	5	0,36	3,19	0,5	0,9	0,9	0,8
28	Côm Đồng Nai	13	0,23	1,42	1,3	0,6	0,4	0,8
29	Dạ nâu	3	0,34	3,35	0,3	0,8	0,9	0,7

30	Mít nài	3	0,34	3,32	0,3	0,8	0,9	0,7
31	Căm xe	3	0,35	3,28	0,3	0,8	0,9	0,7
32	Lòng mán nhỏ	11	0,21	1,45	1,1	0,5	0,4	0,7
33	Huỳnh nương	5	0,32	2,59	0,5	0,8	0,7	0,7
34	Mít rừng	4	0,32	2,56	0,4	0,8	0,7	0,6
35	Săng mã	6	0,26	2,10	0,6	0,6	0,6	0,6
36	Rỏi mật	8	0,22	1,66	0,8	0,5	0,5	0,6
37	Muồng Java	7	0,24	1,65	0,7	0,6	0,5	0,6
38	Cà đuối	8	0,22	1,53	0,77	0,52	0,43	0,57
39	Sấu tía	5	0,24	1,99	0,52	0,56	0,56	0,54
40	Thị đen	6	0,24	1,65	0,6	0,56	0,47	0,54
41	Trâm mốc	3	0,26	2,18	0,34	0,62	0,61	0,53
42	Bò cạp nước	4	0,25	1,85	0,43	0,59	0,52	0,51
43	Cuống vàng	10	0,12	0,66	1,03	0,29	0,19	0,5
44	Xoài rừng	5	0,19	1,4	0,5	0,4	0,4	0,5
45	Tai nghé	8	0,15	0,9	0,86	0,35	0,25	0,49
46	Trám lá đỏ	3	0,24	2,09	0,26	0,57	0,59	0,47
47	Huỷnh	3	0,2	1,74	0,26	0,48	0,49	0,41
48	Săng ớt	8	0,1	0,52	0,77	0,24	0,15	0,39
49	Lòng mức lông	8	0,08	0,37	0,86	0,18	0,1	0,38
50	Găng nhung	6	0,13	0,76	0,6	0,3	0,21	0,37
51	Trường quả nhỏ	2	0,19	1,71	0,17	0,45	0,48	0,37
52	Giên đỏ	2	0,17	1,58	0,17	0,4	0,44	0,34
53	Bời lời vàng	5	0,11	0,67	0,52	0,26	0,19	0,32
54	Chây lớn	3	0,13	0,97	0,26	0,32	0,27	0,28
55	Trường nước	6	0,06	0,28	0,6	0,13	0,08	0,27
56	Nhựa ruồi	4	0,07	0,39	0,43	0,16	0,11	0,23
57	Mãi táp	3	0,1	0,62	0,26	0,23	0,17	0,22
58	Mò cua	3	0,09	0,62	0,26	0,21	0,17	0,21
59	Sưng Nam Bộ	2	0,1	0,76	0,17	0,24	0,21	0,21
60	Sảng cánh	3	0,06	0,37	0,34	0,15	0,1	0,2
61	Chòi mòi	3	0,07	0,46	0,26	0,17	0,13	0,18
62	Quần đầu	4	0,03	0,15	0,43	0,08	0,04	0,18
63	Cò ke	1	0,02	0,09	0,09	0,04	0,03	0,05
64	Cẩm lai	1	0,01	0,03	0,09	0,02	0,01	0,04

65	Rỏi mật	1	0,01	0,03	0,09	0,02	0,01	0,04
	Tổng số	**976**	**42,1**	**355,7**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,1**

2.2. Trạng thái rừng giàu.

TT	Loài cây gỗ	N(cây)	G(m^2)	M(m^3)	N%	G%	M%	IVI%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Huỷnh	10	1,83	19,47	1,8	6,7	8,4	5,6
2	Trâm trắng	43	1,35	9,30	7,6	5,0	4,0	5,5
3	Vên vên	12	1,50	14,70	2,0	5,5	6,4	4,6
4	Kháo	14	1,39	13,14	2,5	5,1	5,7	4,4
5	Bằng lăng	28	1,12	8,52	5,0	4,2	3,7	4,3
6	Thành ngạnh	19	1,18	10,44	3,4	4,4	4,5	4,1
7	Dầu con rái	30	0,86	6,29	5,3	3,2	2,7	3,7
8	Còng	13	1,01	9,03	2,2	3,7	3,9	3,3
9	Cám	9	1,00	9,79	1,6	3,7	4,2	3,2
10	Lim xanh	8	1,02	10,29	1,3	3,8	4,5	3,2
11	Bời lời	18	0,87	7,32	3,1	3,2	3,2	3,1
12	Dó bầu	11	0,99	8,91	1,9	3,6	3,9	3,1
13	Hồng đào	11	0,82	7,75	1,9	3,0	3,4	2,8
14	Săng mã	11	0,77	7,02	1,9	2,9	3,0	2,6
15	Cầy	18	0,55	4,10	3,1	2,0	1,8	2,3
16	Nhọ nồi	18	0,54	3,88	3,2	2,0	1,7	2,3
17	Lòng mang lá lớn	14	0,58	4,30	2,5	2,1	1,9	2,2
18	Mỡ gà	14	0,55	3,97	2,5	2,0	1,7	2,1
19	Chiêu liêu	7	0,57	5,41	1,2	2,1	2,3	1,9
20	Trám chim	8	0,50	4,99	1,5	1,9	2,2	1,8
21	Tung	10	0,47	3,86	1,8	1,7	1,7	1,7
22	Cẩm lai Nam Bộ	10	0,38	2,53	1,8	1,4	1,1	1,4
23	Sơn huyết	12	0,30	2,32	2,0	1,1	1,0	1,4
24	Sơn rừng	15	0,19	1,13	2,6	0,7	0,5	1,3
25	Dâu rừng	9	0,25	1,75	1,6	0,9	0,8	1,1
26	Chiếc tam lang	8	0,23	1,79	1,3	0,8	0,8	1,0
27	Sổ	8	0,21	1,52	1,5	0,8	0,7	1,0
28	Chò chai	6	0,25	2,14	1,0	0,9	0,9	1,0
29	Cuống vàng	11	0,12	0,59	1,9	0,4	0,3	0,9

30	Dung đất	7	0,18	1,38	1,2	0,7	0,6	0,8
31	Chò xót	8	0,15	0,84	1,5	0,5	0,4	0,8
32	Máu chó	3	0,20	1,97	0,6	0,7	0,9	0,7
33	Lộc vừng	3	0,21	2,06	0,4	0,8	0,9	0,7
34	Lim xẹt	1	0,22	2,43	0,2	0,8	1,1	0,7
35	Da đá	6	0,15	0,98	1,0	0,5	0,4	0,7
36	Mít nài	4	0,13	0,92	0,73	0,47	0,4	0,53
37	Bứa	3	0,09	0,61	0,58	0,34	0,26	0,4
38	Trai	3	0,11	0,82	0,44	0,4	0,35	0,4
39	Trám trắng	3	0,1	0,62	0,44	0,35	0,27	0,35
40	Song mây	2	0,1	0,79	0,29	0,38	0,34	0,34
41	Kè	2	0,1	0,76	0,29	0,38	0,33	0,33
42	Sao xanh	2	0,09	0,72	0,29	0,34	0,31	0,32
43	Sò đo	1	0,1	0,95	0,15	0,39	0,41	0,31
44	Bưởi bung	3	0,05	0,25	0,58	0,17	0,11	0,29
45	Cò ke	3	0,03	0,15	0,44	0,11	0,07	0,2
46	Dọc	2	0,03	0,19	0,29	0,12	0,08	0,17
47	Ươi	2	0,01	0,06	0,29	0,05	0,03	0,12
48	Bông bạc	1	0,02	0,1	0,15	0,06	0,04	0,08
49	Gõ đỏ	1	0,02	0,09	0,15	0,06	0,04	0,08
50	Mận rừng	1	0,02	0,1	0,15	0,06	0,04	0,08
51	Thanh trà	1	0,02	0,1	0,15	0,06	0,04	0,08
52	Chẩn	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
53	Cóc rừng	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
54	Dẻ	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
55	Gáo vàng	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
56	Sến	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
57	Thị rừng	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
58	Xoài rừng	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
59	Xương cá	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
60	Xoài rừng	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
61	Xương cá	1	0,01	0,03	0,15	0,02	0,01	0,06
	Tổng số	**571**	**27,1**	**231,2**	**100**	**100**	**100**	**100**

2.3. Trạng thái rừng trung bình.

TT	Loài cây gỗ	N(cây)	G(m^2)	M(m^3)	N%	G%	M%	IVI%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Cám	30	2,51	23,88	6,6	12,5	14,1	11,0
2	Trường mật	27	1,88	17,44	5,9	9,3	10,3	8,5
3	Cầy	13	1,55	15,20	2,7	7,7	8,9	6,5
4	Thẩu tấu lá dày	28	1,01	7,82	6,2	5,0	4,6	5,3
5	Chiếc tam lang	39	0,60	3,66	8,6	3,0	2,2	4,6
6	Bằng lăng	17	0,80	7,22	3,7	4,0	4,3	4,0
7	Săng đen	23	0,69	4,96	5,1	3,4	2,9	3,8
8	Tung	11	0,85	8,10	2,4	4,2	4,8	3,8
9	Dầu con rái	14	0,82	6,94	3,1	4,1	4,1	3,8
10	Bình linh	11	0,87	7,65	2,4	4,3	4,5	3,7
11	Lim xẹt	5	0,78	7,98	1,1	3,9	4,7	3,2
12	Mận rừng	24	0,50	3,15	5,3	2,5	1,9	3,2
13	Trâm trắng	13	0,65	5,26	2,9	3,3	3,1	3,1
14	Gõ mật	11	0,62	5,63	2,4	3,1	3,3	2,9
15	Máu chó lá nhỏ	18	0,39	2,49	3,8	1,9	1,5	2,4
16	Xoài rừng	16	0,40	2,69	3,5	2,0	1,6	2,4
17	Bông bạc	12	0,45	3,34	2,6	2,2	2,0	2,2
18	Dầu lông	6	0,42	4,06	1,3	2,1	2,4	1,9
19	Cuống vàng	13	0,27	1,88	2,7	1,4	1,1	1,7
20	Săng ớt	13	0,27	1,70	2,7	1,3	1,0	1,7
21	Lôi	10	0,31	2,13	2,2	1,5	1,3	1,7
22	Chò chai	11	0,26	1,68	2,4	1,3	1,0	1,6
23	Săng mã	9	0,27	1,86	2,0	1,4	1,1	1,5
24	Bứa	10	0,23	1,48	2,2	1,1	0,9	1,4
25	Sầm lá nhỏ	8	0,25	1,86	1,8	1,2	1,1	1,4
26	Gõ đỏ	3	0,24	2,15	0,6	1,2	1,3	1,0
27	Chiêu liêu lông	8	0,15	0,96	1,7	0,7	0,6	1,0
28	Vên vên	3	0,23	2,06	0,6	1,1	1,2	1,0
29	Bời lời	6	0,18	1,15	1,3	0,9	0,7	1,0
30	Viết	1	0,22	2,43	0,2	1,1	1,4	0,9
31	Nhọ nồi	3	0,19	1,71	0,7	1,0	1,0	0,9
32	Lòng mang lá lớn	5	0,12	0,81	1,1	0,6	0,5	0,7

33	Xương cá	3	0,15	1,26	0,6	0,8	0,7	0,7
34	Bưởi bung	5	0,10	0,63	1,1	0,5	0,4	0,7
35	Trám trắng	2	0,16	1,37	0,4	0,8	0,8	0,7
36	Côm Đồng Nai	2	0,13	1,02	0,4	0,6	0,6	0,5
37	Sao đen	3	0,09	0,55	0,7	0,4	0,3	0,5
38	Sóng rắn	3	0,09	0,55	0,73	0,43	0,33	0,5
39	Lộc vừng	3	0,09	0,64	0,55	0,44	0,38	0,46
40	Còng	1	0,1	0,95	0,18	0,52	0,56	0,42
41	Thành ngạnh	3	0,06	0,37	0,73	0,31	0,22	0,42
42	Nhọc lá lớn	2	0,02	0,12	0,37	0,12	0,07	0,19
43	Sơn rừng	2	0,02	0,12	0,37	0,12	0,07	0,19
44	Lòng mức	2	0,02	0,12	0,37	0,12	0,07	0,18
45	Chôm chôm rừng	1	0,03	0,21	0,18	0,16	0,13	0,16
46	Gạo	2	0,01	0,06	0,37	0,07	0,03	0,16
47	Móng bò	1	0,03	0,21	0,18	0,16	0,13	0,16
48	Sổ lá tròn	1	0,02	0,1	0,18	0,08	0,06	0,11
49	Quế rừng	1	0,02	0,09	0,18	0,08	0,05	0,11
50	Sầm trắng	1	0,02	0,09	0,18	0,08	0,05	0,11
51	Vừng	1	0,01	0,03	0,18	0,03	0,02	0,08
52	Cóc rừng	1	0,01	0,03	0,18	0,03	0,02	0,08
53	Dâu rừng	1	0,01	0,03	0,18	0,03	0,02	0,08
54	Dẻ	1	0,01	0,03	0,18	0,03	0,02	0,08
	Tổng số	**456**	**20,2**	**169,9**	**100**	**100**	**100**	**100**

2.4.Trạng thái rừng nghèo.

TT	Loài cây gỗ	N(cây)	G(m^2)	M(m^3)	N%	G%	M%	IVI%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Bằng lăng	28	1,33	10,40	10,6	14,4	15,0	13,3
2	Trâm trắng	21	0,76	5,76	8,0	8,2	8,3	8,2
3	Trường mật	18	0,63	4,97	6,7	6,8	7,2	6,9
4	Thành ngạnh	18	0,54	3,90	6,7	5,8	5,6	6,1
5	Bình linh	16	0,50	3,38	6,1	5,4	4,9	5,5
6	Nhọ nồi	14	0,44	3,00	5,5	4,7	4,3	4,8
7	Lim xẹt	9	0,49	3,83	3,5	5,3	5,5	4,8
8	Trám trắng	12	0,37	2,81	4,5	4,0	4,1	4,2

9	Cầy	13	0,28	2,00	4,8	3,0	2,9	3,6
10	Sơn huyết	6	0,35	2,85	2,2	3,8	4,1	3,4
11	Cám	8	0,27	1,93	3,2	2,9	2,8	3,0
12	Sầm trắng	8	0,29	1,99	2,9	3,1	2,9	3,0
13	Sến	5	0,25	2,02	1,9	2,7	2,9	2,5
14	Máu chó	6	0,22	1,77	2,2	2,4	2,6	2,4
15	Mỡ gà	5	0,21	1,51	1,9	2,3	2,2	2,1
16	Dó bầu	7	0,18	1,13	2,6	1,9	1,6	2,0
17	Lim xanh	2	0,21	1,99	0,6	2,3	2,9	1,9
18	Chiêu liêu	4	0,17	1,22	1,6	1,8	1,8	1,7
19	Chò xót	3	0,14	1,19	1,0	1,5	1,7	1,4
20	Bời lời	6	0,10	0,59	2,2	1,1	0,9	1,4
21	Gõ mật	2	0,15	1,25	0,6	1,6	1,8	1,4
22	Bưởi bung	4	0,11	0,74	1,6	1,2	1,1	1,3
23	Chò chai	1	0,14	1,37	0,3	1,5	2,0	1,3
24	Dâu rừng	5	0,08	0,54	1,9	0,9	0,8	1,2
25	Dung đất	4	0,08	0,46	1,6	0,8	0,7	1,0
26	Cóc rừng	1	0,10	0,95	0,3	1,1	1,4	0,9
27	Lộc vừng	3	0,07	0,42	1,3	0,8	0,6	0,9
28	Dọc	3	0,08	0,51	1,0	0,9	0,7	0,9
29	Da đá	2	0,08	0,68	0,6	0,9	1,0	0,8
30	Lòng mang lá lớn	3	0,07	0,39	1,0	0,7	0,6	0,7
31	Móng bò	4	0,03	0,15	1,6	0,4	0,2	0,7
32	Căm xe	1	0,08	0,65	0,3	0,8	0,9	0,7
33	Bông bạc	2	0,07	0,47	0,6	0,7	0,7	0,7
34	Cẩm lai Nam Bộ	2	0,06	0,41	0,6	0,7	0,6	0,6
35	Còng	1	0,05	0,38	0,3	0,6	0,6	0,5
36	Vải rừng	1	0,05	0,38	0,3	0,6	0,6	0,5
37	Sổ	3	0,02	0,09	1,0	0,2	0,1	0,4
38	Sao đen	2	0,02	0,13	0,64	0,25	0,18	0,36
39	Trám chim	2	0,02	0,13	0,64	0,25	0,18	0,36
40	Chân chim	1	0,03	0,21	0,32	0,34	0,3	0,32
41	Sò đo	1	0,03	0,21	0,32	0,34	0,3	0,32
42	Chiếc tam lang	2	0,01	0,06	0,64	0,14	0,09	0,29

43	Cuống vàng	2	0,01	0,06	0,64	0,14	0,09	0,29
44	Tung	2	0,01	0,06	0,64	0,14	0,08	0,29
45	Chua khét	1	0,02	0,1	0,32	0,18	0,14	0,21
46	Ươi	1	0,02	0,1	0,32	0,18	0,14	0,21
47	Bứa	1	0,01	0,03	0,32	0,07	0,04	0,15
48	Chẩn	1	0,01	0,03	0,32	0,07	0,04	0,15
49	Dầu con rái	1	0,01	0,03	0,32	0,07	0,04	0,15
50	Mận rừng	1	0,01	0,03	0,32	0,07	0,04	0,14
51	Xương cá	1	0,01	0,03	0,32	0,07	0,04	0,14
	Tổng số	**260**	**9,3**	**69,3**	**100**	**100**	**100**	**100**

Phụ lục 3. Chiều cao tầng trội của rừng trồng Keo lai trên ba cấp SI

SI	A(năm)	N(cây)	H_D(m)	±SEE	CV%	Min	Max	Max-Min
24	2	36	8.6	0.3	3.5	8.0	9.1	1.1
24	3	36	13.0	0.7	5.4	11.5	14.2	2.7
24	4	36	16.5	0.6	3.6	15.2	17.9	2.7
24	5	36	19.0	0.8	4.2	17.4	20.4	3.0
24	6	36	20.5	1.3	6.3	18.0	22.7	4.7
24	7	36	22.7	0.9	4.0	20.9	24.4	3.5
24	8	36	24.0	1.2	5.0	21.8	26.8	5.0
24	9	36	25.2	1.5	6.0	22.6	27.6	5.0
24	10	36	25.7	1.7	6.6	22.9	29.0	6.1
20	2	36	6.4	0.6	9.4	5.8	7.5	1.7
20	3	36	11.3	0.5	4.4	10.4	12.3	1.9
20	4	36	14.3	0.6	4.2	13.3	15.6	2.3
20	5	36	16.2	1.2	7.4	14.6	18.8	4.2
20	6	36	18.6	0.9	4.8	17.2	20.3	3.1
20	7	36	18.7	1.4	7.5	17.0	21.3	4.3
20	8	36	21.4	0.8	3.7	20.1	23.0	2.9
20	9	36	22.2	1.5	6.8	19.9	25.4	5.5
20	10	36	22.7	1.2	5.3	21.1	25.1	4.0
16	2	36	4.9	0.7	14.3	4.0	6.0	2.0
16	3	36	8.8	1.0	11.4	7.1	10.3	3.2
16	4	36	11.1	1.2	10.8	9.4	13.0	3.6

16	5	36	12.6	1.5	11.9	10.5	15.5	5.0
16	6	36	14.8	1.7	11.5	12.2	17.2	5.0
16	7	36	14.1	1.6	11.3	12.3	17.0	4.7
16	8	36	15.3	1.1	7.2	13.6	17.2	3.6
16	9	36	18.5	2.4	13.0	14.8	22.7	7.9
16	10	36	18.9	2.1	11.1	15.7	22.2	6.5

Phụ lục 4. Đường kính cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số lập địa.

SI	A(năm)	N(cây)	D(cm)	±SEE	CV%	Min	Max	Max-Min
24	2	18	6,0	5,7	6,5	0,8	0,22	3,7
24	3	18	9,1	8,4	9,8	1,4	0,40	4,5
24	4	18	11,6	10,9	12,4	1,5	0,42	3,7
24	5	18	13,9	13,1	14,9	1,8	0,53	3,8
24	6	18	14,9	13,8	16,3	2,5	0,74	5,0
24	7	18	16,3	15,3	17,5	2,2	0,62	3,8
24	8	18	17,0	15,9	18,5	2,6	0,71	4,2
24	9	18	18,3	17,2	19,8	2,6	0,81	4,4
24	10	18	18,9	17,4	20,7	3,3	0,95	5,0
20	2	18	4,5	4,2	5	0,8	0,25	5,4
20	3	18	7,8	7,3	8,2	0,9	0,25	3,3
20	4	18	9,8	9,3	10,4	1,1	0,31	3,2
20	5	18	11,5	10,6	12,5	1,9	0,51	4,5
20	6	18	12,8	11,9	13,6	1,7	0,47	3,7
20	7	18	13,3	12,4	14,5	2,1	0,64	4,8
20	8	18	14,6	13,9	15,2	1,3	0,40	2,7
20	9	18	15,3	14,2	16,7	2,5	0,67	4,4
20	10	18	15,9	15	16,9	1,9	0,57	3,6
16	2	18	3,6	3,2	4,1	0,9	0,26	7,3
16	3	18	6,3	5,9	6,7	0,8	0,23	3,7
16	4	18	8,1	7,5	8,7	1,2	0,33	4,0
16	5	18	9,2	8,4	10	1,6	0,43	4,7
16	6	18	10,6	9,9	11,2	1,3	0,38	3,6
16	7	18	10,7	9,9	11,7	1,8	0,58	5,4

16	8	18	11,6	10,8	12,2	1,4	0,39	3,4
16	9	18	13,1	12,2	14,4	2,2	0,60	4,6
16	10	18	13,5	12,6	14,4	1,8	0,52	3,8

Phụ lục 5. Chiều cao cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp SI

LậpSI	A(năm)	N(cây)	H(m)	±SEE	CV%	Min	Max	Max-Min
24	2	18	7,3	6,9	7,9	1,0	0,28	3,8
24	3	18	11,2	10,4	12,1	1,7	0,53	4,7
24	4	18	14,4	13,5	15,6	2,1	0,56	3,9
24	5	18	16,9	15,8	18,2	2,4	0,69	4,1
24	6	18	18,0	16,6	19,6	3,0	0,90	5,0
24	7	18	19,9	18,7	21,4	2,7	0,78	3,9
24	8	18	20,9	19,5	22,9	3,4	0,92	4,4
24	9	18	22,5	21,0	24,3	3,3	1,04	4,6
24	10	18	23,2	21,4	25,5	4,1	1,18	5,1
20	2	18	5,7	5,1	6,5	1,4	0,40	6,9
20	3	18	9,5	8,9	10,3	1,4	0,49	5,1
20	4	18	12,2	11,0	13,4	2,4	0,67	5,5
20	5	18	14,0	12,5	15,7	3,2	0,90	6,4
20	6	18	15,8	14,5	17,2	2,7	0,79	5,0
20	7	18	16,6	15,2	18,5	3,3	1,10	6,6
20	8	18	17,8	16,5	19,0	2,5	0,71	4,0
20	9	18	19,0	17,2	21,3	4,1	1,12	5,9
20	10	18	19,6	18,1	21,5	3,4	1,04	5,3
16	2	18	4,4	3,9	4,9	1,0	0,29	6,6
16	3	18	7,7	7,3	8,1	0,8	0,27	3,5
16	4	18	9,8	9,2	10,6	1,4	0,38	3,8
16	5	18	11,2	10,2	12,3	2,1	0,57	5,1
16	6	18	13,0	12,2	13,8	1,6	0,47	3,7
16	7	18	12,9	11,9	14,2	2,3	0,76	5,9
16	8	18	14,0	13,1	14,8	1,7	0,46	3,3
16	9	18	16,1	14,9	17,7	2,8	0,75	4,7
16	10	18	16,4	15,3	17,6	2,3	0,65	4,0

Phụ lục 6. Thể tích cây bình quân của rừng trồng Keo lai trên ba cấp chỉ số SI

SI	A(năm)	N(cây)	V(m^3)	±SEE	CV%	Min	Max	Max-Min
24	2	18	0,0104	0,0088	0,0131	0,0043	0,0012	11,3
24	3	18	0,0362	0,0288	0,0456	0,0168	0,0050	13,7
24	4	18	0,0757	0,0630	0,0941	0,0311	0,0086	11,3
24	5	18	0,1284	0,1064	0,1586	0,0522	0,0152	11,8
24	6	18	0,1591	0,1241	0,2044	0,0803	0,0238	15,0
24	7	18	0,2085	0,1718	0,2572	0,0854	0,0240	11,5
24	8	18	0,2383	0,1935	0,3076	0,1141	0,0309	13,0
24	9	18	0,2984	0,2438	0,3739	0,1301	0,0403	13,5
24	10	18	0,3260	0,2543	0,4289	0,1746	0,0498	15,3
20	2	18	0,0047	0,0035	0,0063	0,0028	0,0008	17,8
20	3	18	0,0225	0,0186	0,0272	0,0086	0,0026	11,5
20	4	18	0,0462	0,0373	0,0560	0,0187	0,0054	11,7
20	5	18	0,0727	0,0551	0,0963	0,0412	0,0110	15,2
20	6	18	0,1020	0,0806	0,1249	0,0443	0,0124	12,1
20	7	18	0,1168	0,0917	0,1527	0,0610	0,0192	16,4
20	8	18	0,1483	0,1251	0,1723	0,0472	0,0138	9,3
20	9	18	0,1765	0,1361	0,2332	0,0971	0,0258	14,6
20	10	18	0,1941	0,1598	0,2410	0,0812	0,0241	12,4
16	2	18	0,0023	0,0016	0,0032	0,0016	0,0005	20,6
16	3	18	0,0119	0,0100	0,0143	0,0043	0,0013	10,7
16	4	18	0,0251	0,0203	0,0315	0,0112	0,0030	12,0
16	5	18	0,0371	0,0282	0,0483	0,0201	0,0054	14,5
16	6	18	0,0573	0,0469	0,0679	0,0210	0,0062	10,8
16	7	18	0,0580	0,0458	0,0763	0,0305	0,0099	17,0
16	8	18	0,0734	0,0600	0,0865	0,0265	0,0073	10,0
16	9	18	0,1098	0,0870	0,1441	0,0571	0,0153	13,9
16	10	18	0,1183	0,0953	0,1432	0,0479	0,0136	11,5

Phụ lục 7. Số liệu sinh khối (kg) theo tuổi của các cây kiểm tra không tham gia xây dựng mô hình.

7.1. Chỉ số SI_{24}

A (năm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
2	6,0	4,0	0,7	1,3	2,0
4	33,7	27,2	3,6	2,8	6,4
6	89,7	73,5	11,2	5,0	16,3
8	152,8	128,3	18,1	6,4	24,5
10	241,3	208,5	25,1	7,8	32,8

7.2. Chỉ số SI_{20}

A (năm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
2	5,0	3,3	0,8	1,0	1,7
4	31,7	25,8	3,6	2,3	5,8
6	71,6	60,6	8,0	3,0	11,0
8	121,2	105,9	11,6	3,6	15,2
10	160,8	142,4	13,7	4,7	18,5

7.3. Chỉ số SI_{16}

A (năm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
2	4,5	3,0	0,6	0,9	1,5
4	22,6	17,4	3,2	2,0	5,2
6	50,3	40,4	6,4	3,5	9,9
8	79,5	65,9	9,8	3,8	13,6
10	109,7	92,5	13,2	4,0	17,2

Phụ lục 8. Số liệu sinh khối (kg) theo D của các cây kiểm tra không tham gia xây dựng mô hình.

8.1. Chỉ số SI_{24}

D (cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
6,0	6,0	4,0	0,7	1,3	2,0
11,6	33,7	27,2	3,6	2,8	6,4
15,0	89,7	73,5	11,2	5,0	16,3
17,3	152,8	128,3	18,1	6,4	24,5
18,9	241,3	208,5	25,1	7,8	32,8

8.2. Chỉ số SI_{20}

D (cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
4,9	5,0	3,3	0,8	1,0	1,7
9,8	31,7	25,8	3,6	2,3	5,8
12,6	71,6	60,6	8,0	3,0	11,0
14,5	121,2	105,9	11,6	3,6	15,2
15,9	160,8	142,4	13,7	4,7	18,5

8.3. Chỉ số SI_{16}

D (cm)	Tổng số	Thân	Cành	Lá	Cành và lá
3,9	4,5	3,0	0,6	0,9	1,5
7,8	22,6	17,4	3,2	2,0	5,2
10,3	50,3	40,4	6,4	3,5	9,9
12,1	79,5	65,9	9,8	3,8	13,6
13,3	109,7	92,5	13,2	4,0	17,2