

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

PGS.TS. BẢO HUY

**PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP
VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO**

**MÔ HÌNH
ƯỚC TÍNH
SINH KHỐI
CÂY RỪNG TỰ NHIÊN**



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO
**MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI
CÂY RỪNG TỰ NHIÊN**

PGS.TS. BẢO HUY

**PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP
VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO**

**MÔ HÌNH
ƯỚC TÍNH
SINH KHỐI**

CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

(Sách chuyên khảo)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

LỜI NÓI ĐẦU

Trong giai đoạn hiện nay và tương lai, vấn đề xác định lượng phát thải và hấp thụ CO₂ của rừng là một nhu cầu cấp thiết để tham gia vào chương trình của Liên Hiệp Quốc: “Giảm phát thải khí nhà kính từ mất rừng và suy thoái rừng – UN-REDD”. Để thực hiện được chương trình UN-REDD, điều quan trọng hàng đầu là đưa ra được các mô hình sinh trắc có độ tin cậy và cung cấp thông tin về sai số của nó khi ước tính sinh khối, carbon cây rừng ở các kiểu rừng, vùng sinh thái khác nhau trong cả nước.

Các phương pháp thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên được tổng hợp, trình bày, giới thiệu trong cuốn sách này bao gồm những vấn đề chính:

- Phương pháp thu thập số liệu trên hiện trường, xử lý số liệu trong phòng thí nghiệm để lập mô hình ước tính sinh khối.

- Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên.

- Phương pháp xây dựng các mô hình thích hợp cho vùng sinh thái, hệ thống phân loại thực vật, thay đổi dưới sự ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần.

- Phương pháp thẩm định chéo và cung cấp chính xác, khách quan thông tin về độ tin cậy, sai số của mô hình sinh khối cây rừng.

Cuốn sách dựa trên kết quả các đề tài nghiên cứu và công bố trên các tạp chí trong nước và quốc tế của tác giả cùng cộng sự, với các công trình khoa học thống kê sinh trắc trong nước và trên thế giới; từ đó đã tổng hợp một cách hệ thống, xử lý, phân tích, minh họa, viết codes để chạy trong phần mềm mã nguồn mở R và thảo luận để biên soạn thành sách chuyên khảo về “Phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên”.

Sách kết cấu gồm 05 chương và cơ sở dữ liệu:

Chương 1: Tổng quan ước tính sinh khối – carbon rừng tích lũy và CO₂ hấp thụ trong hệ sinh thái rừng

Chương 2: Phương pháp thu thập và xử lý số liệu trung gian để lập mô hình sinh khối cây rừng tự nhiên.

Chương 3: Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên

Chương 4: Phương pháp thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng

Chương 5: Hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên và thẩm định chéo sai số.

Chương 6: Cơ sở dữ liệu để thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên ở các kiểu rừng, vùng sinh thái.

Những vấn đề nổi bật và mới trong sách chuyên khảo này là:

i) Đã giới thiệu, hướng dẫn một cách đầy đủ, chi tiết cách thu thập số liệu, cây mẫu, phân tích mẫu để cung cấp cơ sở dữ liệu lập mô hình sinh khối;

ii) Đã giới thiệu và phân tích so sánh các phương pháp ước lượng mô hình sinh khối truyền thống như: tuyến tính hóa bình phương tối thiểu cho đến phương pháp hiện đại là phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số (Weight) và xét đến ảnh hưởng các nhân tố môi trường, lâm phần (random effect), phương pháp mới để thiết lập các mô hình ước tính đồng thời sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng “Seemingly Unrelated Regression” (SUR);

iii) Đã giới thiệu và minh họa so sánh một hệ thống các phương pháp thẩm định để cung cấp sai số của mô hình sinh khối, trong đó đã chỉ ra sự cần thiết ứng dụng phương pháp hiện đại để thẩm định chéo và cung cấp các thông tin sai số một cách khách quan của các mô hình sinh trắc như Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV), k-Fold và Monte Carlo;

iv) Đã tổng hợp một hệ thống các mô hình ước tính sinh khối cây rừng cho hai kiểu rừng chính là lá rộng thường xanh và rừng khộp. Từ đây đã chỉ ra những phát hiện mới cần quan tâm trong thiết lập và thẩm định chéo các mô hình sinh khối, đó là mô hình cho từng vùng sinh thái làm giảm rõ rệt sai số so với mô hình chung vùng nhiệt đới (pantropic), ngay cả trong một kiểu rừng khộp cũng khác nhau, vùng sinh thái ở Đông Nam Á cũng không nên áp dụng mô hình chung vì sai số cao. Ở Việt Nam, các mô hình sinh khối cần được điều chỉnh tham số theo vùng sinh thái để tăng độ chính xác bằng cách sử dụng mô hình có xét đến ảnh hưởng môi trường bên ngoài (random effect); các mô hình thiết lập theo hệ thống phân loại thực vật như họ và chi sẽ tăng độ tin cậy rõ rệt so với các mô hình chung các loài, mô hình đến chi thực vật sẽ không còn bị chi phối bởi vùng sinh thái như mô hình theo một số chi thực vật cây gỗ ưu thế của rừng khộp có thể dùng chung cho vùng Đông Nam Á.

Ngoài ra cuốn sách này cũng giới thiệu chi tiết các codes chạy trong phần mềm mã nguồn mở R để thiết lập và thẩm định chéo các mô hình sinh khối. Các phương pháp thống kê hiện đại theo tiêu chuẩn khoa học sinh trắc quốc tế để thiết lập và thẩm định chéo khách quan các mô hình sinh khối đã được tổng hợp, minh họa với dữ liệu thực tế, giúp cho người đọc có thể vận dụng để tiếp tục nghiên cứu trong lĩnh vực sinh trắc học, mô hình hóa sinh khối cây rừng. Đồng thời cũng cung cấp hệ thống cơ sở dữ liệu lập mô hình sinh khối cây rừng để người đọc có thể sử dụng các mục đích nghiên cứu khác nhau. Đây là một nguồn dữ liệu đã tốn nhiều công sức và chi phí để thu thập, do đó nó cần được bạn đọc sử dụng để nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn dữ liệu.

Cuốn sách chuyên khảo này không chỉ nhằm mục đích cung cấp các mô hình sinh khối cho việc báo cáo phát thải hoặc hấp thụ CO₂ tương đương trong khuôn khổ chương trình REDD ở Việt Nam, mà còn hỗ trợ cho những ai đang nghiên cứu, học tập ở lĩnh vực hấp thụ carbon rừng để giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Đây cũng là tài liệu chuyên khảo cho nghiên cứu và giảng dạy, học tập các môn học liên quan đến dịch vụ môi trường rừng, carbon rừng, rừng và biến đổi khí hậu ở bậc Đại học và sau Đại học ngành lâm nghiệp, quản lý tài nguyên và môi trường rừng.

Ban Mê Thuật, 01 tháng 03 năm 2017

Bảo Huy

KÝ HIỆU VIẾT TẮT

AGB	Above ground biomass: Sinh khối trên mặt đất của cây gỗ, bao gồm thân, cành, lá và vỏ (kg/cây)
BA	Basal area: Tổng tiết diện ngang cây gỗ/ha (m ² /ha)
Bba	Biomass of bark: Sinh khối của vỏ cây (kg/cây)
Bbr	Biomass of branch: Sinh khối của cành cây (kg/cây)
BGB	Below ground biomass: Sinh khối dưới mặt đất, là rễ của thực vật, nhưng chủ yếu là rễ cây gỗ (kg/cây)
Bl	Biomass of leaf: Sinh khối của lá (kg/cây)
Bst	Biomass of stem: Sinh khối của thân cây gỗ (kg/cây)
Ca/CA	Crown area: Diện tích tán lá (m ² /cây)
CD	Crown diameter: Đường kính tán lá (m)
CF	Carbon Fraction: Hệ số chuyển đổi từ sinh khối khô sang carbon
COP	Conference of the Parties: Hội nghị các bên liên quan
DBH, D	Diameter at Breast Height: Đường kính ở độ cao ngang ngực, thường là ở độ cao 1.3m, (đơn vị cm)
FAO	Food and Agriculture Organization: Tổ chức Nông Lương của Liên Hiệp Quốc
FPCC	Framework Convention on Climate Change: Hiệp định khung về biến đổi khí hậu
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility: Quỹ đối tác carbon rừng thuộc Ngân hàng Thế Giới (World Bank)
GHG	Green House Gas: Khí gây hiệu ứng nhà kính
H	Height: Chiều cao cây rừng (m)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change: Cơ quan liên chính phủ về biến đổi khí hậu
M	Trữ lượng gỗ m ³ /ha
MRV	Measurement, Reporting & Verification: Đo tính, báo cáo và thẩm định.
N	Mật độ cây gỗ/ha (cây/ha)
PCM	Participatory Carbon Monitoring: Giám sát carbon rừng có sự tham gia
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng

REDD ⁺	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng kết hợp với bảo tồn, quản lý bền vững rừng và tăng cường trữ lượng carbon rừng ở các nước đang phát triển.
TB	Total Biomass: Tổng sinh khối trên và dưới mặt đất của cây gỗ (kg)
UNDP	United Nations Development Programme: Chương trình Phát triển Liên Hợp Quốc
UNEP	United Nations Environment Programme: Chương trình Môi trường Liên Hiệp Quốc
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change: Hiệp định khung của Liên Hiệp Quốc về Biến đổi khí hậu
UN-REDD	United Nation – Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation. Chương trình REDD của Liên Hiệp Quốc.
V	Volume: Thể tích cây đứng (m ³ /cây)
WD	Wood density: Khối lượng thể tích gỗ (g/cm ³) hoặc (tấn/m ³)

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	5
KÝ HIỆU VIẾT TẮT	7

Chương 1

TỔNG QUAN ƯỚC TÍNH SINH KHỐI - CARBON TÍCH LŨY VÀ CO₂ HẤP THỤ TRONG CÁC HỆ SINH THÁI RỪNG

1.1 Nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối - carbon rừng.....	13
1.2 Chương trình REDD	14
1.3 Ước tính phát thải, hấp thụ CO ₂ rừng theo 5 bể chứa	15
1.4 Tổng quát về thiết lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng	17
1.5 Ứng dụng các mô hình để ước tính sinh khối - carbon trong cây rừng phần trên và dưới mặt đất.....	22
1.5.1 Bố trí hệ thống ô mẫu.....	22
1.5.2 Thu thập số liệu trong ô mẫu.....	26
1.5.3 Tính toán sinh khối và carbon cho từng ô mẫu và quy ra lâm phần	27
1.6 Phối hợp mô hình sinh trắc và ảnh viễn thám để giám sát sinh khối, carbon rừng.....	28

Chương 2

PHƯƠNG PHÁP THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU TRUNG GIAN ĐỂ LẬP MÔ HÌNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

2.1 Lựa chọn, thiết lập và thu thập số liệu ô mẫu	29
2.2 Lựa chọn, chặt hạ và thu thập số liệu cây mẫu và lấy mẫu	34
2.3 Phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm và xử lý số liệu các biến số lập mô hình sinh khối	39

Chương 3

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

3.1 Chỉ tiêu thống kê, biểu đồ để lựa chọn mô hình sinh khối	43
3.2 Lựa chọn biến số độc lập và dạng mô hình sinh khối	46
3.3 Các phương pháp ước lượng mô hình sinh khối phi tuyến tính.....	48
3.3.1 Thiết lập mô hình phi tuyến hàm mũ được tuyến tính hóa logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu.....	48

3.3.2	Lựa chọn phương pháp phi tuyến tính	51
3.4	Phương pháp thiết lập mô hình thay đổi tham số dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường, đặc trưng lâm phần (random effect)	63

Chương 4

PHƯƠNG PHÁP THẨM ĐỊNH CHÉO MÔ HÌNH SINH KHỐI CÂY RỪNG

4.1	Phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập	72
4.2	Phương pháp thẩm định chéo Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)	75
4.3	Phương pháp thẩm định chéo k-fold	78
4.4	Phương pháp Monte Carlo	81

Chương 5

HỆ THỐNG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO SAI SỐ

5.1	Lựa chọn mô hình ước tính sinh khối cho vùng sinh thái hay mô hình chung cho vùng nhiệt đới (Pantropic)	93
5.1.1	Vùng sinh thái và số liệu thu thập để lập và thẩm định mô hình và so với mô hình pantropic	94
5.1.2	Thẩm định chéo để lựa chọn mô hình ước tính AGB cây rừng lá rộng thường xanh ở vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ	97
5.1.3	So sánh độ tin cậy của mô hình theo vùng sinh thái và mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropic)	100
5.1.4	Nhận xét	107
5.2	Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp ở Việt Nam và thẩm định chéo trong vùng Đông Nam Á	107
5.2.1	Vùng sinh thái và số liệu sinh khối cây rừng khộp được thu thập	108
5.2.2	Mô hình sinh khối trên mặt đất (AGB) cây rừng khộp theo vùng sinh thái	109
5.2.3	Lựa chọn mô hình sinh khối AGB cây rừng khộp theo vùng sinh thái hay chung cho vùng Đông Nam Á	112
5.2.4	Nhận xét	117
5.3	Hệ thống mô hình và sai số ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh ở các vùng sinh thái	117
5.3.1	Vùng sinh thái và số liệu thu thập trên rừng lá rộng thường xanh	118
5.3.2	Mô hình $AGB = f(DBH)$ và ảnh hưởng vùng sinh thái	121
5.3.3	Mô hình $AGB = f(DBH, H)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái	121
5.3.4	Model $AGB = f(DBH, WD)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái	122
5.3.5	Model $AGB = f(DBH, H, WD)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái	124
5.3.6	Lựa chọn mô hình ước tính AGB theo biến đầu vào và vùng sinh thái	131

5.3.7 Nhận xét.....	132
5.4 Áp dụng phương pháp SUR để ước tính đồng thời sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh và rừng khộp ở Tây Nguyên.....	132
5.4.1 Giới thiệu.....	132
5.4.2 Vùng sinh thái và số liệu thu thập.....	133
5.4.3 Phương pháp SUR thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính đồng thời AGB và BGB	138
5.4.4 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cây rừng khộp.....	145
5.4.5 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cho cây rừng thuộc họ dầu (Dipterocarpaceae).....	147
5.4.6 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cây rừng lá rộng thường xanh.....	148
5.4.7 Nhận xét.....	150
5.5 Thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng theo họ, chi thực vật.....	150
5.5.1 Thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối theo chi thực vật rừng khộp và so với vùng Đông Nam Á.....	151
5.5.2 Mô hình sinh khối AGB theo họ thực vật rừng lá rộng thường xanh	158
5.6 Thiết lập mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên theo cấp chiều cao	165
5.6.1 Vùng sinh thái và số liệu thu thập.....	166
5.6.2 Mô hình AGB theo DBH và H có hay không ảnh hưởng của BA	168
5.6.3 Mô hình AGB theo cấp chiều cao H (chỉ thị lập địa).....	172

Chương 6

CƠ SỞ DỮ LIỆU ĐỂ THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN Ở CÁC KIỂU RỪNG, VÙNG SINH THÁI

TÀI LIỆU THAM KHẢO	230
--------------------------	-----

Chương 1

TỔNG QUAN ƯỚC TÍNH SINH KHỐI - CARBON TÍCH LŨY VÀ CO₂ HẤP THỤ TRONG CÁC HỆ SINH THÁI RỪNG

1.1 Nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối - carbon rừng

Việc quản lý các hệ sinh thái rừng để giảm thiểu biến đổi khí hậu thông qua hấp thụ CO₂ của rừng đáng được chú ý khẩn cấp từ các chính phủ. Chương trình của Liên Hiệp Quốc về Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng (UN-REDD) đã hành động để hỗ trợ các nước đang phát triển từ năm 2009. Việt Nam và Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC) đã hướng dẫn cho việc đo lường và giám sát carbon rừng (IPCC, 1996, 2003, 2006). Tuy nhiên, vẫn còn là một nhu cầu ở quy mô quốc gia tại Việt Nam để cung cấp các mô hình chính xác dùng ước tính sinh khối và carbon.

Có một nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối - carbon rừng đáng kể trên toàn cầu, tại Việt Nam để phát triển các phương trình ước lượng sinh khối và carbon rừng để đo lường và báo cáo ở cấp quốc gia, và các hệ thống xác minh. Theo Công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu, các nước phải báo cáo tình trạng tài nguyên rừng của họ thông qua các sáng kiến như chương trình Hợp tác Liên Hiệp Quốc về giảm phát thải từ phá rừng và suy thoái rừng cộng với UN-REDD chương trình (MRV, 2016) ở các nước đang phát triển (UNFCCC, 2008). Để có độ chính xác cao, phương trình cần cụ thể đến kiểu rừng phổ biến và các vùng sinh thái là cần thiết.

Ước lượng sinh khối chính xác là thành phần quan trọng trong việc xác định trữ lượng carbon rừng, tỷ lệ hấp thụ và đánh giá tác động tiềm tàng do biến đổi khí hậu. Phương trình sinh khối sẽ vẫn là một thành phần quan trọng của phép đo carbon trong tương lai và dự báo (Temesgen et al., 2015). Trong nỗ lực của một nước tham gia và chuẩn bị cho chương trình REDD, phương trình sinh khối đang được chuẩn bị và thẩm định tại Việt Nam. Phương trình tương quan để chuyển đổi dữ liệu kiểm kê rừng toàn quốc sang sinh khối để ước tính lượng carbon rừng đã được đề xuất

cho từng loại rừng chính và các vùng sinh thái của Việt Nam (Sola et al, 2014;. Huy et al, 2012; Huy, 2014).

1.2 Chương trình UN-REDD

Hiệp định khung của Liên Hiệp Quốc về biến đổi khí hậu (UNFCCC, 2008) đã thông qua là một cơ chế cho phép giảm lượng khí thải và tăng cường loại bỏ các khí gây hiệu ứng nhà kính từ các khu rừng nhiệt đới được hạch toán, và góp phần vào mục tiêu cuối cùng để ổn định nồng độ khí nhà kính trong khí quyển ở mức có thể ngăn chặn để giảm nguy hiểm của con người đối với hệ thống khí hậu. Các nước nhiệt đới có thể có những cắt giảm khí thải có xác nhận của UNFCCC (2008) và sau đó giao dịch tín dụng carbon trên thị trường carbon quốc tế.

Cơ chế này được gọi là REDD⁺: “Giảm phát thải khí nhà kính từ mất rừng và suy thoái rừng và vai trò của bảo tồn, quản lý bền vững rừng và tăng cường trữ lượng carbon rừng ở các nước đang phát triển”.

Các cơ chế của REDD⁺ vẫn còn đang được đàm phán ở cấp độ của UNFCCC (2008). Trong vài năm qua những đường nét của cơ chế này đã nổi lên, và trên cơ sở đó các nước có thể chuẩn bị cho việc thực hiện một chương trình quốc gia REDD⁺.

REDD⁺ xác định cơ chế hoạt động bao gồm 5 lĩnh vực chính:

- Giảm phát thải từ mất rừng,
- Giảm phát thải từ suy thoái rừng,
- Bảo tồn trữ lượng carbon rừng,
- Quản lý rừng bền vững,
- Nâng cao các bể chứa carbon rừng.

Như vậy có thể thấy, mặc dù chương trình UN-REDD chưa hoàn toàn có đầy đủ cơ chế tài chính giữa các quốc gia cho nỗ lực quản lý bảo vệ rừng nhằm giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng, nhưng các yếu tố kỹ thuật, vai trò của cộng đồng và lợi ích của REDD⁺ đã được xây dựng và thừa nhận. Hiện tại REDD⁺ đang được thực hiện theo chương trình của Liên Hiệp Quốc với tên gọi là UN-REDD ở các quốc gia thí điểm, trong đó có Việt Nam. Đây chính là cơ sở kỹ thuật và cách thức tiếp cận để cung cấp thông tin dữ liệu quốc gia về phát thải để tiến đến chi trả theo hiệp định khung về biến đổi khí hậu trong thời gian tới.

Chương trình UN-REDD ở Việt Nam đã được khởi động từ năm 2009 với sự hỗ trợ của FAO - Liên Hiệp Quốc và có vai trò quan trọng trong thúc đẩy quản lý rừng tự nhiên bền vững để chi trả dịch vụ môi trường, nó có tính toàn cầu, mà trong đó Việt Nam là một thành viên. Tuy nhiên, để tham gia chương trình REDD, Việt Nam cần có nghiên cứu phương pháp đo tính giám sát để cung cấp thông tin, dữ liệu có cơ sở khoa học, đáng tin cậy về sự thay đổi của các bể chứa carbon trong các hệ sinh thái rừng và chứng minh giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính CO₂ trong thực hiện quản lý rừng tốt hơn.

Chương trình UN-REDD hướng đến tạo ra sinh kế, thu nhập cho người nghèo, các cộng đồng đang được giao đất, giao rừng để quản lý bảo vệ (IUCN, 2007; FAO, 2010), để việc từ chi trả tín chỉ carbon đến được cộng đồng, họ cần tham gia giám sát thay đổi các bể chứa carbon rừng. Vì

vậy, trong một số quốc gia đang phát triển thực hiện REDD⁺ đã bắt đầu xây dựng các hướng dẫn đo tính carbon rừng có sự tham gia (Patrick, 2008; Skutsch et al., 2009, Silva et al., 2010; Bảo Huy, 2009, 2012). Trên cơ sở nghiên cứu các công nghệ, kỹ thuật đo tính giám sát carbon rừng, cần phát triển bộ công cụ thích hợp, đơn giản để cộng đồng có thể tiếp cận đo tính, cung cấp dữ liệu để chuyển đổi sang sinh khối, carbon đạt yêu cầu của IPCC.

1.3 Ước tính phát thải, hấp thụ CO₂ rừng theo 5 bể chứa

Việc giám sát phát thải và hấp thụ CO₂ của rừng bao gồm các lĩnh vực:

- i)* Kỹ thuật, công nghệ đo tính giám sát trữ lượng carbon rừng ở 5 bể chứa,
- ii)* Kỹ thuật và công nghệ viễn thám và GIS để giám sát sự biến động diện tích các trạng thái rừng gắn với carbon rừng,
- iii)* Giải pháp tiến hành giám sát, đo tính để cung cấp thông tin dữ liệu về hấp thụ hoặc phát thải CO₂ trong quá trình quản lý rừng.

Trong thời gian qua nhiều tổ chức, cá nhân nhà khoa học trong nước và chủ yếu ngoài nước đã bắt đầu phát triển phương pháp luận, cách tiếp cận, kỹ thuật để đáp ứng nhu cầu nghiên cứu này.

IPCC (2006) đã phát triển một bộ hướng dẫn cho các quốc gia để điều tra giám sát phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính nói chung, trong đó có vấn đề giám sát phát thải khí CO₂ từ suy thoái và mất rừng. Có 5 bể chứa carbon quan trọng trong rừng được xác định:

- i)* Trong thực vật trên mặt đất (Above Ground Biomass – AGB), bao gồm trong 4 bộ phận thân cây trên mặt đất là thân, cành, lá và vỏ cây của cây gỗ và cả thảm tươi, cây bụi,
- ii)* Trong thực vật dưới mặt đất (Below Ground Biomass – BGB) với chủ yếu trong rễ cây rừng,
- iii)* Trong thảm mục (Litter),
- iv)* Trong gỗ chết (chết đứng hoặc đã ngã đổ) (Dead wood),
- v)* Trong đất dưới dạng carbon hữu cơ (Soil Organic Carbon – SOC).

Việc giám sát phát thải CO₂ từ rừng là giám sát sự thay đổi các bể chứa carbon này cùng với diện tích rừng, từ đó tính được sự gia tăng hay suy giảm bể chứa carbon hay nói khác là sự gia tăng hay giảm phát thải CO₂ từ quản lý rừng, làm cơ sở cho việc buôn bán tín chỉ carbon rừng.

Trong 5 bể chứa carbon rừng, thì bể chứa trong thực vật phần trên mặt đất (AGB) là quan trọng nhất, vì nó chiếm tỷ trọng lớn và biến động do các hoạt động khai thác sử dụng. Qua đó nó phản ánh sự suy thoái hoặc phát triển chất lượng rừng. Vì vậy, giám sát sự thay đổi carbon của bể chứa này đặc biệt được quan tâm trong xây dựng phương pháp và cách đo tính giám sát. Sinh khối trên mặt đất bao gồm cả cây gỗ và thực vật khác như cây thân thảo, cỏ (grass, herb), cây bụi (shrub); tuy nhiên, do tỷ trọng của các loại thực vật không phải thân gỗ thường biến động và có tỷ trọng nhỏ, nên đa số các nghiên cứu tập trung vào sinh khối trên mặt đất của cây gỗ và gọi chung là AGB.

Từ năm 1997, để tính toán lượng phát thải trong vùng lâm nghiệp nhiệt đới, FAO (2016) đã xuất bản hướng dẫn ước tính sinh khối và thay đổi sinh khối (Brown, 1997, 2001). Snowdon (2002) khi nghiên cứu hấp thụ carbon rừng đã xác định bốn bể chứa carbon sinh thái là thực vật sống trên

mặt đất, cây bụi thảm tươi, trong rễ và đất, và đưa ra phương pháp thu thập mẫu để phân tích hàm lượng carbon trong mỗi bể chứa. Jennier (2004) sử dụng nhiều kiểu dạng mô hình để lập tương quan giữa carbon hấp thụ với đường kính ngang ngực cho các loài cây rừng khác nhau ở miền bắc nước Mỹ. Xiaolu (2004) nghiên cứu động thái lượng carbon tích lũy rừng thông qua ô nghiên cứu định vị. Đến năm 2006, để hướng dẫn đo tính, giám sát, thẩm định thay đổi bể chứa carbon rừng trong chương trình REDD, IPCC (2006) tổng kết đầy đủ tất cả các nghiên cứu trên thế giới để hướng dẫn các quốc gia, dự án REDD⁺ áp dụng. Năm 2007, với nhu cầu giám sát nhanh lượng carbon trong rừng để tham gia các chương trình chi trả dịch vụ môi trường rừng, Trung tâm nghiên cứu Nông-Lâm kết hợp với thế giới (ICRAF) (2007) đã phát triển các phương pháp dự báo nhanh lượng carbon lưu giữ thông qua việc giám sát, thay đổi sử dụng đất bằng phân tích ảnh viễn thám, lập ô mẫu nghiên cứu sinh khối và ước tính lượng carbon tích lũy. Đồng thời các tổ chức nghiên cứu lâm nghiệp trên thế giới cũng lần lượt phát triển các phương pháp nghiên cứu, đo tính, giám sát carbon rừng như Pearson et al. (2007) thuộc cơ quan phát triển nông nghiệp Hoa Kỳ đã xây dựng hướng dẫn ước tính carbon tích lũy của rừng; MacDicken (1997), Silva và cộng sự (2010) thuộc tổ chức hợp tác quốc tế Winrock Hoa Kỳ đưa ra hướng dẫn, giám sát carbon lưu trữ trong lâm nghiệp và nông lâm kết hợp và hướng dẫn kỹ thuật trong thực hiện chương trình REDD ở các quốc gia lưu vực sông Mê Kông; Bishma và cộng sự (2010) đưa ra hướng dẫn đo tính carbon rừng cộng đồng ở Nepal. Ở Việt Nam, năm 2010, chương trình UN-REDD. Việt Nam và tổ chức hợp tác phát triển Hà Lan (SNV) đã khởi xướng thí điểm đo tính carbon rừng có sự tham gia (PCM) của cộng đồng ở vùng dự án là tỉnh Lâm Đồng và đã bước đầu xây dựng tài liệu hướng dẫn PCM (Bảo Huy, 2011).

Thay đổi trữ lượng carbon được tính theo hai phương pháp (IPCC, 2006):

- Phương pháp thay đổi bể chứa carbon (Stock difference method): Trong trường hợp này dựa vào các lần điều tra đo tính trữ lượng carbon ở các bể chứa, tính toán được tăng giảm bình quân của lượng carbon theo công thức sau:

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (1.1)$$

- Phương pháp tăng giảm bể chứa carbon (Gain-loss method): Trường hợp này cần có giá trị tăng giảm bình quân hằng năm của sinh khối/carbon theo công thức sau:

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (1.2)$$

trong đó: ΔC_B : Thay đổi sinh khối, carbon rừng

C_{it} : Sinh khối/carbon ở thời điểm i: 1 hoặc 2

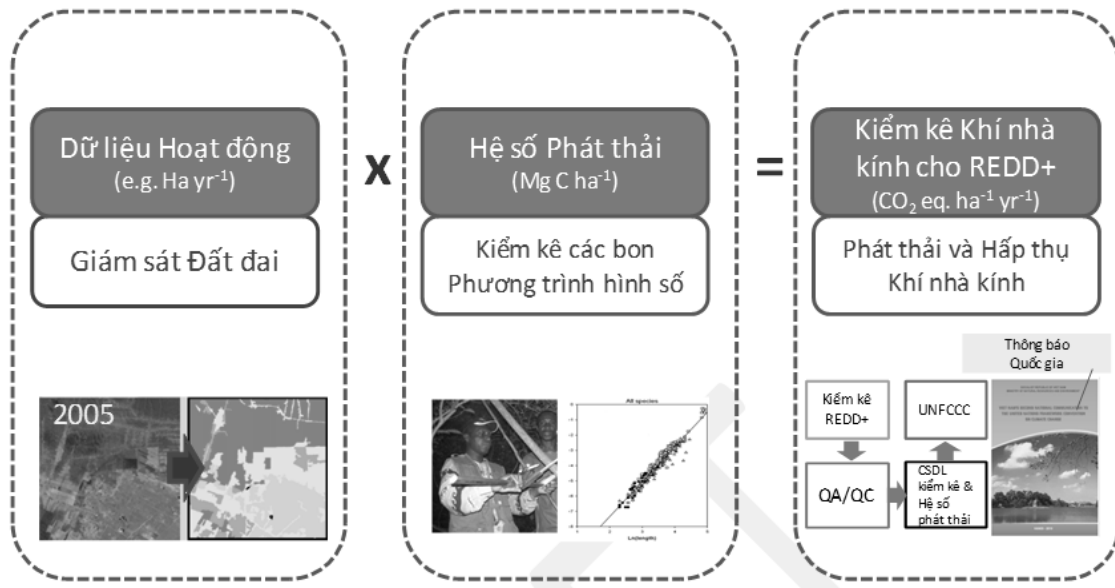
t_i : Thời điểm i đo tính

ΔC_G : Tăng trưởng hàng năm sinh khối/carbon

ΔC_L : Suy giảm hàng năm sinh khối/carbon.

Như vậy, để tính được phát thải hoặc hấp thụ CO₂ rừng (Emission Factor), cần xác định được lượng carbon ở trong các bể chứa ở các thời điểm, trong đó tập trung phần trên và dưới mặt đất của cây gỗ cho từng loại trạng thái rừng; chúng cần được tính toán qua các hàm sinh trắc (allometric equations) hoặc các hệ số chuyển đổi. Kết hợp với sự biến đổi diện tích rừng (Activity Data) sẽ chỉ ra được lượng phát thải hoặc hấp thụ CO₂ trong từng khu vực và trên toàn lãnh thổ một quốc gia

(trong đó lượng CO₂ được tính bằng 3,67C). Đây là cơ sở để tính toán chỉ carbon trong chương trình UN-REDD. Hình 1.1 minh họa cơ sở tính toán phát thải, hấp thụ cho từng khu vực, lãnh thổ.



Hình 1.1. Tiếp cận của IPCC để tính toán phát thải/hấp thụ khí nhà kính trong lâm nghiệp (UN-REED, 2011)

Vì bề chứa carbon trong cây gỗ là quan trọng nhất, do đó cần tập trung thiết lập các mô hình ước tính cho cây rừng phần trên và dưới mặt đất có độ tin cậy và cùng với nó là hướng dẫn áp dụng để báo cáo lượng CO₂ phát thải hoặc hấp thụ ở bề chứa cây gỗ.

1.4 Tổng quát về thiết lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng

Một cách tổng quát, mô hình tương quan sinh học (allometry) là các mô hình tuyến tính hoặc phi tuyến tính mô tả tương quan giữa các biến số điều tra cây rừng (Picard et al., 2012). Các biến số độc lập quan trọng nhất cho phương trình ước tính sinh khối là đường kính của cây ngang ngực (DBH) (Brown et al, 1989, 1997, 2001; Brown và Iverson, 1992), khối lượng thể tích gỗ (WD), và chiều cao cây (H) (Chave et al, 2005; Basuki et al, 2009; Ketterings et al, 2001). WD là hệ số chuyển đổi giữa thể tích thân cây gỗ thành sinh khối trong từng loài (Picard et al, 2012; Chave et al, 2006.). Vì WD thường không đo đạc ở hiện trường, giá trị trung bình theo loài thường được sử dụng khi áp dụng các mô hình sinh trắc có biến số đầu vào là WD; dữ liệu WD cũng có sẵn trên cơ sở dữ liệu quốc tế (IPCC, 2006; Chave et al., 2009) tại web site <http://db.worldagroforestry.org/wd>. Hơn nữa, một số tác giả cho rằng đường kính tán cây (CD) hoặc diện tích tán lá (CA), giúp cải thiện độ chính xác và độ tin cậy của các ước tính sinh khối (Dietz et al, 2011; Henry et al, 2010; Huy et al., 2016a). Nhiều ấn phẩm đề nghị sử dụng mô hình hàm mũ (power) để xây dựng phương trình tương quan sinh khối với trên một hoặc nhiều biến điều tra cây rừng (ví dụ, Pearson 2007; Picard et al., 2015). Đôi khi các hàm parabol bậc hai cũng được sử dụng (ví dụ, Brown et al., 1989, 1997). Basuki et al. (2009) đã sử dụng các mô hình hàm power được tuyến tính hóa bằng cách logarit để xây dựng mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng khớp ở vùng thấp của Indonesia và so sánh với các hàm parabol bậc cao của Brown et al. (1989) và Chave et al. (2005). Kết quả của họ chỉ ra

rằng hàm mũ có độ biến động nhỏ hơn và độ tin cậy cao hơn. Pearson (2007) đã đề nghị sử dụng hàm mũ cho các loài cây và kiểu rừng ở Hoa Kỳ.

Để ước tính sinh khối của cây rừng phần trên mặt đất (AGB) cho một số kiểu rừng nhiệt đới, phương pháp chặt hạ cây (destructive sampling) và lập mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng – còn gọi là mô hình sinh trắc (allometric equation) đã được thực hiện bởi Brown (1997 - 2001), MacDicken (1997), Chave và cộng sự (2005), Pearson (2007), Basuki và cộng sự (2009), Henry và cộng sự (2010), Dietz và cộng sự (2011), Johannes et al. (2011). Tuy nhiên số liệu cây chặt hạ còn ít trên vùng nhiệt đới rộng lớn toàn cầu, chưa có dữ liệu đại diện cho rừng nhiệt đới Việt Nam và chưa được đánh giá sai số và độ tin cậy, do vậy chưa thể ứng dụng ở Việt Nam. Vì vậy, nghiên cứu xây dựng các mô hình sinh khối, carbon cây rừng trong các kiểu rừng và vùng sinh thái khác nhau của Việt Nam là cần thiết trong giai đoạn hiện nay khi tham gia chương trình UN-REDD.

Các hàm sinh trắc có dạng tổng quát là $y_i = f(x_j)$; trong đó, y_i là sinh khối khô hoặc carbon tích lũy trong cây gỗ trên hoặc dưới mặt đất (AGB hoặc BGB; C(AGB) hoặc C(BGB)), x_j là các nhân tố điều tra cây rừng thông thường để đo tính như đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao (H), diện tích tán lá (CA), đường kính tán lá (CD), khối lượng thể tích gỗ (WD, Wood Density) (Huy et al., 2016a).

Phương pháp thu thập chủ yếu để thiết lập các mô hình này là chặt hạ cây rừng (destructive sampling) theo cấp kính hoặc cấp tổng tiết diện ngang (BA), theo loài, theo khối lượng thể tích gỗ ở các vùng sinh thái, kiểu rừng để thu thập các số liệu y_i và x_j ; từ đây, lập các mô hình toán theo các tiêu chuẩn thống kê và kiểm tra, đánh giá độ tin cậy, sai số của mô hình (Bảo Huy, 2009; Bảo Huy, 2013a,b). Sinh khối hoặc carbon trong cây rừng trên mặt đất (AGB, C(AGB)) bao gồm các bộ phận thân, lá, vỏ, cành; trong khi đó sinh khối, carbon trong cây rừng dưới mặt đất (BGB, C(BGB)) chủ yếu trong hệ rễ cây rừng. Mỗi bộ phận của cây rừng được cân sinh khối tươi, lấy mẫu xác định tỷ lệ sinh khối khô, tỷ lệ C. Để xác định tỷ lệ sinh khối khô, mẫu tươi được sấy ở nhiệt độ $80^0 - 105^0\text{C}$ cho đến khi không thay đổi khối lượng (Silva, 2011), thường là 48 giờ. Trên cơ sở tỷ lệ sinh khối khô/tươi của mẫu, tỷ lệ carbon trong mẫu khô, tính được sinh khối khô hoặc carbon trong các bộ phận cây rừng (5 bộ phận). Đây là dữ liệu sinh khối, carbon cây rừng sử dụng để lập quan hệ với các biến số điều tra cây rừng.

Từ năm 1997 Brown và cộng sự cũng đã bắt đầu nghiên cứu và tạo lập cơ sở dữ liệu phân bố carbon của các khu rừng nhiệt đới, từ đây đã cung cấp cơ sở dữ liệu ban đầu về khả năng hấp thụ carbon của các khu rừng trong khu vực này trên cơ sở các hàm allometric. Về phương pháp nghiên cứu hấp thụ CO_2 của hệ sinh thái rừng, MacDicken (1997) đã lập các mô hình quan hệ giữa sinh khối (biomass) với các nhân tố điều tra rừng như đường kính, chiều cao và mật độ để giám sát carbon hấp thụ trong lâm nghiệp và nông lâm kết hợp. Brown (1997), Chave và cộng sự (2004), Henry và cộng sự (2010), Dietz và cộng sự (2011) và nhiều tác giả khác đã xây dựng hướng dẫn lập các mô hình allometric equations thông qua phương pháp chặt hạ cây (destructive sampling) với thử nghiệm nhiều biến số độc lập khác nhau và phương pháp đánh giá sai số, độ tin cậy của các mô hình này ở các kiểu rừng trong các vùng sinh thái, khí hậu khác nhau trên thế giới.

Ở các nước có hệ thực vật cây gỗ rừng không quá đa dạng, mô hình sinh trắc được lập sẵn cho hầu hết các loài cây (Jenkins et al., 2003). Jenkins et al. (2004) tổng hợp 2640 phương trình sinh khối theo đường kính cho các loài cây được tìm thấy ở Bắc Mỹ. Với sự đa dạng của rừng nhiệt

đổi, phát triển các mô hình cho từng loài cụ thể là không thực tế và các nhà nghiên cứu đã tập trung vào các mô hình đa loài với cỡ mẫu lớn hơn, ví dụ Brown et al. (1997) đã sử dụng 371 cây có đường kính từ 5cm đến 148cm và Chave et al. (2005) đã sử dụng 2410 cây có đường kính từ 5cm đến 150cm. Những mô hình chung cung cấp thông tin có giá trị cho các vùng nhiệt đới, bởi vì vùng này thường thiếu các dữ liệu và những khó khăn trong việc tiếp cận nó. Những mô hình này, có thể phải đối mặt với những hạn chế và khả năng sai lệch trong một số trường hợp với một hệ sinh thái, đặc biệt không có dữ liệu đại diện trong khi phát triển các mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropic). Jara et al. (2015) và Chave et al. (2014) đã chỉ ra rằng, các phương trình chung cho vùng nhiệt đới như vậy có thể dẫn đến sai số hệ thống lên đến 400%; do vậy, các mô hình tại địa phương có thể là một thay thế tốt hơn và dự kiến sẽ cung cấp độ tin cậy cao hơn so với phương trình chung (Chave et al., 2014). Để nâng cao độ tin cậy của mô hình sinh khối, Temesgen et al. (2007, 2015) đề nghị phát triển ước lượng sinh khối toàn diện với sự tham gia của các biến số lâm phần như: mật độ, và thực hiện theo các quy mô không gian khác nhau.

Jenkins et al. (2003, 2004) thực hiện một thay đổi ở cấp quốc gia trong phân tích các phương trình hồi quy tương quan tổng sinh khối trên mặt đất (AGB) dựa trên đường kính của cây và phát triển nhiều phương trình phù hợp cho các loài cây ở Mỹ sử dụng một hàm logarit như là mô hình chung. Cho đến nay mô hình hàm mũ biểu diễn quan hệ AGB với đường kính ngang ngực (DBH) hoặc các biến số đầu vào khác cũng được phát triển rộng rãi và được sử dụng cho chung cho vùng nhiệt đới (pantropic) (Sola et al., 2014a, b). Ter-Mikaelian và Korzukhin (1997) sử dụng mô hình này để ước tính sinh khối 65 loài cây Bắc Mỹ. Nói chung, các ấn phẩm đề nghị mô hình power như là một lựa chọn phù hợp cho việc xây dựng các phương trình tương quan sinh khối dựa trên một hoặc nhiều biến (Sola et al, 2016a; Pearson et al, 2007). Trong việc phát triển phương trình sinh khối chung vùng nhiệt đới hoặc rừng khộp ở Đông Nam Á, Brown (FAO, 2016), và Basuki et al. (2009) áp dụng biến đổi logarit của các mô hình power. Vì vậy Picard et al. (2015) đã kết luận rằng mô hình tốt để dự đoán sinh khối là dạng power.

Ở một số quốc gia phát triển hầu hết các loài cây rừng đều được lập các hàm sinh trắc: Ở Hoa Kỳ, Jenkins và cộng sự (2004) (dẫn theo Pearson, 2007) đã thiết lập hơn 1.700 hàm allometric equations cho hơn 100 loài cây từ 177 nguồn dữ liệu, chủ yếu là ước tính sinh khối khô AGB từ DBH cây rừng.

Brown (1989 – 2001) đã tổng hợp các mô hình allometric equations được lập cho khu vực nhiệt đới trên thế giới bao gồm rừng khô, rừng ẩm, rừng ngập nước và rừng lá kim. Nguồn dữ liệu từ nhiều loài cây được chặt hạ từ 3 vùng nhiệt đới với tổng 371 cây chặt hạ có đường kính từ 5 – 148cm.

Đến năm 2005 vào năm 2014, Chave và cộng sự đã tổng hợp 27 nguồn dữ liệu cây chặt hạ, đo tính sinh khối trên mặt đất (đã được xuất bản hoặc chưa xuất bản) từ rừng nhiệt đới ở 3 châu lục là châu Mỹ, châu Á và châu Đại Dương, với tổng số 2410 cây có DBH \geq 5cm để lập các mô hình allometric equations cho rừng nhiệt đới.

Sau đây là một số mô hình phổ biến để ước tính sinh khối trên mặt đất của cây rừng (AGB) chung cho rừng nhiệt đới (pantropic):

Brown (1997): (1.3)

$$AGB = \exp(-2.134 + 2.530 \times \ln(DBH))$$

IPCC (2003): (1.4)

$$AGB = \exp(-2.289 + 2.649 \times \ln(DBH) - 0.021 \times (\ln(DBH))^2)$$

Chave et al (2005): (1.5)

$$AGB = WD \times \exp(-1.499 + 2.148 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$$

Chave et al. (2005) riêng cho rừng khô: (1.6)

$$AGB = WD \times \exp(-0.667 + 1.784 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$$

Chave et al. (2014): (1.7)

$$AGB = 0.0673 \times (WD \times DBH^2 \times H)^{0.976}$$

trong đó: ln là logarit neper, AGB: Sinh khối trên mặt đất của cây rừng, kg;

DBH: Đường kính ngang ngực, cm,

H: Chiều cao cây, m;

WD: Khối lượng thể tích gỗ, g/cm³.

Các mô hình cho rừng nhiệt đới trên thế giới nói trên được lập với nguồn dữ liệu chưa được nhiều và không được thu thập trên lãnh thổ Việt Nam đồng thời chưa đánh giá được sự thích hợp và độ tin cậy với rừng nhiệt đới Việt Nam để ước tính sinh khối và carbon rừng cho chương trình UN- REDD Việt Nam. Ketterings và cộng sự (2001) cũng nhận xét rằng, đối với các hàm của Brown (1989) chỉ từ nguồn 168 cây thu thập số liệu sinh khối thì chưa đại diện được sự đa dạng các loài cây cũng như các kiểu rừng ở vùng ẩm nhiệt đới.

Riêng ở Việt Nam, trước khi có chương trình UN-REDD thì một số nhà khoa học cũng đã quan tâm đến sinh khối rừng như Nguyễn Ngọc Lung (1989) nghiên cứu đầu tiên cho rừng thông ba lá thuộc tỉnh Lâm đồng và đã đưa ra phương pháp mô hình hóa sinh khối rừng dựa vào các chỉ tiêu điều tra rừng. Nghiên cứu để thiết lập mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng chỉ được tiến hành khi bắt đầu có các dự án trồng rừng theo cơ chế phát triển sạch (Clean Development Mechanism - CDM). Ngô Đình Quế (2007) đã xác định lượng carbon tích lũy trong các khu rừng trồng các loài keo tai tượng, keo lá tràm, keo lai, thông 3 lá, thông mã vĩ, thông nhựa và bạch đàn. Võ Đại Hải (2009) nghiên cứu hấp thụ CO₂ của rừng trồng bạch đàn *Urophylla*. Vũ Tấn Phương (2006), đã có nghiên cứu xác định trữ lượng carbon của thảm tươi, cây bụi, tương ứng với trạng thái IA, IB theo hệ thống phân loại trạng thái rừng Việt Nam, để làm cơ sở xây dựng đường carbon cơ sở trong các dự án trồng rừng CDM. Sau đó từ năm 2009, khi chương trình UN-REDD được

Liên Hiệp Quốc khởi xướng ở Việt Nam, các nhà khoa học đã bắt đầu có nhiều nghiên cứu, thiết lập các mô hình sinh trắc với mục đích ước tính sinh khối, carbon rừng phục vụ cho việc báo cáo phát thải khí nhà kính từ rừng trong khuôn khổ chương trình REED. Đến năm 2008, Huy và Anh (2008) với tài trợ của Tổ chức Nông Lâm kết hợp thế giới (ICRAF) đã có nghiên cứu thăm dò đầu tiên để lập mô hình ước tính khả năng hấp thụ CO₂ của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Kết quả đã xây dựng được phương pháp thu thập số liệu để xác định sinh khối, phân tích hàm lượng carbon trong các bộ phận cây rừng trong thân, vỏ, lá, cành của cây gỗ; đã đưa ra phương pháp dự báo lượng CO₂ tương đương hấp thụ trong cây rừng và trên lâm phần rừng tự nhiên. Trên cơ sở đó, năm 2009 đã phát triển phương pháp nghiên cứu để đo lường, ước tính đầy đủ 5 bể chứa carbon trong các hệ sinh thái rừng tự nhiên ở Việt Nam (Bảo Huy, 2009). Tiếp đến Võ Đại Hải và cộng sự (2012) đã có báo cáo về khả năng hấp thụ carbon rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, bán thường xanh và rụng lá ở Tây Nguyên và Bảo Huy (2013a,b), Huỳnh Nhân Trí (2014) đã thiết lập một hệ thống các mô hình ước tính sinh khối, carbon cho từng bộ phận và toàn bộ cho cây rừng và lâm phần phần trên và dưới mặt đất với đối tượng là rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở vùng Tây Nguyên.

Từ năm 2011, để chuẩn bị cho việc thực hiện các chương trình UN-REDD ở Việt Nam, một hướng dẫn thu thập số liệu để lập mô hình sinh khối đã được xây dựng (Phuong et al. 2012a), sau đó một bộ các mô hình sinh khối được phát triển cho mỗi vùng sinh thái ở Việt Nam (Phuong et al., 2012b; Sola et al., 2014a,b). Nó cũng bao gồm sự phát triển cơ sở dữ liệu và hướng dẫn để áp dụng các mô hình tại Việt Nam (Henry, 2015). Sau đó dựa vào sự hợp tác với Đại học Bang Oregon, Hoa Kỳ, các tác giả Việt Nam đã hoàn chỉnh phương pháp luận trong thiết lập mô hình, thẩm định sai số, độ tin cậy và công bố có tính hệ thống về các mô hình ước tính sinh khối cho hai kiểu rừng chính là lá rộng thường xanh và rừng khộp của Việt Nam (Huy et al., 2016a,b,c; Bảo Huy, 2016)

Sai số và độ tin cậy của các mô hình sinh trắc được đặc biệt quan tâm, vì từ các mô hình này, sinh khối và CO₂ hấp thụ hoặc phát thải được ước tính trên diện rộng. Chave và cộng sự (2004), Brown (1989) đã chỉ ra các nguồn dẫn đến làm cho các mô hình có sai số lớn như đo cây không chính xác; lựa chọn mô hình toán không phù hợp; kích thước của ô mẫu nghiên cứu không phù hợp; sự phân bố của các ô mẫu trong cảnh quan, trạng thái rừng; thiếu số liệu cây lớn hoặc cây nhỏ; độ rộng của cấp kính và việc lựa chọn cây mẫu trung bình trong từng cấp kính. Ngoài ra để đánh giá độ tin cậy của các mô hình ước tính sinh khối, không nên chỉ đánh giá trên cây cá thể mà nên đánh giá sai số của nó khi ước tính sinh khối, carbon trên lâm phần thông qua phân bố số cây theo cấp kính (Ketterings, 2001).

Sinh khối dưới mặt đất của cây gỗ rất khó nghiên cứu, lý do là việc đào rễ để thu thập dữ liệu sinh khối là một việc làm tốn kém và khó thực hiện, đặc biệt là đối với các cây gỗ có kích thước lớn, rễ sâu, lan rộng. Nghiên cứu lập mô hình sinh khối cho phần rễ cây gỗ do vậy rất hạn chế, chủ yếu sử dụng hệ số chuyển đổi từ phần trên mặt đất ra phần dưới mặt đất. Hệ số chuyển đổi từ sinh khối trên mặt đất (AGB) sang sinh khối dưới mặt đất (BGB) của thực vật (R) (IPCC, 2006): $BGB = R \times AGB$, hệ số R đối với rừng mưa nhiệt đới là 0.37; đối với rừng nửa rụng lá ẩm nhiệt đới nếu $ABG < 125$ tấn/ha thì $R = 0.20$ (biến động 0.09 – 0.25), với $ABG \geq 125$ tấn/ha thì $R = 0.24$ (biến động 0.22 – 0.33). Ngoài ra Dietz và cộng sự (2011) cũng cho thấy tỷ lệ BGB/AGB rất biến động theo đường kính cây rừng. Trong khi đó, theo MacDicken (1997) thì $R = 0.2$ ($BGB = 20\% \times AGB$) .

Khi đã có mô hình thì việc sử dụng là đơn giản, chỉ đo các nhân tố điều tra cây rừng phù hợp với biến số của mô hình đã thiết lập, từ đây suy được sinh khối của thực vật trên hoặc dưới mặt đất, và quy đổi ra carbon và lượng CO₂ tương đương cây hấp thụ hoặc phát thải nếu rừng bị mất.

1.5 Ứng dụng các mô hình để ước tính sinh khối - carbon trong cây rừng phần trên và dưới mặt đất

Mục đích cuối cùng của đo tính, giám sát sinh khối, carbon rừng là chỉ ra lượng CO₂ tương đương rừng hấp thụ hoặc phát thải theo thời gian quản lý rừng trên một diện tích rừng cụ thể.

IPCC (2006) đã chỉ ra cơ sở của việc giám sát phát thải khí nhà kính CO₂ từ suy thoái và mất rừng là giám sát hai nhóm nhân tố: Thay đổi diện tích rừng (Activiy Data) và thay đổi các bể chứa carbon trong từng lâm phần (thông qua hàm sinh trắc); từ đây tính được lượng hấp thụ hoặc phát thải CO₂ theo thời gian của từng khu vực, quốc gia, làm cơ sở xác định tín chỉ carbon trong chương trình REDD. Để có dữ liệu thay đổi diện tích rừng, trạng thái rừng, cần ứng dụng công nghệ viễn thám – GIS để quản lý giám sát biến động diện tích, thay đổi bể chứa carbon rừng (Bảo Huy, 2013a,b). Trong đó phân loại rừng thành các cấp sinh khối là dữ liệu đầu vào cơ bản cho đo tính, giám sát carbon rừng.

Trên cơ sở bản đồ sinh khối rừng, bố trí hệ thống ô mẫu và áp dụng các mô hình sinh trắc để xác định lượng carbon ở từng thời điểm báo cáo. Gồm các bước sau:

1. Bố trí hệ thống ô mẫu: Xác định hình dạng, kích thước, phương pháp bố trí ô mẫu thống nhất. Xác định số lượng ô mẫu với độ tin cậy cho trước.
2. Thu thập số liệu trên ô mẫu theo các biến số đầu vào của các mô hình sinh trắc lựa chọn sử dụng.
3. Sử dụng các hàm sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon rừng trên và dưới mặt đất của cây rừng và suy ra cho lâm phần.

1.5.1 Bố trí hệ thống ô mẫu

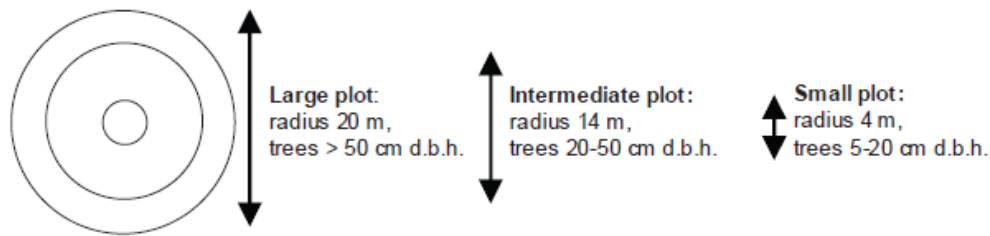
Việc bố trí ô mẫu bao gồm xác định hình dạng, kích thước, cách bố trí thống nhất trong một khu vực khảo sát.

1.5.1.1 Lựa chọn hình dạng và kích thước ô mẫu

Kích thước, hình dạng ô mẫu phụ thuộc vào độ tin cậy, sai số, chi phí, thời gian và đặc biệt là phụ thuộc vào đặc điểm của trạng thái rừng (Silva, 2010; Pearson, 2007). Ở Việt Nam, trong điều tra tài nguyên cây gỗ, ô mẫu 500m² với dạng chữ nhật 20×25m hoặc hình tròn với bán kính R = 12,62m thường được áp dụng. Các cây gỗ có đường kính tối thiểu theo quy định sẽ được đo tính hết trong ô (thường là DBH lớn hơn 6cm hoặc 10cm).

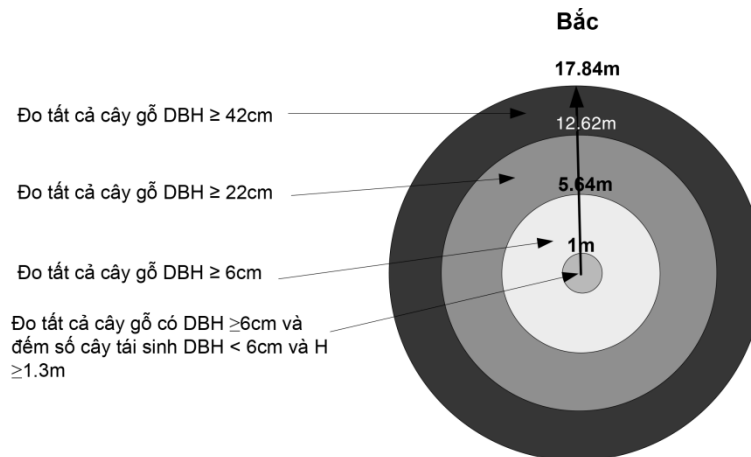
Tuy nhiên, trên thế giới ô mẫu dạng dải có thể được áp dụng trên địa hình dốc, để có thể tính toán dễ dàng chiều dài ô theo sườn dốc hơn là ô chữ nhật hoặc vuông. Ngoài ra ô hình tròn cũng được đề nghị áp dụng vì có thể tính toán chiều dài bán kính trên dốc theo từng cạnh thuận tiện. Việc phân tầng ô mẫu, tức là chia ô mẫu thành các ô phụ khác nhau để đo cây theo từng cấp DBH, theo nguyên tắc cấp kính càng nhỏ thì số cây càng nhiều do đó chỉ cần đo trong ô phụ có diện tích

nhỏ hơn, ngược lại số cây ở các cấp kính lớn thường ít, do đó ô phụ càng rộng hơn cho đến tối đa. Vì vậy xu hướng chung đề nghị là sử dụng ô mẫu hình tròn có phân tầng (Nested Plot) (Pearson và cộng sự, 2007 (Hình 1.2); Bảo Huy, 2012, 2013; Silva và cộng sự, 2010).



Hình 1.2. Ô mẫu tròn phân tầng theo cấp kính áp dụng ở Hoa Kỳ (Pearson et al., 2007)

Bảo Huy (2012, 2013a) và Huy et al. (2013) đã áp dụng ô mẫu tròn phân tầng để xây dựng hướng đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng trong khu vực thí điểm của chương trình UN-REDD(2011) và dự án REDD của SNV trong 4 huyện: Di Linh, Lâm Hà, Bảo Lâm và Cát Tiên thuộc tỉnh Lâm Đồng. Kết quả cho thấy, thiết kế ô mẫu dạng này tỏ ra thích hợp, thuận tiện trong thao tác, đặc biệt là trên đất dốc, trong khi đó nếu dùng ô chữ nhật thì người địa phương không thể dùng địa bàn để khép góc vuông. Ngoài ra, ô tròn còn nhiều lợi điểm là dễ dàng điều chỉnh chiều dài bán kính ô trên đất dốc, cùng một diện tích nhưng ô tròn sẽ có chu vi ngắn hơn, do đó, sai số của cây nằm trên ranh giới ô giảm xuống. Vì vậy, ô tròn phân tầng với diện tích tối đa là 1.000m² đã được thử nghiệm có hiệu quả và đề nghị sử dụng trong đo tính ô mẫu để ước tính sinh khối và carbon rừng cho cả nhân viên kỹ thuật lẫn người dân địa phương (Hình 1.3).



Hình 1.3. Ô mẫu hình tròn phân tầng thành 4 ô phụ

1.5.1.2 Số lượng ô mẫu cần thiết

Để xác định số ô mẫu cần rút mẫu thử trước, các mẫu này cần được bố trí ngẫu nhiên. Có hai trường hợp chính để tính toán dung lượng mẫu:

- Đối tượng điều tra là một thể thống nhất, không có phân cấp sinh khối, trạng thái.
- Đối tượng điều tra, đánh giá cần được phân chia theo cấp sinh khối, trạng thái rừng.

i) Xác định số ô mẫu khi không có phân cấp sinh khối:

Đây là trường hợp xác định dung lượng mẫu cho một đối tượng điều tra đánh giá không phân chia thành cấp, khối, loại nào cả. Các công thức xác định dung lượng mẫu không phân cấp sinh khối theo một độ tin cậy cho trước như sau:

$$n_{ct} = \left(\frac{t * CV\%}{\Delta\%} \right)^2 \quad (1.8)$$

$$CV\% = \frac{S}{\bar{X}} 100 \quad (1.9)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1.10)$$

Trong đó: n_{ct} là dung lượng mẫu cần thiết để bảo đảm độ tin cậy của rút mẫu; $CV\%$ là hệ số biến động (Coefficient of Variation); S (Standard Deviation) là sai tiêu chuẩn của mẫu; \bar{X} là trung bình của giá trị điều tra; X_i là các giá trị điều tra; $\Delta\%$ là sai số tương đối cho trước, thường từ 5 – 10%; t là giá trị của biến số t của hàm phân bố chuẩn được xác định theo mức ý nghĩa P_{value} (α), với độ tin cậy là 95% thì $P_{value} = 0.05$ và độ tự do $df = n - 1$, với n là số mẫu rút thử; t có thể dễ dàng xác định nhờ hàm `tinV` của excel = `tinV(Pvalue, df)`.

ii) Xác định dung lượng mẫu theo phân cấp sinh khối:

Để xác định số ô mẫu theo phân cấp sinh khối, trạng thái rừng, một đợt điều tra rút mẫu ban đầu cần được tiến hành để ước tính sai tiêu chuẩn, biến động của chỉ tiêu điều tra của từng cấp, loại đã phân chia. Cần điều tra ban đầu khoảng 10 – 15 mẫu (tối ưu là 30) cho mỗi loại, cấp. Tiến trình tính toán số ô mẫu cần thiết đối với điều tra sinh khối, carbon rừng trên mặt đất theo các trạng thái và kiểu rừng khác nhau có thể áp dụng theo Freese (1976), Subedi et al. (2010) và Huy et al. (2013). Tính toán số lượng ô mẫu cần thiết cho mỗi trạng thái rừng dựa vào số lượng ô mẫu tối đa của cả khu rừng và cho mỗi trạng thái theo các công thức sau:

$$N = \frac{A}{AP} \quad (1.11)$$

$$N_i = \frac{A_i}{AP} \quad (1.12)$$

$$n_{ct} = \frac{(\sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i)^2}{\frac{N^2 \cdot E^2}{t^2} + \sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i^2} \quad (1.13)$$

$$n_{ict} = n_{ct} \cdot \frac{N_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i} \quad (1.14)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i * \bar{X}_i \quad (1.15)$$

trong đó:

N = Số lượng ô mẫu tối đa trong vùng điều tra,

N_i = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái i ,

n_{ct} = Tổng số ô mẫu cần thiết trong vùng điều tra,

n_{ict} = Số ô mẫu cần thiết cho trạng thái i ,

A = Tổng diện tích của tất cả các trạng thái (ha),

A_i = Diện tích của mỗi trạng thái i (ha),

AP = Diện tích ô mẫu (ha),

i = Chỉ số của trạng thái từ 1 đến L ,

L = Tổng số trạng thái,

S_i = Sai tiêu chuẩn của trạng thái i ,

E = Sai số tuyệt đối với sai số tương đối cho trước. Với sai số tương đối là 10% thì $E = 10\% \times \bar{X}$, với \bar{X} là bình quân chung sinh khối hoặc carbon/ha, \bar{X}_i là trung bình sinh khối, carbon của trạng thái i ,

$t = 2$ ứng với mức ý nghĩa $P_{value} = 0.05$.

Sau khi rút mẫu, kiểm tra lại sai số. Sai số % ($\Delta\%$) so với trung bình (hay còn gọi là độ chính xác của rút mẫu - Precision level) về sinh khối, carbon cho mỗi trạng thái i được tính theo công thức sau:

$$\Delta_i \% = \frac{S_{xi} * t_{i(0.05, n_i-1)}}{\bar{X}_i} \% \quad (1.16)$$

$$S_{xi} = \frac{S_i}{\sqrt{n_i}} \quad (1.17)$$

trong đó: Các giá trị này được tính lại sau khi đã rút mẫu đầy đủ theo dung lượng mẫu:

S_{xi} : Sai số của số trung bình của trạng thái i ,

\bar{X}_i là trung bình sinh khối, carbon của trạng thái i ,

S_i = Sai tiêu chuẩn của trạng thái i ,

n_i : Số ô mẫu đã điều tra theo dung lượng mẫu của trạng thái i .

Nếu đến đây tất cả các trạng thái, cấp sinh khối i đều có sai số % ($\Delta\%_i$) bé hơn sai số cho trước thì việc rút mẫu đã hoàn thành.

Ngoài ra có thể xác định nhanh và ước tính gần đúng dung lượng mẫu có phân cấp, khối ban đầu theo (Lackmann, 2011) mà không cần rút mẫu thử trước như sau:

$$n_{ct} = \frac{t^2 * CV\%^2}{E\%^2 + \frac{t^2 * CV\%^2}{N}} \quad (1.18)$$

$$n_{ict} = n_{ct} \frac{N_i}{N} \quad (1.19)$$

trong đó: i = Số thứ tự trạng thái, kiểu, khối rừng được phân loại,

N = Số lượng ô mẫu tối đa trong vùng điều tra,

N_i = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái i ,

n_{ct} = Tổng số ô mẫu cần thiết trong vùng điều tra,

n_{ict} = Số ô mẫu cần thiết cho trạng thái i ,

$E\%$ = Sai số tương đối cho trước, thường là 10%,

$t = 2$ (giá trị ban đầu với độ tin cậy ước lượng là 95%),

$CV\%$ = (Coefficient of Variation %) Hệ số biến động. Chọn trước một $CV\%$ cao nhất đã biết trước của đối tượng điều tra.

Cách tính này giảm được chi phí và thời gian vì không rút mẫu thử trước, nó phụ thuộc vào việc chọn giá trị $CV\%$ dự báo trước. Vì vậy, dung lượng mẫu được ước tính trước rất phụ thuộc vào $CV\%$. Áp dụng phương pháp này cần có đánh giá lại sai số cho mỗi trạng thái sau khi đã rút mẫu xong. Ngoài ra nếu không có giá trị $CV\%$ cho trước, có thể tiến hành thu thập mẫu thử với dung lượng khoảng 30 - 50 ô, phân bố ngẫu nhiên trên tất cả các trạng thái, cấp, khối được phân loại. Từ đây tính được hệ số biến động chung $CV\%$ của toàn khu rừng điều tra.

1.5.1.3 Bố trí ô mẫu trên bản đồ

Trên cơ sở đã xác định được số ô mẫu cần thu thập, cần tiến hành bố trí, rút mẫu theo một phương pháp thống nhất. Tùy theo đối tượng nghiên cứu, nguồn lực và độ tin cậy cho phép mà lựa chọn một trong ba phương pháp rút mẫu chính sau đây. Có các phương pháp rút mẫu, bố trí ô mẫu:

- Rút mẫu ngẫu nhiên (Random sampling),
- Rút mẫu hệ thống (Systematic sampling),
- Rút mẫu theo cụm (Cluster sampling),
- Rút mẫu điển hình.

Trong đó rút mẫu, bố trí ô mẫu ngẫu nhiên là khách quan nhất.

Việc bố trí ô mẫu ngẫu nhiên trên bản đồ có thể tiến hành thuận lợi trong phần mềm ArcGIS. Từ hệ thống ô mẫu ngẫu nhiên trên bản đồ, tọa độ của nó được chuyển sang GPS để xác định từng ô mẫu trên thực địa. Ví dụ kết quả có được bản đồ thiết kế hệ thống ô mẫu ngẫu nhiên trên bản đồ như ở Hình 1.4.

1.5.2 Thu thập số liệu trong ô mẫu

Trên ô mẫu thu thập các nhân tố điều tra cây rừng phù hợp với biến số của mô hình sinh trắc chọn lựa sử dụng.

Thông thường trong ô mẫu cần đo các biến số phổ biến DBH, H, đường kính tán (CD) để tính CA, xác định loài. Nếu sử dụng mô hình ước tính sinh khối có biến số độc lập WD, thì biến này không cần đo tính trên hiện trường mà sẽ sử dụng giá trị WD trung bình của loài trong cơ sở dữ liệu WD quốc gia và của IPCC (2006).

1.5.3 Tính toán sinh khối và carbon cho từng ô mẫu và quy ra lâm phần

Từ số liệu điều tra trong hệ thống ô mẫu, sử dụng các mô hình sinh trắc ước tính sinh khối và suy ra carbon và CO₂ tương đương cho cây rừng ở từng ô mẫu, sau đó ước tính cho lâm phần.

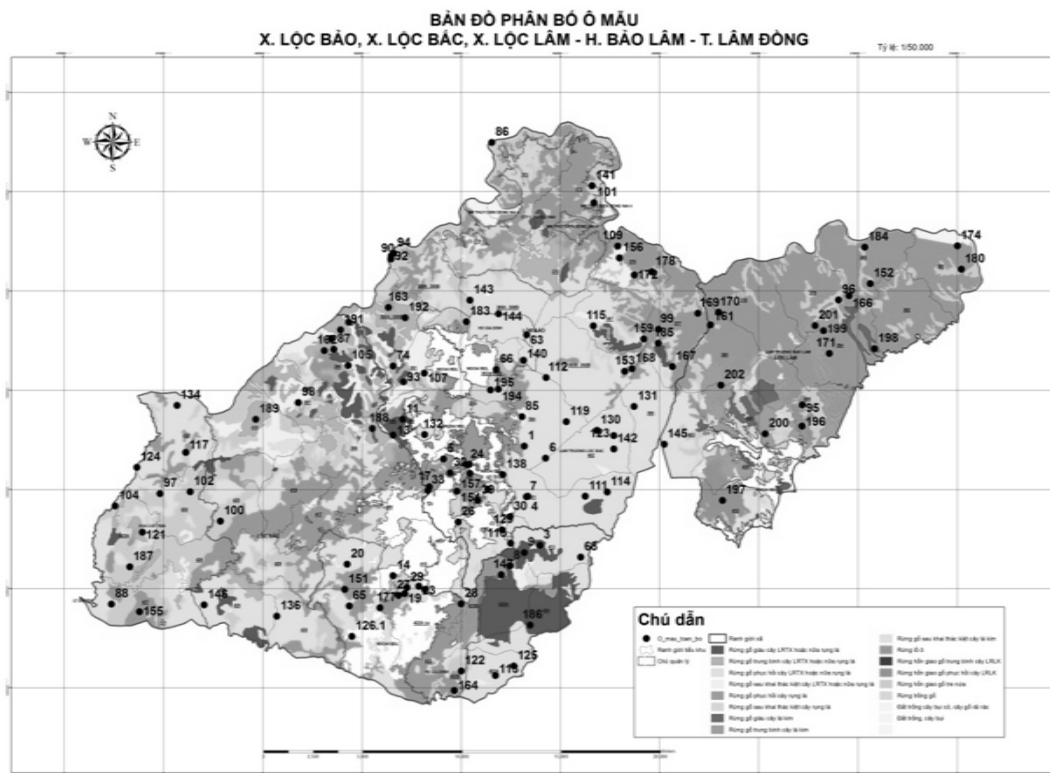
Tùy thuộc vào khả năng thu thập số liệu mà lựa chọn các mô hình sinh khối có biến số đầu vào thích hợp, bao gồm từ một biến số DBH đến hai biến số như DBH, H hoặc ba biến như DBH, H, WD và có thể có thêm biến CA để tăng độ tin cậy.

Đối với biến WD, giá trị WD trung bình của từng loài cần được áp dụng. IPCC (2006) cũng đã đưa một danh sách dữ liệu WD khá phong phú các loài cây rừng nhiệt đới, hoặc ICRAF cũng có một web site cung cấp giá trị WD trung bình cho nhiều loài cây rừng nhiệt đới (<http://db.worldagroforestry.org/wd>). Các danh sách WD này có thể được tham khảo khi ứng dụng trong các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây gỗ ở Việt Nam khi chúng ta chưa có đầy đủ dữ liệu WD cho tất cả các loài cây gỗ.

Trên cơ sở ước tính sinh khối thông qua mô hình, lượng carbon tích lũy và CO₂ tương đương cây rừng hấp thụ được tính toán thông qua hệ số chuyển đổi như sau:

$$\text{Carbon} = 0.47 \times \text{Sinh khối (IPCC, 2006, Bảo Huy, 2013b)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ tương đương} = 3.67 \times \text{Carbon}$$



Hình 1.4. Bản đồ thiết kế hệ thống ô mẫu ngẫu nhiên theo trạng thái rừng khu vực dự án SNV-REDD⁺ ở ba xã Lộc Bảo, Lộc Bắc và Lộc Lâm thuộc huyện Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng. *Nguồn: Huy et al., (2013)*

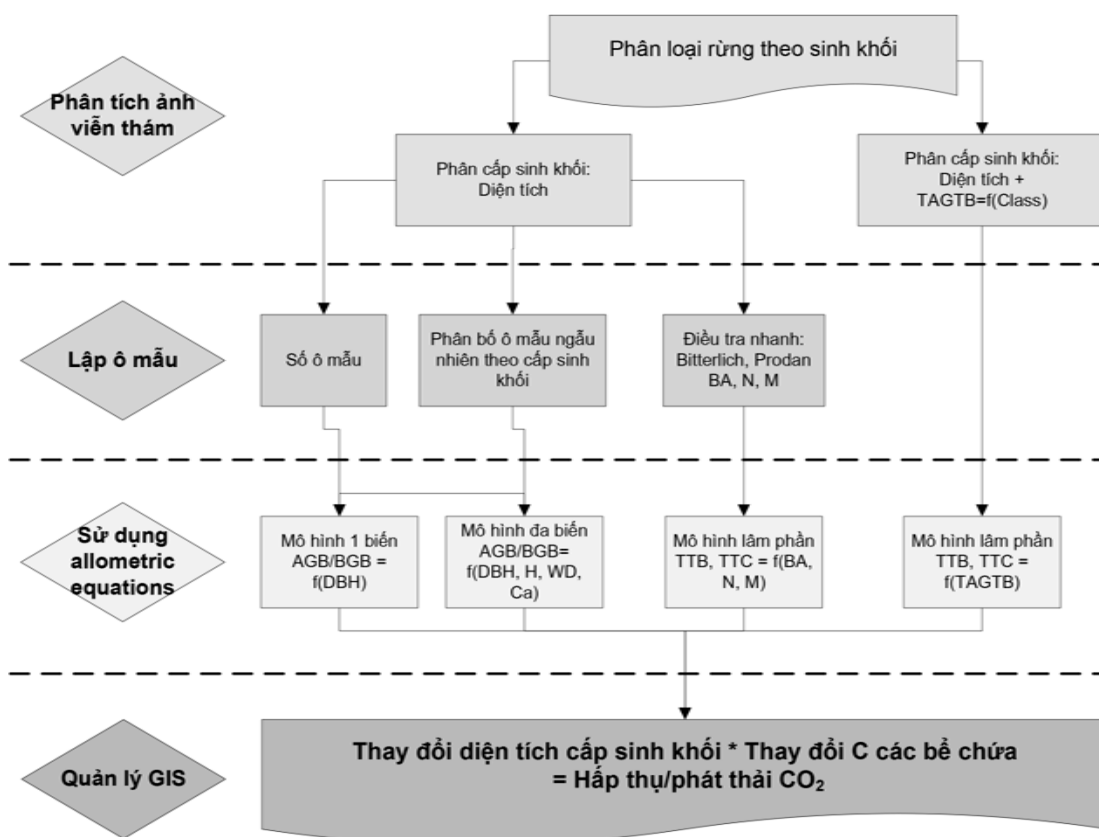
1.6 Phôi hợp mô hình sinh trắc và ảnh viễn thám để giám sát sinh khối, carbon rừng

Mục đích cuối cùng của đo tính, giám sát carbon rừng là chỉ ra lượng CO₂ hấp thụ hoặc phát thải theo thời gian quản lý rừng trên một diện tích rừng cụ thể.

Việc sử dụng mô hình sinh khối cùng với hệ thống ô mẫu mặt đất mới chỉ ra được trung bình trên ha carbon cho từng trạng thái, kiểu rừng ở tại thời điểm giám sát. Vì vậy, để có dữ liệu tổng carbon cho một khu vực, vùng lãnh thổ, quốc gia; cần phối hợp với bản đồ phân cấp sinh khối mà tốt nhất được lập trên cơ sở ảnh viễn thám.

IPCC (2006) đã chỉ ra cơ sở của việc giám sát phát thải khí nhà kính CO₂ từ suy thoái và mất rừng là giám sát 2 nhóm nhân tố: Thay đổi diện tích rừng (Activiy Data) và thay đổi các bể chứa carbon trong rừng lâm phần (thông qua hàm allometric equations); từ đây tính được lượng hấp thụ hoặc phát thải CO₂ theo thời gian của từng khu vực, quốc gia, làm cơ sở xác định tín chỉ carbon trong chương trình REDD.

Trên cơ sở hệ thống mô hình sinh khối và carbon rừng đã thiết lập cho cây rừng, cho lâm phần, kết hợp với ứng dụng công nghệ viễn thám – GIS sẽ giúp cho quản lý giám sát biến động diện tích, thay đổi bể chứa carbon rừng. Các tiến trình áp dụng được minh họa trong Hình 1.5.



Hình 1.5. Phôi hợp hệ thống mô hình sinh trắc và ảnh viễn thám - GIS để đo tính, giám sát sinh khối, carbon rừng và CO₂ (Bảo Huy, 2013b)

Chương 2

PHƯƠNG PHÁP THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU TRUNG GIAN ĐỂ LẬP MÔ HÌNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

Khái quát chung về tiến trình thu thập dữ liệu hiện trường và xử lý số liệu: Số liệu cần thiết trên hiện trường để làm cơ sở cho lập mô hình sinh khối là cây mẫu được chặt hạ đo tính sinh khối. Các cây mẫu này được lựa chọn và chặt hạ trong các ô mẫu đo đếm. Mẫu các bộ phận cây chặt hạ được thu thập để xác định tỷ lệ sinh khối khô/tươi, khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm³). Cuối cùng thông tin của cây mẫu được tổng hợp để lập các mô hình sinh khối cây rừng, đó là các biến số phụ thuộc y_i là sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất (AGB và BGB, kg) và các biến số độc lập x_j như là đường kính ngang ngực (DBH, cm), chiều cao cây (H, m), khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm³), đường kính tán lá trung bình (CD, m), diện tích tán lá trung bình (CA, m²).

Nguyên tắc và các bước tiến hành cụ thể như sau.

2.1 Lựa chọn, thiết lập và thu thập số liệu ô mẫu

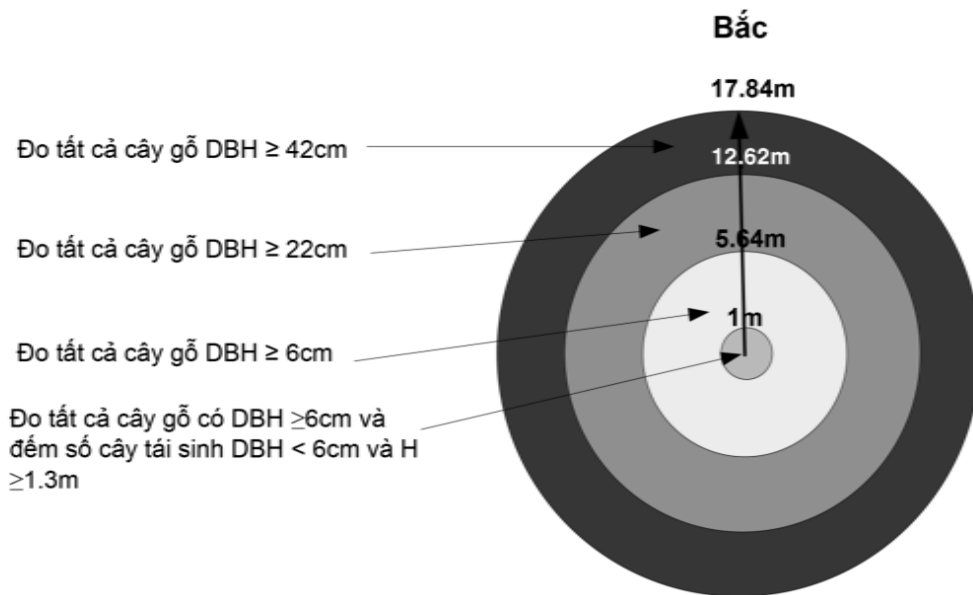
Mục đích của lập ô mẫu là để mô tả đặc điểm của đối tượng nghiên cứu, lập mô hình sinh khối, ngoài ra để làm cơ sở cho việc chọn cây mẫu theo các đặc trưng cấu trúc như phân bố DBH, phân bố tổng tiết diện ngang.

Kích thước và hình dạng ô mẫu phụ thuộc vào kiểu rừng và điều kiện địa hình. Rừng không qua đốc thì lý tưởng là ô mẫu có kích thước lớn là 1ha (100 × 100 m) được chia thành 100 ô phụ 10 × 10m (Phuong et al. 2012a, Huy et al., 2016b), hoặc nhỏ hơn là ô 2500 m² (50 × 50 m) (Võ Đại Hải và cộng sự, 2012; Huy et al., 2016c).

Trong khi đó rừng phân bố trên địa hình dốc, khó lập ô mẫu dạng hình chữ nhật, vuông, thì ô dạng dải theo hướng dốc hoặc ô tròn cần được áp dụng. Ngoài ra do phân bố số cây theo cấp kính rừng tự nhiên dạng giảm, số cây rất nhiều ở cấp kính nhỏ, trong khi đó lại ít ở cấp kính tăng dần, do đó ô mẫu dạng phân tầng (dạng tổ) cần được áp dụng; trong đó chia thành các ô phụ, ô phụ có diện

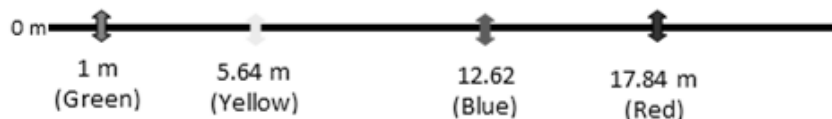
tích nhỏ để đo cây có DBH nhỏ vì nhiều cây, tăng diện tích ô phụ lên khi cấp kính tăng do số cây giảm. Về nguyên tắc số cây đo trong các cấp kính là xấp xỉ nhau là tốt nhất. Phương pháp lập ô dạng phân tầng giúp giảm bớt công đo đạc và ngoài ra tăng độ tin cậy khi bảo đảm số cây đo ở các cấp kính cân đối với nhau. Dạng ô mẫu này được áp dụng phổ biến ở Hoa Kỳ (Pearson et al., 2007).

Trên cơ sở ô mẫu phân tầng của Pearson et al, (2007), Bảo Huy (2012, 2013) đã phát triển ô mẫu tròn phân tầng để áp dụng cho rừng tự nhiên Việt Nam. Kết quả cho thấy thiết kế ô mẫu dạng này tỏ ra thích hợp, thuận tiện trong thao tác, đặc biệt là trên đất dốc trong khi đó nếu dùng ô chữ nhật hoặc vuông thì không thể dùng địa bàn để khép góc vuông. Ngoài ra ô tròn còn nhiều lợi điểm là dễ dàng cải thiện bằng bán kính ô trên đất dốc, cùng một diện tích nhưng ô tròn sẽ có chu vi ngắn hơn, do đó sai số của cây nằm trên ranh giới ô giảm xuống. Vì vậy, ô tròn phân tầng với diện tích tối đa là 1.000m² đã được thử nghiệm có hiệu quả và đề nghị sử dụng trong đo tính ô mẫu để ước tính sinh khối và carbon rừng cho cả nhân viên kỹ thuật lẫn người dân địa phương (Hình 2.1).



Hình 2.1. Ô mẫu hình tròn phân tầng thành 4 ô phụ

Cách thiết lập ô mẫu hình tròn và các ô mẫu phụ trong rừng: Chuẩn bị dây có thắt nút bằng dải màu ở các bán kính của các ô mẫu phụ lần lượt là 1m (màu xanh chuối), 5.64m (màu vàng), 12.62m (màu xanh biển) và 17.84m (màu đỏ). Như vậy có 4 vị trí được xác định bằng dải màu, mỗi vị trí một màu khác nhau. Để tiến hành lập một ô cần 4 dây. Đồng thời trên mỗi dây, ứng với mỗi vị trí buộc thêm một dải cùng màu có thể di chuyển để cộng thêm chiều dài bán kính ô mẫu trong trường hợp trên đất dốc. Mỗi dây thiết kế dài 25 m để có thể cộng thêm chiều dài bán kính trên dốc. Hình 2.2.



Hình 2.2. Thiết kế các dải màu khác nhau theo từng bán kính ô phụ

Đo độ dốc theo từng hướng bán kính, có 8 hướng bán kính, sử dụng máy Clinometer (Hình 2.3). Một bảng để tra, điều chỉnh bổ sung chiều dài bán kính ô phụ được chuẩn bị sẵn (Bảng 2.1), từ đó dùng thước cuộn đo chiều dài cần cộng thêm và di chuyển mốc của bán kính theo từng màu cho dài thêm ứng với chiều dài cần bổ sung.



Máy Clinometer có chức năng địa bàn và đo cao, dốc



Đo độ dốc bằng máy clinometer

Hình 2.3. Sử dụng máy đo độ dốc Clinometer

Bảng 2.1. Bảng tra chiều dài cộng thêm bán kính ô mẫu theo độ dốc

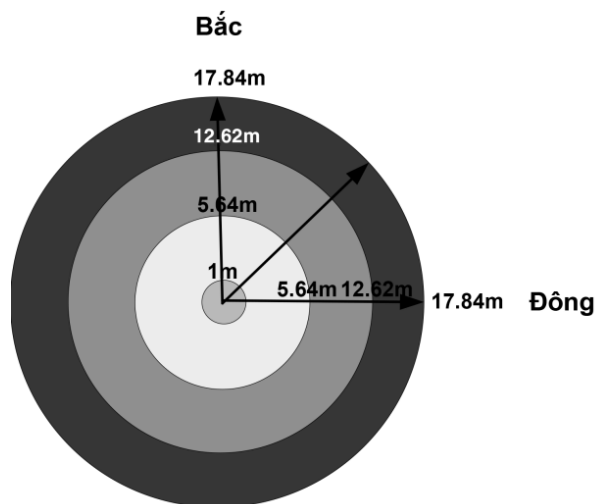
Độ dốc (độ)	Bán kính ô mẫu tròn (m)			
	1.00 Xanh chuối	5.64 Vàng	12.62 Xanh biển	17.84 Đỏ
10	0.02	0.09	0.19	0.28
12	0.02	0.13	0.28	0.40
14	0.03	0.17	0.39	0.55
16	0.04	0.23	0.51	0.72
18	0.05	0.29	0.65	0.92
20	0.06	0.36	0.81	1.14
22	0.08	0.44	0.99	1.40
24	0.09	0.53	1.19	1.69
26	0.11	0.64	1.42	2.01
28	0.13	0.75	1.67	2.37
30	0.15	0.87	1.95	2.76
32	0.18	1.01	2.26	3.20
34	0.21	1.16	2.60	3.68
36	0.24	1.33	2.98	4.21
38	0.27	1.52	3.40	4.80
40	0.31	1.72	3.85	5.45
42	0.35	1.95	4.36	6.17
44	0.39	2.20	4.92	6.96

Độ dốc (độ)	Bán kính ô mẫu tròn (m)			
	1.00 Xanh chuối	5.64 Vàng	12.62 Xanh biển	17.84 Đỏ
46	0.44	2.48	5.55	7.84
48	0.49	2.79	6.24	8.82
50	0.56	3.13	7.01	9.91

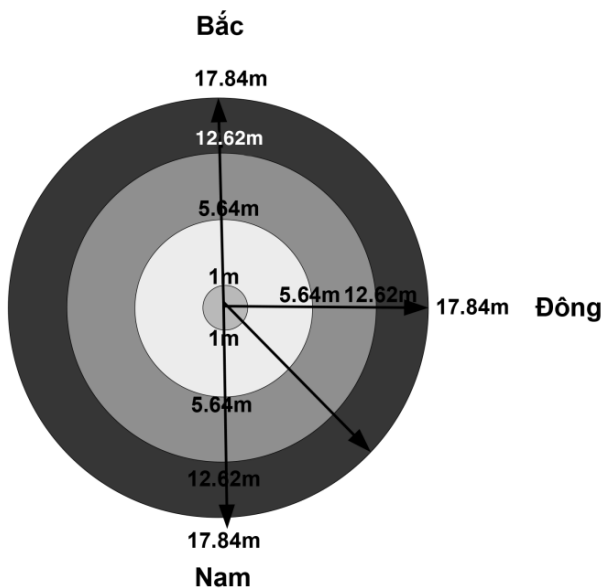
Ghi chú: Chỉ cộng thêm bán kính ô mẫu khi độ dốc > 10°

Tiến hành thiết lập ô mẫu tròn với các ô phụ lần lượt theo từng múi 45° từ hướng Bắc và theo chiều kim đồng hồ cho khép kín vòng tròn như sau:

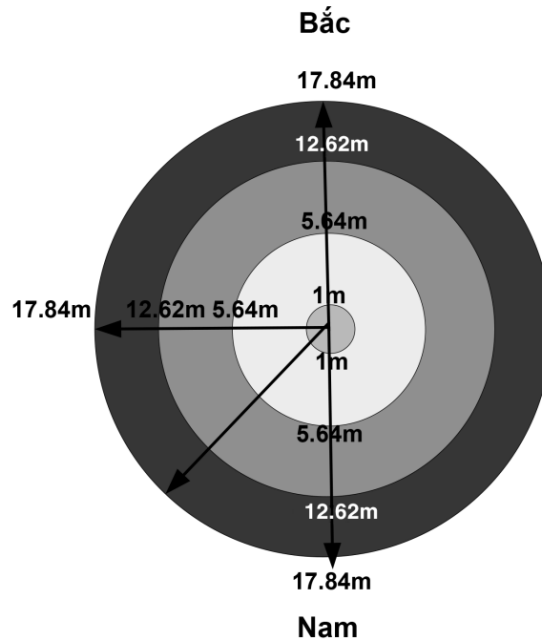
Bắt đầu kéo dây theo hướng Bắc, sau đó kéo một dây khác sang hướng Đông vuông góc với Bắc và kéo một dây thứ ba ở giữa (45° so với Bắc). Tạo được 2 múi từ Bắc đến Đông. Tiến hành đo đếm trong từng múi từ trái sang phải và từ tâm ra theo từng vòng bán kính phụ.



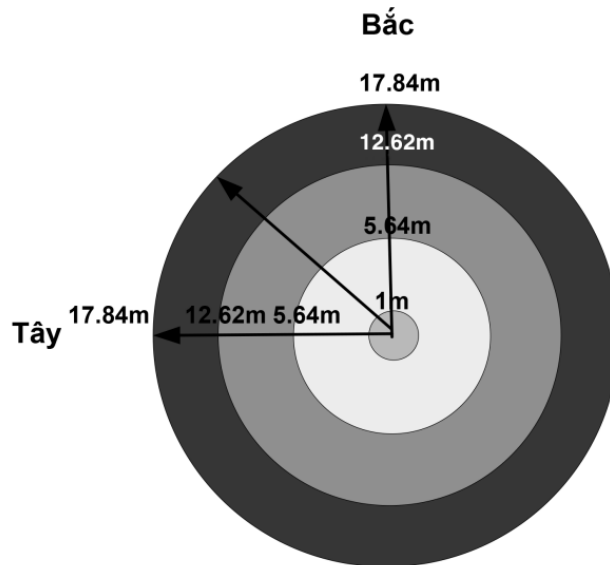
Cố định dây hướng Bắc và Đông. Di chuyển dây ở giữa về hướng Nam (thẳng với Bắc) và kéo thêm một dây ở giữa hai hướng Đông và Nam. Tạo được 2 múi giữa Đông và Nam. Tiến hành đo đếm trong từng múi từ trái sang phải và từ tâm ra theo từng vòng bán kính phụ.



Cố định dây hướng Bắc và Nam. Di chuyển dây ở giữa về hướng Tây (thẳng với Đông) và sau đó di chuyển dây hướng Đông vào giữa hai hướng Nam và Tây. Tạo được 2 múi giữa Nam và Tây. Tiến hành đo đếm trong từng múi từ trái sang phải và từ tâm ra theo từng vòng bán kính phụ.



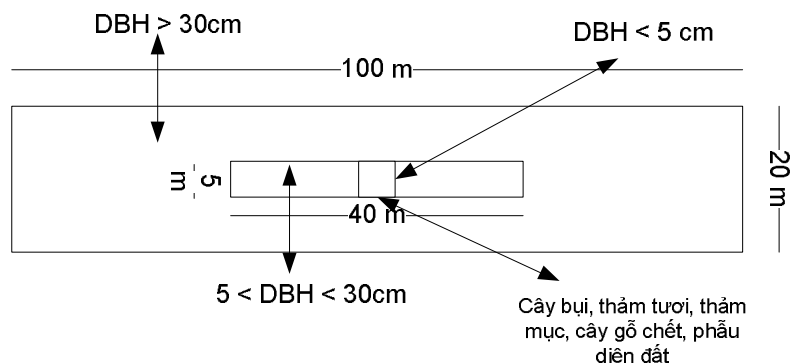
Cuối cùng, cố định dây hướng Bắc và Tây, di chuyển một dây khác và giữa Tây và Bắc. Tạo được 2 múi giữa Tây và Bắc. Tiến hành đo đếm trong từng múi từ trái sang phải và từ tâm ra theo từng vòng bán kính phụ.



Nguồn: Huy et al. (2013)

Ô mẫu dạng dải phân tầng được phát triển bởi ICRAF (2007). Ô mẫu có kích thước $20 \times 100\text{m}$. Ô mẫu được phân chia thành các ô phụ theo cấp đường kính đo đếm, dạng sóng và bề chứa carbon khác nhau theo như ở Hình 2.4. Trong đó ô mẫu phụ nhỏ nhất $5 \times 5\text{m}$ dùng để đo cây tái sinh với $\text{DBH} < 5\text{cm}$, ô phụ $5 \times 40\text{m}$ đo cây có $5 \leq \text{DBH} < 30\text{cm}$ và ô phụ lớn nhất $20 \times 100\text{m}$ đo cây có $\text{DBH} \geq 30\text{cm}$.

Vị trí ô mẫu trong thiết lập mô hình sinh khối chủ yếu áp dụng phương pháp chọn mẫu đại diện, điển hình. Các ô mẫu cần lựa chọn đại diện cho từng kiểu rừng ở từng vùng sinh thái, rừng khá ổn định để phản ánh được quy luật cấu trúc và tổ thành loài. Tuy nhiên, để áp dụng trong thực tế, cũng cần có các ô mẫu cho các trạng thái rừng khác nhau. Số lượng ô mẫu cần đủ để đại diện cho từng đối tượng chọn mẫu và có lặp lại ít nhất là 2 – 3 ô.



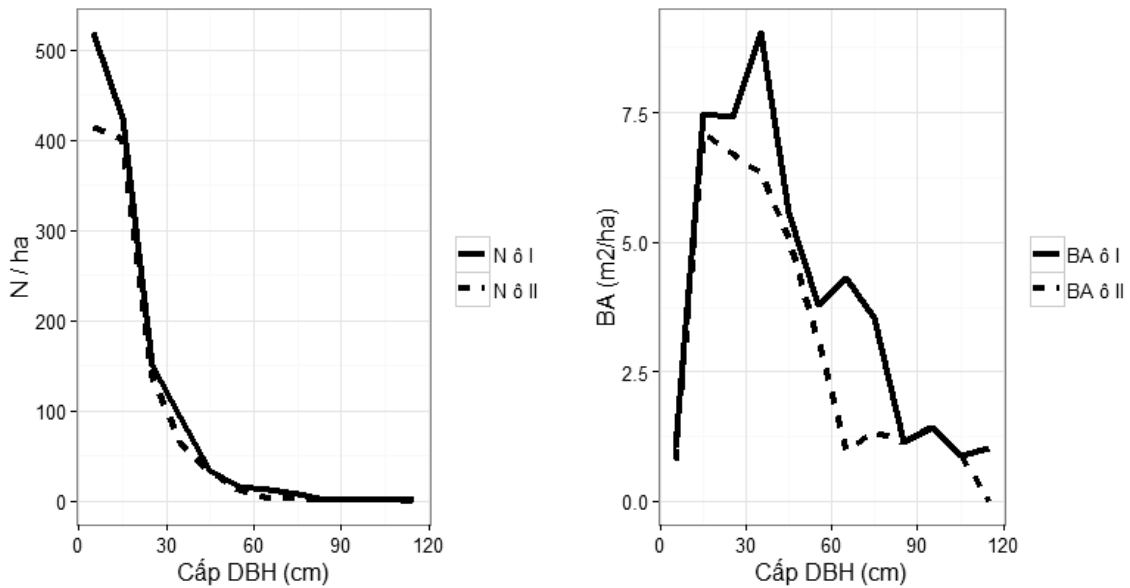
Hình 2.4. Sơ đồ thiết kế ô mẫu dạng dải phân chia theo cấp kính cây rừng và các bể chứa carbon rừng (ICRAF, 2007)

Sau khi thiết lập ô mẫu, tiến hành thu thập thông tin của mỗi ô mẫu, bao gồm: (i) Vị trí tọa độ ô mẫu bằng GPS; (ii) Thông tin lâm phần: kiểu rừng và trạng thái, độ tàn che, số tầng rừng và tiết diện ngang (BA); (iii) Địa hình: độ dốc và vị trí địa hình; (iv) Đất: loại đất trên đá mẹ, màu sắc đất, pH, độ sâu; và (v) Đo cây đứng: tên loài (địa phương và khoa học), đường kính ngang ngực (DBH, cm), và chiều cao cây (H, m), phẩm chất cây (a: tốt, b: trung bình và c: xấu) của tất cả các cây có DBH ≥ 5 cm.

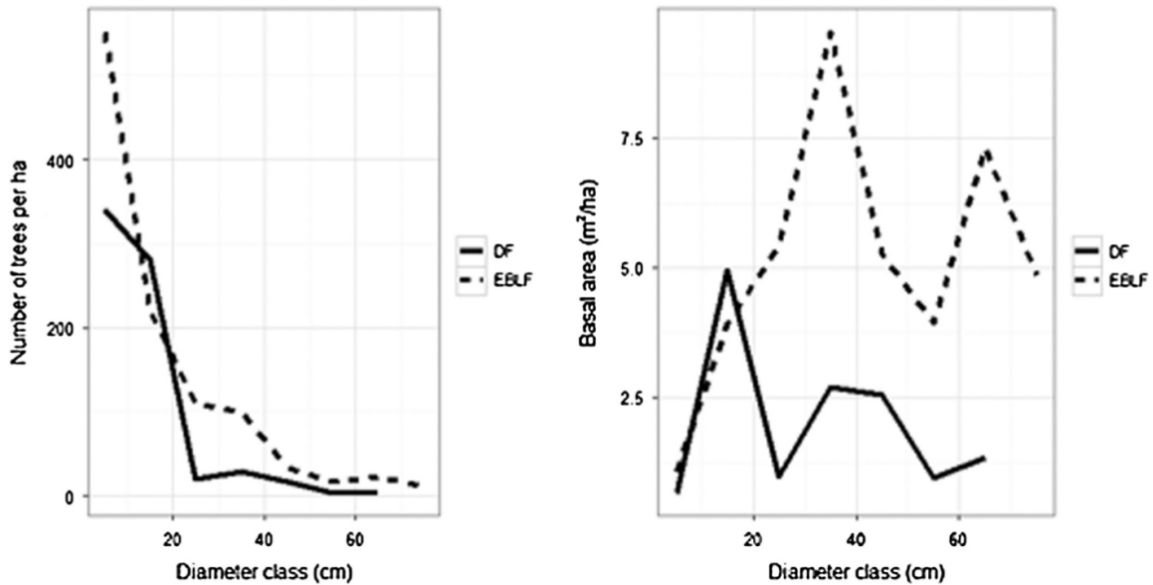
2.2 Lựa chọn, chặt hạ và thu thập số liệu cây mẫu và lấy mẫu

Phương pháp thu thập dữ liệu sinh khối và các biến điều tra cây rừng chủ yếu là chặt hạ cây mẫu (destructive sampling), cây mẫu đối với đối tượng rừng tự nhiên nhiệt đới cần được lựa chọn chặt hạ theo một số tiêu chí chính như sau:

i) Theo phân bố số cây tỷ lệ theo phân bố sinh khối theo cấp kính. Trong khi đó, sinh khối có quan hệ chặt chẽ với tổng tiết diện ngang (BA), do đó, số cây mẫu có thể theo tỷ lệ phân bố BA theo cấp kính. Trong đó, sinh khối hoặc BA có phân bố tập trung ở các cấp kính lớn (Hình 2.5), vì vậy, số cây mẫu đòi hỏi tỷ lệ tương ứng (Huy et al., 2016c). Tuy nhiên, việc chặt hạ cây mẫu nhiều ở các cấp kính lớn đòi hỏi chi phí nhân lực lớn. Vì vậy, một số nghiên cứu hiện nay xác định số cây mẫu tỷ lệ theo cấp kính, có nghĩa là số cây giảm khi cấp kính tăng lên (Hình 2.5), tuy nhiên, cần bảo đảm ít nhất 3 cây mẫu ở các cấp kính lớn trong lâm phần (Phuong et al., 2012a; Huy et al., 2013, 2016b,c).



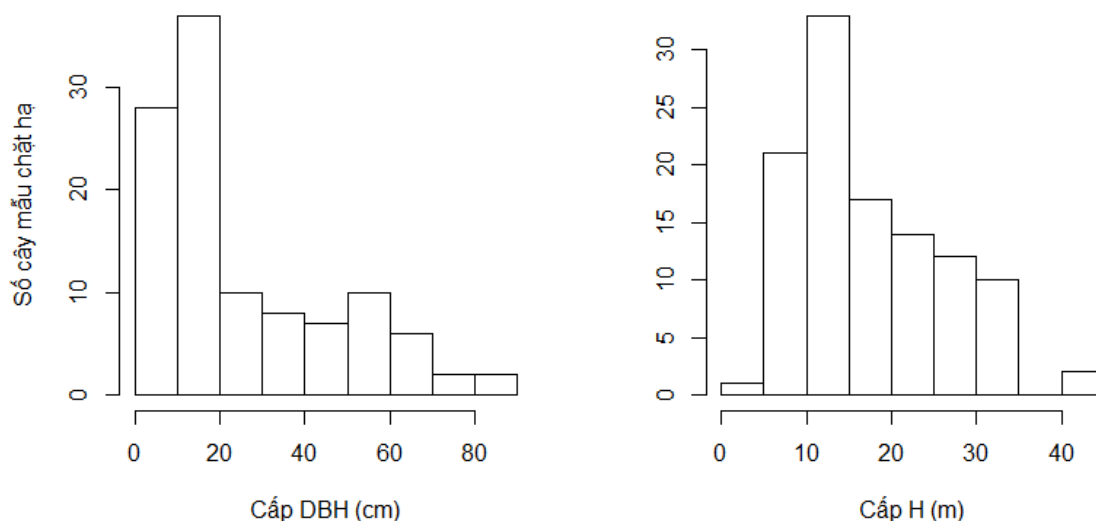
Hình 2.5. Cấu trúc phân bố số cây (trái) và tiết diện ngang (phải) theo cấp kính rừng lá rộng thường xanh vùng sinh thái Nam Trung Bộ (Huy et al., 2016b)



Hình 2.6. Cấu trúc phân bố số cây (trái) và tiết diện ngang (phải) theo cấp kính vùng Tây Nguyên cho hai kiểu rừng: DF: Rừng khộp, EBLF: Rừng lá rộng thường xanh (Kralicek et al., 2017)

Hình 2.5 và 2.6 cho thấy phân bố số lượng cây và tiết diện ngang (BA) theo cấp kính ở các kiểu rừng khộp và lá rộng thường xanh. Số cây theo cấp kính có dạng giảm, trong khi đó phân bố BA có đỉnh ở cấp kính 25 - 30cm hoặc có thêm một đỉnh ở cấp kính lớn, đây là các kiểu phân bố điển hình của rừng nhiệt đới khác tuổi.

Hình 2.7 cho thấy một cách lựa chọn cây mẫu để chặt hạ tỷ lệ theo cấp kính của rừng lá rộng thường xanh Nam Trung Bộ. Trong ô mẫu, số lượng cây lấy mẫu được xác định bằng tỷ lệ số cây theo từng cấp đường kính (Huy et al., 2016b).



Hình 2.7. Phân bố DBH và H của số cây mẫu chặt hạ ở rừng lá rộng thường xanh vùng Nam Trung Bộ (Huy et al., 2016b)

ii) **Cây mẫu được lựa chọn trên cơ sở loài ưu thế.** Rừng tự nhiên nhiệt đới rất đa dạng loài, vì vậy, nếu lập mô hình sinh khối cho từng loài cây là chưa thể thực hiện, đồng thời khi ứng dụng cũng khó khăn do phải theo loài, trong khi đó số loài rất lớn. Vì vậy, xu thế chung thế giới là lập mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropic) (Brown, 1997; IPCC, 2003; Chave et al., 2005, 2014), hoặc theo kiểu rừng cho vùng sinh thái (Huy et al., 2016b,c). Tuy vậy, việc lựa chọn cây mẫu chặt hạ cần theo tỷ lệ ưu thế của loài, từ đó phản ánh được sinh khối chung, hoặc có thể sử dụng để lập các mô hình sinh khối theo họ, chi thực vật nhằm nâng cao độ tin cậy (Basuki, et al., 2009; Huỳnh Nhân Trí, 2013; Huy et al., 2016c). Hệ số ưu thế của loài có thể áp dụng chỉ số quan trọng (Important Value = IV%) (Thái Văn Trùng, 1978):

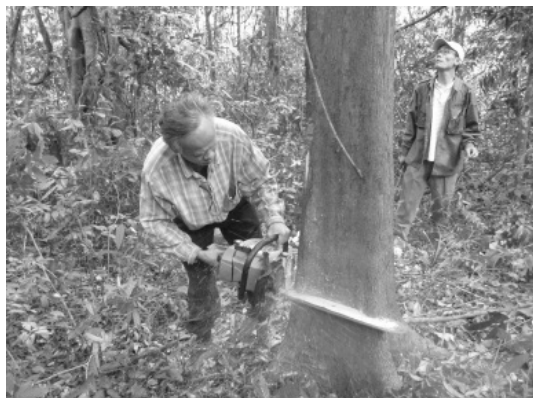
$$IV\% = \frac{N\% + G\% + F\%}{3} \quad (1.20)$$

Trong đó N% là tỷ lệ % mật độ loài, G% là tỷ lệ BA của loài và F% là tỷ lệ số ô xuất hiện loài trên tổng số ô xuất hiện tất cả các loài. Đối với rừng nhiệt đới, loài có IV% > 5% được xem là loài ưu thế sinh thái (Thái Văn Trùng, 1978). Vì F% cần được xác định trên cơ sở phân chia ô mẫu thành các ô phụ, do đó trong một số trường hợp ô nhỏ không phân chia ô phụ hoặc ô phân tầng, thì IV% có thể loại bỏ nhân tố F%.

Trên cơ sở IV% chung cho lâm phần, hoặc tốt hơn là IV% theo cấp kính (chia thành 3 cấp kính: 5 – 30cm; 30 – 50cm và > 50cm), từ đó xác định cây mẫu theo các loài ưu thế với IV% > 5% chung lâm phần hoặc theo cấp kính.

Trước khi chặt hạ cây mẫu, tiến hành đo DBH, H, đường kính tán lá (CD) (m) (đo ở hai hướng chính là Bắc-Nam và Đông-Tây hoặc theo hai chiều lớn và bé nhất của tán lá), và xác định loài của mỗi cây mẫu. Chiều cao cây được đo lại sau khi cây mẫu đã được chặt. Sau đó các bộ phận của cây được tách ra theo thân và vỏ (nếu được thì tách vỏ riêng, nhưng rất tốn công sức), cành nhánh và lá. Riêng rễ cây được đào với cây cấp kính nhỏ, đối với cây lớn dùng máy cơ giới để rút toàn bộ hệ rễ, các rễ nhỏ hơn đào bằng tay (Hình 2.8).

Thân cây mẫu được phân thành năm đoạn (hoặc 10 đoạn) có chiều dài bằng nhau và đường kính có và không có vỏ của cây tại vị trí 5 - 10 đoạn được đo đạc để tính thể tích cây có vỏ và không vỏ (Hình 2.9). Khối lượng sinh khối tươi của các bộ phận cây như lá, cành và thân cây có vỏ và rễ được cân và ghi chép (Hình 2.10).



Chặt hạ cây



Đào rễ cây bằng máy ủi



Rễ cây lớn được đào lên

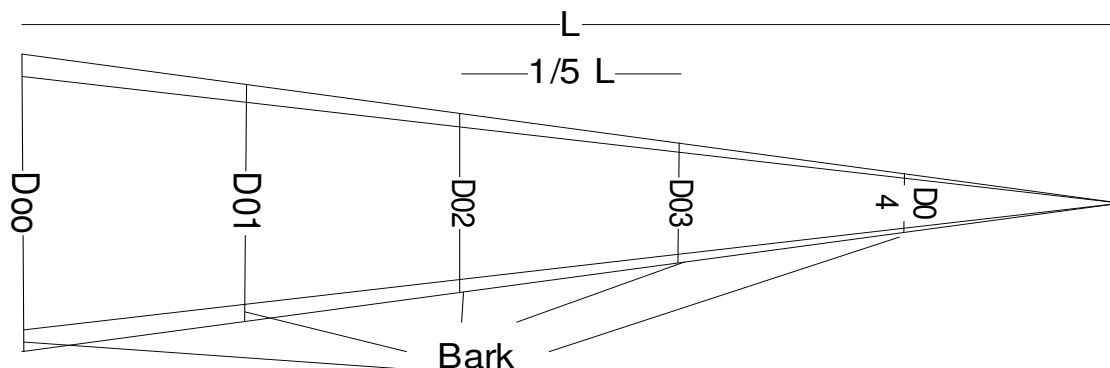


Cắt khúc thân

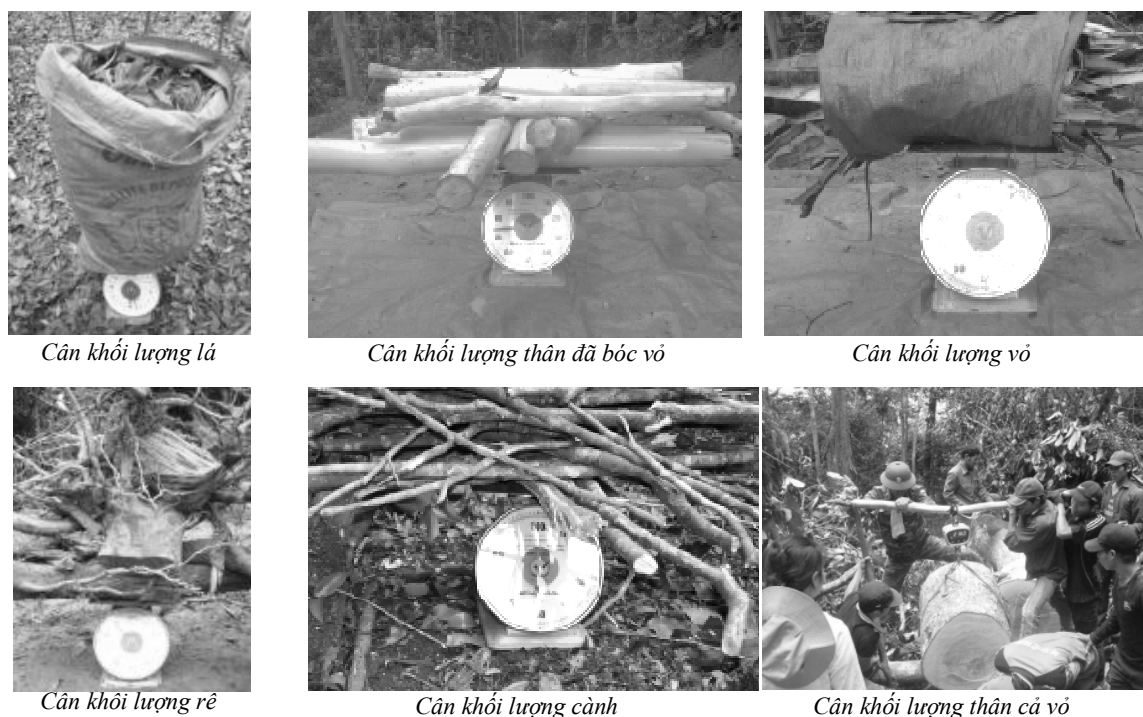


Cắt cành

Hình 2.8. Hình ảnh minh họa chặt hạ, tách các bộ phận của cây mẫu (*Bảo Huy, 2013b*)

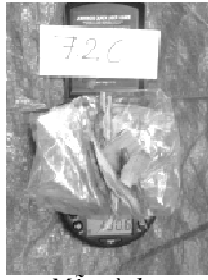


Hình 2.9. Phân chia thân cây thành 5 đoạn bằng nhau và đo đường kính có vỏ và không vỏ ở 5 vị trí để tính thể tích cây có và không vỏ (Bảo Huy, 2013)



Hình 2.10. Cân khối lượng tươi của năm bộ phận cây mẫu: Lá, thân, vỏ, rễ, cành (Bảo Huy, 2013b)

Tiến hành lấy mẫu năm thành phần sinh khối của cây để đưa đến phòng thí nghiệm để tính tỷ lệ khối lượng khô/tươi và khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm^3). Mẫu gỗ và vỏ cây mẫu được lấy là 500g và 300g và được lấy 5 mẫu ở 5 đoạn trên thân cây. Mẫu của cành là 500g và thu thập 3 mẫu ở ba vị trí trên cành (lớn, trung bình và nhỏ). Mẫu lá là 300g bao gồm 2 mẫu lá già và non cũng được thu thập. Mẫu rễ được lấy ba mẫu (mỗi mẫu 300g) ở ba cấp kính thước rễ là lớn, trung bình và nhỏ cho mỗi cây. Các mẫu được xác định khối lượng chính xác bằng cân điện tử với độ tin cậy là 0.1mg ngay trên hiện trường (Hình 2.11).



Mẫu cành



Mẫu lá



Mẫu thân



Mẫu vỏ



Mẫu rễ

Hình 2.11. Mẫu của năm bộ phận cây được thu thập và xác định khối lượng chính xác bằng cân điện tử với độ tin cậy là 0.1mg trên hiện trường (Bảo Huy, 2013b)

2.3 Phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm và xử lý số liệu các biến số lập mô hình sinh khối

Trong phòng thí nghiệm, thể tích tươi của mẫu gỗ và vỏ cây được xác định bằng phương pháp nước chuyển chỗ trong ống nghiệm. Tất cả các mẫu đều được chẻ nhỏ và sấy khô ở 105°C cho đến khi có khối lượng không đổi (Basuki et al., 2009; Ketterings et al., 2001; Stewart et al., 1992) (Hình 2.12), từ đó tính tỷ lệ sinh khối khô/tươi cho từng bộ phận cây. Khối lượng thể tích gỗ WD (g/cm^3) của mẫu được lấy bằng tỷ số giữa khối lượng khô và thể tích tươi của mỗi mẫu. WD của cây mẫu sau cùng là trung bình lấy từ năm phân đoạn. Khối lượng thể tích của vỏ cây cũng được tính tương tự.



Tủ sấy mẫu ở 105°C



Mẫu các bộ phận cây để sấy và phân tích hàm lượng carbon

Hình 2.12. Tủ sấy ở 105°C để xác định khối lượng sinh khối khô (trái) và mẫu của năm bộ phận cây được chẻ nhỏ trước khi đưa vào máy sấy (phải)

Trong trường hợp thiết lập mô hình ước tính trực tiếp carbon (CO₂ tích lũy), thì sau khi sấy khô mẫu, tiến hành phân tích hàm lượng carbon trong từng bộ phận cây dựa trên cơ sở oxy hoá chất hữu cơ bằng K₂Cr₂O₇ (Kali bicromat) theo phương pháp Walkley – Black, trong đó xác định lượng carbon bằng phương pháp so màu xanh của Cr³⁺ tạo thành (K₂Cr₂O₇) tại bước sóng 625nm. Từ đây tính được tỷ lệ %C trong sinh khối khô của từng bộ phận cây rừng.

Thể tích của thân cây có vỏ và không vỏ được chia thành 5 đoạn bằng nhau có thể được tính theo công thức của Huber (Chapman, 1921) hoặc Smalian (Phuong et al., 2012a) như sau theo từng phân đoạn bằng nhau và tính riêng cho đoạn ngọn:

$$V_{log} = \frac{A_{bottom} + A_{top}}{2} \times L \text{ (Smalian)} \quad (2.1)$$

$$V_{log} = A_{middle} \times L_{Huber} \quad (2.2)$$

$$V_{top} = \frac{A_{bottom}}{3} \times L(\text{cone}) \quad (2.3)$$

Trong đó: V_{log} là thể tích mỗi phân đoạn thân cây; V_{top} là thể tích phần ngọn cây hình nón; A_{bottom}, A_{top} và A_{middle} là tiết diện ngang ở phần cuối, đầu và giữa phân đoạn, L là chiều dài mỗi phân đoạn.

Ngoài ra, theo Đồng Sĩ Hiền (1974), khi phân chia thân cây thành các phân đoạn bằng nhau thì thể tích cây được tính theo công thức sau (theo 5 phân đoạn bằng nhau):

$$V = \frac{L}{5} \times \frac{\pi \cdot 10^{-4}}{4} \times \left(\left(\frac{D_{00} + D_{01}}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{01} + D_{02}}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{02} + D_{03}}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{03} + D_{04}}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{04}}{2} \right)^2 \right) \quad (2.4)$$

Trong đó: V là thể tích cây có vỏ hoặc không vỏ (m³); L là chiều dài của thân cây kéo thẳng (m); D₀₀, D₀₁; D₀₂; D₀₃ và D₀₄ (cm) là đường kính có vỏ và không vỏ tại 5 vị trí đo theo Hình 2.13.

Thể tích vỏ tươi của cây mẫu V_{ba} (m³) tính được trên cơ sở thể tích thân cây có vỏ và không vỏ. Với khối lượng thể tích vỏ cây tươi (df_{ba}, g/cm³) thu được từ tính trung bình 5 mẫu vỏ cây được xác định ngay trên hiện trường để tránh vỏ bị co rút khi để quá lâu; trong đó, thể tích mẫu vỏ tươi được đo bằng ống nghiệm theo phương pháp nước chuyển chỗ và df_{ba} bằng khối lượng tươi của mẫu vỏ chia cho thể tích của mẫu vỏ. Sinh khối tươi của vỏ cây trong mỗi cây (Bf_{ba}, kg) được tính trên cơ sở df_{ba} và thể tích vỏ cây V_{ba} (m³) theo công thức sau (Huy et al., 2016b):

$$Bf_{ba} = df_{ba} \times V_{ba} \times 10^3 \quad (2.5)$$

Sinh khối tươi của gỗ được tính bằng cách trừ sinh khối vỏ cây tươi từ các khối lượng tươi của thân cây cả vỏ.

Sinh khối khô của mỗi thành phần cây đã được tính toán theo khối lượng tươi của nó nhân với tỷ lệ khối lượng khô/tươi. Sinh khối trên mặt đất (AGB) của mỗi cây (kg) là tổng sinh khối của thân cây gỗ (B_{st}), sinh khối của cành nhánh (B_{br}), sinh khối lá (B_l), sinh khối của vỏ cây (B_{ba}) và sinh khối của gốc (B_{stu}).

Biến số diện tích tán lá cây (CA , m^2), một trong những biến đầu vào có thể cải thiện sai số của mô hình sinh khối (Huy et al., 2016b; Dietz và Kuyah, 2011; Henry et al., 2010) được tính toán theo công thức sau (Huy et al., 2016b):

$$CA = \pi \frac{CD^2}{4} \quad (2.6)$$

Trong đó CD (m) là đường kính trung bình của tán cây.

Ngoài ra xem xét ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái, môi trường đến mô hình sinh khối, các biến số như lượng mưa, nhiệt độ không khí, loại đất, đá mẹ cần được xác định cho từng ô mẫu. Từ tọa độ ô mẫu có thể truy cập và sử dụng thông tin khí hậu toàn cầu theo Hijmans et al. (2005) và thông tin đất đai thế giới theo Fischer et al. (2008).

Như vậy, một cơ sở dữ liệu được hình thành gồm các biến số phụ thuộc là sinh khối cây rừng phần trên mặt đất (AGB) và dưới mặt đất (BGB) cùng với các biến số độc lập DBH (cm), H (m), WD (g/cm^3) và CA (m^2). Đồng thời mỗi ô mẫu sẽ xác định được các nhân tố sinh thái môi trường (Hijmans et al., 2005; Fischer et al., 2008). Liên kết giữa hai file dữ liệu biến sinh khối và file biến môi trường trong phần mềm mã nguồn mở R (The R project, 2016) dựa vào sự đồng nhất mã số ô mẫu; từ đây tạo lập được cơ sở dữ liệu sau cùng gồm tất cả biến số sinh khối, biến số điều tra cây rừng và toàn bộ các biến số sinh thái môi trường quan trọng.

Codes trong phần mềm mã nguồn mở R để kết hợp file dữ liệu sinh khối cây mẫu với file biến số môi trường của ô mẫu:

```
# -----#
# Import database and variables
# -----#
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()

# Define the working directory (Thư mục)
setwd("I:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for National/Data for EBLF")

# Import data (Nhập file dữ liệu sinh khối cây mẫu):
t <- read.table("EBLF AGB national level new updated 2.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors =
FALSE)

# Merging 2 datasets: t and Plot (Kết hợp hai file dữ liệu cây và dữ liệu sinh thái ô):
Plot <- read.table("Plots Biomass Information in Vietnam New Final.txt",
```

```
header=T,sep="\t",stringsAsFactors = FALSE)
t <- merge(t, Plot, by = 'Plot_ID', all.x=TRUE, sort=FALSE)

# Tables of all trees and plot enviromental variables (Tạo file dữ liệu kết hợp số liệu cây mẫu và nhân tố
sinh thái môi trường:
write.table(t, file="t_all.txt", sep="\t",dec=".", row.names= FALSE)
# The end
```

Để thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên, đã thu thập, tập hợp năm bộ dữ liệu sinh khối trên (AGB) và dưới mặt đất (BGB) cây rừng tự nhiên theo các nhân tố điều tra cây rừng và sinh thái môi trường, lâm phần ở hai kiểu rừng khộp và lá rộng thường xanh ở các vùng sinh thái Việt Nam và giới thiệu trong mục “Cơ sở dữ liệu để thiết lập hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên ở các kiểu rừng, vùng sinh thái Việt Nam”.

Chương 3

PHƯƠNG PHÁP THIẾP LẬP MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

3.1 Chỉ tiêu thống kê, biểu đồ để lựa chọn mô hình sinh khối

Để so sánh, lựa chọn mô hình, các chỉ tiêu thống sau là phổ biến:

Hệ số xác định R^2 : Về tổng quát thì hàm tốt nhất khi R^2 đạt max và tồn tại ở mức sai P-value < 0.05 . Tuy nhiên, có trường hợp R^2 đạt max nhưng chưa phải là hàm phù hợp nhất, do vậy cần dựa thêm các chỉ tiêu thống kê khác.

Tồn tại của các tham số mô hình: Nếu là hàm có từ hai biến số độc lập trở lên, thì biến độc lập phải tồn tại qua kiểm tra theo tiêu chuẩn t ở mức P-value < 0.05 .

Chỉ tiêu AIC (Akaike Information Criterion) - một chỉ tiêu đo lường độ tin cậy của dự báo qua mô hình, AIC càng bé thì mô hình càng có độ tin cậy cao hơn (Basuki et al., 2009; Picard et al., 2012; Bảo Huy, 2013a,b; Huy et al. 2016a,b,c)

$$AIC = -2 \ln(L) + 2p \quad (3.1)$$

Trong đó, L là Likelihood của mô hình, p là tổng số tham số của mô hình.

Trong so sánh các mô hình, chỉ tiêu AIC có tầm quan trọng hơn khi đánh giá so với hệ số xác định R^2 . Có trường hợp hàm được chọn dựa vào AIC bé hơn cho dù R^2 của nó có thể bé hơn hàm so sánh; bởi vì AIC phản ánh toàn diện độ tin cậy của giá trị ước lượng so với quan sát. Tuy nhiên cần lưu ý khi sử dụng các chỉ tiêu thống kê R^2 và AIC để so sánh các dạng mô hình khác nhau, lúc này yêu cầu là các mô hình phải có cùng dạng biến số y; không thể áp dụng các chỉ tiêu này để so sánh một mô hình có biến là y và mô hình khác có biến y được đổi biến số ví dụ là $\log(y)$. Khi các mô hình có biến y khác dạng với nhau thì để so sánh cần áp dụng tiêu chuẩn Furnival (Furnival, 1961; Jayaraman, 1999) được giới thiệu trong phần tiếp theo.

Các loại sai số để đánh giá và so sánh các mô hình được chia làm hai nhóm sai số:

Các sai số tuyệt đối: (Mayer and Butler, 1993; Temesgen et al., 2014).

Bias là sai lệch trung bình giữa giá trị quan sát so với dự đoán qua mô hình, sai lệch âm có nghĩa là dự báo cao hơn thực tế và ngược lại. Khi lấy trung bình thì sai số âm dương sẽ bù trừ nhau, do đó, sai số này thường nhỏ. Vì vậy, sai số này thường được sử dụng để xét giá trị dự báo vượt trên hay nằm dưới quan sát nhờ dấu của nó.

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (3.2)$$

RMSE (Root Mean Square Error): Sai số trung phương trung bình. Sai số được tính trên cơ sở sai lệch giữa quan sát và dự báo bình phương, vì vậy, luôn luôn dương. Vì RMSE dùng để đánh giá sai số trung bình không xét đến chiều hướng của sai lệch và như vậy RMSE luôn lớn hơn Bias:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.3)$$

MAE (Mean Absolute Error): Sai số tuyệt đối trung bình. Sai số này khá tương đồng với RMSE, thay vì bình phương sai lệch giữa quan sát và dự báo, thì sai số này lấy giá trị tuyệt đối, do đó MAE luôn dương và chỉ thị cho sai số trung bình không xét đến chiều hướng sai lệch.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3.4)$$

Các sai số tương đối:

Trong trường hợp để thuận lợi hơn khi so sánh sai số của các mô hình, các sai số trên được tính theo phần trăm, bao gồm % sai lệch giữa quan sát và dự báo qua mô hình (Bias %), sai số trung phương trung bình % (RMSE %), và sai số tuyệt đối trung bình % (Mean Absolute Percent Error MAPE) (Mayer et al, 1993; Chave et al, 2005; Basuki et al., 2009; Swanson et al., 2011; Huy et al., 2016a,b,c):

$$Bias \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \quad (3.5)$$

$$RMSE \% = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (3.6)$$

$$MAPE \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (3.7)$$

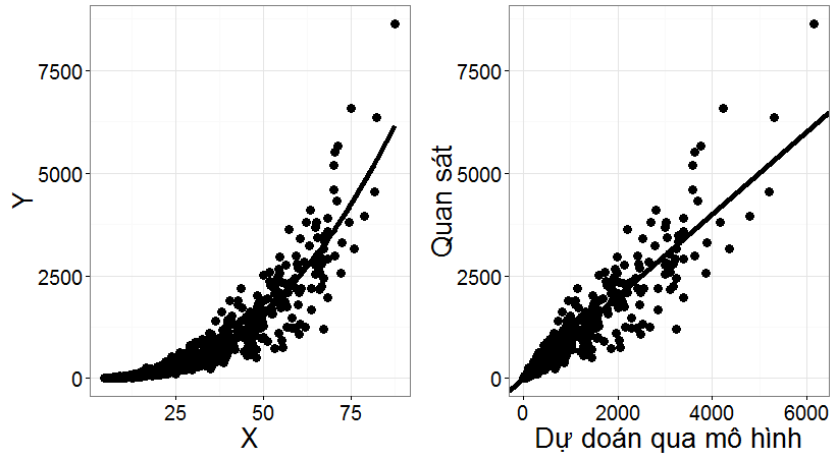
Trong các công thức tính sai số nói trên, n là số mẫu và y_i và \hat{y}_i là giá trị quan sát và ước tính qua mô hình.

Ngoài các chỉ tiêu thống kê, sai số để đánh giá, lựa chọn mô hình, cũng cần xem xét độ tin cậy, sai số, sự bám sát của giá trị ước lượng so với quan sát thông qua các đồ thị trực quan.

Có nhiều loại đồ thị để đánh giá mô hình, trong đó các đồ thị sau thường được quan tâm (Mehtatalo, 2013; Huy et al., 2016b):

- Đồ thị biểu diễn mô hình so với giá trị quan sát: Các giá trị quan sát càng bám sát mô hình thì mô hình càng tốt (đồ thị trái của Hình 3.1).

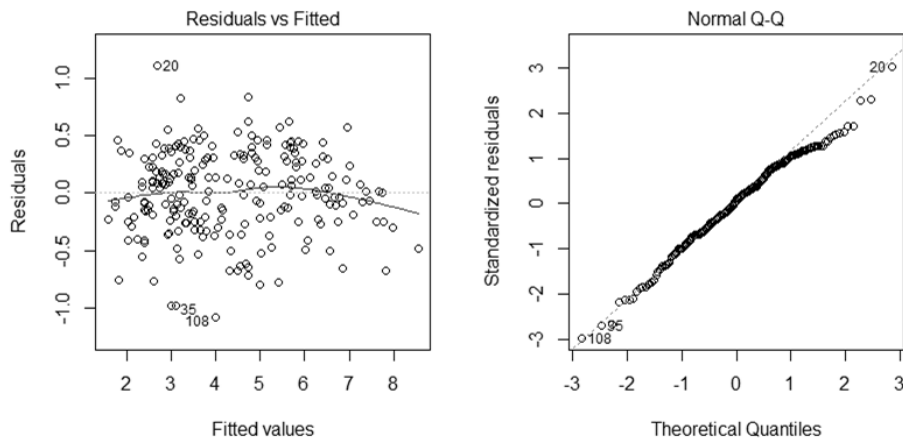
- Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa giá trị quan sát với dự đoán qua mô hình: Các đám mây điểm càng bám sát đường chéo có nghĩa giá trị quan sát và dự đoán càng gần trùng khớp (đồ thị phải của Hình 3.1).



Hình 3.1. Đồ thị mô hình so với quan sát (trái); Quan sát so với dự đoán qua mô hình (phải)

- Biểu đồ biến động sai số (Residuals) theo các giá trị dự báo qua mô hình (Fitted values): Một mô hình tốt thì biến động sai số Residuals bám chung quanh đường $y = 0$ và rải đều theo đường này, biến động của Studentized Residuals tốt với độ tin cậy 95% thì trong phạm vi -2 đến (đồ thị trái của Hình 3.2).

- Biểu đồ phân bố Normal Q-Q: Một mô hình tốt, bám sát dữ liệu quan sát thì biểu đồ phân bố đám mây điểm theo đường chéo, mô hình có ước lượng sai số lớn thì các điểm phân bố nằm xa đường chéo của đồ thị (đồ thị phải của Hình 3.2).



Hình 3.2. Biến động sai số theo dự đoán (trái) và biểu đồ phân bố Q-Q (phải)

3.2 Lựa chọn biến số độc lập và dạng mô hình sinh khối

Biến số sinh khối cây rừng dự đoán qua mô hình là AGB và BGB, trong khi đó, các biến độc lập có thể là DBH, H, WD và CA hoặc là biến đơn hoặc tổ hợp biến, cùng với nó là các nhân tố ảnh hưởng như là vùng sinh thái; hệ thống phân loại thực vật như họ, chi, loài; cấp tổng tiết diện ngang (BA), cấp WD; và mô hình power có hay không có ảnh hưởng của nhân tố sinh thái môi trường chứng tỏ có sự phù hợp và độ tin cậy cao nhất (Huy et al., 2016a,b,c).

Để ước tính AGB, phổ biến và đơn giản nhất là mô hình sử dụng biến số DBH (IPCC, 2003; Brown, 1997; Basuki et al., 2009). Gần đây đủ nhất là sử dụng ba biến số độc lập DBH, H và WD. Vừa mới đây, một số công bố đã phát hiện thêm biến số CA có thể cải thiện mô hình ước tính sinh khối (Huy et al., 2016b; Dietz và Kuyah, 2011; Henry et al., 2010). Như vậy cho đến nay, có thể khẳng định có bốn biến số độc lập là DBH, H, WD và CA có ảnh hưởng đến AGB và BGB và cần xem xét đưa vào mô hình. Số lượng biến càng tăng thì độ tin cậy của mô hình càng cao nhưng sẽ làm gia tăng chi phí khi ứng dụng do phải điều tra thêm nhiều biến số (Huy et al., 2016b,c).

Về kiểu dạng mô hình sinh khối, phổ biến các nghiên cứu đã đưa ra ba loại chính là hàm mũ, mũ logarit hóa và hàm parabol bậc 2 (Brown, 1997; Ketterings et al, 2001; Jenkins et al., 2003, 2004; IPCC, 2003; Basuki et at., 2009; Dietz et al, 2011; Johannes et al, 2011; Chave et al, 2005, 2014; Henry et al., 2010, 2015; Huy et al., 2016^a,b,c). Trong đó các dạng hàm mũ (power) là rất phổ biến và được thiết lập theo dạng tuyến tính hóa logarit (Brown, 1997; Chave et al, 2014; Basuki et al, 2009); hoặc ước lượng theo phương pháp phi tuyến (Chave et al., 2014; Huy et al., 2016a). Mặt khác, việc sử dụng ước lượng các mô hình theo phương pháp phi tuyến tính có trọng số cho phép sự linh hoạt trong các hình thức mô hình từ đơn biến đến đa biến, tổ hợp biến và có thể làm giảm sai số khi có sự phân hóa dữ liệu AGB ở các cấp DBH lớn (Davidian et al., 1995).

Trong các mô hình, tổ hợp các biến DBH và H ($DBH^2H \text{ (m}^3\text{)} = \left(\frac{DBH}{100}\right)^2 \times H$) là đại diện cho thể tích cây gỗ; và tổ hợp các biến DBH, H và WD ($DBH^2HWD \text{ (kg)} = DBH^2H \times WD \times 1000$) là đại diện cho sinh khối thân cây gỗ.

Dựa trên hàng loạt kết quả cho thấy, chủ yếu sử dụng mô hình power cho mô hình sinh khối với sự lựa chọn các biến đầu vào gồm DBH, H, WD và CA cùng với các nhân tố sinh thái môi trường ảnh hưởng; với phương pháp ước lượng phù hợp là phi tuyến tính có trọng số.

Bảng 3.1 là một minh họa so sánh mô hình power với parabol bậc 2 với các biến số đầu vào khác nhau, đơn hay tổ hợp biến (Huy et al., 2016b). Dựa vào chỉ số Akaike Information Criterion (AIC) bé nhất, hệ số xác định R^2 cao nhất và sai số trung phương RMSE% nhỏ nhất (Root Mean Square Error) cho thấy mô hình power là tốt hơn parabol, và các mô hình tổ hợp biến trong nhiều trường hợp là tốt hơn các biến đơn.

Bảng 3.1. Kết quả so sánh các dạng mô hình sinh khối khác nhau theo từng nhóm biến số đầu vào

Biến đầu vào	Dạng mô hình	AIC	R ² _{adj.}	RMSE (%)
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	895.2	0.933	35.6
	$AGB = a + b \times DBH + c \times DBH^2$	911.8	0.883	34.3
DBH + H	$AGB = a \times DBH^2 H^b$	891.0	0.935	30.7
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	887.9	0.937	31.6
DBH + WD	$AGB = a \times DBH^b \times WD$	877.2	0.946	32.8
	$AGB = a \times DBH^b \times WD^c$	883.9	0.945	32.1
DBH + H + WD	$AGB = a \times DBH^2 HWD^b$	881.5	0.952	28.6
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	875.7	0.953	28.5
DBH + H + WD + CA	$AGB = a \times DBH^2 HWD^b \times CA^c$	869.9	0.958	26.2
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d \times CA^e$	878.4	0.957	26.4

Nguồn: Huy et al., 2016b

Tổng kết về chọn dạng hàm sinh khối cây rừng, cho đến nay, đa số các công trình công bố trên các tạp chí trong nước và quốc tế có uy tín, thì mô hình dạng mũ (power) vẫn là mô hình tối ưu cho chung vùng nhiệt đới (pantropic), cho nhiều kiểu rừng khác nhau, với các biến số đầu vào nhau (Chave et al., 2005; Basuki et al., 2009; Sola et al., 2014a,b; Huy et al., 2016a,b,c).

Về các biến số độc lập của mô hình sinh khối cho thấy, có bốn biến độc lập ảnh hưởng đến AGB và BGB, khi tăng số biến từ một biến DBH lên hai biến DBH+H, hoặc ba biến DBH+H+WD hoặc bốn biến với sự tham gia thêm của biến CA thì mô hình càng có sai số thấp, độ tin cậy cao hơn; trong đó, biến CA là một phát hiện khá mới và đang được quan tâm hơn để cải thiện độ tin cậy của các mô hình sinh khối. Tuy nhiên, tùy thuộc vào nguồn lực, đối tượng áp dụng mà chọn loại biến số và số biến số thích hợp. Ví dụ, khi tổ chức giám sát carbon có sự tham gia của cộng đồng địa phương thì mô hình với biến đơn giản DBH là phù hợp; trong khi đó đối với nhân viên kỹ thuật thì có thể thêm các biến khác. Tuy nhiên, lưu ý đo cao trong rừng tự nhiên thường mắc sai số cao, do đó mô hình một biến DBH theo cấp chiều cao là một thay thế tốt cho việc phải đo cao toàn bộ. Biến WD chỉ áp dụng khi việc xác định loài không gặp trở ngại và có đủ cơ sở dữ liệu WD, lưu ý dựa vào chỉ tiêu AIC cho thấy, biến WD là quan trọng hơn biến H trong mô hình sinh khối, mô hình có hai biến DBH + H (có AIC = 887.9) có độ tin cậy thấp hơn mô hình có hai biến DBH + WD (có AIC 877.2) (AIC giảm khi thay WD bằng H) (kết quả ở Bảng 3.1; Huy et al. 2016b,c). Biến CA cần được khuyến khích đưa vào mô hình để tăng độ tin cậy và không làm gia tăng phí điều tra và việc đo đường kính tán cây không mất quá nhiều thời gian.

Ngoài các biến độc lập ảnh hưởng trực tiếp, thì sinh khối của cây rừng còn bị chi phối bởi các yếu tố sinh thái môi trường như lượng mưa, nhiệt độ, đất đai, các yếu tố lâm phần như mật độ (N), BA, trữ lượng (M), cấp WD. Do vậy xem xét sự ảnh hưởng của các nhân tố bên ngoài để điều chỉnh các tham số của mô hình sẽ giúp cải thiện độ tin cậy của ước tính sinh khối (Sola et al., 2014a;

Huy et al., 2016a). Ví dụ ở Bảng 3.2 mô hình ước tính AGB một biến DBH sẽ được cải thiện sai số khi xét đến sự ảnh hưởng của cấp WD, với AIC sẽ giảm từ 8425 xuống 8292 (rõ rệt) và sai số trung phương RMSE% giảm được 10% là rất đáng kể.

Bảng 3.2. So sánh và thẩm định chéo mô hình $AGB = f(DBH)$ có hay không ảnh hưởng của nhân tố khác

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng ngẫu nhiên (Random Effect)	AIC	Adj. R ²	RMSE %
$AGB = a \times DBH^b$	Không	8425	0.886	42.1
	Cấp WD	8292	0.923	31.7

Trích: Huy et al. (2016a)

Vì vậy trong cuốn sách này, các mô hình sinh khối chủ yếu được giới thiệu cách thiết lập và thẩm định chéo theo hàm mũ với các biến số đầu vào và tổ hợp biến khác nhau, đồng thời sự ảnh hưởng ngẫu nhiên của các yếu tố sinh thái môi trường bằng cách viết các codes chạy trong phần mềm mã nguồn mở R.

3.3 Các phương pháp ước lượng mô hình sinh khối phi tuyến tính

Mô hình phi tuyến tính hàm mũ có thể được ước lượng theo một trong các phương pháp: tuyến tính hóa thông qua logarit và bình phương tối thiểu (Code “lm” trong phần mềm R, Chambers, 1992) hoặc phi tuyến bình phương tối thiểu (Code “nls” trong R: Nonlinear Least Squares) (Bates và Watts, 1988) hoặc phi tuyến ảnh hưởng phức hợp hợp lý tối đa (Code “nlme” trong R: Nonlinear Mixed-Effects Models - Maximum Likelihood) có hay không có trọng số (Weight) (Davidian và Giltinan, 1995; Pinheiro et al., 2014).

Sau đây giới thiệu và so sánh các phương pháp ước lượng mô hình sinh khối khác nhau để làm cơ sở cho việc lựa chọn phương pháp thích hợp, đạt độ tin cậy cao nhất.

3.3.1 Thiết lập mô hình phi tuyến hàm mũ được tuyến tính hóa logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu

Phổ biến hàm mũ thường được ước lượng theo phương pháp tuyến tính logarit bình phương tối thiểu (Brown, 1997; IPCC, 2003; Basuki et al., 2009; Võ Đại Hải và cộng sự, 2012; Bảo Huy, 2013a; Huỳnh Nhân Trí, 2014).

Code “lm” (Chambers, 1992) thực hiện trong R để ước lượng các mô hình mũ được logarit để tuyến tính hóa từ một đến nhiều biến theo phương pháp bình phương tối thiểu.

Đối với mô hình tuyến tính hóa dạng logarit, khi chuyển về lại dạng nguyên thủy là phi tuyến để ước tính y, cần sử dụng một hệ số điều chỉnh (Corection Factor – CF) (Basuki et al., 2009; Bảo Huy, 2013a). Mô hình được chuyển về dạng nguyên thủy phi tuyến và khi dự đoán y cần nhân thêm hệ số CF. Với mô hình power sau khi tính toán các tham số, dự đoán y sẽ là:

$$y = CF \times b_0 \times x_1^{b_1} \times x_2^{b_2} \dots \times x_n^{b_n} \quad (3.8)$$

Trong đó CF được tính:

$$CF = \exp(RSE^2/2) \quad (3.9)$$

CF luôn lớn hơn 1. Trong đó RSE (Residual standard error) là sai tiêu chuẩn của phần dư (sai lệch giữa quan sát và dự đoán). Khi RSE càng lớn thì CF càng lớn, có nghĩa mô hình càng có độ tin cậy thấp. Mô hình tốt khi CF càng tiến dần đến 1 (Chave et al., 2005; Basuki et al., 2009; Bảo Huy, 2013a).

Sử dụng dữ liệu của 110 cây rừng mẫu của rừng lá rộng thường xanh vùng Nam Trung Bộ (Dữ liệu 1, Huy et al., 2016b), tiến hành ước lượng mô hình phi tuyến power ước tính AGB gồm bốn biến DBH, H, WD và CA dạng hàm mũ tổ hợp biến và được logarit hóa để ước lượng theo trong chương trình “lm” của R theo phương pháp bình phương tối thiểu:

$$AGB = b_0 \times (DBH^2 HWD)^{b_1} \times CA^{b_2} \times \varepsilon, \text{ logarit hóa: } \log(AGB) = \log(b_0) + b_1 \times \log(DBH^2 HWD) + b_2 \times \log(CA) + \log(\varepsilon) \quad (3.10)$$

Codes “lm” thiết lập mô hình logarit hóa đa biến/tổ hợp biến $\log(AGB) = \log(b_0) + b_1 \times \log(DBH^2 HWD) + b_2 \times \log(CA)$

Combination of variable: DBH2HWD approximation of AGB (Tạo tổ hợp biến) :

```
t_eq$DBH2HWD = (t_eq$DBH/100)^2*t_eq$H*t_eq$WD*1000
```

Code lm (Lập mô hình) :

```
lmt1 <- lm(log(AGB)~log(DBH2HWD)+log(CA), data=t_eq)
```

```
summary(lmt1)
```

```
anova(lmt1)
```

Outputs of the model (Tính dự đoán và sai số mô hình):

```
t_eq$lmt1.fit <- fitted.values(lmt1)
```

```
t_eq$lmt1.res <- residuals(lmt1)
```

Calcul of model coefficients (Tính các tham số mô hình):

```
a <- exp(coefficients(lmt1)[1])
```

```
b <- coefficients(lmt1)[2]
```

```
c <- coefficients(lmt1)[3]
```

```
a
```

```
b
```

```
c
```

Kết quả thu được mô hình trong R mô hình được ước lượng:

$AGB = 0.603378 \times (DBH^2 HWD)^{0.875814} \times CA^{0.173520}$ với các tham số và R^2 tồn tại rõ rệt với $Pr < 0.0001$

Codes tính toán các chỉ tiêu thống kê của mô hình: $AGB = 0.603378 \times (DBH^2 HWD)^{0.875814} \times CA^{0.173520}$

Model back transformed: $Y = \exp(a) \times X^b \times CF$

Calcul of correction factor: $CF = \exp(RSE^2/2)$: (Tính CF)

```
summary(lmt1)$sigma^2
```

```
lmt1.CF<- exp(summary(lmt1)$sigma^2/2)
```

```
lmt1.CF
```

Calcul of fitted values and residuals (Tính giá trị dự báo và sai số)

```
t_eq$backtr1.fit <- lmt1.CF * a * t_eq$DBH2HWD^b*t_eq$CA^c
```

```
t_eq$backtr1.res <- t_eq$AGB - t_eq$backtr1.fit
```

Indicators for validation of the model (Tính các chỉ tiêu thống kê, sai số)

```

R2 <- 1 - sum((t_eq$AGB - t_eq$backtr1.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-4-1)
R2.adjusted
# Calcul of AIC = -2L + 2*p where p is numbers of parametters of model
ML.backtr1 <- -1/2*sum(t_eq$backtr1.res^2/var(t_eq$backtr1.res)+log(2*pi)
+log(var(t_eq$backtr1.res)))
AIC.backtr1 <- -2*ML.backtr1 +2*3
AIC.backtr1
Bias<- mean(t_eq$backtr1.res)
RMSE<- sqrt(mean((t_eq$backtr1.res)^2))
MAPE<- 100*mean(abs(t_eq$backtr1.res)/t_eq$AGB)
Bias
RMSE
MAPE

```

Kết quả thu được các chỉ tiêu thống kê, sai số của mô hình từ R:

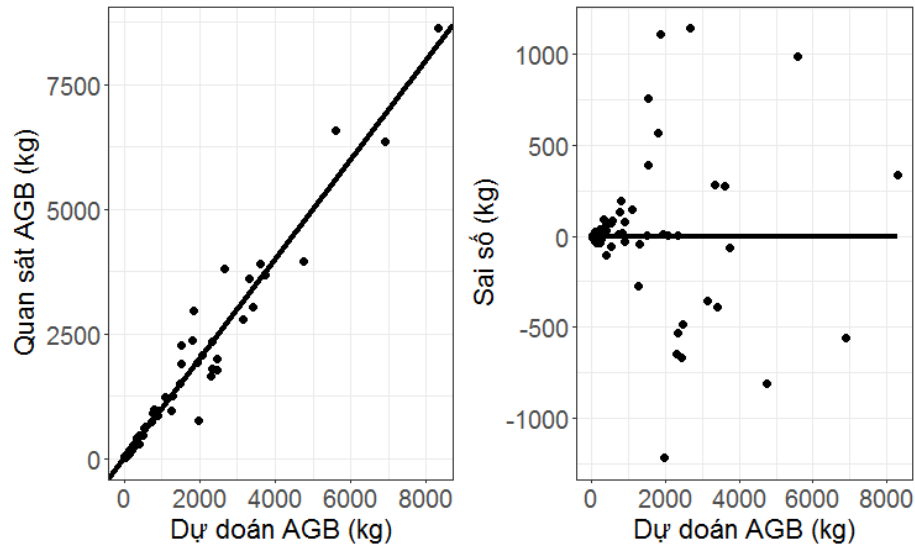
$$CF = 1.024; R^2_{adj} = 0.960269; AIC = 1564.5$$

Các sai số: *Bias* = 3.2 kg; *RMSE* = 288.7 kg và *MAPE* = 17.3%

```

Codes vẽ đồ thị của mô hình  $AGB = 0.603378 \times (DBH^2 \times HWD)^{0.875814} \times CA^{0.173520}$ 
# Observed and Predicted Values:
p1 <- ggplot(t_eq, aes(x=t_eq$backtr1.fit , y=AGB))
p1 <- p1 + geom_point(cex=2)
p1 <- p1 + geom_abline(cex = 1.5, intercept = 0, slope = 1, col="black")
p1 <- p1 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Quan sát AGB (kg)") + theme_bw()+ theme_bw()
p1 = p1 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p1 = p1 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p1 <- p1 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p1 = p1 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p1
# Residuals and Predicted value
p2 <- ggplot(t_eq, aes(x=t_eq$backtr1.fit, y=t_eq$backtr1.res ))
p2 <- p2 + geom_point(cex = 2)
p2 <- p2 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=t_eq$backtr1.fit, y=0))
p2 <- p2 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Sai số (kg)") + theme_bw()+ theme_bw()
p2 = p2 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p2 = p2 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p2 <- p2 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p2 = p2 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p2 = p2 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p2
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)

```



Hình 3.3. Mô hình: $AGB = 0.603378 \times (DBH^2 HWD)^{0.875814} \times CA^{0.173520}$. Quan hệ giữa AGB quan sát và dự đoán (trái); Biến động sai số theo giá trị AGB dự đoán qua mô hình (phải)

Từ đồ thị trên ở Hình 3.3 cho thấy, mô hình ước tính AGB với bốn biến số DBH, H, WD và CA có giá trị dự đoán bám sát quan sát; tuy nhiên, đây là với mô hình ước lượng theo phương pháp tuyến tính và không có trọng số, do đó, sai số vẫn biến động mạnh khi AGB tăng lên. Vì vậy, cần nghiên cứu thử nghiệm áp dụng phương pháp phi tuyến có trọng số.

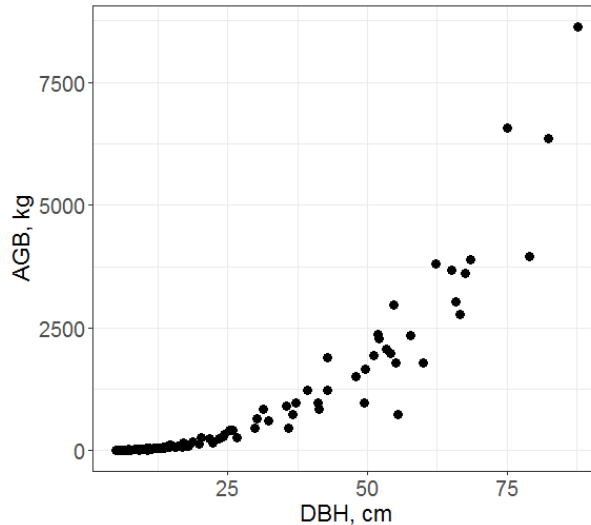
3.3.2 Lựa chọn phương pháp phi tuyến tính

Ngoài việc ước lượng các mô hình phi tuyến tính bằng cách tuyến tính hóa theo hàm logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu, thì có hàng loạt các phương pháp ước lượng trực tiếp mô hình phi tuyến tính mà không phải tuyến tính hóa như là phi tuyến bình phương tối thiểu (chương trình “nls” trong R: Nonlinear Least Squares) (Bates và Watts, 1988), phi tuyến ảnh hưởng phức hợp hợp lý tối đa (chương trình “nlme” trong R: Nonlinear Mixed-Effects - Maximum Likelihood) (Bate, 2010 ; Davidian và Giltinan, 1995; Pinheiro et al., 2014).

Các phương pháp phi tuyến ước lượng trực tiếp các tham số mô hình mà không phải thông qua hàm trung gian để tuyến tính hóa, do đó, về mặt nguyên tắc chung nó đã làm giảm được sai số ước lượng trung gian, cụ thể là không cần sử dụng hệ số điều chỉnh CF như mô hình tuyến tính hóa. Do đó, tăng độ tin cậy của mô hình; ngoài ra còn có kỹ thuật trọng số để giảm biến động sai số của mô hình khi ước lượng bằng phương pháp phi tuyến tính.

Ngoài ra khi khảo sát đám mây điểm AGB/DBH, dữ liệu biến phụ thuộc AGB sẽ càng phân tán (biến động lớn) khi biến độc lập DBH tăng lên (Hình 3.4); điều này làm cho mô hình có sai số lớn ở các giá trị dự báo cao. Để cải thiện điều này, mô hình phi tuyến có trọng số cần được áp dụng (Poso et al., 1999, Picard et al., 2012). Biến số trọng số được tính: $Weight = 1/X^a$ trong đó X là biến số độc lập ảnh hưởng rõ rệt nhất đến biến phụ thuộc và khi nó tăng lên thì biến phụ thuộc có sự phân hóa cao; a thường biến động từ - 20 đến + 20 (Picard et al., 2012); thay đổi a để mô hình có sai số phân bố đều theo các giá trị dự đoán trên đồ thị.

Sau đây lần lượt giới thiệu các phương pháp ước lượng các hàm phi tuyến khác nhau và cách thức đánh giá để lựa chọn phương pháp thích hợp trong từng trường hợp cụ thể.



Hình 3.4. Biến động AGB tăng khi DBH tăng. Mô hình cần áp dụng có trọng số $Weight = 1/DBH^a$

3.3.2.1 So sánh mô hình theo phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) có hay không có trọng số

Mô hình phi tuyến tính có hay không có trọng số có thể được thiết lập theo chương trình phi tuyến bình phương tối thiểu nls (nonlinear least square) (Bate et al., 1988) trong phần mềm mã nguồn mở R.

Dưới đây minh họa cách thiết lập một mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB, kg) theo các biến số DBH, H, WD được tổ hợp biến là DBH^2HWD dạng hàm power (Huy et al. 2016a,b) trên cơ sở dữ liệu ở phụ lục 1 của 110 cây mẫu ở vùng Nam Trung Bộ, so sánh mô hình có hay không có trọng số thực hiện theo codes nls trong R.

Mô hình sinh khối AGB theo ba biến số dạng tổ hợp biến:

$$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b + \varepsilon \quad (3.11)$$

Codes lập mô hình phi tuyến không có trọng số theo nls trong R:

```
# Tổ hợp biến đại diện sinh khối AGB:
t_eq$DBH2HWD = (t_eq$DBH/100)^2*t_eq$H*t_eq$WD*1000
# Initial parameters:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b")
start[1] = exp(start[1])
nls_least_square <- nls(AGB~a*DBH2HWD^b, data=t_eq,
                        start=start)
# Tóm tắt kết quả mô hình
summary(nls_least_square)
# Dự đoán và sai số mô hình:
t_eq$nls_least_square.fit <- fitted.values(nls_least_square)
t_eq$nls_least_square.res <- residuals(nls_least_square)
# calcul of AIC, R2 and errors:
AIC = AIC(nls_least_square)
AIC
```

```

R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$nls_least_square.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-3-1)
R2.adjusted
Bias = mean(t_eq$nls_least_square.res)
Bias
RMSE = sqrt(mean(t_eq$nls_least_square.res^2))
RMSE
MAPE = 100*mean(abs(t_eq$nls_least_square.res)/t_eq$AGB)
MAPE
# Plots:
# Fitted model (Mô hình theo quan sát)
p1 <- ggplot(t_eq)
p1 <- p1 + geom_point(aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p1 <- p1 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=nls_least_square.fit))
p1 <- p1 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + labs(title = "a")
p1 = p1 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p1 = p1 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p1 <- p1 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p1 = p1 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p1
# Observed and Predicted Values: (Đồ thị Quan sát với dự báo):
p2 <- ggplot(t_eq, aes(x=t_eq$nls_least_square.fit, y=AGB))
p2 <- p2 + geom_point(cex=2)
p2 <- p2 + geom_abline(cex = 1.5, intercept = 0, slope = 1, col="black")
p2 <- p2 + xlab("Dự đoán (kg)") + ylab("Quan sát AGB (kg)") + theme_bw()+ theme_bw()
p2 = p2 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p2 = p2 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p2 <- p2 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p2 = p2 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p2 = p2 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p2 <- p2 + labs(title = "b")
p2
# Residuals vs predicted (Quan hệ sai số với dự đoán)
p3 <- ggplot(t_eq, aes(x=nls_least_square.fit, y=nls_least_square.res))
p3 <- p3 + geom_point()
p3 <- p3 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=nls_least_square.fit, y=0))
p3 <- p3 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Sai số (kg)") + theme_bw()
p3 <- p3 + labs(title = "")
p3 = p3 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p3 = p3 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p3 <- p3 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p3 = p3 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p3 = p3 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p3 <- p3 + labs(title = "c")
p3 = p3 + ylim(-1500,1500)
p3
plot_grid(p1, p2, p3, ncol = 1)

```

Codes lập mô hình phi tuyến có trọng số theo nls trong R:

```
# Tổ hợp biến đại diện sinh khối AGB:
t_eq$DBH2HWD = (t_eq$DBH/100)^2*t_eq$H*t_eq$WD*1000
# Initial parameters:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b")
start[1] = exp(start[1])
nls_least_square <- nls(AGB~a*DBH2HWD^b, data=t_eq,
                        start=start, weights = 1/DBH2HWD^0.9)
# Tóm tắt kết quả mô hình
summary(nls_least_square)
# Dự đoán và sai số mô hình:
t_eq$nls_least_square.fit <- fitted.values(nls_least_square)
t_eq$nls_least_square.res <- residuals(nls_least_square)
t_eq$nls_least_square.res_weight <- residuals(nls_least_square)/t_eq$DBH2HWD^0.9
# calcul of AIC, R2 and errors:
AIC = AIC(nls_least_square)
AIC
R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$nls_least_square.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-3-1)
R2.adjusted
Bias = mean(t_eq$nls_least_square.res_weight)
Bias
RMSE = sqrt(mean(t_eq$nls_least_square.res_weight^2))
RMSE
MAPE = 100*mean(abs(t_eq$nls_least_square.res_weight)/t_eq$AGB)
MAPE
# Plots:
# Fitted model (Mô hình theo quan sát)
p4 <- ggplot(t_eq)
p4 <- p4 + geom_point(aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p4 <- p4 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=nls_least_square.fit))
p4 <- p4 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p4 <- p4 + labs(title = "a")
p4 = p4 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p4 = p4 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p4 <- p4 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p4 = p4 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p4 = p4 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p4
# Observed and Predicted Values: (Đồ thị Quan sát với dự báo):
p5 <- ggplot(t_eq, aes(x=t_eq$nls_least_square.fit, y=AGB))
p5 <- p5 + geom_point(cex=2)
p5 <- p5 + geom_abline(cex = 1.5, intercept = 0, slope = 1, col="black")
p5 <- p5 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Quan sát AGB (kg)") + theme_bw()+ theme_bw()
p5 = p5 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
```

```

p5 = p5 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p5 <- p5 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p5 = p5 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p5 = p5 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p5 <- p5 + labs(title = "b")
p5
p6 <- ggplot(t_eq, aes(x=nls_least_square.fit, y=t_eq$nls_least_square.res_weight))
p6 <- p6 + geom_point()
p6 <- p6 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=nls_least_square.fit, y=0))
p6 <- p6 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Sai số có trọng số (kg)") + theme_bw()
p6 <- p6 + labs(title = "")
p6 = p6 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p6 = p6 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p6 <- p6 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p6 = p6 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p6 = p6 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p6 <- p6 + labs(title = "c")
p6 = p6 + ylim(-0.6,0.6)
p6
plot_grid(p4, p5, p6, ncol = 1)

```

Kết quả thiết lập mô hình có hay không có trọng số theo chương trình nls trong phần mềm R được tổng hợp trong Bảng 3.3. Từ bảng này cho thấy mô hình phi tuyến có trọng số thực hiện theo code nls trong R có các sai số bé hơn rất nhiều mô hình không có trọng số.

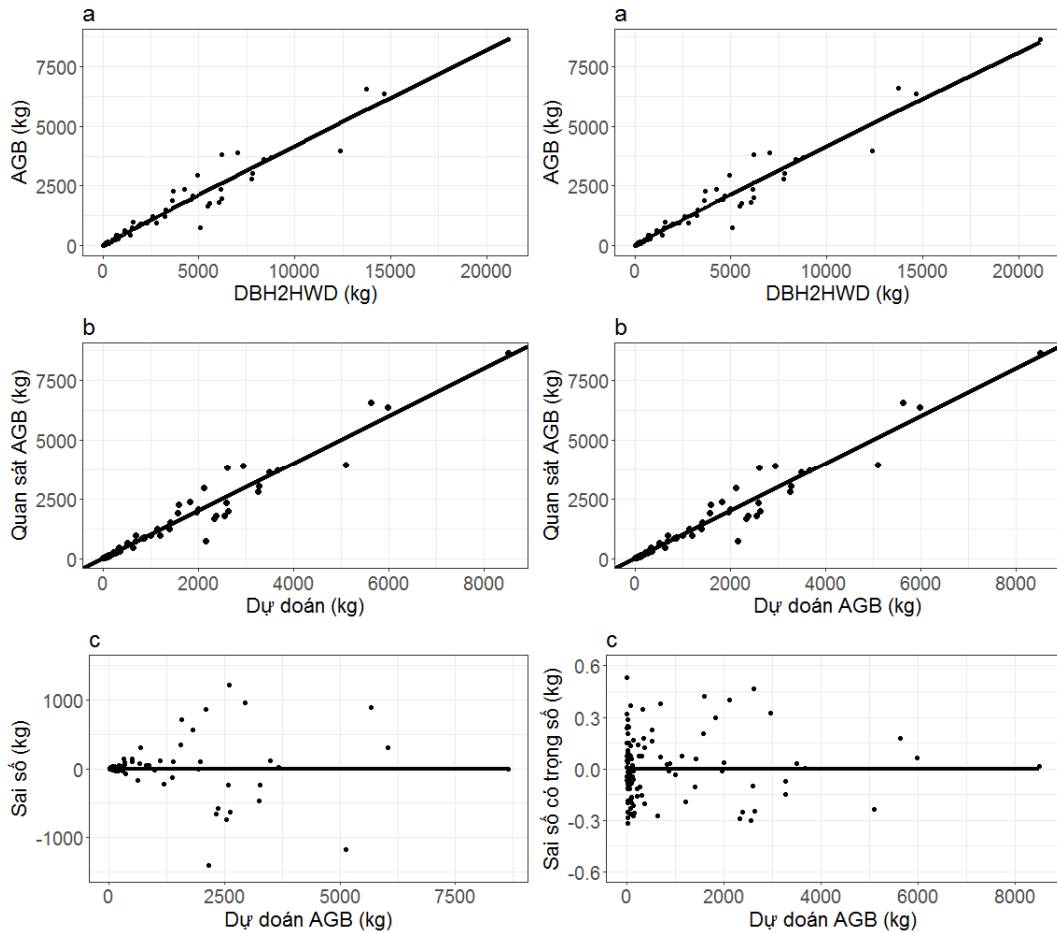
Vì vậy, đối với các dữ liệu quan sát bị phân tán khi biến độc lập tăng lên cần áp dụng phương pháp phi tuyến có trọng số, phương pháp giúp cho việc cải thiện sai số rất có ý nghĩa.

Bảng 3.3. Các chỉ tiêu thống kê, sai số của mô hình có hay không có trọng số theo phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) trong R

Chỉ tiêu thống kê, sai số	Không trọng số	Có trọng số Weight = $1/DBH^2HWD^{0.9}$
Mô hình	$AGB = 0.51083 \times (DBH^2HWD)^{0.97776}$	$AGB = 0.60670 \times (DBH^2HWD)^{0.95883}$
R^2_{adj}	0.954	0.954
Bias (kg)	6.83	-0.00065
RMSE (kg)	311.9	0.2
MAPE (%)	18.8	0.41

Hình 3.5 cũng cho thấy mô hình phi tuyến có trọng số thì sai số rất bé và phân bố đều theo giá trị dự báo, ngược lại khi không có trọng số sai số lớn và phân tán mạnh ở các giá trị AGB lớn.

Kết quả này khẳng định đối với các quan hệ nếu biến dự đoán AGB bị phân tán mạnh khi DBH tăng lên, thì ước lượng mô hình theo phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) có trọng số có ý nghĩa quan trọng trong cải thiện độ tin cậy.



Hình 3.5. Mô hình phi tuyến $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$. a: Mô hình theo quan sát; b: Quan sát so với dự đoán và c: phân bố sai số theo dự đoán. Cột trái: Mô hình không có trọng số; Cột phải: Mô hình với trọng số tối ưu

3.3.2.2 So sánh mô hình theo phương pháp phi tuyến ảnh hưởng tổng hợp (Nonlinear Mixed-Effects - nlme) Maximum Likelihood có trọng số với mô hình phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) có trọng số

Ngoài phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu có trọng số sử dụng codes nls trong phần mềm mã nguồn mở R, còn có thể áp dụng phương pháp phi tuyến ảnh hưởng phức hợp hợp lý tối đa (nlme: nonlinear mixed effects) Maximum Likelihood có trọng số (Weights), sau đây viết tắt là phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số (Davidian et al., 1995; Pinheiro et al., 2014). Trong một số quan hệ phức tạp như mô hình bị ảnh hưởng của nhiều nhân tố khác ngoài các biến số độc lập, thì mô hình theo phương pháp nlme Maximum Likelihood có trọng số tỏ ra có hiệu quả để nâng cao độ tin cậy. Vì vậy, cần có thử nghiệm để áp dụng phương pháp này so với phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) thông dụng.

Để minh họa áp dụng phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số, sử dụng mô hình power. Phần mềm mã nguồn mở R được áp dụng theo chương trình nlme (Bates et al., 2010; Pinheiro et al., 2014) và chẩn đoán qua sơ đồ sử dụng ggplot2 (Wickham et al., 2013). Sử dụng dữ

liệu ở phụ lục 1 để thiết lập mô hình ước tính khối cây rừng theo các biến số đầu vào khác nhau với kiểu dạng mô hình tổng quát như sau (Huy *et al.*, 2016a,c):

$$Y_i = \alpha \times X_i^\beta + \varepsilon_i \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_i \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (3.13)$$

Trong đó Y_i là AGB (kg) ứng với cây thứ i ; α và β là tham số của mô hình; X_i là các biến số DBH (cm), H (m), WD (g/cm^3), CA (m^2) hoặc tổ hợp biến DBH^2H , DBH^2HWD ; và ε_i là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ i .

Một hàm phương sai theo trọng số đã được áp dụng để điều chỉnh các tham số của mô hình nhằm giảm biến động sai số này. Hàm phương sai có dạng như sau (Huy *et al.*, 2016a,c):

$$Var(\varepsilon_i) = \widehat{\sigma^2}(\gamma_i)^{2k} \quad (3.14)$$

Trong đó, ε_i là sai số ngẫu nhiên; $\widehat{\sigma^2}$ là sai số bình phương; γ_i là biến trọng số (DBH, DBH^2HWD) tương ứng với cây thứ i ; và k là hệ số của hàm phương sai.

Từ dữ liệu 1 minh họa thiết lập mô hình power theo codes nlme có trọng số $Weight = 1/DBH^2HWWD^k$ trong R như sau:

Mô hình:

$$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b + \varepsilon \quad (3.15)$$

Codes theo phương pháp nlme Maximum Likelihood có trọng số trong R cho mô hình: $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$ với $Weight = 1/DBH^2HWWD^k$:

```
# Erase memory (Xóa bộ nhớ cũ)
rm(list=ls())
# Clean plot window (Xóa các cửa sổ cũ)
dev.off()
# Define the working directory (Thư mục chứa dữ liệu)
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data (Nhập dữ liệu)
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install packages ggplot2 and nlme (Cài đặt chương trình nlme, ggplots)
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
# Combination of variables: (Tổ hợp biến)
t$DBH2HWD = (t$DBH/100)^2*t$H*t$WD*1000
# Model nlme (Mô hình theo nlme có trọng số)
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t))
names(start) <- c("a", "b")
start[1] <- exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*(DBH2HWD)^b, data=cbind(t,g="a"), fixed=a+b~1,
  start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
# Outputs of the model (Kết quả mô hình)
```

```

summary(Max_like)
k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
k
t$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
t$Max_like.res <- residuals(Max_like)
t$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t$DBH2HWD^k
# Calcul of errors (Các sai số, chỉ tiêu thống kê của mô hình)
Bias = mean(t$Max_like.res.weigh)
Bias
RMSE = sqrt(mean((t$Max_like.res.weigh)^2))
RMSE
MAPE = 100*mean(abs(t$Max_like.res.weigh/t$AGB))
MAPE
AIC(Max_like)
R2 <- 1- sum((t$AGB - t$Max_like.fit)^2)/sum((t$AGB - mean(t$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t$DBH)-1)/(length(t$DBH)-3-1)
R2.adjusted
# Plots (Các đồ thị)
# Fitted model (Mô hình theo quan sát)
p4 <- ggplot(t)
p4 <- p4 + geom_point(aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p4 <- p4 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=Max_like.fit))
p4 <- p4 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p4 <- p4 + labs(title = "a")
p4 = p4 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p4 = p4 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p4 <- p4 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p4 = p4 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p4 = p4 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p4
# Observated and Predicted Values: (Quan sát và dự đoán):
p5 <- ggplot(t, aes(x=t$Max_like.fit, y=AGB))
p5 <- p5 + geom_point(cex=2)
p5 <- p5 + geom_abline(cex = 1.5, intercept = 0, slope = 1, col="black")
p5 <- p5 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Quan sát AGB (kg)") + theme_bw()+ theme_bw()
p5 = p5 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p5 = p5 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p5 <- p5 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p5 = p5 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p5 = p5 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p5 <- p5 + labs(title = "b")
p5
# Residuals and predicted (Sai số theo dự đoán)
p6 <- ggplot(t, aes(x=Max_like.fit, y=t$Max_like.res.weigh))
p6 <- p6 + geom_point()
p6 <- p6 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=Max_like.fit, y=0))
p6 <- p6 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Sai số có trọng số (kg)") + theme_bw()
p6 <- p6 + labs(title = "")
p6 = p6 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))

```

```

p6 = p6 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p6 <- p6 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p6 = p6 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p6 = p6 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p6 <- p6 + labs(title = "c")
p6 = p6 + ylim(-0.6,0.6)
p6
plot_grid(p4, p5, p6, ncol = 1)
# The end #

```

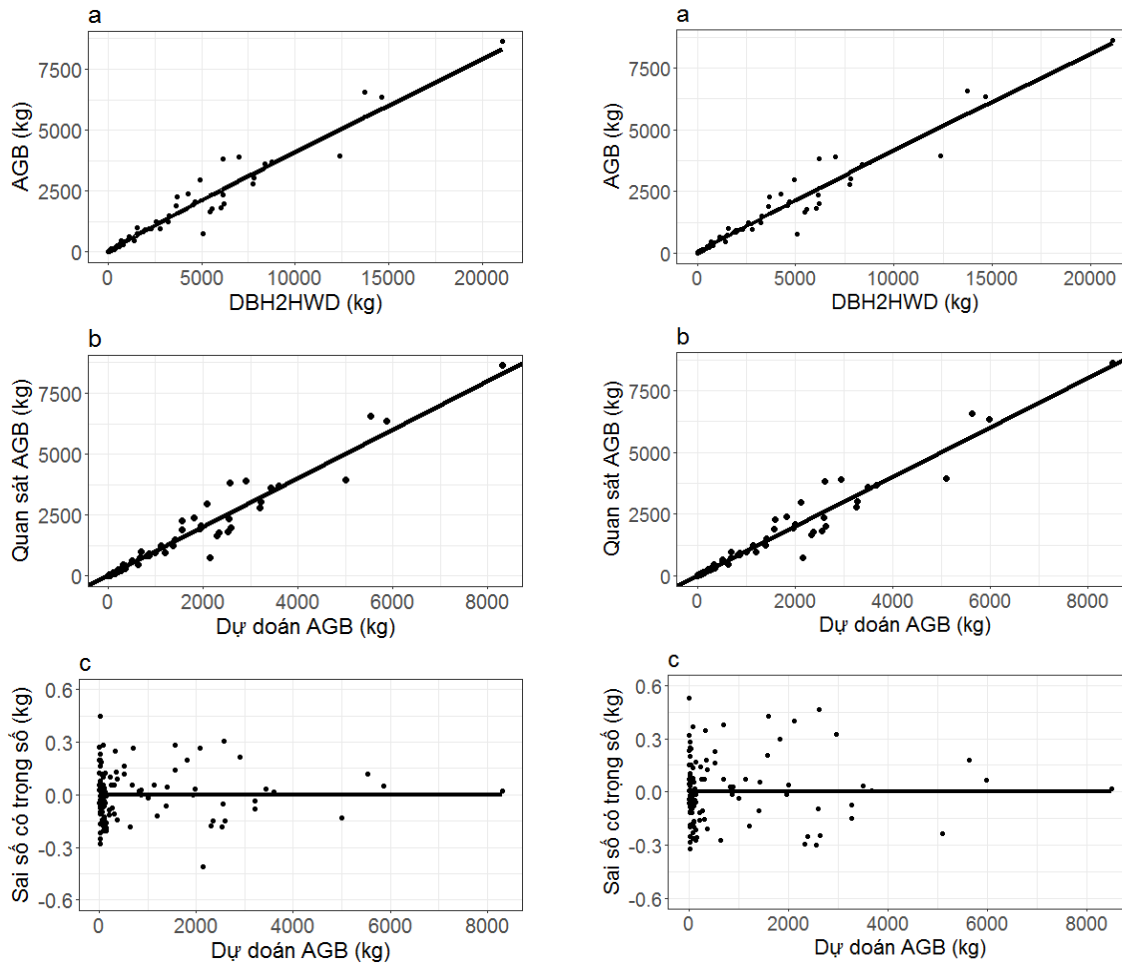
Kết quả thiết lập mô hình phi tuyến theo phương pháp nlme Maximum Likelihood có trọng số ở Bảng 3.4 và so sánh với mô hình theo phương pháp phi tuyến bình phương tối thiểu nls có trọng số. Kết quả ở bảng này cho thấy đối với các mô hình có ảnh hưởng phức tạp, phương pháp nlme đã tỏ ra có độ tin cậy hơn, với AIC nhỏ hơn rõ rệt (một điều quan tâm là giá trị AIC trong mô hình theo nls có giá trị khá cao) và các sai số như Bias, RMSE và MAPE cũng được cải thiện hơn. Trong khi đó R^2 của mô hình theo nlme có xu hướng bé hơn, do đó, trong thống kê truyền thống thường chỉ sử dụng R^2 như là chỉ tiêu thống kê duy nhất để so sánh các mô hình là chưa phù hợp và đôi khi sẽ không mang lại kết quả đúng.

Bảng 3.4. Các chỉ tiêu thống kê, sai số theo phương pháp Maximum Like Lihood (nlme) và phi tuyến bình phương tối thiểu (nls) có trọng số của mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$

Chỉ tiêu thống kê, sai số	Theo nlme với Weight = $1/DBH^2 HWD^k$	Theo nls với Weight = $1/DBH^2 HWD^{0.9}$
Mô hình	$AGB = 0.62596 \times (DBH^2 HWD)^{0.95345}$	$AGB = 0.60670 \times (DBH^2 HWD)^{0.95883}$
k	0.95186	-
AIC	1098.9	62438.6
R^2_{adj}	0.953	0.954
Bias (kg)	1.225314e-07	-0.00065
RMSE (kg)	0.14	0.20
MAPE (%)	0.35	0.41

Ghi chú: k là hệ số của hàm phương sai

Hình 3.6 cũng cho thấy ước lượng mô hình phi tuyến theo phương pháp nlme Maximum Likelihood so với phương pháp nls có trọng số thì sai số bé hơn và phân bố hẹp và đều hơn theo giá trị dự báo. Kết quả này cho thấy phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số Weight = $1/X^k$ (với k là hệ số của hàm phương sai) sử dụng codes nlme tỏ ra có hiệu quả cao nhất so với các phương pháp ước lượng là phi tuyến đối với các mối quan hệ phi tuyến phức tạp, bị chi phối bởi nhiều nhân tố bên ngoài. Vì vậy, xu thế áp dụng codes nlme trong R là hiện đại và cần được xem xét áp dụng trong thiết lập các mô hình sinh khối cây rừng.



Hình 3.6. Mô hình phi tuyến $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$. a: Mô hình theo quan sát; b: Quan sát so với dự đoán và c: Phân bố sai số theo dự đoán. Cột trái: Mô hình theo phương pháp nlme có trọng số $Weight = 1/(DBH^2HWD)^k$; Cột phải: Mô hình theo phương pháp nls với trọng số $Weight = 1/(DBH^2HWD)^{0.9}$

3.3.2.3 Chỉ số Furnival Index để lựa chọn giữa phương pháp tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu (lm) hoặc phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số (nlme)

Như đã nói trên, cho đến nay nhiều tác giả vẫn sử dụng phương pháp ước lượng mô hình sinh khối dạng hàm mũ bằng cách tuyến tính hóa thông qua logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số. Do vậy, cần có so sánh với phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood để so sánh và lựa chọn phương pháp tốt nhất.

Ngoài ra khi so sánh với nhau, các mô hình có thể khác nhau về biến phụ thuộc y, một mô hình không đổi biến số vẫn là y, mô hình khác thì đổi biến ví dụ như là $\log(y)$, $1/y$, \sqrt{y} . Khi các mô hình khác nhau về đổi biến số thì cũng áp dụng phương pháp ước lượng khác nhau. Phổ biến là mô hình phi tuyến có thể ước lượng các tham số của mô hình theo một trong hai phương pháp chính là tuyến tính hóa bình phương tối thiểu (sử dụng code lm trong R) hoặc phi tuyến bao gồm: phi tuyến bình phương tối thiểu (sử dụng code nls trong R) hoặc phi tuyến Marquardt hoặc phi tuyến Maximum Likelihood (code nlme trong R).

Để so sánh các mô hình khác nhau về biến y (y và $\log(y)$, $1/y, \dots$) được ước lượng theo phương pháp khác nhau cơ bản như là tuyến tính hoặc phi tuyến tính; lúc này cần sử dụng chỉ số Furnival's Index (FI) (1961) (Jayaraman, 1999)). Chỉ số Furnival's Index dùng để so sánh các mô hình không giống nhau về biến số phụ thuộc (ví dụ y và $\ln(y)$), vì lúc này các chỉ tiêu thống kê như R^2 , AIC, các loại sai số sẽ không thể dùng để so sánh do khác nhau về giá trị của biến phụ thuộc. Mô hình nào có chỉ số Furnival Index (FI) thấp hơn là tốt hơn.

Công thức tính Furnival's Index (FI) như sau:

$$FI = RMSE * \frac{1}{\text{Geometricmean}(y')} \quad (3.16)$$

Trong đó: RMSE: Root Mean Squared Error: Sai số trung phương; y' là đạo hàm bậc nhất của biến phụ thuộc y và bằng 1, nếu là biến phụ thuộc được đổi biến số là $\ln(y)$ thì sẽ bằng $1/y$. Geomtric mean: Trung bình hình học.

Công thức tính trung bình hình học (Geometric mean) (Huy et al., 2016b):

Geometric

$$\text{Mean} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} \quad (3.17)$$

Tính FI cho từng dạng mô hình và phương pháp lập mô hình có thể được thực hiện trong R như sau: Để minh họa, sử dụng dữ liệu 110 cây mẫu ở Nam Trung Bộ trong dữ liệu 1, thiết lập codes để tính FI cho các mô hình ước tính AGB theo một biến số DBH theo hai phương pháp là tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu (lm trong R) và phi tuyến Maximum likelihood có trọng số (nlme trong R).

Codes của chương trình R để tính chỉ số Furnival's Index cho hàm mũ tuyến tính logarit theo lm:

log(AGB) = a + b log(DBH)

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="v", stringsAsFactors = FALSE)
# Modelling
lmt1 <- lm(log(AGB)~I(log(DBH)), data=t)
# Outputs of the model
summary(lmt1)
anova(lmt1)
t$lmt1.fit <- fitted.values(lmt1)
```

```

t$lm1.res <- residuals(lmt1)
# Furnival Index (FI)= RMSE*(1/Geometric Mean of ln(y)'), ln(y)' = 1/y
# Geometric Mean (gm):
gm = exp(mean(log(1/t$AGB)))
RMSE = sqrt(mean(t$lm1.res^2))
FI = RMSE*(1/gm)
FI
# The end

```

Codes của chương trình R để tính chỉ số Furnival's Index cho hàm mũ theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood nlme có trọng số: $AGB = aDBH^b$

```

# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T,sep="\t",stringsAsFactors = FALSE)
# Modelling
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t))
names(start) <- c("a","b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t,g="a"), fixed=a+b~1,
               start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
# Outputs of the model
summary(Max_like)
k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
k
t$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
t$Max_like.res <- residuals(Max_like)
t$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t$DBH^k
# Calcul of R2
R2 <- 1- sum((t$AGB - t$Max_like.fit)^2)/sum((t$AGB - mean(t$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t$DBH)-1)/(length(t$DBH)-3-1)
R2.adjusted
# Furnival Index FI:
RMSE = sqrt(mean((t$Max_like.res.weigh)^2))
FI = RMSE
FI
# The End

```

Kết quả ở Bảng 3.5 đã chỉ ra lập mô hình theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số là tốt hơn nhiều so với phương pháp tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu với chỉ số FI bé hơn rất nhiều. Vì vậy, phương pháp này là tốt nhất để lập các mô hình sinh khối dạng hàm power với một đến nhiều biến số đầu, tổ hợp biến. Trong khi đó R^2 không thể sử dụng để chọn mô hình có độ tin cậy tốt, vì kết quả này cho thấy R^2 của các mô hình theo dạng logarit bình phương tối thiểu có R^2 cao hơn mô hình theo Maximum Likelihood, vì vậy, khẳng định R^2 cũng như AIC hoặc các sai số đều không thể dùng để so sánh trong trường hợp mô hình có biến y khác nhau và ước lượng theo hai phương pháp khác nhau là tuyến tính và phi tuyến.

Bảng 3.5. Chỉ số Furnival (FI) để so sánh hai phương pháp logarit và phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số

Mô hình sinh khối	Theo phương pháp tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu		Theo phương pháp phi tuyến có trọng số Maximum Likelihood		
	Adj. R^2	FI	Biến trọng số	Adj. R^2	FI
$AGB = a \times DBH^b$	0.982	39.2	$1/DBH^k$	0.934	0.024

Ghi chú: FI: Chỉ số Furnival's Index. k là hệ số của hàm phương sai. Nguồn: Huy et al., 2016b

3.4 Phương pháp thiết lập mô hình thay đổi tham số dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường, đặc trưng lâm phần (random effect)

Trong thực tế mô hình sinh khối không chỉ bị ảnh hưởng bởi một hoặc nhiều biến độc lập trong mô hình mà còn bị ảnh hưởng bởi các nhân tố sinh thái, môi trường rừng khác (random effect) như các nhân tố lâm phần mật độ (N), tổng tiết diện ngang (BA), hoặc các nhân tố sinh thái, môi trường như lập địa, khí hậu, đất đai,... Trong trường hợp này để nâng cao độ tin cậy của mô hình, các tham số của mô hình cần có sự điều chỉnh theo từng nhân tố môi trường, lâm phần. Phương pháp ước lượng mô hình như vậy gọi là phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số có xét đến ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) của các nhân tố sinh thái môi trường rừng.

Phương pháp này đánh giá sự thay đổi các tham số khi các nhân tố ảnh hưởng thay đổi được thực hiện theo chương trình nlme trong phần mềm mã nguồn mở R (Bates et al., 2010; Pinheiro et al., 2014) và đánh giá qua sơ đồ sử dụng codes ggplot2 (Wickham et al., 2013).

Kiểu dạng hàm power tổng quát để ước tính AGB có xét ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần (Huy et al., 2016a):

$$Y_{ij} = (\alpha + a_i) \times X_{ij}^{(\beta + b_i)} + \varepsilon_{ij} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (3.19)$$

$$a_i \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma_a^2) \quad (3.20)$$

$$b_i \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma_b^2) \quad (3.21)$$

Trong đó Y_{ij} là AGB (kg) hoặc BGB (kg) ứng với cây thứ j từ cấp i của nhân tố ảnh hưởng; α và β là tham số của mô hình; a_i và b_i là thay đổi của tham số theo cấp i ; X_{ij} là các biến số DBH (cm), H (m) hoặc tổ hợp biến DBH^2H , DBH^2HWD ứng với cây thứ j trong cấp i ; và ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j và cấp nhân tố i .

Do phương sai của sai số mô hình có xu hướng tăng khi DBH tăng; do vậy, một hàm phương sai theo trọng số đã được áp dụng để điều chỉnh các tham số của mô hình nhằm giảm biến động sai số khi DBH tăng lên. Hàm phương sai có dạng như sau (Huy *et al.*, 2016a):

$$Var(\varepsilon_{ij}) = \widehat{\sigma^2} (v_{ij})^{2k} \quad (3.22)$$

Trong đó ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên; $\widehat{\sigma^2}$ là sai số bình phương; v_{ij} là biến trọng số (DBH, hoặc DBH^2H hoặc DBH^2HWD) tương ứng với cây thứ j và cấp nhân tố ảnh hưởng i ; và k là hệ số của hàm phương sai.

Để minh họa cho thiết lập mô hình với ảnh hưởng của các nhân tố ngẫu nhiên, sử dụng dữ liệu cây 968 cây mẫu trong dữ liệu 3 đã được xác định khối cây rừng trên mặt đất (AGB, kg) cùng với các biến số DBH (cm), H (m), WD (g/cm^3) và các nhân tố môi trường như vùng sinh thái (có 5 vùng được thu thập số liệu), sinh học như họ thực vật, phân chia cấp khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm^3). Thử nghiệm thiết lập mô hình ước tính AGB theo tổ hợp biến DBH^2H dạng power và xét ảnh hưởng của vùng sinh thái đến các tham số của mô hình.

Đầu tiên thiết lập codes trong R để phân chia các cấp nhân tố

Codes để phân cấp các nhân tố lâm phần, môi trường ảnh hưởng:

```
# Import database and variables
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Using ggplot2 - install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("I:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for National/Data for EBLF")
# Import data:
t <- read.table("EBLF AGB national level new updated 2.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Merging 2 datasets: t and Plot
Plot <- read.table("Plots Biomass Information in Vietnam New Final.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
t <- merge(t, Plot, by = 'Plot_ID', all.x=TRUE, sort=FALSE)
# Create Classes
# Create BA class vairiable
```

```

t$BA_class <- ifelse(t$BA_m2_ha <= 10, "Poor",
                    ifelse(t$BA_m2_ha <=20, "Medium",
                            ifelse(t$BA_m2_ha <= 30, "Rich", "Very Rich")))
table(t$BA_class)
# Create N_Tree_ha class variable
t$N_class <- ifelse(t$N_tree_ha <= 700, "N1",
                  ifelse(t$N_tree_ha <=1000, "N2",
                          "N3"))
table(t$N_class)
# Create Altitude class variable
t$AI_class <- ifelse(t$Altitude_m <= 500, "A11",
                  ifelse(t$Altitude_m <=1000, "A12",
                          "A13"))
table(t$AI_class)
# Create classes of wood density
# WD_classes (0-0.4, 0.4-0.6,>0.6)
t$WD_class <- ifelse(t$WD <= 0.4, "WD1",
                  ifelse(t$WD <=0.6, "WD2",
                          "WD3"))
table(t$WD_class)
# Create classes of Rainfall
# Rain_classes (<1600,1600-2000,>2000)
t$Rain_class <- ifelse(t$Rain_annual_mm <= 1600, "Rain1",
                  ifelse(t$Rain_annual_mm <=2000, "Rain2",
                          "Rain3"))
table(t$Rain_class)
# Create classes of Dry Season Length: Dryseason_class
# Dry classes (<3,3 - 4, 5)
t$Dryseason_class <- ifelse(t$Dry_season_length <= 2, "Dry1",
                  ifelse(t$Dry_season_length <=4, "Dry2",
                          "Dry3"))
table(t$Dryseason_class)
# Creat Classes of T mean annual oC:
# T_classes (<22 and > 22)
t$T_class <- ifelse(t$Tmean_annual_degC <= 22, "T1",
                  "T2")
table(t$T_class)
# Tables of all trees and plot variables
write.table(t, file="t_all.txt", sep="t",dec=".", row.names= FALSE)
# The end

```

Áp dụng chương trình nlme có trọng số và không có hay có xét ảnh hưởng của nhân tố môi trường (vùng sinh thái) trong R như sau:

Codes lập mô hình $AGB = a*(DBH^2H)^b$ theo nlme trong R có trọng số không xét ảnh hưởng của yếu tố môi trường

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import country data
t_all <- read.table("Du lieu 13 AGB Viet Nam.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Develop Model: (Lập mô hình theo nlme không xét ảnh hưởng của vùng sinh thái)
# Combination of varialbe of DBH2H:
t_all$DBH2H = (t_all$DBH/100)^2*t_all$H
# Modelling (Mô hình hóa với trọng số weight = 1/DBH2H, không có random efect)
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2H), data=t_all))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2H^b, data=cbind(t_all,g="a"), fixed=a+b~1,
               start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2H))
# Output Model:
summary(Max_like)
k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
k
# Estimated values and Predicted:
t_all$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
t_all$Max_like.res <- residuals(Max_like)
t_all$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_all$DBH2H^k
# Calcul of AIC, R2
AIC(Max_like)
R2 <- 1- sum((t_all$AGB - t_all$Max_like.fit)^2)/sum((t_all$AGB - mean(t_all$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_all$DBH)-1)/(length(t_all$DBH)-3-1)
R2.adjusted
# Plots:
# Fitted and Obseved
p1 <- ggplot(t_all)
p1 <- p1 + geom_point(aes(x=DBH2H, y=AGB))
p1 <- p1 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2H, y=Max_like.fit))
p1 <- p1 + xlab("DBH2H (m3)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
```

```

p1 <- p1 + labs(title = "a")
p1 = p1 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p1 = p1 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p1 <- p1 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p1 = p1 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p1
# Weighted Residuals vs predicted
p2 <- ggplot(t_all, aes(x=Max_like.fit, y=Max_like.res.weigh))
p2 <- p2 + geom_point()
p2 <- p2 + stat_smooth(cex = 1.5, method = "auto", se = FALSE, colour="black")
p2 <- p2 + xlab("Dự đoán AGB (kg)") + ylab("Sai số có trọng số (kg)") + theme_bw()
p2 <- p2 + labs(title = "b")
p2 = p2 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p2 = p2 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p2 <- p2 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p2 = p2 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p2 = p2 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p2
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)
# The end

```

Codes lập mô hình $AGB = a*(DBH^2H)^b$ theo nlme trong R có trọng số xét ảnh hưởng của vùng sinh thái

```

# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import country data
t_all <- read.table("Du lieu 13 AGB Viet Nam.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Develop Model: (Lập mô hình)
# Combination of varialbe of DBH2H: (Tổ hợp biến DBH2H)
t_all$DBH2H = (t_all$DBH/100)^2*t_all$H

# Modelling (Mô hình phi tuyến có trọng số và random efect là vùng sinh thái (region) theo nlme)
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2H), data=t_all))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])

```

```

Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH2H^b, data=t_all, fixed=a+b~1, random=a~1,
start=start, groups=~Region, weights=varPower(form=~DBH2H))
# Output of Model
summary(Max_like2)
k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
k
# Fitted and predicted values of the model
t_all$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
t_all$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
t_all$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_all$DBH2H^k
# Parameters and random parameters
fixef(Max_like2)
ranef(Max_like2)
coef(Max_like2)
# Calcul of AIC, R2
AIC(Max_like2)
R2 <- 1- sum((t_all$AGB - t_all$Max_like2.fit)^2)/sum((t_all$AGB - mean(t_all$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_all$DBH2H)-1)/(length(t_all$DBH2H)-3-1)
R2.adjusted
# Plots for Regions
p1 <- ggplot(t_all)
p1 <- ggplot(t_all, aes(x=DBH2H, y=AGB, pch=Region))
p1 <- p1 + geom_point(cex=2.5)
p1 <- p1 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2H, y=Max_like2.fit, linetype=Region))
p1 <- p1 + xlab("DBH2H (m3)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1 = p1 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p1 = p1 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p1 <- p1 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p1 = p1 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p1
# The end

```

Kết quả xét ảnh hưởng của vùng sinh thái khác nhau đến tham số a của mô hình $AGB = a DBH^2 H^b$ cho thấy a thay đổi rõ rệt ở các vùng sinh thái, hay nói khác vùng sinh thái đã ảnh hưởng đến ước tính AGB qua mô hình. Tham số a thay đổi theo vùng sinh thái như sau đây:

	a	b
CH (Tây Nguyên)	304.2109	0.9510392
NCC (Bắc Trung Bộ)	253.2087	0.9510392
NE (Đông Bắc)	256.7055	0.9510392
SCC (Nam Trung Bộ)	272.0800	0.9510392
SE (Đông Nam)	236.5241	0.9510392

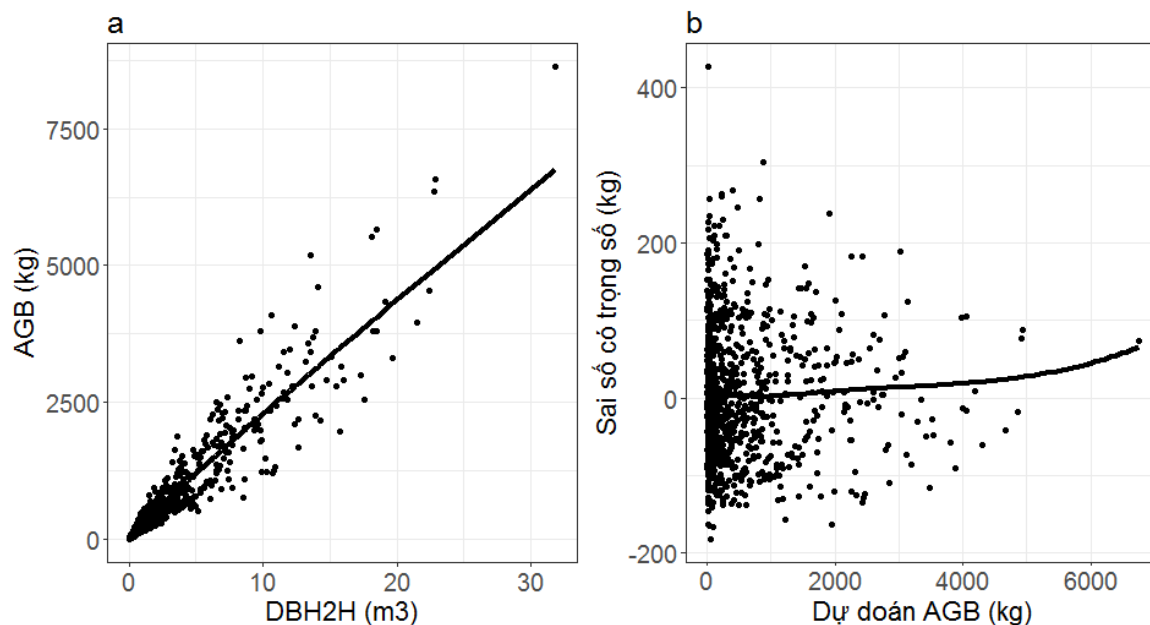
Các chỉ tiêu thống kê mô hình ước tính AGB theo tổ hợp biến DBH^2H theo phương pháp nlme Maximum Likelihood có trọng số và có hay không có ảnh hưởng của vùng sinh thái được trình bày trong Bảng 3.6. Kết quả cho thấy khi có xét vùng sinh thái, AIC giảm rõ rệt và R^2 tăng nhẹ, có nghĩa là khi đưa nhân tố vùng sinh thái vào mô hình sẽ nâng cao độ tin cậy, giảm sai số khi ước tính AGB cho từng vùng sinh thái.

Bảng 3.6. So sánh sự khác nhau của các mô hình $AGB = f(DBH, H)$ có hay không xét đến ảnh hưởng của vùng sinh thái

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng Random effect	Trọng số Weight variable	AIC	Adj. R^2
$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Không	$1/(DBH^2H)^k$	10445	0.897
$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Vùng sinh thái (Region)	$1/(DBH^2H)^k$	10386	0.904

Trích: Huy et al. (2016a)

Hình 3.7 chỉ ra mô hình và biến động của sai số của mô hình khi không xét vùng sinh thái, sai số không rải đều nhưng lớn, biến động -200 đến 200kg.



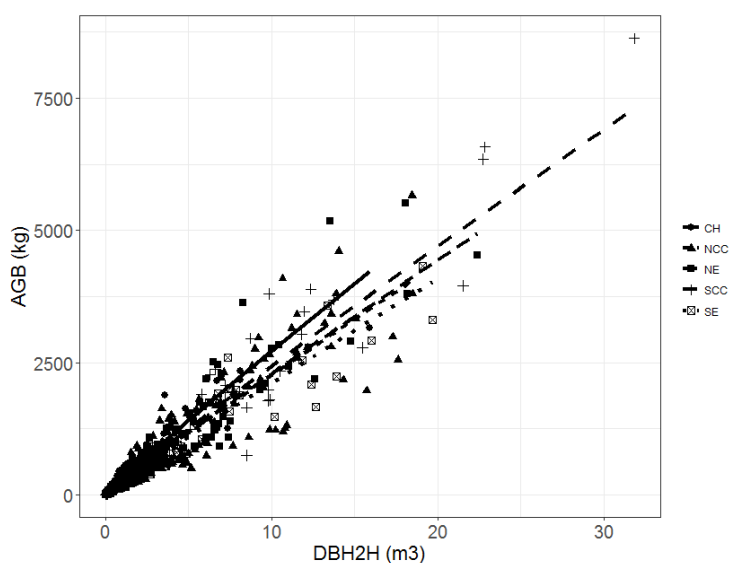
Hình 3.7. Mô hình $AGB = a \times DBH^2H^b$ không có ảnh hưởng vùng sinh thái:
a) Mô hình với giá trị quan sát; b) Sai số có trọng số theo dự đoán (*Trích Huy et al. (2016a)*)

Bảng 3.7 trình bày kết quả các tham số của mô hình thay đổi theo vùng sinh thái và Hình 3.8 là đồ thị của mô hình theo 5 vùng sinh thái.

Bảng 3.7. Các tham số và kích thước mẫu của mô hình $AGB=a \times (DBH^2 H)^b$ có hay không xét ảnh hưởng của vùng sinh thái

Nhân tố ảnh hưởng Random Effect	Vùng sinh thái	Tham số		Số cây mẫu
		a	b	
<i>Không</i>	Chung	264.5458	0.95104	968
	Tây Nguyên	304.2109	0.95104	222
	Bắc Trung Bộ	253.2087	0.95104	311
<i>Vùng sinh thái</i>	Đông Bắc	256.7055	0.95104	215
	Nam Trung Bộ	272.0800	0.95104	110
	Đông Nam Bộ	236.5241	0.95104	110

Trích: Huy et al. (2016a)



Hình 3.8. $AGB=a \times (DBH^2 H)^b$ theo 5 vùng sinh thái: CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ và SE: Đông Nam (*trích: Huy et al. (2016a)*)

Chương 4

PHƯƠNG PHÁP THẨM ĐỊNH CHÉO MÔ HÌNH SINH KHỐI CÂY RỪNG

Khi báo cáo phát thải, hấp thụ CO₂ dựa vào các mô hình sinh khối trong hệ thống “Đo lường – Báo cáo – Thẩm định (MRV)” của chương trình “Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng” của Liên Hiệp Quốc (UN-REDD), điều quan trọng là chỉ ra sai số của các mô hình này trong bản báo cáo. Vì vậy, các phương pháp thẩm định chéo (Cross Validation) là cơ sở để thẩm định và báo cáo sai số của các mô hình sinh khối – carbon rừng.

Trong thiết lập các mô hình sinh khối - carbon rừng, việc lựa chọn mô hình tối ưu và cung cấp thông tin sai số của mô hình một cách chính xác là một nội dung quan trọng. Từ đây đã hình thành một lĩnh vực trong khoa học sinh trắc là “Thẩm định chéo – Cross Validation”. Moore (2017), Zhang (1997) đã chỉ ra rằng thẩm định chéo các mô hình giúp tránh lựa chọn các mô hình có sai lệch lớn so với thực tế (overfitting). Picard và Cook (1984) cũng cho thấy thẩm định chéo ngoài việc xác định sai số, còn tránh cho mô hình dự đoán sai lệch với thực tế thì nó còn giúp cho việc lựa chọn các biến số thích hợp cho mô hình.

Có bốn phương pháp thẩm định mô hình cần xem xét là:

- i) Phương pháp truyền thống là sử dụng dữ liệu độc lập,
- ii) Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV),
- iii) k-fold,
- iv) Monte Carlo.

Để xem xét các phương pháp thẩm định đối với các mô hình sinh khối AGB với các biến số đầu vào khác nhau, sử dụng bộ dữ liệu 110 cây mẫu ở vùng Nam Trung Bộ trong dữ liệu 1.

4.1 Phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập

Đây là phương pháp truyền thống, sử dụng một bộ dữ liệu độc lập để đánh giá sai số của mô hình đã thiết lập. Phân chia dữ liệu ngẫu nhiên làm hai phần: 80% cho lập mô hình và 20% cho đánh giá sai số của các mô hình.

Các sai số của các mô hình được tính toán bao gồm % sai lệch giữa quan sát và dự báo qua mô hình (Bias %), sai số trung phương trung bình % (Root Mean Square Error - RMSE %), và sai số tuyệt đối trung bình % (Mean Absolute Percent Error - MAPE) (Mayer *et al.*, 1993; Chave *et al.*, 2005; Basuki *et al.*, 2009; Swanson *et al.*, 2011; Huy *et al.*, 2016a,b):

$$Bias \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{(y_i)} \quad (4.1)$$

$$RMSE \% = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (4.2)$$

$$MAPE \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (4.3)$$

Trong đó n là số cây mẫu độc lập dùng đánh giá; và y_i và \hat{y}_i là giá trị quan sát và ước tính qua mô hình.

Codes trong phần mềm mã nguồn mở R để phân chia bộ dữ liệu ngẫu nhiên 200 lần thành 2 phần: 80% cho lập mô hình (t_eq) và 20 % cho đánh giá mô hình (t_va):

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Import data from a .txt file
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Combination of Variables
t$DBH2H <- (t$DBH/100)^2*t$H
t$DBH2HWD <- t$DBH2H*t$WD*1000
# Selection of random sample trees (80% for equation development and 20% validation) (Phân
chia ngẫu nhiên thành hai bộ dữ liệu 80%/20% số cây ngẫu nhiên 200 lần:
for(i in 1:200){
  t_va <- t[sample(nrow(t), length(t$AGB)/5), ]
  t_eq <- t[!t$ID %in% t_va$ID, ]
}
# Sub_Table for Equation development (t_eq) and validation (t_va) (Ghi lại hai file dữ liệu dùng
lập và đánh giá mô hình:
write.table(t_eq, file="t_eq.txt", sep="\t", dec=".", row.names= FALSE)
write.table(t_va, file="t_va.txt", sep="\t", dec=".", row.names= FALSE)
# The end
```

Trên cơ sở phân chia thành hai bộ dữ liệu ngẫu nhiên độc lập, sử dụng bộ dữ liệu 80% (t_eq) để lập mô hình theo chương trình nlme có trọng số trong R như sau.

Codes lập mô hình $AGB = a * DBH^2 HWD^b CA^c$ theo nlme có trọng số với 80% dữ liệu và các chỉ tiêu thống kê:

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("t_eq.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install.packages ggplot2 and nlme
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
# Model nlme with weight
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD)+log(CA), data=t))
names(start) <- c("a", "b", "c")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*(DBH2HWD)^b*CA^c, data=cbind(t,g="a"), fixed=a+b+c~1,
               start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
# Outputs of the model
summary(Max_like)
k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
k
t$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
t$Max_like.res <- residuals(Max_like)
t$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t$DBH2HWD^k
# Calcul of AIC, R^2
AIC(Max_like)
R2 <- 1- sum((t$AGB - t$Max_like.fit)^2)/sum((t$AGB - mean(t$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t$DBH)-1)/(length(t$DBH)-4-1)
R2.adjusted
# The end
```

Codes tính các sai số từ 20% dữ liệu ngẫu nhiên độc lập

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
```

```

setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import country data from t_EBLF
t <- read.table("t_va.txt", header=T, sep="t", stringsAsFactors = FALSE)
# Prediction of Model (Dự đoán AGB qua mô hình)
AGBpre = 0.63231*t$DBH2HWD^0.95169
# bias and RSME and MAPE%
bias <- 100*mean((t$AGB - AGBpre)/t$AGB)
RMSE<- 100*sqrt(mean(((t$AGB - AGBpre)/t$AGB)^2))
MAPE<- 100*mean(abs(t$AGB - AGBpre)/t$AGB)
bias
RMSE
MAPE
# Plot Model vs validation data
p3 <- ggplot(t)
p3 <- p3 + geom_point(pch=19, cex=4, aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p3 <- p3 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH2HWD, y= AGBpre))
p3 <- p3 + xlab("DBH^2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p3 <- p3 + theme(legend.title=element_blank())
p3 = p3 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.5)))
p3 = p3 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.5)))
p3 <- p3 + theme(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p3 = p3 + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p3 = p3 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p3
# The end

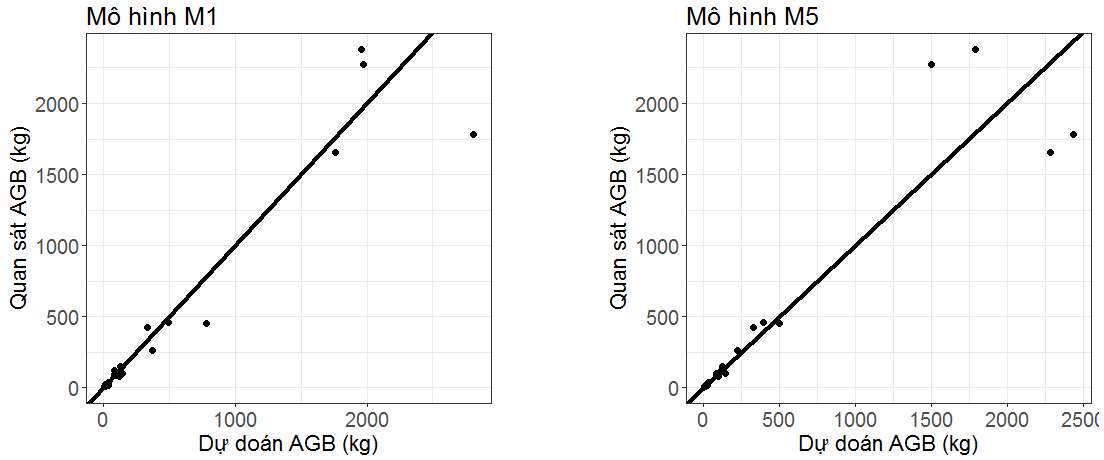
```

Kết quả áp dụng phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập để lập và thẩm định sai số các mô hình ước tính AGB với các biến độc lập khác nhau trình bày trong Bảng 4.1. Các giá trị dự đoán AGB từ các mô hình so với AGB quan sát của 20% dữ liệu độc lập dùng đánh giá sai số thể hiện ở Hình 4.1. Kết quả này cho thấy khi tăng số biến số từ một biến DBH lên lần lượt đến bốn biến số DBH, H, WD và CA thì độ tin cậy của mô hình càng cao, AIC và các sai số đều giảm dần. Sai số MAPE giảm 12% từ một biến lên bốn biến.

Bảng 4.1. So sánh và thẩm định sai số của các mô hình sinh khối theo phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập

Mã mô hình	Dạng mô hình	AIC	R^2_{adj}	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
M1	$AGB = a \times DBH^b$	895	0.937	-14.7	44.7	30.8
M2	$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	892	0.943	-5.43	31.2	26.2
M3	$AGB = a \times DBH^b WD$	878	0.947	-11.8	40.0	24.8
M4	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	887	0.957	-6.0	26.0	21.9
M5	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$	877	0.965	-2.0	23.7	18.7

Ghi chú: R^2_{adj} , AIC được tính từ 80% dữ liệu độc lập để lập mô hình; các sai số Bias, RMSE, MAPE được tính từ 20% dữ liệu đánh giá được rút ngẫu nhiên và độc lập với dữ liệu lập mô hình.



Hình 4.1. Đồ thị quan hệ giữa giá trị AGB dự đoán qua mô hình với AGB quan sát của 20% dữ liệu rút ngẫu nhiên thảm định độc lập. $AGB = a \times DBH^b$ (trái); $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b CA^c$ (phải)

Phương pháp thảm định sai số truyền thống sử dụng dữ liệu độc lập để so sánh và thảm định sai số mô hình có hạn chế là sai số chỉ được xác định một lần cho một bộ dữ liệu độc lập nhất định, vì vậy sai số có thể khác đi nếu áp dụng theo một bộ dữ liệu độc lập khác. Do đó nó thường không cung cấp chính xác sai số trong mọi trường hợp ứng dụng. Vì vậy các phương pháp thảm định chéo các mô hình cần được xem xét áp dụng để cung cấp thông tin sai số ổn định của các mô hình ước tính sinh khối.

4.2 Phương pháp thảm định chéo Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)

Từ n dữ liệu cây mẫu, phương pháp Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) sử dụng n-1 dữ liệu lập mô hình và 1 dữ liệu độc lập dùng để đánh giá sai số, lặp lại như vậy với n lần lập mô hình và đánh giá sai số, với sai số mỗi lần được tính từ một dữ liệu độc lập không tham gia lập mô hình, sau đó lấy trung bình (Moore, 2017).

Cách tính các sai số tương đối khi áp dụng LOOCV:

$$Bias(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^L \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (4.4)$$

$$RMSE(\%) = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (4.5)$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^L \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (4.6)$$

Trong đó, L là số lần lặp lại tính sai số, mỗi lần sử dụng một dữ liệu độc lập để tính sai số mô hình (L=n dữ liệu); y_i và \hat{y}_i là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình.

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R để lập mô hình theo nlme và tính toán các chỉ tiêu thống kê so sánh và sai số các mô hình theo phương pháp thảm định chéo LOOCV như sau.

```

Codes trong R để thiết lập mô hình theo nlme có trọng số và thẩm định chéo LOOCV mô hình:  $AGB = a \times DBH^2 HWD^b CA^c$ 
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Combination fo variables:
t$DBH2HWD = (t$DBH/100)^2*t$H*t$WD*1000
# Using ggplot2 and nlme - install.packages("ggplot2") nlme
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
# Randomly shuffle the data
t <- t[sample(nrow(t)),]
# Create equally size folds = 1
folds <- cut(seq(1, nrow(t)), breaks=length(t$DBH), labels=FALSE)
AIC = rep(0, length(t$DBH))
R2adj = rep(0, length(t$DBH))
Bias = rep(0, length(t$DBH))
RMSE = rep(0, length(t$DBH))
MAPE = rep(0, length(t$DBH))
# Perform LOOCV cross validation:  $AGB = a \times DBH^2 HWD^b$ 
for(i in 1:length(t$DBH)){
  # Segement the data by fold using the which() function
  testIndexes <- which(folds==i, arr.ind=TRUE)
  n_va <- t[testIndexes, ]
  t_eq <- t[-testIndexes, ]
  # Modelling  $AGB = a \times DBH^2 HWD^b$ 
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD)+log(CA), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1] <- exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b*CA^c,
data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b+c~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
  # Outputs of the model
  k <- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
  k
  t_eq$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
  t_eq$Max_like.res <- residuals(Max_like)
  t_eq$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$DBH2HWD^k
}

```

```

# Calcul of AIC, R2,
AIC[i] = AIC(Max_like)
R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-4-1)
R2adj[i] = R2.adjusted
# Prediction and Errors
n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
Bias[i] <- 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# Model fitting statistics:
mean(AIC)
mean(R2adj)
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
hist(Bias)
hist(RMSE)
hist(MAPE)
hist(Bias, main = paste("", ""), xlab = "Bias của mô hình AGB = a*DBH2HWWD^b", ylab =
"Tần số",cex.lab=2, cex.axis=2, cex.main=2, cex.sub=2)
# The end

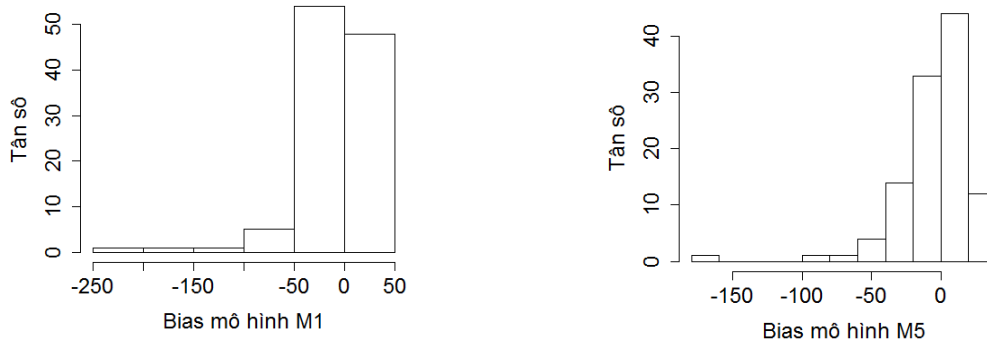
```

Các kết quả minh họa cho lập và thẩm định các mô hình AGB theo phương pháp LOOCV được tổng hợp trong Bảng 4.2. Kết quả này cho thấy mô hình bốn biến (DBH^2HWD và CA) có độ tin cậy cao nhất (AIC bé nhất hơn và R^2 cao nhất) và các sai số đều nhỏ hơn các mô hình AGB chỉ với một biến số DBH hoặc hai biến số DBH^2H hoặc DBH^bWD . Với phương pháp này MAPE chỉ giảm 5% khi đi từ một biến số lên 4 biến số độc lập và có sự khác biệt với phương pháp đánh giá sử dụng dữ liệu độc lập ở trên đây.

Bảng 4.2. So sánh và thẩm định chéo LOOCV các mô hình sinh khối

Mã mô hình	Dạng mô hình	AIC	R^2_{adj}	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
M1	$AGB = a \times DBH^b$	1109	0.934	-7.8	22.9	22.9
M2	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	1080	0.952	-3.1	19.1	19.1
M3	$AGB = a \times DBH^bWD$	1084	0.946	-6.9	20.0	20.0
M4	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$	1089	0.953	-5.9	19.7	19.7
M5	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b \times CA^c$	1074	0.960	-4.8	17.7	17.7

Ghi chú: R^2 , AIC được tính từ $n-1$ dữ liệu độc lập; các sai số Bias, RMSE, MAPE được tính trung bình n lần từ một dữ liệu rút độc lập.



Hình 4.2. Phân bố tần số Bias của hai mô hình AGB theo phương pháp LOOCV

Hình 4.2 cho thấy phân bố Bias của hai mô hình M1 và M5 được thẩm định theo phương pháp LOOCV có xu hướng lệch phải và chưa tiệm cận chuẩn. Đây là nhược điểm của phương pháp thẩm định chéo LOOCV, do chỉ tính sai số của từng cá thể trong một lần thẩm định, trong khi đó trong thực tế để sai số tiệm cận chuẩn thì mỗi lần rút mẫu đánh giá cần có số mẫu đủ lớn. Điều này cũng là hạn chế của phương pháp LOOCV trong ứng dụng, vì trong thực tế sai số không tính cho từng cá thể mà cho một ô mẫu, hoặc lâm phần.

4.3 Phương pháp thẩm định chéo k-fold

Phương pháp này phân chia dữ liệu thành k phần bằng nhau (k-fold), một phần dữ liệu không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số, trong khi đó k-1 phần dữ liệu dùng lập mô hình. Tiến hành lập lại như vậy k lần, thông thường từ 5-10 lần, mỗi lần lấy một phần dữ liệu khác nhau để thẩm định mô hình và tính sai số trung bình từ k lần lặp (Moore, 2017).

Cách tính các sai số tương đối theo phương pháp k-fold như sau:

$$Bias (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (4.7)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (4.8)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (4.9)$$

Trong đó, k là số phần dữ liệu bằng nhau được phân chia (k-fold), thông thường chọn k = 10; n là số dữ liệu đánh giá của mỗi lần và y_i và \hat{y}_i là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình.

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R để lập mô hình theo nlme có trọng số và tính toán các chỉ tiêu thống kê so sánh và sai số các mô hình theo phương pháp thẩm định chéo k-fold với k = 10 như sau.

Codes trong R để thiết lập mô hình theo nlme có trọng số và thẩm định chéo k-fold (k=10)**mô hình: $AGB = a \times DBH^b$**

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Combination fo variables:
t$DBH2HWD = (t$DBH/100)^2*t$H*t$WD*1000
length(t$DBH)
# Using ggplot2 and nlme - install.packages("ggplot2") nlme
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
# Randomly shuffle the data
t <- t[sample(nrow(t)),]
# Create 10 equally size folds
folds <- cut(seq(1,nrow(t)),breaks=10,labels=FALSE)
AIC = rep(0, 10)
R2adj = rep(0, 10)
Bias = rep(0, 10)
RMSE = rep(0, 10)
MAPE = rep(0, 10)
# Perform 10 fold cross validation: Model  $AGB = a * DBH^b$ 
for(i in 1:10){
  # Segement the data by fold using the which() function
  testIndexes <- which(folds==i,arr.ind=TRUE)
  n_va <- t[testIndexes, ]
  t_eq <- t[-testIndexes, ]
  # Modelling  $AGB = a * DBH^b$ 
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
    start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
  # Outputs of the model
  k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
  k
  t_eq$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
  t_eq$Max_like.res <- residuals(Max_like)
  t_eq$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$DBH^k
```



```

# Calcul of AIC, R2,
AIC[i] = AIC(Max_like)
R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
R2adj[i] = R2.adjusted
# Prediction and Errors
n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
Bias[i] <- 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# Model fitting statistics:
mean(AIC)
mean(R2adj)
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
hist(Bias)
hist(RMSE)
hist(MAPE)
hist(Bias, main = paste("", "" ), xlab = "Bias (%) của mô hình AGB = a*DBH^b", ylab = "Tần số",
      cex.lab=2, cex.axis=2, cex.main=2, cex.sub=2)
# Plots:
# Prediction and Validation data
p <- ggplot(n_va)
p <- ggplot(n_va, aes(x=DBH, y=AGB))
p <- p + geom_point(pch=19,cex=2)
p <- p + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH, y=Pred))
p <- p + xlab("DBH (cm)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p <- p + labs(title = "AGB = a*DBH^b")
p = p + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.7)))
p = p + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.7)))
p <- p + theme(legend.title=element_blank())
p <- p + theme(plot.title = element_text(size = rel(2)))
p = p + theme(axis.text.x = element_text(size=20))
p = p + theme(axis.text.y = element_text(size=20))
p
# The end

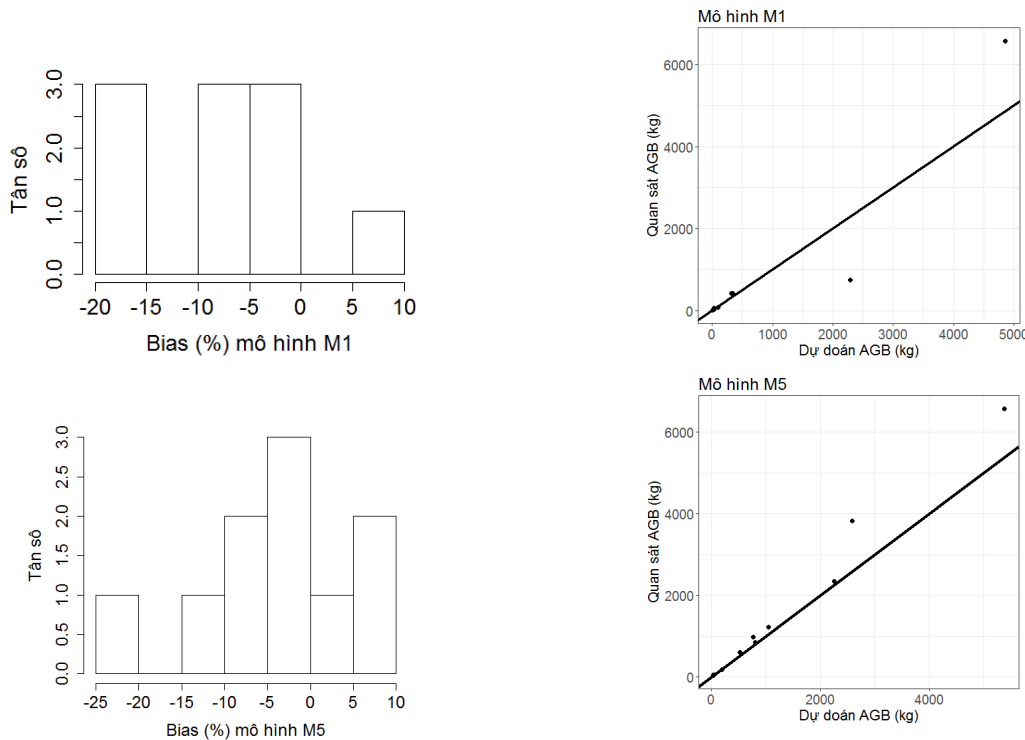
```

Các kết quả minh họa cho lập và thẩm định chéo các mô hình AGB theo phương pháp k-fold được tổng hợp trong Bảng 4.3. Kết quả áp dụng phương pháp thẩm định chéo k-fold là đồng nhất với LOOCV ở trên, có nghĩa là mô hình có bốn biến số có độ tin cậy cao nhất và sai số bé nhất, biến động MAPE cũng tương đồng như khi áp dụng phương pháp LOOCV.

Bảng 4.3. So sánh và thẩm định chéo k-fold các mô hình sinh khối

Mã mô hình	Dạng mô hình	AIC	R^2_{adj}	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
M1	$AGB = a \times DBH^b$	1008	0.933	-7.9	33.1	22.9
M2	$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	1001	0.934	-4.0	28.0	21.5
M3	$AGB = a \times DBH^b WD$	985	0.945	-6.8	29.3	20.0
M4	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	990	0.953	-5.7	26.6	19.7
M5	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$	978	0.960	-4.7	24.4	17.6

Ghi chú: R^2 , AIC được tính từ k-1 phần dữ liệu độc lập; các sai số Bias, RMSE, MAPE được tính trung bình k = 10 lần.



Hình 4.3. Phân bố tần số Bias (trái) và giá trị dự đoán qua mô hình so với dữ liệu đánh giá độc lập (phải) của phương pháp k-fold (k=10) cho hai mô hình M1 và M5

Hình 4.3 chỉ ra phân bố Bias của hai mô hình được thẩm định chéo theo phương pháp k-fold có nhấp nhô nhiều đỉnh và chưa tiệm cận chuẩn. Đây là nhược điểm của phương pháp thẩm định chéo k-fold, do số lần lặp lại khá nhỏ (k = 10).

4.4 Phương pháp Monte Carlo

Phương pháp Monte Carlo dùng để thẩm định chéo các mô hình sinh khối được mô tả như sau: phân chia dữ liệu ngẫu nhiên làm 2 phần, một phần dùng để lập mô hình (80% dữ liệu) và một phần dùng để đánh giá sai số (20% dữ liệu). Mỗi lần như vậy tính toán các chỉ tiêu thống kê đánh giá, so sánh các mô hình như AIC, R^2 và các sai số như Bias%, RMSE%, MAPE%. Tiến hành lặp

lại như vậy R lần để thẩm định các mô hình và đánh giá sai số, cuối cùng giá trị thống kê so sánh các mô hình và sai số được tính trung bình từ R = 200 lần (Temesgen *et al.*, 2014) và Huy *et al.*, 2016a,b). Ngoài ra cũng thử nghiệm R khác nhau (50, 100, 200, 300 và 500 lần) để chỉ ra số lần lặp cho sai số của mô hình ổn định và có phân bố tần số tiệm cận chuẩn.

Các sai số áp dụng theo phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo với R lần lặp lại ngẫu nhiên như sau (Swanson *et al.*, 2011; Huy *et al.*, 2016a,b):

$$Bias (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (4.10)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (4.11)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (4.12)$$

Trong đó, R là số lần phân chia dữ liệu ngẫu nhiên thành hai phần, n là số dữ liệu đánh giá của mỗi lần rút mẫu (20% mẫu rút ngẫu nhiên) và y_i và \hat{y}_i là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình.

Tất cả các phương pháp thẩm định chéo các mô hình sinh khối được viết codes và chạy trong phần mềm mã nguồn mở R. Cuối cùng, sau khi lựa chọn dạng mô hình, thẩm định chéo và xác định được các sai số của mô hình lựa chọn, tham số của mô hình lựa chọn được thiết lập dựa vào toàn bộ dữ liệu.

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R để lập mô hình theo nlme có trọng số và tính toán các chỉ tiêu thống kê so sánh và sai số các mô hình theo phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo. Trong đó dữ liệu được phân chia ngẫu nhiên với 80% cho lập mô hình và 20% để thẩm định, lặp lại R = 200 lần.

Codes trong R để thiết lập mô hình theo nlme có trọng số và thẩm định chéo theo Monte Carlo mô hình: $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ với 80% dữ liệu lập mô hình, 20% đánh giá sai số, lặp R = 200 lần

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
# Import data
t <- read.table("Du lieu 11 AGB QNam .txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Combination fo variables:
t$DBH2HWD = (t$DBH/100)^2*t$H*t$WD*1000
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
```

```

library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Monte Carlo cross validation 200 times, 80% for training, 20 % for error
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  n_va <- t[sample(nrow(t), length(t$AGB)/5), ]
  t_eq <- t[!t$ID %in% n_va$ID, ]
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
    start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
  # Outputs of the model
  k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
  k
  t_eq$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
  t_eq$Max_like.res <- residuals(Max_like)
  t_eq$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$DBH2HWD^k
  # Calcul of AIC, R2,
  AIC[i] = AIC(Max_like)
  R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
  R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
  R2adj[i] = R2.adjusted
  # Prediction and Errors
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  Bias[i] <- 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
  RMSE[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
  MAPE[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# Model fitting statistics:
mean(AIC)
mean(R2adj)
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
hist(Bias)
hist(RMSE)
hist(MAPE)
hist(Bias, main = paste("", "" ), xlab = "Bias (%) của mô hình AGB = a*DBH2HWD^b", ylab =

```

```

"Tần số",
  cex.lab=2, cex.axis=2, cex.main=2, cex.sub=2)
# Plots:
# Prediction and Validation data
p <- ggplot(n_va)
p <- ggplot(n_va, aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p <- p + geom_point(pch=19,cex=2)
p <- p + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=Pred))
p <- p + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p <- p + labs(title = "AGB = a*DBH2HWD^b")
p = p + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.7)))
p = p + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.7)))
p <- p + theme(legend.title=element_blank())
p <- p + theme(plot.title = element_text(size = rel(2)))
p = p + theme(axis.text.x = element_text(size=20))
p = p + theme(axis.text.y = element_text(size=20))
p

```

Các kết quả minh họa cho lập và thẩm định chéo các mô hình AGB theo phương pháp Monte Carlo được tổng hợp trong Bảng 4.4. Tương tự các phương pháp trên, mô hình tổ hợp ba biến DBH^2HWD cùng với biến CA có độ tin cậy cao nhất (AIC bé nhất và R^2 cao nhất) và các sai số đều nhỏ hơn so với mô hình ít biến số độc lập hơn. Kết quả sai số khi áp dụng phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo là khá đồng nhất với các phương pháp LOOCV và k-fold đã giới thiệu ở trên.

Bảng 4.4. So sánh và thẩm định chéo các mô hình sinh khối theo phương pháp Monte Carlo

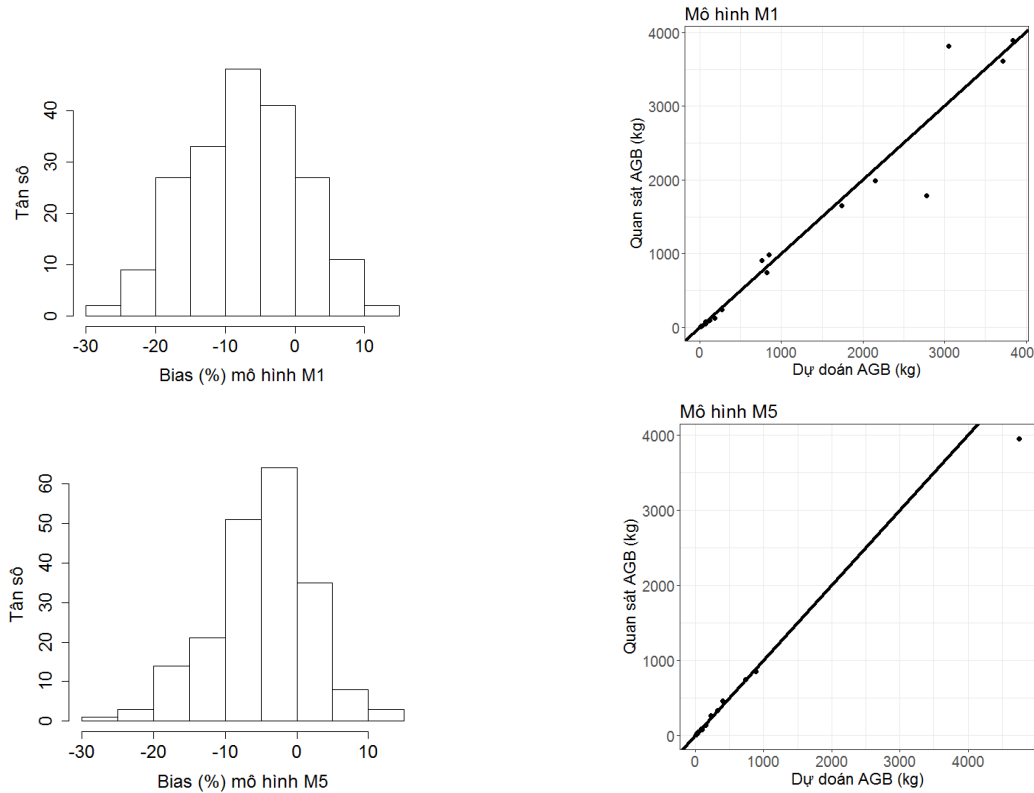
Mã mô hình	Dạng mô hình	AIC	R^2_{adj}	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
M1	$AGB = a \times DBH^b$	899	0.933	-7.0	33.1	22.1
M2	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	892	0.936	-4.1	28.7	21.1
M3	$AGB = a \times DBH^bWD$	876	0.944	-7.1	30.9	19.9
M4	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$	881	0.952	-6.0	27.4	19.7
M5	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b \times CA^c$	872	0.959	-4.8	26.0	17.9

Ghi chú: R^2 , AIC được tính từ 80% dữ liệu rút ngẫu nhiên; các sai số Bias, RMSE, MAPE được tính từ 20% dữ liệu đánh giá được rút ngẫu nhiên, độc lập và tính trung bình từ 200 lần lại

Hình 4.4 cho thấy phân bố Bias của hai mô hình được thẩm định chéo theo phương pháp Monte Carlo với 200 lần lặp lại đã tiệm cận chuẩn; đặc biệt là mô hình có ba biến số tổ hợp DBH^2HWD cùng với biến CA . Vì vậy, phương pháp Monte Carlo có thể xem đã cung cấp sai số ổn định và khách quan của mô hình ước tính sinh khối so với các phương pháp thẩm định chéo khác nói ở trên.

Tiến hành tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình sinh khối tốt nhất $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b \times CA^c$ theo bốn phương pháp khác nhau ở Bảng 4.5. Từ bảng này cho thấy nếu

lấy kết quả theo Monte Carlo làm chuẩn (vì có sai số ổn định và phân bố chuẩn), thì sai số cung cấp theo phương pháp k-fold là khá tương đồng. Tuy nhiên, k-fold cho sai số chưa có phân bố chuẩn. Trong khi đó hai phương pháp dùng dữ liệu độc lập hoặc LOOCV có sai lệch sai số RMSE khá lớn so với phương pháp Monte Carlo và có phân bố sai số sai lệch chuẩn. Vì vậy phương pháp Monte Carlo dùng thẩm định chéo các mô hình sẽ cung cấp sai số ổn định, khách quan khi số lần lặp đủ lớn là 200 lần.



Hình 4.4. Phân bố tần số Bias (trái) và giá trị dự đoán qua mô hình so với dữ liệu đánh giá độc lập (phải) theo phương pháp Monte Carlo của hai mô hình M1 và M5

Bảng 4.5. Tổng hợp kết quả thẩm định chéo mô hình lựa chọn $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$ theo các phương pháp khác nhau

Chỉ tiêu thống kê, sai số	Phương pháp thẩm định chéo mô hình			
	Dữ liệu độc lập	LOOCV	k-fold	Monte Carlo
AIC	877	1074	978	872
R^2_{adj}	0.965	0.960	0.960	0.959
Bias (%)	-2.0	-4.8	-4.7	-4.8
RMSE (%)	23.7	17.7	24.4	26.0
MAPE (%)	18.7	17.7	17.6	17.9

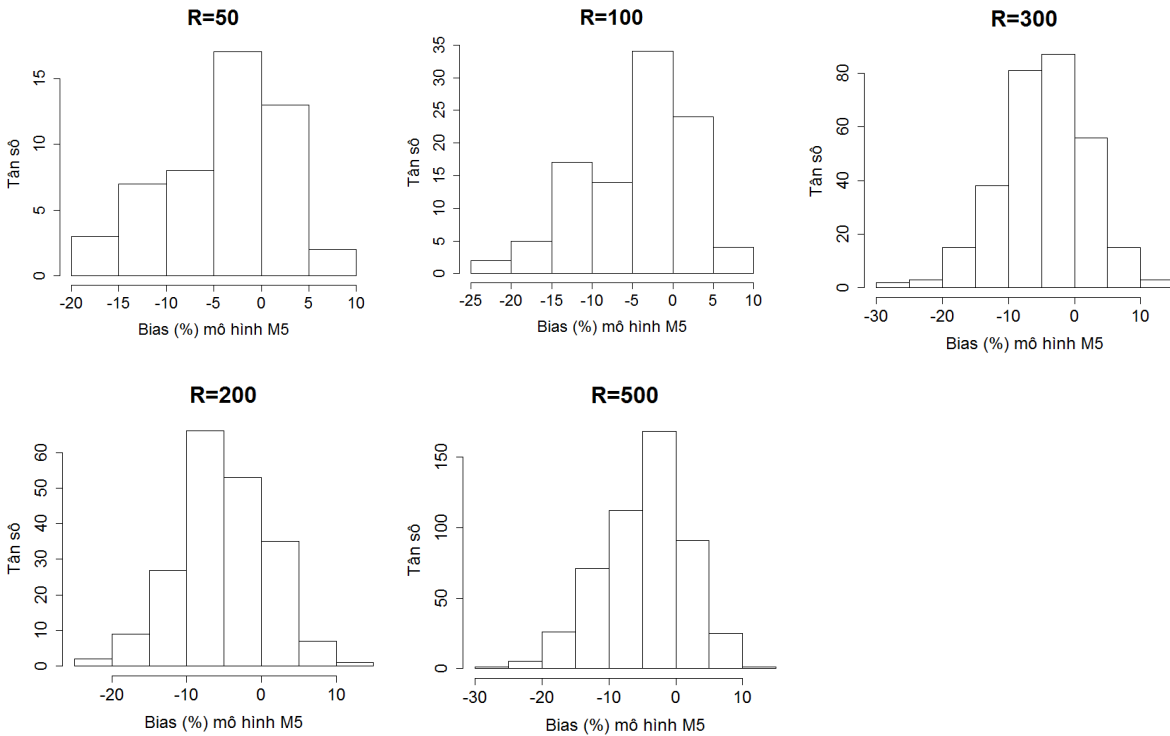
Tiến hành thử nghiệm thay đổi số lần lặp lại trong phương pháp Monte Carlo để thẩm định chéo mô hình tốt nhất $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$ được lập theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số; số lần lặp R thay đổi từ 50, 100, 200, 300 và 500.

Kết quả ở Bảng 4.6 cho thấy với $R = 50$ trở lên thì các chỉ tiêu thống kê của mô hình (AIC, R^2_{adj}) và các sai số Bias, RMSE, MAPE đã ổn định, không có sự khác biệt khi R tăng đến 500 lần. Tuy nhiên, xét thêm phân bố của Bias ở Hình 4.5 thì với $R=50$ và 100 phân bố có nhiều đỉnh, chỉ khi $R \geq 200$ lần dạng phân bố của Bias mới tiệm cận chuẩn. Vì vậy, sử dụng thẩm định chéo theo Monte Carlo với $R = 200$ lần là hợp lý, cung cấp sai số ổn định và có phân bố chuẩn; kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Temesgen *et al.*, (2014) và Huy *et al.*, (2016a,b). Không nhất thiết lặp lại quá lớn ($R = 500$ lần) như Zhang (1997) đề nghị.

Bảng 4.6. So sánh các chỉ tiêu thống kê, sai số thẩm định chéo mô hình lựa chọn $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$ theo phương pháp Monte Carlo với số lần lặp lại R khác nhau

Chỉ tiêu thống kê, sai số	Số lần lặp R của phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo				
	50	100	200	300	500
AIC	873	871	872	870	870
R^2_{adj}	0.960	0.959	0.959	0.959	0.959
Bias (%)	-3.8	-4.5	-4.8	-4.7	-4.8
RMSE (%)	24.3	24.9	26.0	26.0	25.3
MAPE(%)	17.1	17.4	17.9	17.8	17.8

Ghi chú: R^2 , AIC được tính từ 80% dữ liệu rút ngẫu nhiên; các sai số Bias, RMSE, MAPE được tính từ 20% dữ liệu đánh giá được rút ngẫu nhiên, độc lập và tính trung bình từ R lần lại.



Hình 4.5. Phân bố Bias của mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$ theo phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo với số lần lặp R khác nhau

Sau khi thẩm định được sai số, sử dụng toàn bộ dữ liệu để lập mô hình sinh khối sau cùng và tính các chỉ tiêu thống kê của mô hình (AIC, R^2_{adj}); riêng các sai số của các mô hình được lấy từ kết quả áp dụng phương pháp Monte Carlo với $R = 200$ lần lặp (Bảng 4.7).

Bảng 4.7. Kết quả ước lượng các mô hình sinh khối từ toàn bộ dữ liệu và sai số từ thẩm định chéo theo phương pháp Monte Carlo

Mã mô hình	Mô hình	Trọng số (Weight)	AIC	R^2_{adj}	Bias %	RMSE %	MAPE (%)
M1	$AGB = 0.10959 \times DBH^{2.47432}$	$1/DBH^k$	1119	0.934	-7.0	33.1	22.1
M2	$AGB = 267.35155 \times (DBH^2 H)^{0.96377}$	$1/DBH^k$	1110	0.939	-4.1	28.7	21.1
M3	$AGB = 0.19574 \times DBH^{2.45968} WD$	$1/DBH^k$	1093	0.948	-7.1	30.9	19.9
M4	$AGB = 0.59164 \times (DBH^2 HWD)^{0.98655}$	$1/DBH^k$	1090	0.954	-6.0	27.4	19.7
M5	$AGB = 0.613816 \times (DBH^2 HWD)^{0.86998} \times CA^{0.18783}$	$1/(DBH^2 HWD)^k$	1084	0.960	-4.8	26.0	17.9

Ghi chú: Mô hình và các chỉ tiêu AIC, R^2_{adj} được thiết lập từ toàn bộ dữ liệu, sai số MAPE được lấy từ kết quả của phương pháp Monte Carlo với $R = 200$ lần; k là hệ số của hàm phương sai; P -value của các tham số < 0.0001 .

Đây là ưu điểm của phương pháp thẩm định chéo, nó không bỏ ra một phần dữ liệu để đánh giá sai số như cách làm truyền thống (cần tách dữ liệu độc lập riêng để đánh giá); khi đánh giá thì phân chia dữ liệu thành hai phần (phần lập mô hình và phần đánh giá sai số), sau khi đã thu được sai số của các mô hình, thì sử dụng toàn bộ dữ liệu để lập mô hình sau cùng. Cách làm này vừa tiết kiệm dữ liệu, đặc biệt là dữ liệu rất tốn nhiều chi phí công sức để thu thập như sinh khối cây rừng, đồng thời mô hình sẽ phản ánh và đại diện cho toàn bộ dữ liệu ở các vùng sinh thái thu thập, nên có độ tin cậy càng cao hơn.

Trong trường hợp thẩm định chéo mô hình theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và có xét đến các nhân tố môi trường ảnh hưởng (random effect) (theo chương trình nlme trong R), codes trong R để tiến hành áp dụng thẩm định chéo theo Monte Carlo có sự điều chỉnh và được viết lại như sau. (Ví dụ cho mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ có xét ảnh hưởng vùng sinh thái. Sử dụng dữ liệu 1 vùng Nam Trung Bộ với 110 cây mẫu.

Codes chạy trong R thẩm định chéo mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và có xét đến ảnh hưởng (random effect) vùng sinh thái (Region). Với 80% dữ liệu lập mô hình, 20% thẩm định, lặp lại $R = 200$ lần:

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Textbook for Infomatic Statistic/TextbookDataset
Analysis/Dataset")
```



```

# Import data
t <- read.table("Du lieu 13 AGB Viet Nam.txt", header=T,sep="\t",stringsAsFactors = FALSE)
# Combination fo variables:
t$DBH2HWD = (t$DBH/100)^2*t$H*t$WD*1000
length(t$AGB)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Cross Validation Monte Carlo: 80/20%, R =200 times
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  n_va <- t[sample(nrow(t), length(t$AGB)/5), ]
  t_eq <- t[!t$ID %in% n_va$ID, ]
  # Develop Model:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b, data=t_eq, fixed=a+b~1, random=a~1,
    start=start, groups=~Region, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
  # Outputs of the model
  k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
  k
  t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH2HWD^k
  # Calcul of AIC, R2,
  AIC[i] = AIC(Max_like2)
  R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like2.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
  R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
  R2adj[i] = R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like2, newdata=n_va)
  # Calcul of RMSE, Bias, MAPE%:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
  RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
  MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# Model fitting statistics:

```

```

mean(AIC)
mean(R2adj)
# Erros from Cross Validation:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# Plots of Errors:
hist(Bias)
hist(RMSE)
hist(MAPE)
hist(Bias, main = paste("", "" ), xlab = "Bias (%) của mô hình AGB = a*DBH2HWD^b", ylab =
"Tan so",
      cex.lab=1.5, cex.axis=1.5, cex.main=2, cex.sub=2)

```

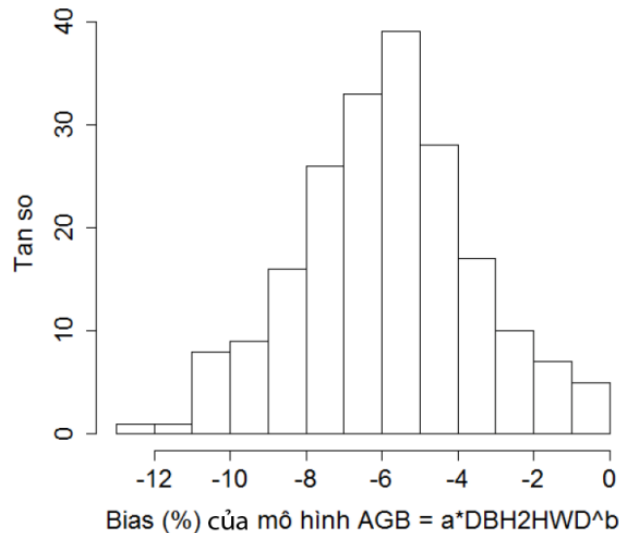
Kết quả chỉ tiêu thống kê, sai số thẩm định chéo theo Monte Carlo mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ có xét ảnh hưởng vùng sinh thái:

```

> mean(AIC)
[1] 8004.418
> mean(R2adj)
[1] 0.9428015
>
> mean(Bias)
[1] -5.886309
> mean(RMSE)
[1] 27.72304
> mean(MAPE)
[1] 19.38347

```

Tần số phân bố Bias của mô hình từ 200 lần thẩm định chéo có phân bố chuẩn, cho phép khẳng định phương pháp Monte Carlo đã cung cấp khách quan và sai số đạt chuẩn Hình 4.6.



Hình 4.6. Tần số phân bố Bias từ 200 lần thẩm định chéo mô hình theo Monte Carlo

Sau khi thu được chỉ tiêu thống kê, sai số của mô hình theo Monte Carlo, sử dụng toàn bộ dữ liệu lập lại mô hình theo codes sau:

Codes để lập mô hình theo chương trình nlme phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và xét ảnh hưởng vùng sinh thái (Region) với toàn bộ dữ liệu:

```
##### Final Model based on the entire dataset
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t))
names(start) <- c("a","b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b, data=t, fixed=a+b~1, random=a+b~1,
  start=start, groups=~Region, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
summary(Max_like2)
k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
k
# Parameters and random parameters
fixef(Max_like2)
ranef(Max_like2)
coef(Max_like2)
# Standardized Sdi = ai / Si > Si = ai / Sdi > SEi = Si/sqrt(ni)
# Sdi for ai, bi: Sdi = ai, bi / Si
Sdi = ranef(Max_like2, standard= TRUE)
Sdi
# Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
Si = ranef(Max_like2)/Sdi
Si
# SE for ai, bi: SEi = Si / sqrt(ni)
SEi = Si/sqrt(table(t$Region))
SEi
# Fitted and predicted values of the model
t$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
t$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
t$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t$DBH2HWD^k
# calcul of AIC, R2
AIC(Max_like2)
R2 <- 1- sum((t$AGB - t$Max_like2.fit)^2)/sum((t$AGB - mean(t$AGB))^2)
R2
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t$DBH2HWD)-1)/(length(t$DBH2HWD)-3-1)
R2.adjusted
# Plots
p1 <- ggplot(t)
p1 <- ggplot(t, aes(x=DBH2HWD, y=AGB, pch=Region))
p1 <- p1 + geom_point(cex=2.5)
p1 <- p1 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=Max_like2.fit, linetype=Region))
p1 <- p1 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1 <- p1 + labs(title = "")
p1 = p1 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.7)))
p1 = p1 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.7)))
```

```

p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1 <- p1 + theme(p1lot.title = element_text(size = rel(2)))
p1 = p1 + theme(axis.text.x = element_text(size=20))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=20))
p1
p2 <- ggplot(t, aes(x=Max_like2.fit, y=Max_like2.res.weigh))
p2 <- p2 + geom_point()
p2 <- p2 + stat_smooth(cex = 1.5, method = "auto", se = FALSE, colour="black")
p2 <- p2 + xlab("Du đoán AGB (kg)") + ylab("Sai so co trong so (kg)") + theme_bw()
p2 <- p2 + labs(title = "")
p2 = p2 + theme(axis.title.y = element_text(size = rel(1.7)))
p2 = p2 + theme(axis.title.x = element_text(size = rel(1.7)))
p2 <- p2 + theme(legend.title=element_blank())
p2 <- p2 + theme(p2lot.title = element_text(size = rel(2)))
p2 = p2 + theme(axis.text.x = element_text(size=20))
p2 = p2 + theme(axis.text.y = element_text(size=20))
p2
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)
# The end

```

Kết quả các tham số a, b mô hình theo 5 vùng sinh thái và các chỉ tiêu thống kê (AIC, R^2) và đồ thị (Hình 4.7):

```

> summary(Max_like2)
Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
Model: AGB ~ a * DBH2HWD^b
Data: t
      AIC      BIC    logLik
9981.305 10015.43 -4983.653

Random effects:
Formula: list(a ~ 1, b ~ 1)
Level: Region
Structure: General positive-definite, Log-Cholesky parametrization
      StdDev   Corr
a      0.05277094 a
b      0.01196210 1
Residual 0.21245829

Variance function:
Structure: Power of variance covariate
Formula: ~DBH2HWD
Parameter estimates:
      power
0.9110636
Fixed effects: a + b ~ 1
      Value Std.Error DF  t-value p-value
a 0.6981470 0.030762092 962  22.69504      0
b 0.9425991 0.007009591 962 134.47277      0
Correlation:
a
b 0.195

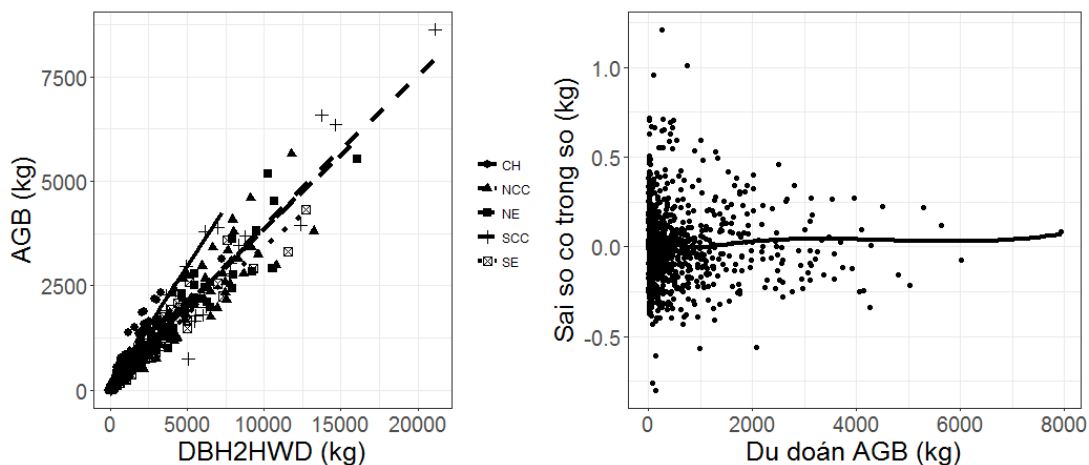
Standardized within-Group Residuals:
      Min      Q1      Med      Q3      Max
-3.75577682 -0.59151544 -0.09437765  0.49570433  5.69379028

```

```

Number of Observations: 968
Number of Groups: 5
> k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
> k
[1] 0.9110636
>
> # Parameters and random parameters
> fixef(Max_like2)
      a      b
0.6981470 0.9425991
> ranef(Max_like2)
      a      b
CH  0.10097815 0.022889704
NCC -0.01794985 -0.004068871
NE  -0.01838690 -0.004167944
SCC -0.01323674 -0.003000493
SE  -0.05140467 -0.011652396
> coef(Max_like2)
      a      b
CH  0.7991252 0.9654888
NCC 0.6801972 0.9385302
NE  0.6797601 0.9384312
SCC 0.6849103 0.9395986
SE  0.6467423 0.9309467
> AIC(Max_like2)
[1] 9981.305
>
> R2 <- 1- sum((t$AGB - t$Max_like2.fit)^2)/sum((t$AGB - mean(t$AGB))^2)
> R2
[1] 0.9436953
> R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t$DBH2HWD)-1)/(length(t$DBH2HWD)-3-1)
> R2.adjusted
[1] 0.9435201

```



Hình 4.7. Mô hình $AGB = f(DBH^2HWD)$ theo 5 vùng sinh thái (trái) và biến động sai số có trọng số theo dự báo AGB (phải)

Các phương pháp thẩm định chéo đã hỗ trợ cho lựa chọn mô hình và xác định đúng các sai số so với phương pháp truyền thống là sử dụng một bộ dữ liệu độc lập để đánh giá mô hình. Trong đó phương pháp thẩm định chéo của Monte Carlo phân chia dữ liệu ngẫu nhiên thành hai phần: 80% dữ liệu để lập mô hình và 20% dữ liệu để thẩm định sai số, được lặp lại 200 lần là thích hợp nhất, cung cấp sai số các mô hình ổn định và có phân bố chuẩn.

Chương 5

HỆ THỐNG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO SAI SỐ

5.1 Lựa chọn mô hình ước tính sinh khối cho vùng sinh thái hay mô hình chung cho vùng nhiệt đới (Pantropic)

Để ước tính sinh khối và quy ra carbon, CO₂ tương đương trong báo cáo phát thải từ rừng khi thực thi chương trình REDD, một loạt các mô hình chung cho rừng nhiệt đới (pantropic) đã được thiết lập và công bố. Bao gồm các mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất của Brown (1997), IPCC (2003), Chave et al. (2005, 2014), rừng khộp vùng Đông Nam Á của Basuki et al. (2009). Các mô hình này kỳ vọng được sử dụng để ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng chung cho tất cả các quốc gia nằm trong vùng nhiệt đới. Tuy nhiên, khi thiết lập các mô hình này lại không thu thập số liệu đủ trên nhiều vùng sinh thái khác nhau của rừng nhiệt đới, chưa đánh giá độ tin cậy ở nhiều nơi, cụ thể là ở Việt Nam để cho biết sai số khi áp dụng.

Liên quan đến sử dụng mô hình chung rừng nhiệt đới (pantropic), một số tác giả như Jara et al. (2015) và Chave et al. (2014) đã cho biết ở những vùng sinh thái, kiểu rừng riêng biệt có thể có sai số hệ thống lên đến 400%. Vì vậy, Temesgen et al. (2007, 2015) đề nghị phát triển các mô hình theo các quy mô không gian vùng sinh thái, địa phương khác nhau.

Trong bối cảnh nói trên, phần này nhằm mục đích chỉ ra sự phát triển và thẩm định chéo các phương trình tương quan sinh khối ở cấp địa phương cho các khu rừng lá rộng thường xanh ở vùng sinh thái Nam Trung Bộ của Việt Nam, và so sánh sai số, độ tin cậy của chúng với các phương trình sinh khối chung vùng nhiệt đới (pantropic) (Brown, 1997; IPCC, 2003; Chave et al., 2005, 2014) – những mô hình đã phát triển nhưng chưa sử dụng dữ liệu từ Việt Nam. Trên cơ sở đó đưa ra khuyến nghị cho việc lựa chọn các mô hình sinh khối thích hợp để áp dụng.

5.1.1 Vùng sinh thái và số liệu thu thập để lập và thẩm định mô hình và so với mô hình pantropic

Khu vực tiến hành thu thập số liệu lập mô hình là các khu rừng lá rộng thường xanh của vùng Duyên hải Nam Trung Bộ, đây là một trong tám vùng sinh thái nông nghiệp quan trọng ở Việt Nam, có tỷ lệ cao về độ che phủ rừng. Rừng lá rộng thường xanh trong vùng sinh thái này cũng phổ biến ở tất cả các vùng sinh thái xung quanh như ở khu vực Tây Nguyên và các hệ sinh thái rừng liền kề của Campuchia và Lào.

Các ô mẫu được đặt tại tỉnh Quảng Nam (có tọa độ địa lý: 15°28'13.3"N đến 15°28'16.1"N và 107°48'56.6"E đến 107°48'59.6"E), ở độ cao 574-624m so với mặt nước biển, độ dốc từ 10 - 40°. Đất có màu vàng nâu, phát triển trên phù sa cổ, với giá trị pH 6.0-6.3 và tầng đất sâu hơn 100cm. Lượng mưa trung bình hàng năm là 3150-3500mm với mức tối thiểu và lượng mưa tối đa 1.857mm và 5.337mm tương ứng. Nhiệt độ trung bình hàng năm là 21.8°C, biến động giữa 16.0°C và 39.4°C. Có hai mùa rõ rệt: mùa khô từ tháng 2 đến tháng 8 và mùa mưa từ tháng 9 đến tháng giêng. Độ ẩm không khí trung bình là 90% và có lượng thoát hơi nước trung bình năm là 800mm và sương mù thường xảy ra từ tháng 11 - tháng 2 (Trung tâm Khí tượng Thủy văn ở miền Trung Việt Nam, 2012).

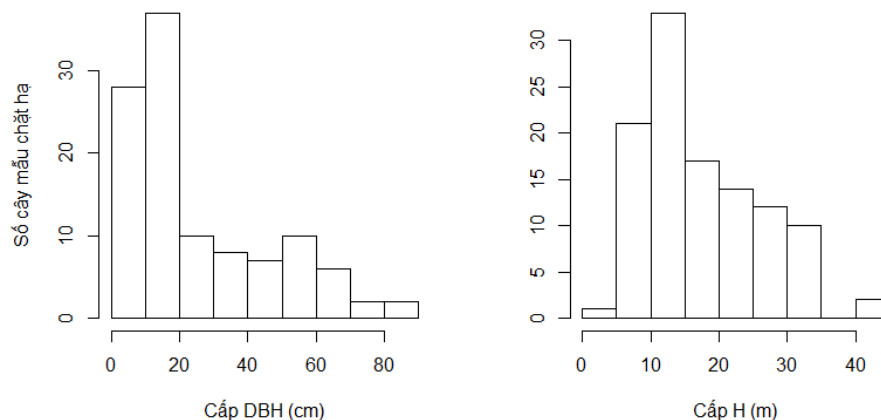
Đã tiến hành lập hai ô mẫu mỗi ô 1ha (100m × 100m), được chia thành 100 ô phụ 10m × 10m. Trong các ô, các chỉ tiêu được thu thập: (i) Vị trí tọa độ ô mẫu; (ii) Thông tin lâm phần: kiểu rừng và trạng thái, độ tàn che, số tầng rừng và tiết diện ngang (BA); (iii) Địa hình: độ dốc và vị trí địa hình; (iv) Đặc điểm của đất: pH, độ sâu và màu sắc; và (v) Đo cây đứng: tên loài (địa phương và khoa học), đường kính ngang ngực (DBH, cm), và chiều cao cây (H, m) của tất cả các cây có DBH ≥ 5cm.

Trong ô mẫu, số lượng cây lấy mẫu được xác định bằng tỷ lệ số cây theo từng cấp đường kính, với cự ly cấp kính là 10cm, riêng đối với các cấp đường kính lớn (ví dụ, đường kính ≥ 45cm) thì có ít nhất ba cây được lấy mẫu. Các cây mẫu cũng đã được lựa chọn cũng dựa trên tỷ lệ loài ưu thế trong lâm phần, gồm các loài chính như dẻ (*Lithocarpus annamensis* (Hickel & A.Camus) Barnett), trâm (*Syzygium levinei* (Merr.) Merr.), trám (*Canarium littorale* Blume), sỏ (*Dillenia indica* var. *aurea* (Sm.) Kuntze), nhọc (*Polyalthia nemoralis* Aug.DC.), thị rừng (*Diospyros decandra* Lour.), giổi (*Aglaia roxburghiana* (Wight & Arn.) Miq.). Tổng cộng có 110 cây mẫu (55 cây ở mỗi ô) đã được chặt hạ để đo sinh khối và lấy mẫu. Phân bố DBH và H của cây mẫu thể hiện trong Hình 5.1 cho thấy cây mẫu chặt hạ có phân bố đồng dạng với phân bố của lâm phần. Bảng 5.1 trình bày tóm tắt thông tin về các biến số của các cây mẫu chặt hạ, cho thấy dữ liệu thu thập bao gồm một dải rộng giá trị DBH và H (Dữ liệu 1, Huy et al., 2016b).

Bảng 5.1. Tóm tắt thông tin về biến số độc lập và phụ thuộc trên các cây mẫu chặt hạ

Thông tin	DBH (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	CA (m ²)	AGB (kg)
Nhỏ nhất	4.9	4.7	0.430	0.79	5.9
Trung bình	25.7	17.5	0.586	24.53	804.4
Lớn nhất	87.7	41.4	0.712	201.06	8,633.0
Sai tiêu chuẩn	21.2	8.6	0.052	31.86	1,482.4

Nguồn: Huy et al. (2016b)



Hình 5.1. Phân bố DBH và H của số cây mẫu chặt hạ (Huy et al. (2016b))

Bảng 5.2 trình bày danh sách các loài, sai tiêu chuẩn và trung bình WD, và số lượng cây được lấy mẫu trong mỗi loài. Dữ liệu trung bình WD trong bảng này có thể được sử dụng theo loài khi sử dụng mô hình có biến số WD để ước tính AGB.

Bảng 5.2. Số cây mẫu chặt hạ và giá trị WD, sai tiêu chuẩn theo loài

Tên khoa học loài	n	WD (g/cm ³)	
		Trung bình	Sai tiêu chuẩn
<i>Aglaia elaeagnoidea</i> (A.Juss.) Benth.	1	0.485226	
<i>Aglaia roxburghiana</i> (Wight & Arn.) Miq.	4	0.582639	0.088617
<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	1	0.603114	
<i>Barringtonia racenmosa</i> (L.) Spreng.	3	0.530579	0.032070
<i>Calophyllum dryobalanoides</i> Pierre	1	0.567293	
<i>Camellia fleuryi</i> (A.Chev.) Sealy	4	0.597433	0.063261
<i>Canarium littorale</i> Blume	7	0.625701	0.021078
<i>Cinnamomum subavenium</i> Miq.	1	0.626005	
<i>Dillenia indica</i> var. <i>aurea</i> (Sm.) Kuntze	4	0.530882	0.037693
<i>Diospyros decandra</i> Lour.	1	0.663821	
<i>Diospyros pilosula</i> (A.DC.) Wall. ex Hiern	3	0.624073	0.015169
<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagnep.	3	0.583962	0.013265
<i>Endospermum chinense</i> Benth.	1	0.570248	
<i>Garcinia hanburyi</i> Hook.f.	2	0.694431	0.004850
<i>Garcinia oliveri</i> Pierre	2	0.627243	0.119455
<i>Gardenia philastrei</i> Pierre ex Pit.	1	0.565626	
<i>Gironniera subaequalis</i> Planch.	4	0.526131	0.039544

Tên khoa học loài	n	WD (g/cm ³)	
		Trung bình	Sai tiêu chuẩn
<i>Horsfieldia amygdalina</i> (Wall.) Warb.	1	0.564658	
<i>Ilex annamensis</i> Tardieu	1	0.581080	
<i>Knema pierrei</i> Warb.	4	0.597548	0.007611
<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	2	0.605106	0.062757
<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	7	0.579616	0.043851
<i>Litsea baviensis</i> var. <i>venulosa</i> H. Liu	1	0.514746	
<i>Litsea elliptica</i> Blume	1	0.582340	
<i>Maclurodendron oligophlebium</i> (Merr.) T.G. Hartley	3	0.524136	0.032941
<i>Madhuca alpina</i> (A.Chev. ex Lecomte) A.Chev.	3	0.630592	0.016732
<i>Magnolia braianensis</i> (Gagnep.) Figlar	3	0.598895	0.071790
<i>Melanorrhiza curtisii</i> Oliv.	1	0.626371	
<i>Melia azedarach</i> L.	1	0.502230	
<i>Nauclea orientalis</i> (L.) L.	1	0.430500	
<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	6	0.591398	0.034286
<i>Prunus ceylanica</i> (Wight.) Miq.	1	0.589221	
<i>Pterospermum diversifolium</i> Blume	1	0.555701	
<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	2	0.559810	0.021850
<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	8	0.593851	0.024956
<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	7	0.611231	0.035526
<i>Sterculia parviflora</i> Roxb.	2	0.588855	0.078540
<i>Styrax benzoin</i> Dryand.	1	0.556764	
<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	8	0.596154	0.034810
<i>Terminalia calamansanay</i> Rolfe	1	0.573957	
<i>Vitex</i> sp.	1	0.523569	
Tổng/Trung bình	110	0.585753	0.051999

Nguồn: Huy et al., 2016b

5.1.2 Thăm định chéo để lựa chọn mô hình ước tính AGB cây rừng lá rộng thường xanh ở vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ

Sử dụng dữ liệu 1 và áp dụng phương pháp Monte Carlo phân chia ngẫu nhiên dữ liệu thành hai phần: 80% dữ liệu để lập mô hình và 20% để đánh giá sai số; lặp lại như vậy 200 lần và các chỉ tiêu thống kê, sai số của mô hình được tính trung bình từ 200 lần thăm định (Temesgen, 2014; Huy et al., 2016b).

Bảng 5.3 chỉ ra các giá trị trung bình thống kê AIC, R^2 từ 200 lần lập các mô hình với 80% dữ liệu ngẫu nhiên để ước tính AGB khác nhau theo từng nhóm biến số và các biến số là đơn hay tổ hợp biến. Trên cơ sở các chỉ tiêu thống kê và sai số, lựa chọn được 5 dạng mô hình cho biến số/tổ hợp biến số đầu vào khác nhau là M1 – M5.

Bảng 5.3. Kết quả so sánh các mô hình khác nhau theo từng nhóm biến số đầu vào ở vùng Duyên hải Nam Trung Bộ

Biến số	Mã mô hình lựa chọn	Dạng mô hình	AIC	R^2_{adj}
DBH	M1	$AGB = a \times DBH^b$	895.2	0.933
DBH + H	M2	$AGB = a \times DBH^2 H^b$	891.0	0.935
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	887.9	0.937
DBH + WD	M3	$AGB = a \times DBH^b \times WD$	877.2	0.946
		$AGB = a \times DBH^b \times WD^c$	883.9	0.945
DBH + H + WD	M4	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	881.5	0.952
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	875.7	0.953
DBH + H + WD + CA	M5	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b \times CA^c$	869.9	0.958
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d \times CA^e$	878.4	0.957

Ghi chú: 80% dữ liệu được rút ngẫu nhiên và tính toán các chỉ tiêu thống kê, lặp lại 200 lần, các giá trị thống kê được tính trung bình từ 200 lần.

Nguồn: Huy et al., (2016b)

Kết quả thăm định đã chỉ ra các mô hình có tổ hợp biến như DBH^2H hoặc DBH^2HWD tỏ ra có độ tin cậy hơn mô hình biến đơn. Gia tăng số biến số từ 1 biến DBH lên 4 biến DBH, H, WD, CA làm giảm AIC rõ rệt, hay nói khác làm tăng độ tin cậy ước tính AGB cây rừng lá rộng thường xanh vùng Duyên hải miền Trung.

Các chỉ tiêu thống kê trung bình Bias, RMSE và MAPE được tính toán từ 20% dữ liệu ngẫu nhiên, lặp lại 200 lần để thăm định chéo các mô hình lựa chọn được trình bày trong Bảng 5.4 Bias của các mô hình lựa chọn M1-M5 dao động từ -5,3 đến -7.7%, RMSE dao động 26.3 – 34.6% và MAPE dao động 18.2 – 22.8%. Trong số các mô hình được lựa chọn theo biến số đầu vào, mô hình

M5 với bốn biến (DBH, H, WD và CA) có MAPE trung bình thấp nhất là 18.2% so với mô hình M1 với một biến DBH thì MAPE là 22.8%.

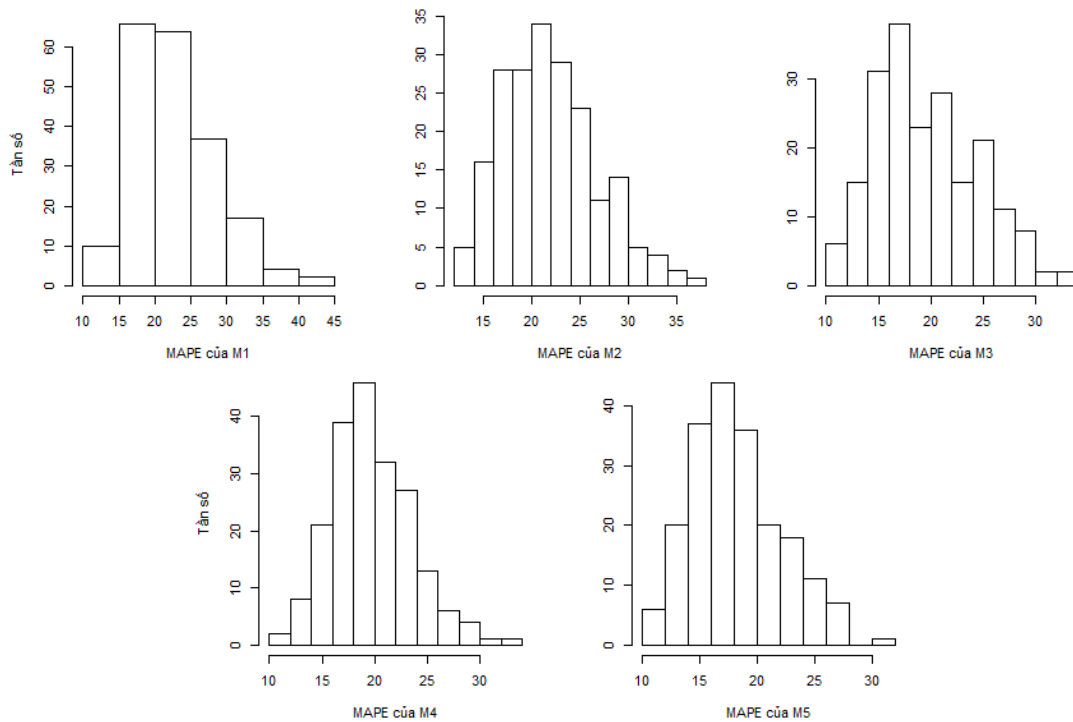
Với phương pháp thẩm định chéo 200 lần lại sử dụng ngẫu nhiên 20% dữ liệu độc lập đã cho các giá trị sai số tiệm cận chuẩn (Bảng 5.4), như vậy với 200 lần kiểm tra đã bảo đảm cung cấp chính xác sai số của các mô hình lựa chọn và so sánh. Hình 5.2 cho thấy phân bố sai số MAPE tiệm cận chuẩn với 200 lần thẩm định, như vậy giá trị trung bình của các sai số là phản ánh đúng thực tế.

Bảng 5.4. Thẩm định chéo các mô hình lựa chọn

Mô hình thẩm định chéo sai số	Mô hình	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
M1	$AGB = a \times DBH^b$	-7.4	34.6	22.8
M2	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	-6.9	31.5	21.7
M3	$AGB = a \times DBH^b \times WD$	-7.7	32.1	20.5
M4	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$	-5.8	27.9	19.6
M5	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b \times CA^c$	-5.3	26.3	18.2

Ghi chú: Thẩm định chéo sử dụng 20% số liệu ngẫu nhiên, độc lập với số liệu lập mô hình, tiến hành 200 lần và các sai số được tính trung bình.

Nguồn: Huy et al., (2016b)



Hình 5.2. Phân bố sai số MAPE của năm mô hình lựa chọn theo 200 lần thẩm định với 20% dữ liệu ngẫu nhiên, độc lập với dữ liệu lập mô hình (Huy et al., 2016b)

Từ dạng hàm lựa chọn, sử dụng toàn bộ dữ liệu để ước tính các tham số của năm mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) theo từng nhóm biến số đầu vào khác nhau cho kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ như sau:

$$M1: \quad AGB = 0.10968 \times DBH^{2.47408} \quad (5.1)$$

$$M2: \quad AGB = 267.362 \times (DBH^2 H)^{0.96364} \quad (5.2)$$

$$M3: \quad AGB = 0.19592 \times DBH^{2.45940} \times WD \quad (5.3)$$

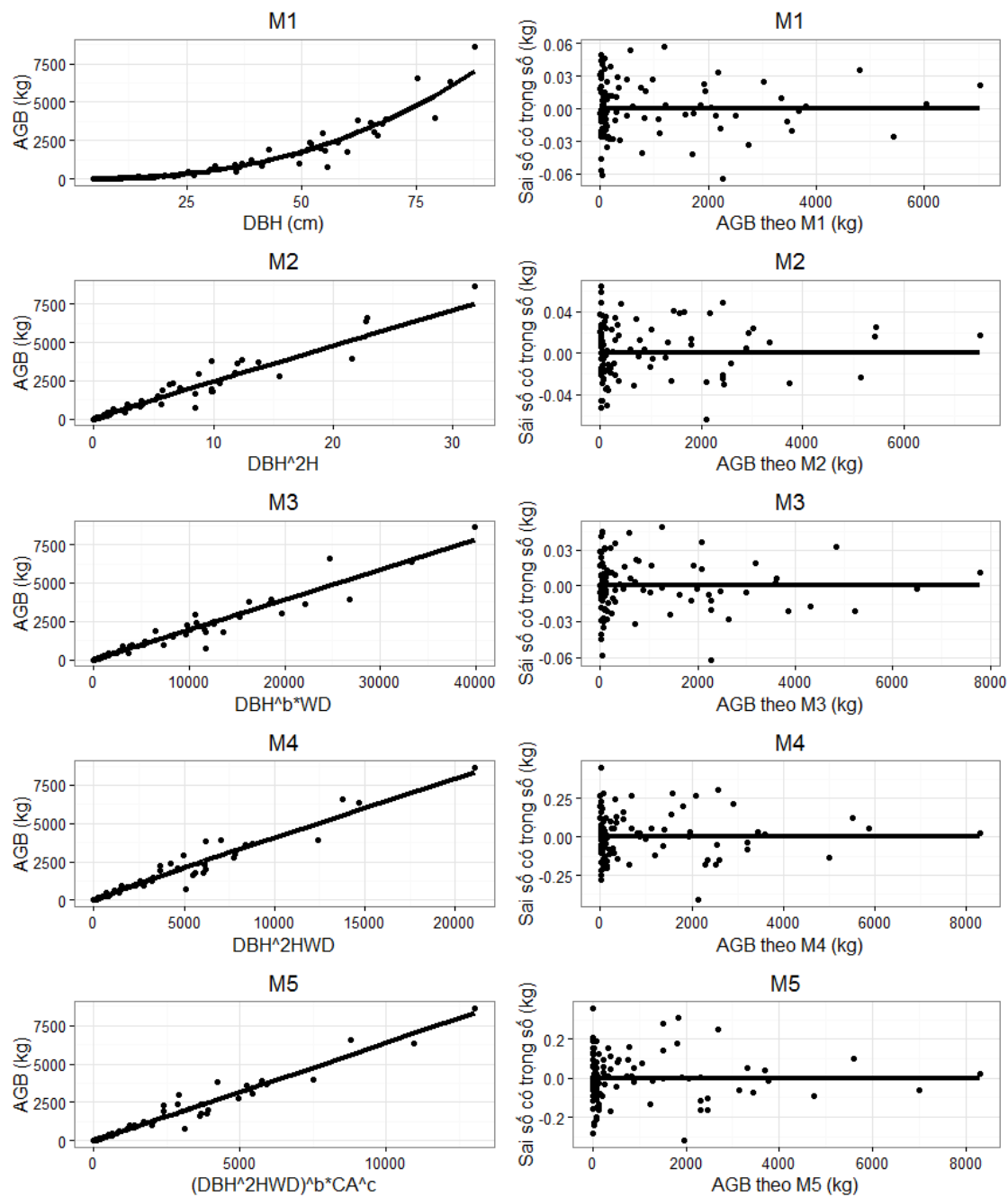
$$M4: \quad AGB = 0.62623 \times (DBH^2 HWD)^{0.95339} \quad (5.4)$$

$$M5: \quad AGB = 0.61345 \times (DBH^2 HWD)^{0.86983} \times CA^{0.18834} \quad (5.5)$$

Quan hệ giữa AGB ước tính và quan sát và biến động sai số của năm mô hình lựa chọn trình bày ở Hình 5.3.

Để lựa chọn dạng mô hình, AIC và hệ số xác định hiệu chỉnh R^2 được sử dụng như các chỉ số để so sánh độ tin cậy của các mô hình sinh khối (Bảng 5.3). Như mong đợi, khi tăng số lượng các biến độc lập từ một đến bốn biến đã làm giảm các giá trị AIC khi dự báo AGB rõ rệt. Chiều cao cây khác nhau trong từng cấp kính bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố như, đặc điểm sinh học của các loài và điều kiện sinh trưởng. Vì vậy, thêm biến số chiều cao đã cải thiện tính chính xác của mô hình. WD được coi là đại diện cho loài trong các mô hình sinh khối (Picard et al, 2012). Nó đặc biệt quan trọng, vì nó cho phép chuyển đổi thể tích cây sang sinh khối.

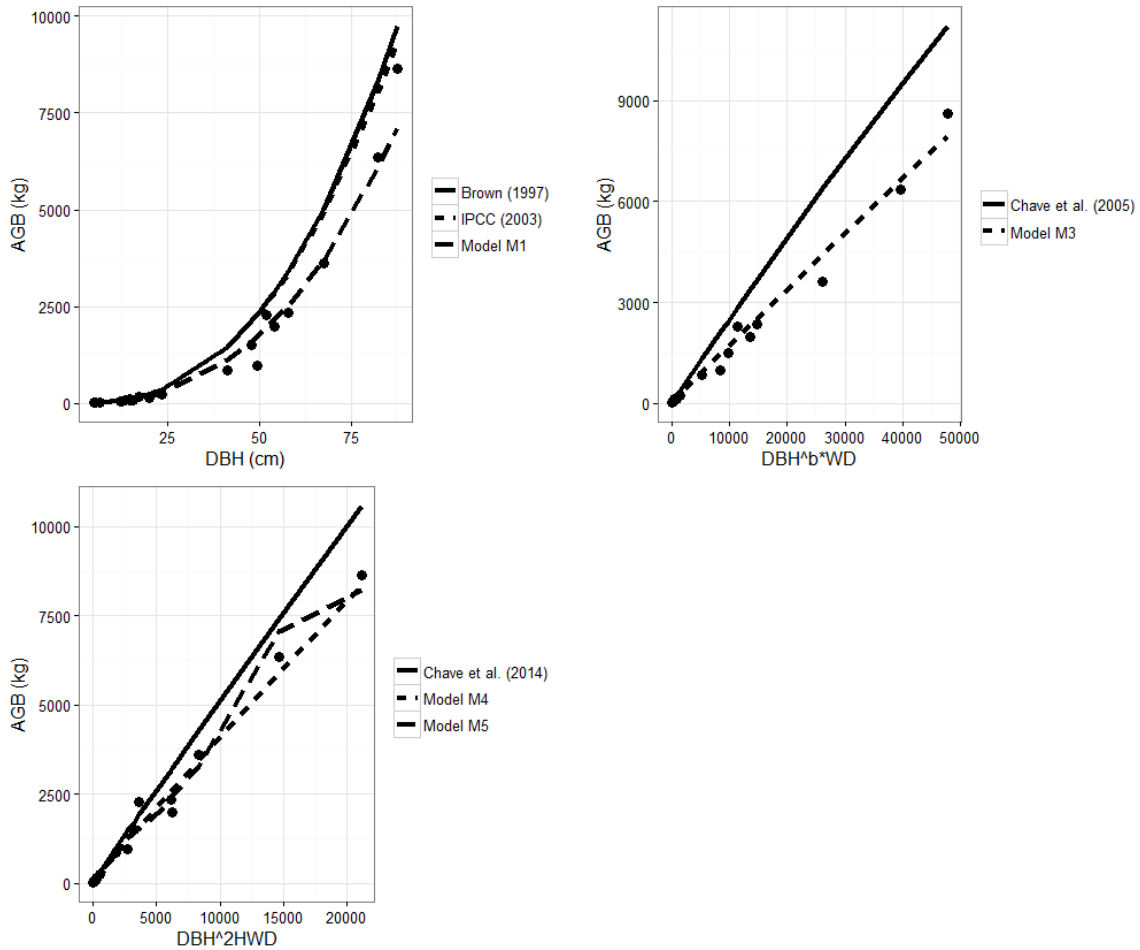
Diện tích tán lá (CA) và sinh khối cành là rất biến động, do sự khác nhau về đặc điểm hình thái của mỗi loài. Ví dụ, đối với cây có cùng DBH, H và WD, nó rất dễ dàng để thừa nhận sinh khối trung bình của thân cây là xấp xỉ nhau, tuy nhiên, sinh khối của các cành, nhánh và tán lá của chúng có thể rất khác nhau do ảnh hưởng của điều kiện địa hình và có thể ảnh hưởng của hình thái học. Kết quả là, việc bổ sung các CA đã cải thiện độ tin cậy của ước tính AGB khi mà chưa thể phát triển các mô hình sinh trắc cho từng các loài cụ thể hoặc là không thực tế. Các mô hình với bốn biến độc lập DBH, H, WD, và CA (mô hình M5) có AIC thấp nhất, R^2 điều chỉnh cao nhất; đồng thời kết quả thẩm định chéo cho thấy các sai số như Bias, MAPE, RMSE cũng bé nhất so với các mô hình có số biến số ít hơn. Kết quả này phù hợp với nhận xét của Weiskittel et al. (2015) nhấn mạnh rằng những hạn chế của phương trình sinh khối là đơn giản về dạng mô hình và ít biến số độc lập được sử dụng. Như vậy mô hình này có tiềm năng để tạo ra độ tin cậy cao, nhưng một mối quan tâm thực tế là, với nhiều biến số hơn, ứng dụng của nó trở nên phức tạp và tốn kém hơn. Các phương trình power với tổ hợp của các biến số (mô hình M2, M4) là thích hợp cho các mô hình sinh khối và có số lượng các tham số ít hơn.



Hình 5.3. Đồ thị quan hệ giá trị dự báo AGB với quan sát (phải) và sai số (trái) của 5 mô hình lựa chọn (Hàm lựa chọn M1-M5 ứng với đồ thị a-e) dựa trên toàn bộ dữ liệu. (Huy et al., 2016b)

5.1.3 So sánh độ tin cậy của mô hình theo vùng sinh thái và mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropic)

Có một sự khác biệt cơ bản trong ước tính sinh khối khi sử dụng mô hình theo vùng sinh thái địa phương như Duyên hải Nam Trung Bộ so với sử dụng mô hình chung cho cả vùng nhiệt đới (pantropic) được đề xuất bởi IPCC (2006) bao gồm của Brown (1997), IPCC (2003) và Chave et al. (2005, 2014) (Hình 5.4).



Hình 5.4. Đồ thị so sánh giá trị AGB dự đoán qua mô hình với giá trị AGB quan sát của các mô hình lựa chọn cho vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ so với các mô hình pantropic theo các biến số đầu vào khác nhau. Dữ liệu quan sát được chọn ngẫu nhiên từ 20% dữ liệu và không tham gia lập các mô hình được lựa chọn (Huy *et al.*, 2016b)

Hình 5.4 cho thấy sai lệch khi ước tính AGB từ các phương trình được lựa chọn theo vùng sinh thái so với các mô hình chung rừng nhiệt đới (pantropic) có cùng biến số đầu vào. Giá trị ước tính AGB của các mô hình lựa chọn của vùng sinh thái với các biến số đầu vào khác nhau từ một (DBH) đến ba biến (DBH, H và WD) đều bám sát dữ liệu quan sát hơn hẳn các mô hình của Brown (1997), IPCC (2003) và Chave *et al.* (2005, 2014). Các mô hình pantropic đều có ước tính AGB cao hơn nhiều so với 20% số liệu quan sát được chọn ngẫu nhiên để đánh giá.

Thiết lập codes để thẩm định chéo các mô hình lựa chọn và so với các mô hình pantropic theo phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo như sau:

Codes để thẩm định chéo các mô hình lựa chọn theo vùng sinh thái và so với mô hình chung vùng nhiệt đới (pantropic):

Trong đó 80% dữ liệu để lập mô hình theo vùng sinh thái và 20% dữ liệu đánh giá sai số của mô hình lựa chọn và mô hình chung vùng nhiệt đới. Lập lại 200 lần. Minh họa codes cho trường hợp mô hình một biến số DBH và so với hai mô hình chung của Brown (1997) và IPCC (2003) cũng có một biến DBH.

Erase memory

```

rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for Region/Data/New
arrangement")
# Import data
t <- read.table("t_all.txt", header=T, sep="t", stringsAsFactors = FALSE)
library(cowplot)
summary(t$DBH)
length(t$AGB)
# Validation for DBH Model:
bias_Brown_1997 = rep(0, 200)
RMSE_Brown_1997 = rep(0, 200)
MAPE_Brown_1997 = rep(0, 200)
bias_IPCC_2003 = rep(0, 200)
RMSE_IPCC_2003 = rep(0, 200)
MAPE_IPCC_2003 = rep(0, 200)
bias_eq1 = rep(0, 200)
RMSE_eq1 = rep(0, 200)
MAPE_eq1 = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Split 80/20% for develop and validate
  n_va < t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.2), ]
  t_eq <- t[!t$ID %in% n_va$ID, ]
  # M1 fit:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
    start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
  # Prediction of M1 and others:
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  Brown_1997 = exp(-2.134 + 2.53*log(n_va$DBH))
  IPCC_2003 <- exp(-2.289+2.649*log(n_va$DBH)-0.021*(log(n_va$DBH))^2)
# All Indicators of cross validation:
bias_Brown_1997[i] <- 100*mean((n_va$AGB - Brown_1997)/n_va$AGB)
RMSE_Brown_1997[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - Brown_1997)/n_va$AGB)^2))
MAPE_Brown_1997[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - Brown_1997)/n_va$AGB)
  bias_IPCC_2003[i] <- 100*mean((n_va$AGB - IPCC_2003) /n_va$AGB)
  RMSE_IPCC_2003[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - IPCC_2003)/n_va$AGB)^2))
  MAPE_IPCC_2003[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - IPCC_2003)/n_va$AGB)

```

```

bias_eq1[i] <- 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE_eq1[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE_eq1[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
# bias, RMSE, MAPE% histogram:
mean(bias_Brown_1997)
mean(RMSE_Brown_1997)
mean(MAPE_Brown_1997)
hist(bias_Brown_1997)
hist(RMSE_Brown_1997)
hist(MAPE_Brown_1997)
mean(bias_IPCC_2003)
mean(RMSE_IPCC_2003)
mean(MAPE_IPCC_2003)
hist(bias_IPCC_2003)
hist(RMSE_IPCC_2003)
hist(MAPE_IPCC_2003)
mean(bias_eq1)
mean(RMSE_eq1)
mean(MAPE_eq1)
hist(bias_eq1)
hist(RMSE_eq1)
hist(MAPE_eq1)
hist(MAPE_eq1, main = paste("", ""), xlab = "MAPE of equation M1", ylab = "Frequency")
# The end

```

Với cùng các biến đầu vào, các sai số như Bias, RMSE và MAPE của các mô hình cho vùng sinh thái cụ thể thấp hơn so với các mô hình pantropic chung đáng kể. Mô hình một biến (M1) giảm RMSE 21.6-21.8% và MAPE được giảm 16.8% so với các mô hình một biến của Brown (1997) và IPCC (2003). Với mô hình ba biến M4 (DBH, H và WD), MAPE đã giảm 8,3% so với mô hình cùng ba biến của Chave et al. (2014) (Bảng 5.5). Những kết quả này cho thấy một sự cải thiện đáng kể độ chính xác khi sử dụng mô hình cho vùng sinh thái cụ thể so với các mô hình chung vùng nhiệt đới đã đề nghị bởi IPCC (2003, 2006).

Bảng 5.5. Thẩm định chéo các mô hình lựa chọn vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ và so với các mô hình pantropic

Mô hình đánh giá	Hàm	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
DBH				
Brown (1997)	$AGB = \exp(-2.134 + 2.530 \times \ln(DBH))$	-36.7	56.4	39.6
IPCC (2003)	$AGB = \exp\left(-2.289 + 2.649 \times \ln(DBH) - 0.021 \times (\ln(DBH))^2\right)$	-36.6	56.2	39.6
M1	$AGB = a \times DBH^b$	-7.4	34.6	22.8

Mô hình đánh giá	Hàm	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
DBH				
DBH, H				
M2	$AGB = a \times D(BH^2H)^b$	-6.9	31.5	21.7
DBH, WD				
Chave et al (2005)	$AGB = WD \times \exp(-1.499 + 2.148 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	-40.1	58.9	42.3
M3	$AGB = a \times DBH^b \times WD$	-7.7	32.1	20.5
DBH, H, WD				
Chave et al. (2014)	$AGB = 0.0673 \times (WD \times DBH^2 \times H)^{0.976}$	-22.8	39.1	27.9
M4	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$	-5.8	27.9	19.6
DBH, H, WD, CA				
M5	$AGB = a \times (DBH^2HWD)^b \times CA^c$	-5.3	26.3	18.2

Ghi chú: Thảm định chéo sử dụng 20% số liệu ngẫu nhiên, độc lập với số liệu lập mô hình, tiến hành 200 lần và các sai số được tính trung bình.

Nguồn: Huy et al., 2016b.

Phát hiện này là thống nhất với Nelson et al. (1999), Cairns et al. (2003) và Busuki et al. (2009) khi áp dụng các phương trình tổng quát cho vùng nhiệt đới thì cho kết quả các giá trị dự đoán AGB vượt cao hơn giá trị quan sát ở địa phương, vùng sinh thái. Basuki et al. (2009) khi so các phương trình AGB địa phương phát triển cho rừng khộp ở Indonesia với phương trình chung và chỉ ra rằng các phương trình địa phương và chung chung khác biệt đáng kể và kết luận phương trình cụ thể vùng sinh thái phải được xem như là một ước lượng tốt hơn của sinh khối.

Codes để vẽ phân bố sai số 200 lần lặp và so sánh các mô hình với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thảm định chéo

```
# Plots of distribution of Error
# Combine MAPE plots:
op <- par(mfrow=c(2,3))
hist(MAPE_eq1, main = paste("", ""), xlab = "MAPE của M1", ylab = "Tan so")
hist(MAPE_eq2, main = paste("", ""), xlab = "MAPE của M2", ylab = "")
hist(MAPE_eq3, main = paste("", ""), xlab = "MAPE của M3", ylab = "")
hist(MAPE_eq4, main = paste("", ""), xlab = "MAPE của M4", ylab = "Tan so")
hist(MAPE_eq5, main = paste("", ""), xlab = "MAPE của M5", ylab = "")
# Prediction for all Models based on dataset of validation (20% randomly split) 200 times and
compaation to pantropic
```

```

# Split 80/20%for develop and validate: K Fold
n_va <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.2), ]
t_eq <- t[!t$ID %in% n_va$ID, ]
n_va$Brown_1997 = exp(-2.134 + 2.53*log(n_va$DBH))
n_va$IPCC_2003 <- exp(-2.289+2.649*log(n_va$DBH)-0.021*(log(n_va$DBH))^2)
n_va$Chave_2005 <- n_va$WD*exp(-1.499 +2.148*log(n_va$DBH)+
0.207*(log(n_va$DBH))^2 - 0.0281*(log(n_va$DBH))^3 )
n_va$Chave_2014 <- 0.0673*(n_va$DBH^2*n_va$H*n_va$WD)^0.976
# M1 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
n_va$M1 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
# M2 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2H), data=t_eq))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2H^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
n_va$M2 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
# M3 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b*WD, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
n_va$M3 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
# M4 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
names(start) <- c("a", "b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))
n_va$M4 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
summary(Max_like)
# M5 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD)+log(CA), data=t_eq))
names(start) <- c("a", "b", "c")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b*CA^c, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b+c~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH2HWD))

```

```

n_va$M5 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
summary(Max_like)
#####
# All Plots of Prediction Vs Validation dataset 20%
#####
library(cowplot)
# Models with DBH variable only:

p1 <- ggplot(n_va)
p1 <- p1 + geom_point(pch=19, cex=3, aes(x=DBH, y=AGB))
p1 <- p1 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH, y=n_va$Brown_1997, linetype="Brown (1997)"))
p1 <- p1 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH, y=n_va$IPCC_2003, linetype="IPCC (2003)"))
p1 <- p1 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH, y=n_va$M1, linetype="Model M1"))
p1 <- p1 + xlab("DBH (cm)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1
# Model with DBH + WD variables:
p2 <- ggplot(n_va)
p2 <- p2 + geom_point(pch=19, cex = 3, aes(x=DBH^2.5*WD, y=AGB))
p2 <- p2 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH^2.5*WD, y=n_va$M3, linetype="Model M3"))
p2 <- p2 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH^2.5*WD, y=n_va$Chave_2005, linetype="Chave et
al. (2005)"))
p2 = p2 + xlab("DBH^b*WD") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p2 <- p2 + theme(legend.title=element_blank())
p2
# Models with DBH + H + WD
p3 <- ggplot(n_va)
p3 <- p3 + geom_point(pch=19, cex = 3, aes(x=DBH2HWD, y=AGB))
p3 <- p3 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH2HWD, y=n_va$M4, linetype="Model M4"))
p3 <- p3 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH2HWD, y=n_va$M5, linetype="Model M5"))
p3 <- p3 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH2HWD, y=n_va$Chave_2014, linetype="Chave et al.
(2014)"))
p3 <- p3 + xlab("DBH^2HWD") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p3 <- p3 + theme(legend.title=element_blank())
p3
plot_grid(p1, p2, p3, ncol=2)
# The end

```

Từ kết quả này cũng cho thấy rằng mô hình chỉ với một biến DBH (M1) cho vùng sinh thái Duyên hải Nam Trung Bộ Việt Nam có độ chính xác cao hơn mô hình chung vùng nhiệt đới với ba biến (DBH, H và WD). Ví dụ, mô hình dựa trên đường kính của vùng sinh thái giảm MAPE 5.1% và RMSE 4.5% so với các phương trình chung của Chave et. al (2014) dựa trên DBH, H và WD (Bảng). Điều này cho thấy rằng, nếu có ý định thiết lập mô hình chung cho các khu vực nhiệt đới hoặc cho cả nước, các mô hình này sẽ cần thay đổi các tham số cho từng vùng sinh thái.

5.1.4 Nhận xét

Tất cả các biến số DBH, H, WD và CA có liên quan chặt chẽ với AGB. DBH và H đại diện cho mối quan hệ giữa thể tích cây với sinh khối, trong khi đó, WD và CA đại diện cho các đặc điểm sinh học của các loài và hình thái của tán lá. Sự gia tăng của các biến độc lập trong các phương trình sinh khối từ một đến bốn biến giúp làm giảm sai số của dự đoán AGB rõ rệt. CA là một biến số quan trọng để nâng cao tính chính xác của dự đoán AGB, trong khi đó, biến này ít được đề cập trong các ấn phẩm hiện có. CA là biến khá đơn giản để đo lường và sẽ không ảnh hưởng đáng kể chi phí khảo sát.

Các biến tổ hợp như là DBH^2H và DBH^2HWD đại diện cho thể tích cây và sinh khối, do đó, thích hợp hơn là sử dụng các biến rời rạc trong các mô hình AGB. Các mô hình power với tổ hợp biến là thích hợp với các mô hình sinh khối, đó là: $AGB = a \times (DBH^2H)^b$, $AGB = a \times DBH^b \times WD$, $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$, hay $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b CA^c$.

Năm mô hình M1-M5 đã được thẩm định và cho thấy có độ tin cậy để có thể áp dụng cho rừng lá rộng thường xanh vùng sinh thái Nam Trung Bộ Việt Nam. Mô hình M5 có độ tin cậy cao nhất với 4 biến số độc lập là DBH, H, WD và CA.

Mô hình lập cho vùng sinh thái địa phương với một biến duy nhất là DBH cũng có độ tin cậy cao hơn so với mô hình chung vùng nhiệt đới với tối đa ba biến (DBH, H và WD). Các mô hình pantropic đã cho kết quả ước tính AGB cao hơn so với số liệu thẩm định ngẫu nhiên. Do đó, các mô hình quốc gia và pantropic cần được phát triển với sự thay đổi, hiệu chỉnh các tham số theo các yếu tố sinh thái, các loại rừng, và các khu vực, vùng sinh thái, địa phương khác nhau.

Các mô hình pantropic đề nghị của IPCC (2003, 2006) dẫn đến sai số lớn về Bias, RMSE và MAPE trong việc ước tính AGB so với mô hình cho từng vùng sinh thái. Đây là vấn đề cần quan tâm có tính chiến lược trong thiết lập hệ thống mô hình ước tính sinh khối quốc gia để báo cáo về khí nhà kính.

5.2 Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp ở Việt Nam và thẩm định chéo trong vùng Đông Nam Á

Họ Dầu (Dipterocarpaceae) là một trong những họ thực vật rừng nổi tiếng nhất ở vùng nhiệt đới vì đặc điểm hình thái, sinh thái loài cũng như giá trị như gỗ của nó (Appanah, 1998). Các loài cây thân gỗ của họ Dầu hình thành kiểu rừng khộp có phân bố rộng khắp vùng nhiệt đới châu Á, ở nhiều vùng khí hậu và địa lý (Maury-Lechon và Curtet, 1998). Tại Việt Nam, kiểu rừng này có khoảng 650.000 ha và phân bố ở hai vùng sinh thái chính là Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE) (Huy, 2014). Có những sự khác biệt trong quản lý rừng đã dẫn đến một sự không đồng đều kiến thức về rừng khộp, trên tiểu lục địa Ấn Độ có nhiều biết hơn về quản lý, sử dụng rừng khộp và tương đối ít hơn ở khu vực Đông Nam Á (Appanah, 1998).

Có một khối lượng khá lớn các ấn phẩm về các mô hình sinh khối cho rừng nhiệt đới (FAO, 2016; Basuki et al., 2009; Chambers et al., 2001; Chave et al., 2005, 2014; IPCC, 2003, 2006; Keller et al., 2001; Ketterings et al., 2001). Tuy nhiên, còn rất ít các phương trình tương quan sinh khối được lập cho rừng khộp nhiệt đới (Picard et al., 2015) mặc dù kiểu rừng này che phủ ở các khu vực rộng lớn trong vùng nhiệt đới Đông Nam Á. Cho đến nay, chỉ có một vài phương trình

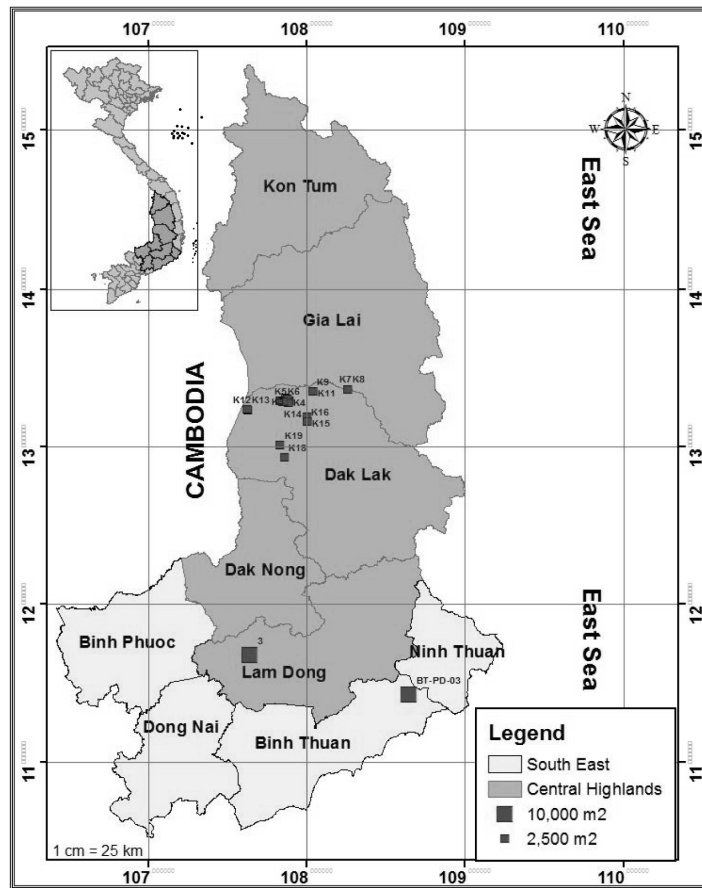
chung cho vùng nhiệt đới (pantropic), nhưng do sự khác biệt về các loại rừng với các đặc tính khác nhau trong khu vực này, có nhu cầu phát triển các phương trình sinh khối cụ thể hơn cho rừng khộp.

Sử dụng dữ liệu thu thập từ 122 cây mẫu chặt hạ, Basuki et al. (2009) đã phát triển các mô hình ước tính sinh khối cây rừng phần trên mặt đất (AGB) cho rừng khộp, bao gồm mô hình cho mỗi chi thực vật (*Dipterocarpus*, *Hopea*, *Palaquium* và *Shorea*), một mô hình cho các loài cây rừng thương mại, và một mô hình cho hỗn hợp các loài của rừng khộp ở Đông Kalimantan, Indonesia. Các biến đầu vào của các phương trình là đường kính ngang ngực (DBH), khối lượng thể tích gỗ (WD) và chiều cao thân cây thương mại. Mặc dù đã phát triển được các mô hình đến chi thực vật ưu thế của rừng khộp, các tác giả (Basuki et al., 2009) chỉ tập trung vào việc so sánh để lựa chọn dạng mô hình power được tuyến hóa bằng cách lấy logarit cho mô hình sinh khối.

Phần này nhằm giới thiệu: (i) Thiết lập mô hình ước tính AGB ở các vùng sinh thái rừng khộp ở Việt Nam; và (ii) Thẩm định chéo tính chính xác của phương trình lựa chọn và so sánh chúng với các mô hình sinh khối lập cho khộp ở Indonesia của Basuki et al. (2009).

5.2.1 Vùng sinh thái và số liệu sinh khối cây rừng khộp được thu thập

13 ô 0.25 ha (50m × 50m) ở Tây Nguyên và một ô 1ha ở vùng Đông Nam Bộ (Hình 5.5) được thiết lập để thu thập số liệu cây mẫu ở hai vùng sinh thái có phân bố rừng khộp chính ở Việt Nam.



Hình 5.5. Vị trí các ô mẫu ở hai vùng sinh thái nơi rừng khộp phân bố ở Việt Nam (Huy et al. 2016c)

Các ô mẫu ở Tây Nguyên nằm ở độ cao 197 - 417m với độ dốc <math><10^\circ</math>, lượng mưa trung bình hàng năm là 1600mm với một mùa khô kéo dài bốn tháng và nhiệt độ hàng năm là 25.3°C (Hijmans et al., 2005). Ở vùng Đông Nam nằm ở độ cao 230m với độ dốc nhỏ hơn 3°, lượng mưa trung bình hàng năm là 1003mm với một mùa khô kéo dài ba tháng và nhiệt độ hàng năm là 25.5°C (Hijmans et al., 2005). Cả hai vùng sinh thái, rừng khộp phân bố chủ yếu trên đất hình thành trên đá igneous (Nachtergaele et al., 2012) với các mật độ khác nhau: 256-1292 cây/ha⁻¹ và tiết diện ngang từ 10 đến 25m²/ha⁻¹.

Có tổng cộng 222 cây mẫu được chặt hạ để thu thập dữ liệu sinh khối, ở vùng CH (168 cây, 10- 15 cây trên 0,25ha ô mẫu) và SE (54 cây) (dữ liệu 2). Đường kính của cây mẫu dao động từ 5 đến 50cm và chiều cao dao động từ 2 đến 24m (Bảng 5.6).

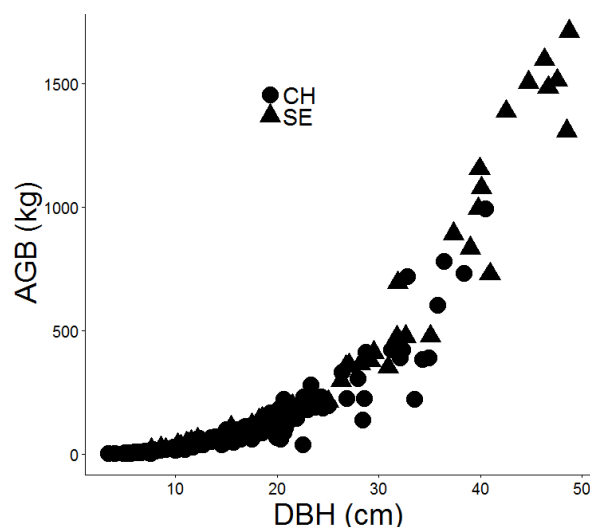
Bảng 5.6. Tóm tắt các biến số cây mẫu rừng khộp

Tóm tắt	DBH (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	AGB (kg)
Nhỏ nhất	3.4	2.5	0.379	1.3
Trung bình	17.6	10.3	0.656	184.9
Lớn nhất	48.8	23.5	0.953	1,710.8
Sai tiêu chuẩn	10.3	4.5	0.102	315.0
n	222	222	222	222

Nguồn: Huy et al., (2016c)

5.2.2 Mô hình sinh khối trên mặt đất (AGB) cây rừng khộp theo vùng sinh thái

Khảo sát Hình 5.6 cho thấy sự khác biệt không rõ giữa giá trị AGB/DBH ở hai vùng sinh thái rừng khộp. Tuy vậy, thử đánh giá tác động của vùng sinh thái trong mô hình ước tính AGB chung các loài rừng khộp.



Hình 5.6. Đám mây điểm AGB theo DBH của cây mẫu rừng khộp theo hai vùng sinh thái Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE)

Sử dụng chương trình nlme (phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số) chạy trong R có xét ảnh hưởng của vùng sinh thái (random effect) đến mô hình sinh khối, các mô hình được lập cho từng nhóm biến số đầu vào khác nhau có hay không có xét ảnh hưởng vùng sinh thái. Phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình theo Monte Carlo được áp dụng với 70% dữ liệu (156 cây mẫu) lập mô hình, 30% (66 cây mẫu) dùng đánh giá sai số và tiến trình được lập lại 200 lần (Huy et al., 2016c).

Bảng 5.7. So sánh các mô hình AGB rừng khộp có hay không xét ảnh hưởng của vùng sinh thái theo từng nhóm biến số đầu vào

Mô hình lựa chọn	Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	Trọng số (Weight Variable)	AIC	R ² _{adj}	RMSE %
DBH						
M1	$AGB = a \times DBH^b$	Không xét	1/DBH ^k	1346	0.942	57.8
	$AGB = a \times DBH^b$	Vùng sinh thái	1/DBH ^k	1330	0.944	59.8
DBH + H						
M2	$AGB = a \times DBH^2 H^b$	Không xét	1/DBH ^k	1369	0.961	45.0
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Không xét	1/DBH ^k	1340	0.960	50.8
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Vùng sinh thái	1/DBH ^k	1316	0.967	52.7
DBH + WD						
M3	$AGB = a \times (DBH^2 WD)^b$	Không xét	1/DBH ² WD ^k	1346	0.889	55.9
	$AGB = a \times DBH^b \times WD^c$	Không xét	1/DBH ^k	1322	0.912	48.1
	$AGB = a \times DBH^b \times WD^c$	Vùng sinh thái	1/DBH ^k	1313	0.914	49.5
DBH + H + WD						
M4	$AGB = a \times DBH^2 HWD^b$	Không xét	1/DBH ² HWD ^k	1313	0.950	39.3
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	Không xét	1/DBH ^k	1310	0.934	44.5
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	Vùng sinh thái	1/DBH ^k	1279	0.915	41.1

Ghi chú: Các chỉ tiêu thống kê tính từ 70% dữ liệu, sai số từ 30% dữ liệu, lập lại 200 lần và lấy trung bình hệ số của hàm phương sai

Huy et al., 2016c.

Kết quả các chỉ tiêu thống kê, sai số trung bình từ 200 lần thẩm định các mô hình với biến đầu vào khác nhau được trình bày trong Bảng 5.7. R^2_{adj} của tất cả các mô hình là hơn 0.9 và các mô hình sử dụng các biến đầu vào riêng biệt có AIC và RMSE nhỏ hơn so với các mô hình sử dụng các biến kết hợp. Do đó, phương trình với các biến số đầu vào riêng biệt đã được lựa chọn cho mô hình chung các loài rừng khộp để dự đoán AGB. Giá trị AIC của các mô hình có xét ảnh hưởng của vùng sinh thái là thấp hơn so với mô hình không xét ảnh hưởng. Tuy nhiên, không có sự thay đổi đáng kể trong các tham số cho các vùng sinh thái khác nhau, đồng thời sai số RMSE của mô hình có ảnh hưởng vùng sinh thái cũng lớn hơn. Do đó, cuối cùng, mô hình sinh khối cho rừng khộp được lựa chọn (M1-M4) theo các biến đầu vào khác nhau và không xét đến vùng sinh thái.

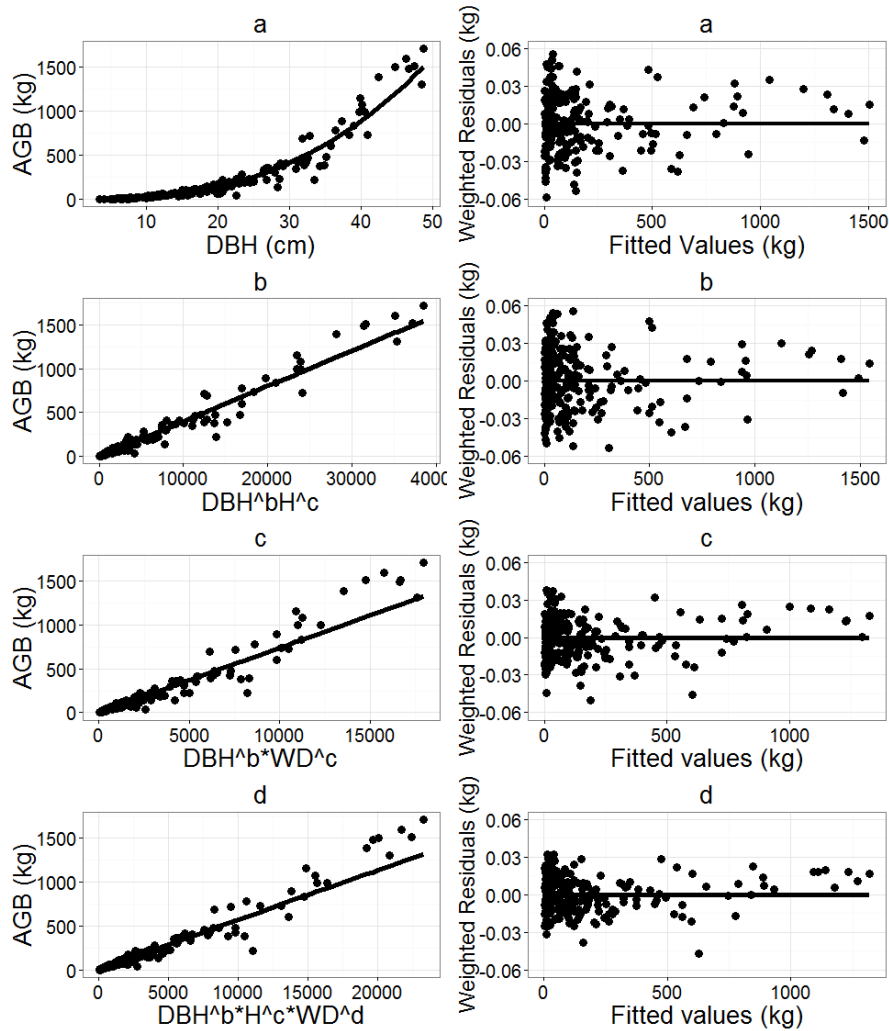
Ước lượng các tham số cho các phương trình lựa chọn trên cơ sở toàn bộ dữ liệu (222 cây mẫu) thể hiện trong Bảng 5.8 và tất cả các tham số đều có ý nghĩa thống kê ở mức P-value <0,001.

Bảng 5.8. Mô hình lựa chọn với các biến đầu vào khác nhau, các tham số và sai số tiêu chuẩn của mô hình AGB chung các loài rừng khộp (dựa trên toàn bộ dữ liệu 222 cây mẫu)

Mô hình lựa chọn	Biến đầu vào	Dạng mô hình	Các tham số		Sai số tiêu chuẩn (Standard Error)
M1	DBH	AGB = $a \times DBH^b$	a	0.04742	0.00434
			b	2.66663	0.03151
M2	DBH, H	AGB = $a \times DBH^b \times H^c$	a	0.03844	0.00377
			b	2.40756	0.05861
			c	0.40408	0.07988
M3	DBH, WD	AGB = $a \times DBH^b \times WD^c$	a	0.07126	0.00843
			b	2.60940	0.03290
			c	0.59275	0.59275
M4	DBH, H, WD	AGB = $a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	a	0.06203	0.00679
			b	2.26430	0.05754
			c	0.51415	0.07497
			d	0.79456	0.11420

Nguồn: Huy et al., (2016c)

Hình 5.7 cho thấy mô hình dự báo và biến động sai số có trọng số của 4 mô hình lựa chọn. Trong đó cho thấy khi số biến số từ một biến DBH tăng lên đến ba biến DBH, H và WD thì biến động sai số bé dần. Nó cũng phù hợp với kết quả thẩm định sai số, sai số RMSE là bé nhất trong các mô hình có các biến đầu vào khác nhau. Nói khác mô hình có đủ ba biến đầu vào sẽ cho dự đoán AGB cây rừng khộp tốt nhất.



Hình 5.7. Đồ thị các mô hình AGB lựa chọn: dự đoán với quan sát (cột trái) và sai số với dự đoán (cột phải) sử dụng toàn bộ dữ liệu 222 cây mẫu. (a) M1: $AGB = a \times DBH^b$, (b) M2: $AGB = a \times DBH^b \times H^c$, (c) M3: $AGB = a \times DBH^b \times WD^c$, (d) M4: $AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$

5.2.3 Lựa chọn mô hình sinh khối AGB cây rừng khộp theo vùng sinh thái hay chung cho vùng Đông Nam Á

Phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo được áp dụng để so sánh mô hình AGB rừng khộp ở Việt Nam với các mô hình của Basuki et al. (2009) lập cho Indonesia.

Các mô hình AGB chung các loài rừng khộp của Basuki et al. (2009) cho Indonesia:

$$\text{Basuki et al. I (2009): } AGB = \exp(-1.201 + 2.196 \times \log(DBH)) \quad (5.6)$$

$$\text{Basuki et al. II (2009): } AGB = \exp(-0.744 + 2.188 \times \log(DBH) + 0.832 \times \log(WD)) \quad (5.7)$$

Với $\log(\cdot)$ là log tự nhiên.

Với 70% dữ liệu dùng để lập bốn mô hình lựa chọn (M1-M4) và 30% dữ liệu dùng đánh giá sai số của mô hình được lập ở Việt Nam, đồng thời xác định sai số của hai mô hình ở Indonesia; tiến trình được lập lại 200 lần và lấy trung bình các sai số (Huy et al., 2016c).

Codes để thiết lập và thẩm định chéo các mô hình AGB rừng khộp so với vùng Đông Nam Á: 70% dữ liệu lập mô hình, 30% đánh giá sai số, lập lại 200 lần, mô hình $AGB = a \cdot DBH^b$ so với mô hình Busuki et al. I (2009).

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for Dip/Data Dipterocarp
Forest National")
# Import dataset
t <- read.table("t_all.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
library(cowplot)
summary(t$DBH)
length(t$AGB)
# Create DBH class variable
t$DBH_class <- ifelse(t$DBH < 15, "D1",
                    ifelse(t$DBH <= 30, "D2",
                          "D3"))
table(t$DBH_class)
# Validation for DBH Model:
bias_BasukiI_2009 = rep(0, 200)
RMSE_BasukiI_2009 = rep(0, 200)
MAPE_BasukiI_2009 = rep(0, 200)
bias_eq1 = rep(0, 200)
RMSE_eq1 = rep(0, 200)
MAPE_eq1 = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Split 70/30% for develop and validate: K Fold (Change t_va to n_va to validate all trees)
  t_va <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.3), ]
  t_eq <- t[!t$ID %in% t_va$ID, ]
  # Creat subtable for three DBH classes of n_va dataset: Select one by one to get validation for
  each DBH class
  n_va <- t_va[which(t_va$DBH_class=="D1"),]
  n_va <- t_va[which(t_va$DBH_class=="D2"),]
  n_va <- t_va[which(t_va$DBH_class=="D3"),]
  # M1 fit:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
}
```

```

start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
    start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
  # Prediction of M1 and others:
n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  BasukiI_2009 = exp(-1.201 + 2.196*log(n_va$DBH))
# All Indicators of cross validation:
bias_BasukiI_2009[i] <- 100*mean((n_va$AGB - BasukiI_2009)/n_va$AGB)
RMSE_BasukiI_2009[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - BasukiI_2009)/n_va$AGB)^2))
MAPE_BasukiI_2009[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - BasukiI_2009)/n_va$AGB)
  bias_eq1[i] <- 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE_eq1[i] <- 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE_eq1[i] <- 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# bias, RMSE, MAPE% histogram
mean(bias_BasukiI_2009)
mean(RMSE_BasukiI_2009)
mean(MAPE_BasukiI_2009)
hist(bias_BasukiI_2009)
hist(RMSE_BasukiI_2009)
hist(MAPE_BasukiI_2009)
  mean(bias_eq1)
mean(RMSE_eq1)
mean(MAPE_eq1)
hist(bias_eq1)
hist(RMSE_eq1)
hist(MAPE_eq1)
# The end

```

Kết quả trình bày ở Bảng 5.9 với sai số được tính theo ba cấp kính và toàn bộ để xem sai số mô hình phân bố ở cấp kính nào. Xét sai số tương đối MAPE cho thấy, đối với bốn mô hình lựa chọn (M1-M4) MAPE biến động từ 24-29%, trong khi đó hai mô hình của Basuki et al. (2009) áp dụng vào Việt Nam sẽ có MAPE biến động từ 112-121%. Như vậy có thể nói không thể áp dụng các mô hình AGB cây rừng khộp chung cho vùng Đông Nam Á.

Bảng 5.9. Kết quả thẩm chéo xác định sai số của các mô hình AGB lựa chọn cho rừng khộp Việt Nam và so với các mô hình ở Indonesia của Basuki et al. (2009)

Biến đầu vào	Mô hình	Cấp DBH (cm)	Bias %	RMSE%	MAPE
DBH		< 15	-165.2	225.4	165.2
		15 - 30	-77.5	107.5	77.5
		> 30	-23.7	44.4	31.6
		Tất cả	-111.1	171.5	112.1
M1		< 15	-12.2	51.2	31.6
		15 - 30	-15.2	50.9	28.1

Biến đầu vào	Mô hình	Cấp DBH (cm)	Bias %	RMSE%	MAPE
		> 30	-6.3	22.7	30.6
		Tất cả	-12.5	53.2	29.2
DBH, H	M2	< 15	-10.7	49.5	30.9
		15 - 30	-12.6	46.1	26.0
		> 30	-8.9	31.7	21.7
		Tất cả	-11.0	46.5	27.3
		DBH, WD	Basuki et al. II (2009)	< 15	-162.9	212.0	162.9
15 - 30	-100.9	128.6		100.9	
> 30	-36.3	63.3		41.7	
Tất cả	-120.8	167.6		121.6	
	M3	< 15		-8.6	49.0	28.0
		15 - 30	-16.7	49.7	28.2
		> 30	-2.8	35.6	24.6
		Tất cả	-10.8	48.7	27.1
DBH, H, WD		M4	< 15	-7.0	40.0	26.1
	15 - 30		-13.6	40.5	23.9
	> 30		-5.7	38.6	25.6
	Tất cả		-7.8	40.1	24.0

Ghi chú: 70% dữ liệu dùng để lập bốn mô hình lựa chọn (M1-M4) và các sai số được xác định từ 30% dữ liệu ngẫu nhiên và tính trung bình từ lặp lại 200 lần.

Hình 5.8 cho thấy các mô hình ở Indonesia khi áp dụng vào dữ liệu Việt Nam có xu hướng dự báo AGB cao hơn thực tế nhiều.

Codes để vẽ đồ thị mô hình lựa chọn M1 và M3 với các mô hình của Busuki et al. (2009) so với 30% dữ liệu đánh giá ngẫu nhiên:

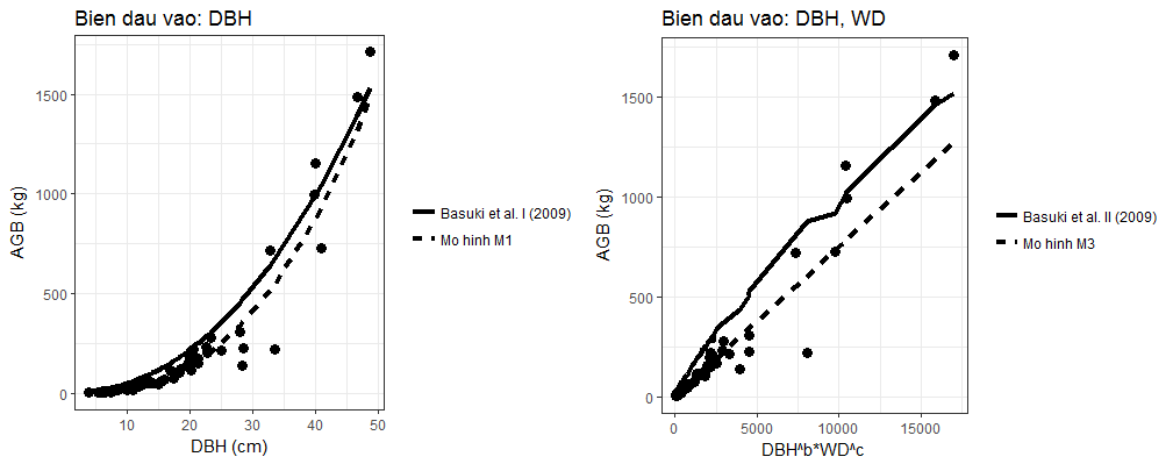
```
# Prediction for all Models based on dataset of validation (30% randomly splitting)
# Split 70/30% for develop and validate:
n_va <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.3), ]
t_eq <- t[!t$ID %in% n_va$ID, ]
n_va$BasukiI_2009 = exp(-1.201 + 2.196*log(n_va$DBH))
n_va$BasukiII_2009 = exp(-0.744 + 2.188*log(n_va$DBH) + 0.832*log(n_va$WD))
# M1 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
                start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
n_va$M1 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))

# M3 fit:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH)+log(WD), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b","c")
```

```

start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*DBH^b*WD^c, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b+c~1,
  start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))
n_va$M3 <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
summary(Max_like)
library(cowplot)
# Models with DBH variable only:
p1 <- ggplot(n_va)
p1 <- p1 + geom_point(pch=19, cex=3, aes(x=DBH, y=AGB))
p1 <- p1 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH, y=n_va$BasukiI_2009, linetype = "Basuki et al. I (2009)"))
p1 <- p1 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH, y=n_va$M1, linetype="Mo hình M1"))
p1 <- p1 + xlab("DBH (cm)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1 <- p1 + labs(title = "Bien dau vao: DBH")
p1
# Model with DBH + WD variables:
p2 <- ggplot(n_va)
p2 <- p2 + geom_point(pch=19, cex = 3, aes(x=DBH^2.6*WD^0.7, y=AGB))
p2 <- p2 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH^2.6*WD^0.7, y=n_va$M3, linetype="Mo hình M3"))
p2 <- p2 + geom_line(cex=1.5, aes(x=DBH^2.6*WD^0.7, y=n_va$BasukiII_2009, linetype="Basuki et al. II (2009)"))
p2 = p2 + xlab("DBH^b*WD^c") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p2 <- p2 + theme(legend.title=element_blank())
p2 <- p2 + labs(title = "Bien dau vao: DBH, WD")
p2
plot_grid(p1, p2, ncol=2)
# The end

```



Hình 5.8. Mô hình M1 và M3 và các mô hình của Busuki et al. (2009) theo biến đầu vào so với 30% dữ liệu ngẫu nhiên thảm định chéo

5.2.4 Nhận xét

Rừng khộp là một loại rừng đặc thù bị chi phối bởi họ Dầu và có điều kiện hoàn cảnh khác biệt với các loại rừng khác. Do đó, việc áp dụng các phương trình pantropic cho rừng khộp phải được đánh giá cẩn thận. Kết quả đánh giá này cho thấy ngay cùng kiểu rừng khộp, nhưng mô hình ở vùng sinh thái khác nhau cũng có sự sai biệt rõ rệt.

Sự khác biệt đáng kể giữa các mô hình ở hai vùng một phần có thể được giải thích bởi các loài khác nhau được sử dụng trong các nghiên cứu. Không có sự trùng hợp giữa 26 loài được sử dụng trong việc phát triển phương trình ở Việt Nam và của Basuki et al. (2009), ở Indonesia cũng với là 26 loài, mặc dù thực tế rằng chúng bao gồm một số các họ và chi chính như *Dipterocarpus* và *Shorea*. Phát hiện này là phù hợp với nhận xét của Basuki et al. (2009), Nelson et al. (1999) và Cairns et al. (2003), trong đó chỉ ra rằng các phương trình sinh khối cụ thể cho từng vùng sinh thái sẽ cải thiện độ chính xác của ước lượng sinh khối (Temesgen et al., 2015).

Tất cả các biến có đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao (H), và mật độ gỗ (WD) bị ảnh hưởng sinh khối trên mặt đất (AGB) rừng khộp. Tăng số lượng các biến số đầu vào từ một đến ba làm giảm sai số của các ước tính. Tuy nhiên, trên quan điểm ứng dụng, một mô hình đơn giản có thể được ưa thích vì dễ áp dụng và giảm chi phí. Tuy nhiên như đã đánh giá, đối với rừng nhiệt đới với một số loài cây gỗ lớn, sử dụng mô hình chung loài thì cần nhiều biến số đầu để cải thiện tính chính xác của dự đoán AGB.

5.3 Hệ thống mô hình và sai số ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh ở các vùng sinh thái

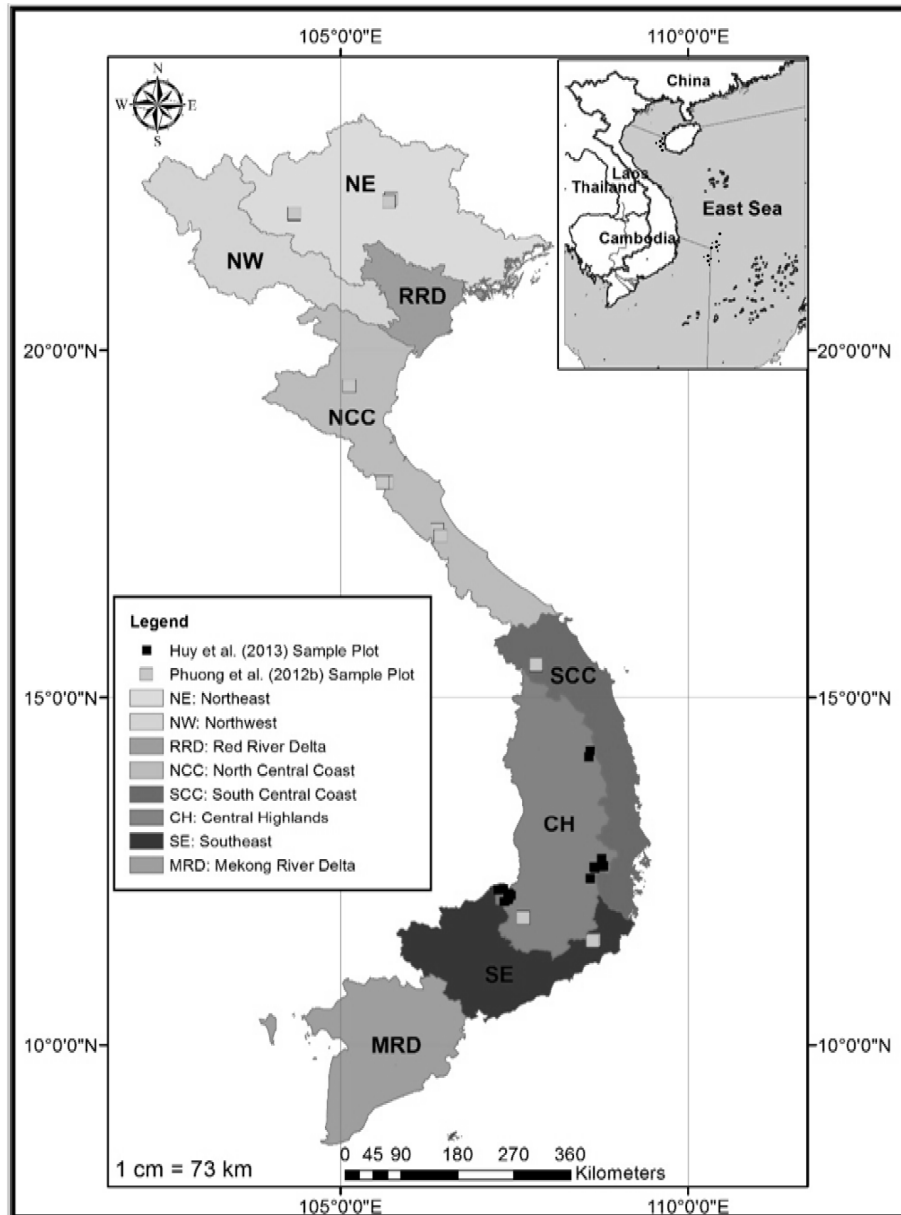
Do tính chất đa dạng của rừng nhiệt đới, việc phát triển của các phương trình sinh khối theo loài cụ thể là không thực tế và các nhà nghiên cứu tập trung vào các mô hình đa loài (Brown et al, 1989, 1992, 1997, 2001; Ketterings et al., 2001; Basuki et al, 2009; Chave et al 2005, 2014). Tuy nhiên, mô hình chung cho rừng nhiệt đới (pantropic) có sẵn thường không phân biệt theo các loại rừng hoặc vùng sinh thái, nó có thể cung cấp tham khảo có giá trị cho các vùng nhiệt đới nhưng có thể bị thiên lệch trong trường hợp một hệ sinh thái cụ thể, chẳng hạn như rừng lá rộng thường xanh (EBLF) ở Việt Nam (Jara et al., 2015). Do đó, các mô hình sinh khối khi phát triển cần xem xét sự khác biệt ở từng kiểu rừng và vùng sinh thái là cần thiết (Temesgen et al. 2015).

Chỉ có một vài phương trình tương quan sinh khối đã được phát triển tại Việt Nam trước khi thực hiện chương trình UN-REDD (UN-REDD, 2011). Tuy nhiên, như một phần trong nỗ lực của một nước tham gia và chuẩn bị cho chương trình UN-REDD, mô hình sinh khối đang được phát triển cho các loại rừng chính và các vùng sinh thái của Việt Nam (Võ Đại Hải và cộng sự, 2012; Sola et al., 2014a, b; et Huy al., 2016a,b; Kralicek et al., 2017).

Trong phần này, tiếp tục giới thiệu kết quả phân tích các dữ liệu để tăng độ tin cậy của các ước tính sinh khối cho rừng lá rộng thường xanh bằng cách xem xét các tác động của vùng sinh thái lên AGB, và đánh giá độ tin cậy và độ chính xác của mô hình được lựa chọn theo phương pháp thẩm định chéo. Năm vùng sinh thái bao gồm Đông Bắc (NE), Duyên hải Bắc Trung Bộ (NCC), Tây Nguyên (CH), Duyên hải Nam Trung Bộ (SCC) và Đông Nam Bộ (SE) đại diện cho phân bố EBLF được khảo sát như là đại diện cho sự ảnh hưởng của các yếu tố sinh thái như khí hậu, đất đai đến AGB.

5.3.1 Vùng sinh thái và số liệu thu thập trên rừng lá rộng thường xanh

Tổng cộng có 14 ô mẫu 1 ha và 26 ô mẫu 0.2 ha trên rừng lá rộng thường xanh được thu thập số liệu và cây mẫu ở năm vùng sinh thái (Hình 5.9). Đây là các vùng sinh thái nằm trong tám vùng sinh thái của Việt Nam, việc phân chia vùng sinh thái dựa trên sự biến đổi môi trường đối với đất đai, khí hậu và độ cao (Phuong and Linh, 2011; Sola et al, 2014).



Hình 5.9. Các vùng sinh thái và phân bố ô mẫu ở rừng lá rộng thường xanh ở năm vùng sinh thái (CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ, SE: Đông Nam). (Huy et al. 2016a)

Các đặc điểm sinh thái, khí hậu và lâm phần của rừng lá rộng thường xanh thu thập số liệu ô và cây mẫu sinh khối trình bày ở Bảng 5.10.

Bảng 5.10. Đặc điểm sinh thái và lâm phần thu thập số liệu cây mẫu rừng lá rộng thường xanh

Vùng sinh thái	Độ cao (m)	Độ dốc	Lượng mưa (mm/năm)	Số tháng khô	Nhiệt độ trung bình năm	Loại đất trên đá	Mật độ (c/ha)	BA (m ² /ha)
CH	377 – 1068	0 – 36	2100 – 2500	3	22.2 – 25.0	S	370 – 3300	9.2 – 48.9
NCC	197 – 430	0 – 28	1418 – 2262	3	21.9 – 24.8	S, C	476 – 1312	10.1 – 39.7
NE	580 – 750	28 – 32	1678 – 1908	5	16.9 – 21.0	C, I	418 – 999	17.8 – 25.5
SCC	574 – 624	10 – 40	2252	3	23.5	C	1076 – 1267	34.5 – 48.3
SE	320 – 340	15	1055 - 1068	5	24.2 - 24.5	S	791 – 924	37.8 – 48.3

Ghi chú: CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ; NE: Đông Nam; SCC: Nam Trung Bộ; SE: Đông Nam. Loại đất trên đá: S: Sedimentary rock, C: Crystalline schist, I: Igneous rock.

Nguồn: Huy et al., 2016a; Hijmans et al., 2005; Fischer et al., 2008.

Có 968 cây mẫu (dữ liệu 3) được thu thập với DBH biến động từ 4.7 đến 87.7cm và chiều cao từ 3.9 đến 41.4m. Bảng 5.11 cho thấy số cây mẫu theo vùng sinh thái và Bảng 5.12 là tóm tắt thông tin các biến số của bộ cây mẫu.

Bảng 5.11. Số cây mẫu theo vùng sinh thái và họ thực vật rừng lá rộng thường xanh

Họ thực vật	Vùng sinh thái					Tổng
	CH	NCC	NE	SCC	SE	
Dipterocarpaceae	3	29	19	7	27	85
Euphorbiaceae	10	32	15	4		61
Fagaceae	29	25	24	7		85
Lauraceae	21	25	30	3		79
Leguminosae	1	34	19		19	73
Meliaceae	12	6	6	6		30
Myrtaceae	27	11	7	8	4	57
Ulmaceae	5	15	8	4		
Others	114	134	87	71	60	466
Tổng	222	311	215	110	110	968

Ghi chú: CH: Central Highland; NCC: North Central Coastal; NE: North East; SCC: South Central Coastal; SE: South East.

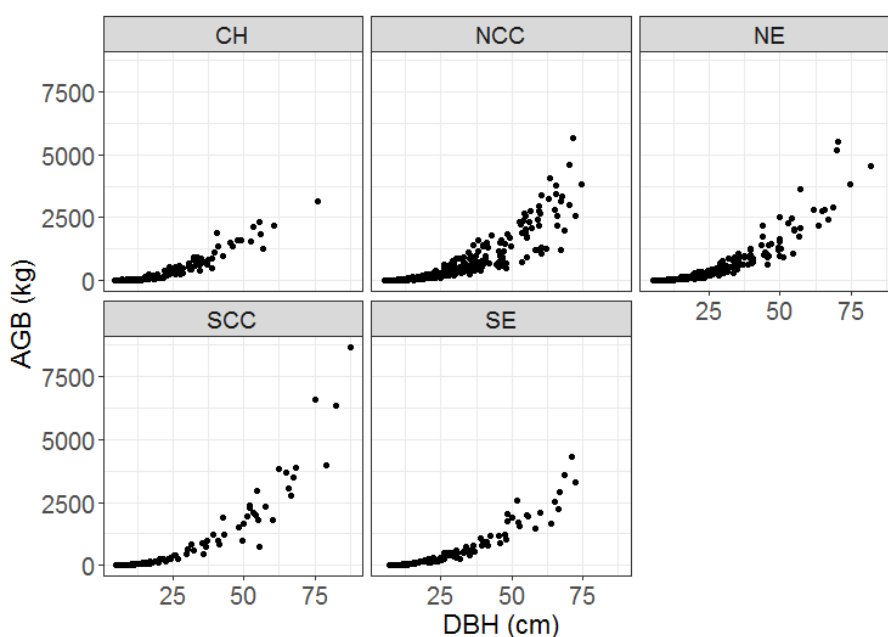
Huy et al. (2016a).

Bảng 5.12. Tóm tắt thông tin biến số của cây mẫu rừng lá rộng thường xanh (n = 968)

Tóm tắt	DBH (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	AGB (kg)
Nhỏ nhất	4.7	3.9	0.165	2.9
Trung bình	25.0	17.4	0.547	553.7
Lớn nhất	87.7	41.4	0.964	8,633.0
Sai tiêu chuẩn	17.2	7.2	0.139	917.5

Huy et al. (2016a)

Hình 5.10 cho thấy xu thế đường cong AGB theo DBH có khả năng có sự khác biệt ở một số vùng sinh thái, do vậy, khảo sát sự ảnh hưởng của vùng sinh thái lên mô hình ước tính AGB của rừng lá rộng thường xanh là cần thiết.



Hình 5.10. Đám mây điểm AGB theo DBH rừng lá rộng thường xanh ở năm vùng sinh thái (CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ, SE: Đông Nam).

Huy et al. (2016a)

Các mô hình ước tính AGB cho rừng lá rộng thường xanh có xét ảnh hưởng của vùng sinh thái được thực hiện theo nhóm biến số đầu vào khác nhau. Phương pháp ước lượng mô hình là phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số và có xét ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) của các vùng sinh thái lên các tham số của mô hình. Sử dụng chương trình nlme (None-Linear Mixed Effect) chạy trong phần mềm mã nguồn mở R để lập mô hình. Các mô hình được thẩm định chéo theo phương pháp Monte Carlo với 80% dữ liệu chọn ngẫu nhiên để lập mô hình và 20% dữ liệu còn lại dùng đánh giá sai số, lặp lại 200 lần và tính trung bình các chỉ tiêu thống kê và sai số từ kết quả 200 lần thẩm định. Sau cùng mô hình được ước lượng các tham số với toàn bộ dữ liệu (Temesgen et al. 2014, Huy et al. 2016a,b,c).

5.3.2 Mô hình $AGB = f(DBH)$ và ảnh hưởng vùng sinh thái

Dạng mô hình mũ $AGB = a \times DBH^b$ được sử dụng để phát triển một mô hình với một biến số độc lập là đường kính (DBH); đồng thời thử nghiệm xét ảnh hưởng của vùng sinh thái lên tham số của mô hình. Kết quả các chỉ tiêu thống kê và sai số thẩm định chéo trình bày trong Bảng 5.13.

Bảng 5.13. So sánh và thẩm định chéo mô hình $AGB = f(DBH)$ có hay không ảnh hưởng vùng sinh thái

Dạng mô hình	Vùng sinh thái ảnh hưởng	Biến trọng số (Weight variable)	AIC	R^2_{adj}	RMSE %	Bias %	MAPE
$AGB = a \times DBH^b$	Không xét (*)	$1/DBH^k$	8425	0.886	42.1	-12.2	30.6
	Vùng sinh thái		8433	0.885	41.3	-11.8	30.1

(*) Mô hình lựa chọn.

Huy et al. (2016a)

Kết quả cho thấy, với mô hình một biến DBH thì vùng sinh thái ảnh hưởng không rõ, các chỉ tiêu thống kê và các sai số không được cải thiện khi so với mô hình không xét vùng sinh thái và các tham số không thay đổi đáng kể ở các vùng sinh thái khác nhau (Bảng 5.14).

Trên cơ sở đó, đối với mô hình một biến DBH, các tham số được ước lượng chung không phân biệt vùng sinh thái ở Bảng 5.14.

Bảng 5.14. Tham số sau cùng, sai số tiêu chuẩn trên cơ sở toàn bộ dữ liệu cho mô hình $AGB = a \times DBH^b$

Vùng sinh thái	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số		N cây
	a	b	a	b	
Không xét	0.128430	2.409074	0.005878	0.014967	968

Huy et al. (2016a)

5.3.3 Mô hình $AGB = f(DBH, H)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái

Hai mô hình với hai biến số DBH và H là $AGB = a \times DBH^b H^c$ và $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ đã được kiểm tra. Kết quả cho thấy các chỉ tiêu thống kê và sai số tốt hơn ở mô hình tổ hợp biến $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ (Bảng 5.15).

Mô hình có xét ảnh hưởng vùng sinh thái đã cải thiện rõ rệt AIC (tuy các sai số Bias, RMSE và MAPE không thay đổi), hay nói cách khác, thay đổi tham số mô hình lựa chọn theo vùng sinh thái nâng cao độ tin cậy của ước tính AGB ở mô hình tổ hợp biến $DBH^2 H$.

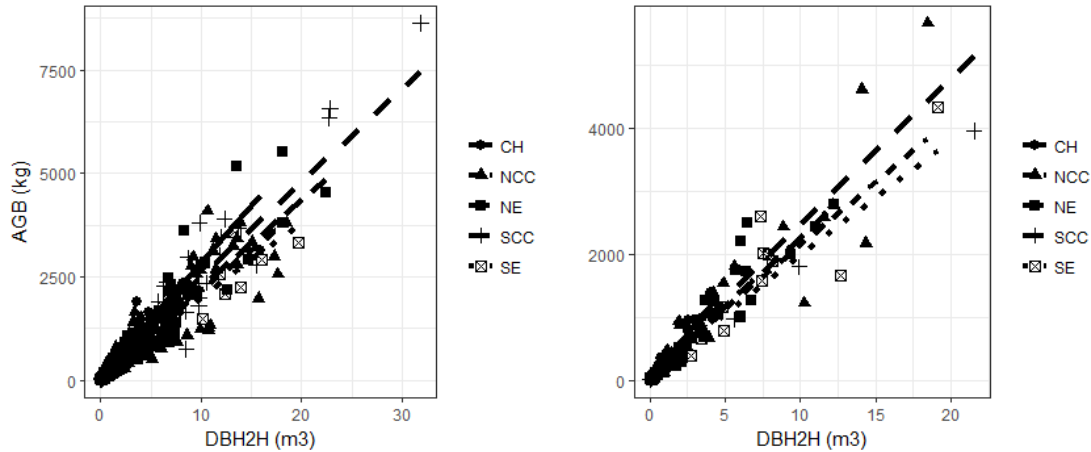
Bảng 5.15. So sánh và thẩm định chéo mô hình $AGB = f(DBH, H)$ có hay không ảnh hưởng vùng sinh thái

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	Biến trọng số (Weight variable)	AIC	R^2_{adj}	RMSE %	Bias %	MAPE
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Không xét (*)	$1/DBH^k$	8342	0.896	36.6	-8.6	27.4
$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Không xét	$1/DBH^k$	8344	0.897	37.8	-10.6	28.0
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Vùng sinh thái (*)	$1/(DBH^2 H)^k$	8311	0.903	37.6	-10.4	27.4

(*) Mô hình lựa chọn.

Huy et al. (2016a)

Hình 5.11 chỉ ra giá trị dự đoán AGB = f(DBH, H) theo vùng sinh thái so với dữ liệu lập và thẩm định mô hình. Có sự thay đổi đáng kể chiều hướng của các mô hình khi vùng sinh thái thay đổi.



Hình 5.11. Mô hình $AGB = a \times DBH^2 H^b$ theo vùng sinh thái. Trái: AGB dự đoán qua mô hình so với 80% dữ liệu ngẫu nhiên lập mô hình. Phải: AGB dự đoán so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định mô hình.
CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ, SE: Đông Nam.
Huy et al. (2016a)

Các tham số của mô hình có hay không có ảnh hưởng vùng sinh thái cuối cùng được ước tính theo codes nlme với toàn bộ dữ liệu thể hiện trong Bảng 5.16.

Bảng 5.16. Tham số và sai số tiêu chuẩn của tham số sau cùng của mô hình $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ có hay không có ảnh hưởng vùng sinh thái

Nhân tố ảnh hưởng (Random Effect)	Vùng sinh thái	Tham số		Sai số tiêu chuẩn		N cây
		a	b	a	b	
<i>Không xét</i>	Chung	263.9977	0.93645	2.778249	0.005567	968
	CH	304.1668	0.95102	1.583351	0.005603	222
	NCC	253.2449	0.95102	1.337745	0.005603	311
<i>Vùng sinh thái</i>	NE	256.7133	0.95102	1.608920	0.005603	215
	SCC	272.0797	0.95102	2.249351	0.005603	110
	SE	236.5860	0.95102	2.249351	0.005603	110

Huy et al. (2016a)

5.3.4 Model $AGB = f(DBH, WD)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái

Hai mô hình hai biến DBH và WD là $AGB = a \times DBH^b WD$ và $AGB = a \times DBH^b WD^c$ đã được thử nghiệm. Hai mô hình này có các chỉ tiêu thống kê và sai số thẩm định chéo là khá tương đồng, vì vậy mô hình $AGB = a \times DBH^b WD$ được lựa chọn vì ít tham số hơn (Bảng 5.17).

Như kết quả cho thấy, xét ảnh hưởng của vùng sinh thái đã nâng cao độ tin cậy của mô hình ước tính AGB với AIC giảm rõ rệt cho dù R^2 , các sai số không thay đổi đáng kể.

Bảng 5.17. So sánh và thẩm định chéo mô hình $AGB = f(DBH, WD)$ có hay không xét ảnh hưởng của vùng sinh thái

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	Biến trọng số (Weight variable)	AIC	R^2_{adj}	RMSE %	Bias %	MAPE
$AGB = a \times DBH^b \times WD$	Không xét (*)	$1/DBH^k$	8122	0.923	30.0	-4.5	21.4
$AGB = a \times DBH^b \times WD^c$	Không xét		8094	0.926	31.3	-7.2	22.3
$AGB = a \times DBH^b \times WD$	Vùng sinh thái (*)		8087	0.927	29.9	-4.8	21.0

(*) Mô hình lựa chọn.

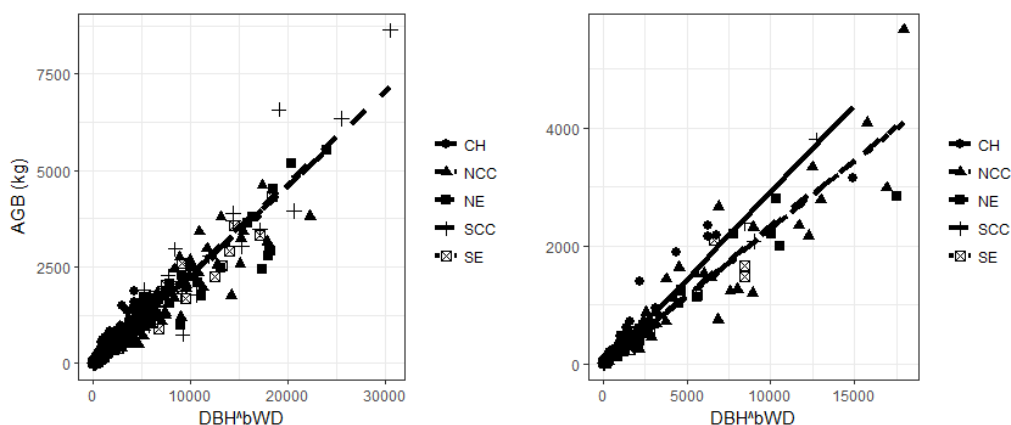
Huy et al. (2016a)

Tham số sau cùng của mô hình được ước lượng trên cơ sở toàn bộ dữ liệu (Bảng 5.18), trong đó tham số thay đổi rõ rệt ở các vùng sinh thái khác nhau, điều này còn biểu hiện trên đồ thị dự đoán AGB theo giá trị quan sát ở Hình 5.12.

Bảng 5.18. Các tham số, sai số tiêu chuẩn của tham số sau cùng trên cơ sở toàn bộ dữ liệu của mô hình $AGB = a \times DBH^b \times WD$ có hay không ảnh hưởng vùng sinh thái

Nhân tố ảnh hưởng (Random Effect)	Vùng sinh thái	Tham số		Sai số tiêu chuẩn Standard Error		N cây
		a	b	a	b	
Không xét	Chung	0.248329	2.386024	0.008997	0.011856	968
	CH	0.229594	2.461256	0.008331	0.001722	222
	NCC	0.229594	2.401649	0.008331	0.001455	311
	NE	0.229594	2.400294	0.008331	0.001750	215
	SCC	0.229594	2.409581	0.008331	0.002446	110
	SE	0.229594	2.391410	0.008331	0.002446	110

Huy et al. (2016a)



Hình 5.12. Mô hình $AGB = a \times DBH^b \times WD$ theo vùng sinh thái. Trái: AGB dự đoán qua mô hình so với 80% dữ liệu ngẫu nhiên lập mô hình. Phải: AGB dự đoán so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định mô hình. CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ, SE: Đông Nam).

Huy et al. (2016a)

5.3.5 Model $AGB = f(DBH, H, WD)$ và ảnh hưởng của vùng sinh thái

Các mô hình ba biến số DBH, H và WD để dự đoán AGB đã được thử nghiệm có hay không có ảnh hưởng của vùng sinh thái. Hai dạng mô hình $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$ và $AGB = a \times DBH^bH^cWD^d$ đã được thử nghiệm.

Dưới đây là minh họa codes để lập và thẩm định chéo mô hình $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$ có xét ảnh hưởng vùng sinh thái:

Codes thiết lập và thẩm định chéo mô hình $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$ xét ảnh hưởng vùng sinh thái (nlme) theo Monte Carlo: 80% dữ liệu ngẫu nhiên lập mô hình, 20% dữ liệu đánh giá sai số.

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("I:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for National/Data for EBLF")
# Import country data
t <- read.table("t_all.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Each time: Monte Carlo 80 for development of equation /20% for validation
  t_eq <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.8), ]
  n_va <- t[!t$ID %in% t_eq$ID, ]
  # Develop Model:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1] <- exp(start[1])
  Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH2HWD^b, data=t_eq, fixed=a+b~1, random=b~1,
    start=start, groups=~Region, weights=varPower(form=~DBH2HWD))

  # Estimated values and Predicted:
  k <- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
  t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
```

```

t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH2HWD^k
# calcul of AIC, R2
AIC[i] <- AIC(Max_like2)
R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like2.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
R2adj[i] <- R2.adjusted
# Prediction of the model for validation
n_va$Pred <- predict(Max_like2, newdata=n_va)
# Calcul of RMSE, Bias, MAPE% each time:
Bias[i] = 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
i
# Mean of AIC, R2 adj.:
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram for validation, comparison:
mean(RMSE)
mean(Bias)
mean(MAPE)
hist(RMSE)
hist(Bias)
hist(MAPE)

# Output of Model
summary(Max_like2)
k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
k
# Parameters and random parameters
fixef(Max_like2)
ranef(Max_like2)
coef(summary(Max_like2))
coef((Max_like2))
# Standardized Sdi = ai / Si > Si = ai / Sdi > SEi = Si/sqrt(ni)
# Sdi for ai, bi: Sdi = ai, bi / Si
Sdi = ranef(Max_like2, standard= TRUE)
Sdi
# Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
Si = ranef(Max_like2)/Sdi
Si
# SE for ai, bi: SEi = Si / sqrt(ni)
SEi = Si/sqrt(table(t_eq$Region))
SEi
# Fitted and predicted values of the model

```

```

t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH2HWD^k
# Plots of Fitted values and Residuals
p1 <- ggplot(t_eq)
p1 <- ggplot(t_eq, aes(x=DBH2HWD, y=AGB, pch=Region_simple))
p1 <- p1 + geom_point(cex=2.5)
p1 <- p1 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=Max_like2.fit, linetype=Region_simple))
p1 <- p1 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p1 <- p1 + theme(legend.title=element_blank())
p1 <- p1 + labs(title = "")
p1
p2 <- ggplot(n_va)
p2 <- ggplot(n_va, aes(x=DBH2HWD, y=AGB, pch=Region_simple))
p2 <- p2 + geom_point(cex=2.5)
p2 <- p2 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2HWD, y=n_va$Pred, linetype=Region_simple))
p2 <- p2 + xlab("DBH2HWD (kg)") + ylab("") + theme_bw()
p2 <- p2 + theme(legend.title=element_blank())
p2 <- p2 + labs(title = "")
p2
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)

```

Kết quả thiết lập và thẩm định chéo mô hình $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$ xét ảnh hưởng vùng sinh thái.

```

> # Mean of AIC, R2 adj.:
> mean(AIC)
[1] 7989.489
> mean(R2adj)
[1] 0.9428261
>
> # Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram for validation,
comparison:
> mean(RMSE)
[1] 28.33964
> mean(Bias)
[1] -6.006286
> mean(MAPE)
[1] 19.70253
>
>
> hist(RMSE)
> hist(Bias)
> hist(MAPE)
>
> # Output of Model
> summary(Max_like2)
Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
Model: AGB ~ a * DBH2HWD^b
Data: t_eq
      AIC      BIC    logLik

```

```

7811.99 7835.248 -3900.995

Random effects:
Formula: b ~ 1 | Region
          b Residual
StdDev: 0.02279166 0.2002695

Variance function:
Structure: Power of variance covariate
Formula: ~DBH2HWD
Parameter estimates:
  power
0.9148318
Fixed effects: a + b ~ 1
  Value Std.Error DF t-value p-value
a 0.7181655 0.02110418 768 34.02954 0
b 0.9380758 0.01131035 768 82.93955 0
Correlation:
  a
b -0.407

Standardized Within-Group Residuals:
  Min      Q1      Med      Q3      Max
-3.8071566 -0.6128475 -0.1133008  0.4913005  4.8537518

Number of Observations: 774
Number of Groups: 5
> k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
> k
[1] 0.9148318
>
> # Parameters and random parameters
> fixef(Max_like2)
      a      b
0.7181655 0.9380758
> ranef(Max_like2)
              b
Central Highland      0.043669201
North Central Coastal -0.009869163
North East            -0.007444237
South Central Coastal -0.005203849
South East            -0.021151952
> coef(summary(Max_like2))
      Value Std.Error DF t-value p-value
a 0.7181655 0.02110418 768 34.02954 1.734182e-155
b 0.9380758 0.01131036 768 82.93955 0.000000e+00
> coef((Max_like2))
      a      b
Central Highland      0.7181655 0.9817450
North Central Coastal 0.7181655 0.9282066
North East            0.7181655 0.9306315
South Central Coastal 0.7181655 0.9328719
South East            0.7181655 0.9169238
>
> # Standardized sdi = ai / si > si = ai / sdi > SEi = si/sqrt(ni)
> # sdi for ai, bi: sdi = ai, bi / si
> sdi = ranef(Max_like2, standard= TRUE)

```



```

> Sdi
                                b
Central Highland      1.9160171
North Central Coastal -0.4330165
North East            -0.3266212
South Central Coastal -0.2283225
South East            -0.9280568
> # Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
> Si = ranef(Max_like2)/Sdi
> Si
                                b
Central Highland      0.02279166
North Central Coastal 0.02279166
North East            0.02279166
South Central Coastal 0.02279166
South East            0.02279166
> # SE for ai, bi: SEi = si / sqrt(ni)
> SEi = si/sqrt(table(t_eq$Region))
> SEi
                                b
Central Highland      0.001717986
North Central Coastal 0.001441471
North East            0.001698790
South Central Coastal 0.002472102
South East            0.002501709

```

Kết quả cho thấy, cho dù mô hình $AGB = a \times DBH^b H^c WD^d$ cho các giá trị thống kê (AIC và R^2) tốt hơn một ít (Bảng 5.19), nhưng mô hình có tổ hợp biến $DBH^2 HWD$ được lựa chọn vì ít số tham số hơn.

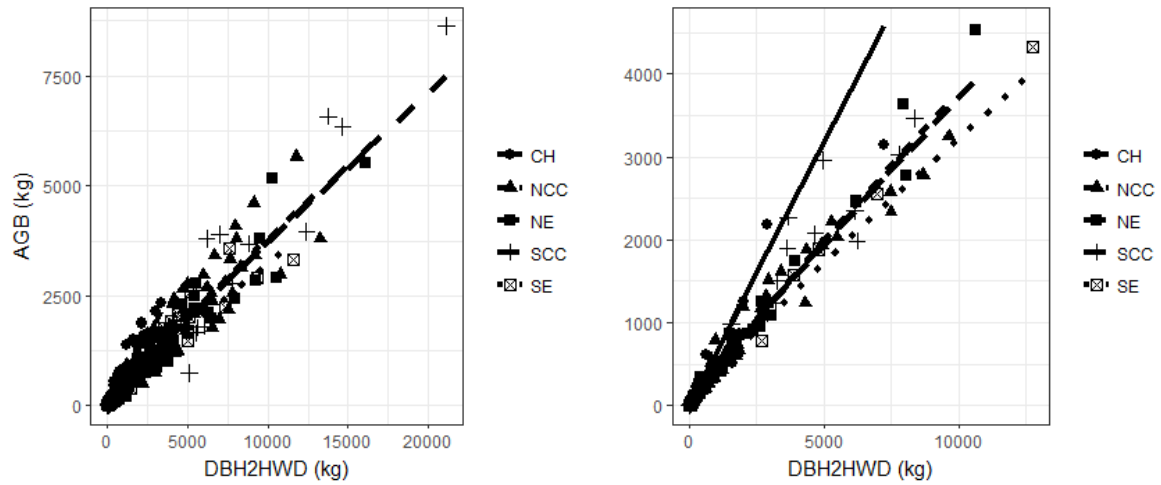
Khi xét đến ảnh hưởng của vùng sinh thái thì AIC được cải thiện một ít (Bảng 5.19). Tuy vậy, các tham số của nó cũng thay đổi rõ rệt khi vùng sinh thái thay đổi. Điều này cho thấy, khi mô hình có đủ ba biến số DBH, H và WD thì ảnh hưởng của vùng sinh thái giảm đi, nhưng vì nó thay đổi một ít (Hình 5.13), nên đề nghị sử dụng mô hình theo vùng sinh thái cho dù cải thiện độ tin cậy không nhiều. Cuối cùng ước lượng các tham số trên cơ sở toàn bộ dữ liệu của mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ có hay không ảnh hưởng vùng sinh thái trình bày ở Bảng 5.20.

Bảng 5.19. So sánh và thẩm định chéo mô hình $AGB = f(DBH, H, WD)$ có hay không có ảnh hưởng vùng sinh thái

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng	Biến trọng số Weight variable	AIC	$R^2_{adj.}$	RMSE %	Bias %	MAPE
Random effect							
$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	Không xét (*)	$1/DBH^k$	8046	0.935	26.7	-2.1	19.6
$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	Không xét	$1/DBH^k$	7984	0.937	27.5	-6.1	20.0
$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	Vùng sinh thái (*)	$1/(DBH^2 HWD)^k$	7987	0.943	28.0	-5.9	19.5

(*) Mô hình lựa chọn.

Huy et al. (2016a)



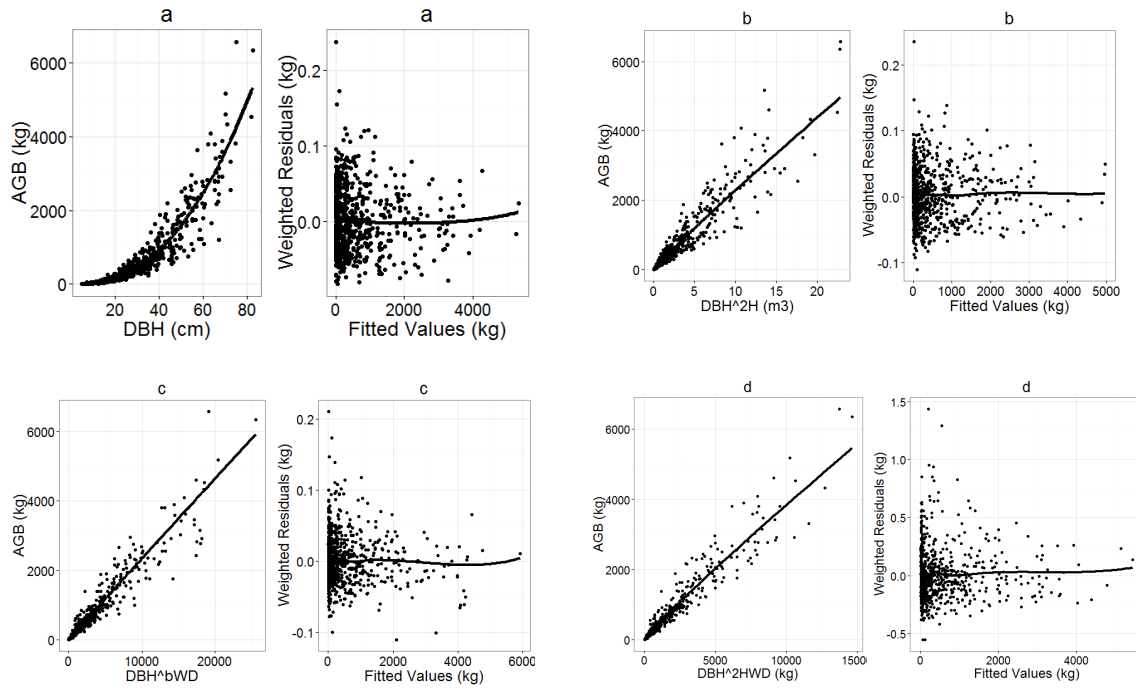
Hình 5.13. Mô hình $AGB = a \times DBH^2 HWD^b$ theo vùng sinh thái. Trái: AGB dự đoán qua mô hình so với 80% dữ liệu ngẫu nhiên lập mô hình. Phải: AGB dự đoán so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định mô hình. CH: Tây Nguyên, NCC: Bắc Trung Bộ, NE: Đông Bắc, SCC: Nam Trung Bộ, SE: Đông Nam. Huy et al. (2016a)

Bảng 5.20. Các tham số và sai số tiêu chuẩn của tham số sau cùng trên cơ sở toàn bộ dữ liệu của mô hình $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ có hay không ảnh hưởng vùng sinh thái

Nhân tố ảnh hưởng (Random Effect)	Vùng sinh thái	Tham số		Sai số tiêu chuẩn Standard Error		N cây
		a	b	a	b	
<i>Không xét</i>	Chung	0.806438	0.920321	0.024255	0.004930	968
	CH	0.798788	0.965553	0.003522	0.000806	222
	NCC	0.680529	0.938471	0.002975	0.000681	311
<i>Vùng sinh thái</i>	NE	0.680064	0.938364	0.003578	0.000819	215
	SCC	0.685211	0.939543	0.005003	0.001145	110
	SE	0.647261	0.930852	0.005003	0.001145	110

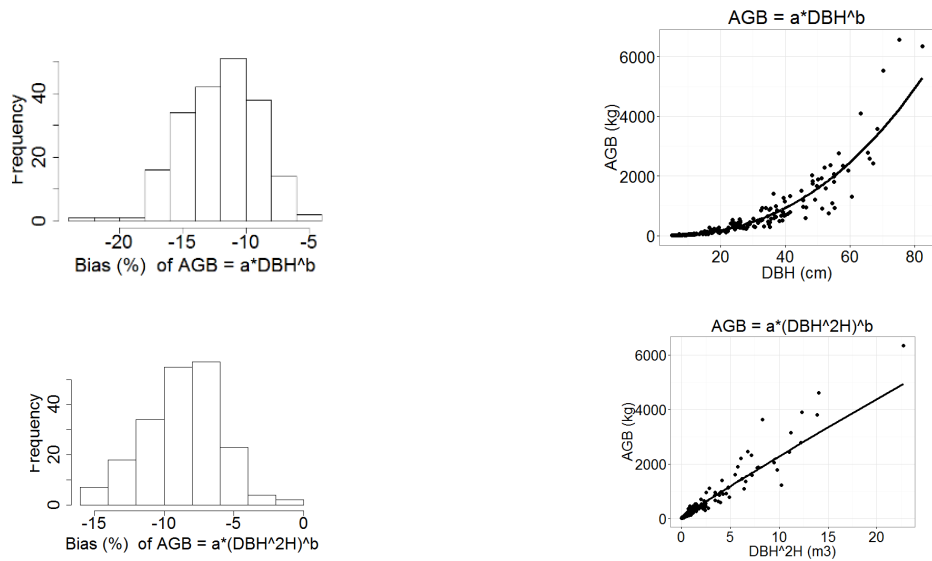
Huy et al. (2016a)

Hình 5.14 cho thấy giá trị dự đoán AGB và sai số có trọng số của các mô hình lựa chọn không xét ảnh hưởng vùng sinh thái. Số biến số tăng lên thì dự đoán càng bám sát quan sát và giảm biến động sai số.

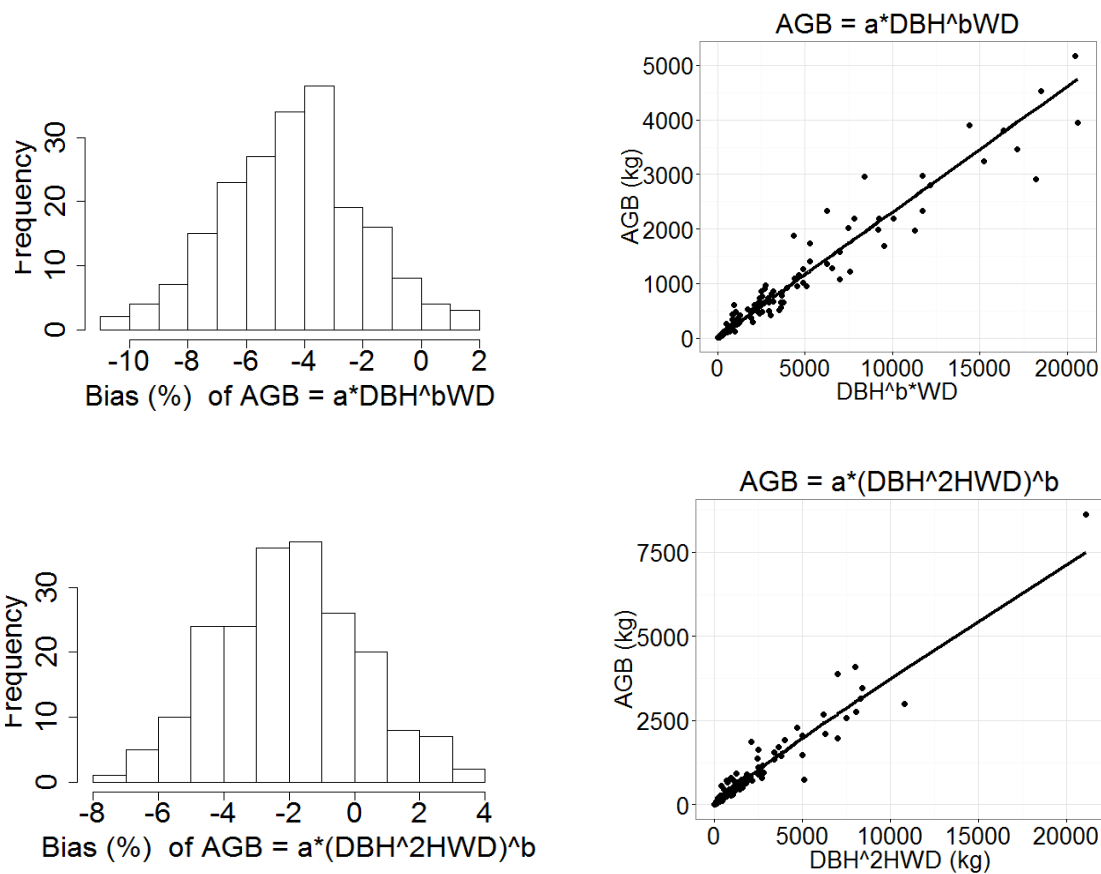


Hình 5.14. Đồ thị của các mô hình AGB không xét ảnh hưởng vùng sinh thái: Dự đoán và sai số có trọng số.
 a) $AGB = a \times DBH^b$, b) $AGB = a \times (DBH^2H)^b$, c) $AGB = a \times DBH^b \times WD$, và d) $AGB = a \times (DBH^2HWD)^b$.
 Huy et al. (2016a)

Hình 5.15 cho thấy với 200 lần lặp lại trong thẩm định chéo thì phân bố Bias tiệm cận chuẩn, chứng tỏ số lần lặp lại đã đủ lớn để xác định chính xác sai số của các mô hình lựa chọn để ước tính AGB. Đồng thời khi số biến số tăng thì ước tính AGB càng bám sát với giá trị quan sát ngẫu nhiên dùng để thẩm định mô hình.



Hình 5.15. Phân bố Bias % của 200 lần lặp của thẩm định chéo các mô hình (trái) và dự đoán AGB của các mô hình lựa chọn không có ảnh hưởng vùng sinh thái so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định chéo (phải). Huy et al. (2016a)



Hình 5.15 (tiếp). Phân bố Bias % của 200 lần lặp của thẩm định chéo các mô hình (trái) và dự đoán AGB của các mô hình lựa chọn không có ảnh hưởng vùng sinh thái so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định chéo (phải). *Huy et al. (2016a)*

5.3.6 Lựa chọn mô hình ước tính AGB theo biến đầu vào và vùng sinh thái

Đối với rừng lá rộng thường xanh, chiều cao cây thường chỉ ra năng suất (Vanclay, 1992), các vùng lập địa ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa chiều cao và đường kính, và do đó ảnh hưởng đến ước tính AGB. Ngoài ra, các biến WD có tiềm năng trở thành đại diện của các loài khác nhau đối với rừng nhiệt đới đa dạng về loài. Hầu hết các phương trình nhiệt đới ước tính AGB như Brown (1997), IPCC (2003), và Basuki et al. (2009) chỉ sử dụng một biến DBH.

Đối với mô hình không xét ảnh hưởng của nhân tố môi trường sinh thái như vùng sinh thái, nhận thấy rằng mô hình có một biến DBH có độ chính xác thấp nhất so với các mô hình có thêm biến H hoặc WD. Thêm biến H hoặc WD với mô hình DBH đã làm giảm sai số MAPE 3,2% hoặc 9,1%, tương ứng, khi cả hai H và WD đã được thêm vào các mô hình DBH, thì sai số MAPE giảm đến 11%; đây là một cải thiện rất có ý nghĩa trong nâng cao độ tin cậy của ước tính AGB. Kết quả cũng phát hiện ra rằng AIC của các mô hình đã được giảm xuống đáng kể khi WD tham gia so với H (Bảng 5.21), chỉ ra rằng WD là quan trọng hơn H trong giảm sai số ước tính AGB. Như kết quả đánh giá, đối với rừng lá rộng thường xanh, mô hình tốt nhất là $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$.

Bảng 5.21. Tổng hợp kết quả so sánh và thẩm định chéo các mô hình tốt nhất có hay không có ảnh hưởng vùng sinh thái với các biến đầu vào khác nhau

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng Random effect	Biến trọng số Weight variable	AIC	MAPE
$AGB = a \times DBH^b$	Không xét	$1/DBH^k$	8425	30.6
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Không xét	$1/DBH^k$	8342	27.4
$AGB = a \times DBH^b \times WD$	Không xét	$1/DBH^k$	8122	21.5
$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	Không xét	$1/DBH^k$	8046	19.6
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Vùng sinh thái	$1/(DBH^2 H)^k$	8311	27.4
$AGB = a \times DBH^b \times WD$	Vùng sinh thái	$1/DBH^k$	8087	21.0
$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	Vùng sinh thái	$1/(DBH^2 HWD)^k$	7987	19.5

Trích: Huy et al. (2016a)

Mô hình tốt nhất để ước tính AGB rừng lá rộng thường xanh là mô hình có ba biến DBH, H và WD dạng tổ hợp biến $(DBH^2 HWD)$ dạng là $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ với tham số được thay đổi theo các vùng sinh thái khác nhau. Mô hình này có AIC và sai số MAPE bé nhất (19.5%) trong tất cả các mô hình với biến số đầu vào khác nhau và có hay không có xét ảnh hưởng vùng sinh thái (Bảng 5.21).

Kết quả này cũng phù hợp với những phát hiện trong nghiên cứu của Ketterings et al. (2001) từ Sumatra, nơi các mô hình sinh khối theo vùng sinh thái đã có độ tin cậy tốt hơn mô hình chung vùng nhiệt đới (pantropic). Vì vậy, vùng sinh thái nên được công nhận là một yếu tố quan trọng trong việc ước tính AGB và cải thiện tính chính xác của các ước tính sinh khối rừng nhiệt đới, nơi có rất nhiều điều kiện lập địa khác nhau.

5.3.7 Nhận xét

Tổng quát, mô hình dạng $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$ với tham số thay đổi theo vùng sinh thái là mô hình tốt nhất cho ước tính AGB rừng lá rộng thường xanh.

Lựa chọn tốt nhất là mô hình có ba biến số $AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$. Nếu mô hình DBH có sự tham gia thêm hoặc H hoặc WD, thì WD sẽ cải thiện độ tin cậy của ước tính AGB hơn là biến số H.

Vùng sinh thái đã ảnh hưởng rõ rệt lên các mô hình $AGB=f(DBH, H)$, $AGB=f(DBH, WD)$ và $AGB=f(DBH, WD, H)$.

5.4 Áp dụng phương pháp SUR để ước tính đồng thời sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh và rừng khộp ở Tây Nguyên

5.4.1 Giới thiệu

Với sự gia tăng nhu cầu ước tính sinh khối để suy ra carbon và CO₂ tương đương của rừng, những nỗ lực đáng kể đã được thực hiện trong ước tính tổng số và thành phần sinh khối cây rừng. Phương trình sinh khối ban đầu là những phương trình đơn biến ước tính rời rạc tổng và thành phần

của sinh khối cây rừng theo đường kính ngang ngực (D) thông qua một mô hình được tuyến tính hóa theo hàm logarit. Parresol (2001) đã giới thiệu việc sử dụng “Seemingly Unrelated Regression” (SUR) (Mô hình thành phần không liên quan) để nắn chỉnh mô hình một cách đồng thời thành phần và tổng sinh khối cây rừng, nó đã trở thành một tiêu chuẩn cho việc phát triển các phương trình sinh khối vì nó đảm bảo sự bổ sung trong dự đoán sinh khối thành phần và tổng số. Ngoài ra việc sử dụng SUR theo phương pháp hồi quy bình phương tối thiểu đã cho phép ước lượng tham số hiệu quả trên cơ sở sai số của các thành phần trong mô hình (Poudel và Temesgen, 2016 dẫn theo Kralicek, Huy, et al., 2017).

Kể từ khi có công bố của Parresol (2001), SUR đã được sử dụng rộng rãi để (ví dụ như Lambert et al., 2005; Brandeis et al., 2006; Navar, 2009; Ritchie et al., 2013; Zhao et al., 2015; Poudel and Temesgen, 2016a). Hiện tại, Poudel và Temesgen (2016a, 2016b) đang sử dụng mô hình tuyến tính logarit đa biến để ước tính đồng thời các bộ phận sinh khối cây rừng dưới dạng mô hình đơn giản là log-log. Zhao et al. (2016) đã sử dụng tiếp cận này để lập mô hình dự đoán đồng thời sinh khối các bộ phận loài thông. Tuy vậy, mô hình ước tính đồng thời sinh khối cây rừng trên (AGB) và dưới mặt đất (BGB) rất ít tìm thấy. Nếu AGB và BGB được xem như là các thành phần của tổng sinh khối cây rừng (TB, kg), SUR có thể được sử dụng để thiết lập đồng thời hệ thống mô hình để ước tính TB.

Phương pháp phổ biến để ước tính AGB và BGB là sử dụng mô hình tuyến tính hóa logarit (Basuki et al., 2009; Brown, 1997; Chave et al., 2005; IPCC, 2003; Bảo Huy, 2013a; Huỳnh Nhân Trí, 2014) theo dạng hàm mũ (Chave et al., 2014; Kenzo et al., 2009a, 2009b) có hay không có trọng số. Các biến số sử dụng phổ biến là D, H và WD hoặc tổ hợp biến D^2H đại diện cho thể tích cây và D^2HWD đại diện có sinh khối cây rừng. Gần đây biến CA đã được đưa vào mô hình sinh khối vì giúp cải thiện độ tin cậy của ước tính AGB (Huy et al., 2016b; Dietz and Kuyah, 2011; Henry et al., 2010).

Rễ cây là một thành phần quan trọng của bể chứa carbon trong đất liền của thế giới, có tới một nửa số carbon trong đất rừng được đóng góp của hệ thống rễ (Vogt et al., 1996). Tuy nhiên, do chi phí cao trong thu thập dữ liệu rễ nên mô hình sinh khối được phát triển chủ yếu cho phần trên mặt đất. Do vậy, có nhu cầu trong thiết lập mô hình dự đoán BGB với các biến số cây rừng dễ đo đạc (Yuen et al, 2013; Ziegler et al., 2012). Điều này đặc biệt quan trọng đối với khu rừng nhiệt đới ở Đông Nam châu Á, vì hiện tại phần lớn trong số ít các nghiên cứu lập mô hình BGB chủ yếu thực hiện cho rừng nhiệt đới ở Nam và Trung Mỹ (Hertel et al., 2009 dẫn theo Kralicek, Huy, et al., 2017).

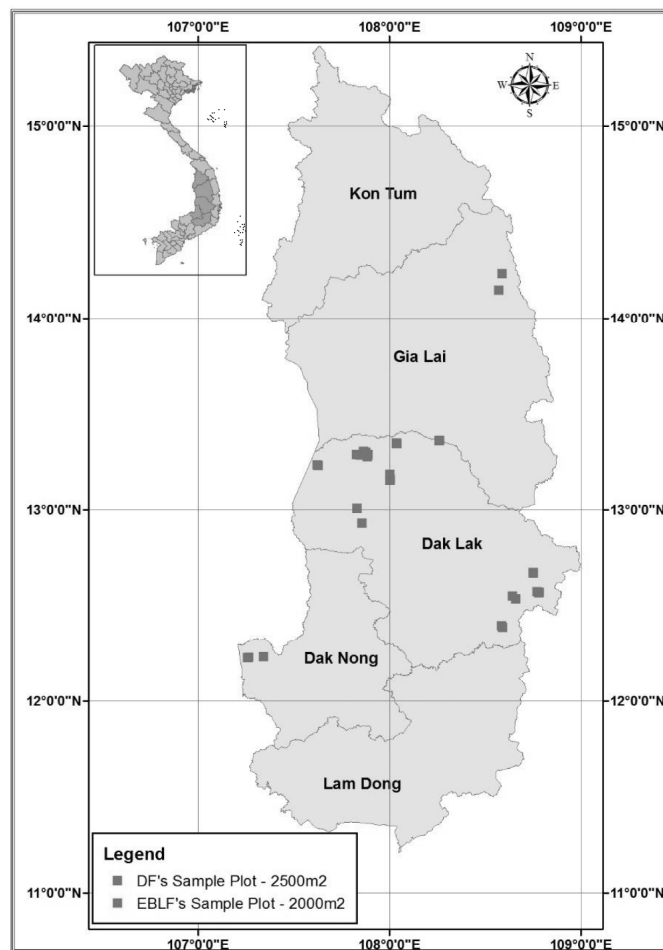
Trong phần này giới thiệu việc áp dụng phương pháp SUR để ước tính tổng sinh khối cây rừng (TB) trên cơ sở lập mô hình ước tính đồng thời AGB và BGB cho hai kiểu rừng lá rộng thường xanh và rừng khộp vùng Tây Nguyên, nhằm nâng cao độ tin cậy hơn cách lập mô hình ước tính riêng lẻ sinh khối của từng bộ phận cây rừng như đang thực hiện.

5.4.2 Vùng sinh thái và số liệu thu thập

Nghiên cứu này được thực hiện ở Tây Nguyên, một trong tám vùng sinh thái của Việt Nam, việc phân chia vùng sinh thái dựa trên sự biến đổi môi trường đối với đất đai, khí hậu và độ cao (Phuong and Linh, 2011; Sola et al, 2014). Thực hiện ở các loại rừng nhiệt đới chính của khu vực này: rừng khộp (DF) và rừng lá rộng thường xanh (EBLF). Các địa điểm nghiên cứu EBLF được

đặt tại các tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk và Đắk Nông, trong khi đó DF được đặt tại tỉnh Đắk Lắk (Hình 5.16).

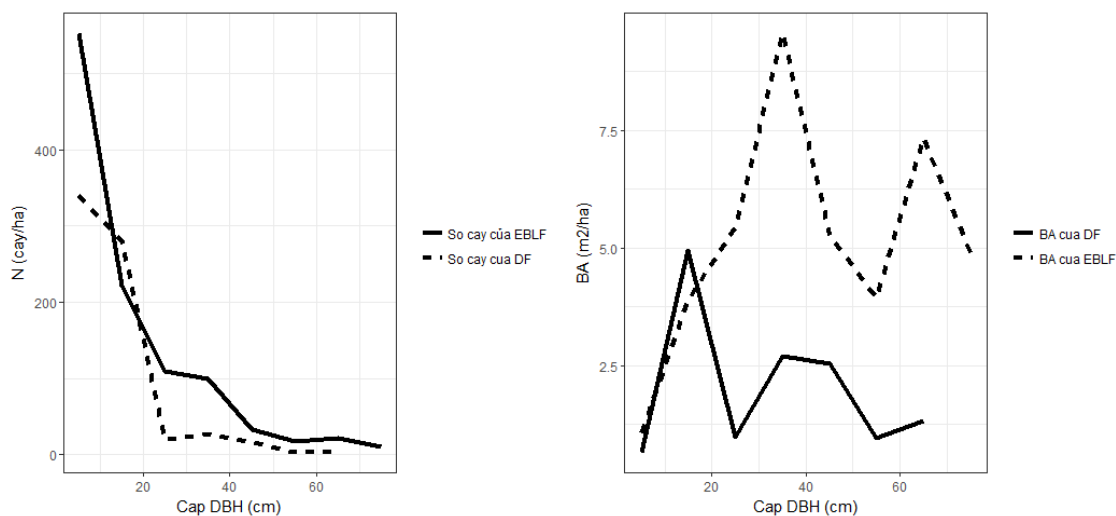
Cả hai kiểu rừng có đặc trưng cấu trúc rừng nhiệt đới với thành phần loài phức tạp. Họ thực vật chính trong rừng khộp (DF) là họ dầu (Dipterocarpaceae) với các chi ưu thế là Dipterocarpus and Shorea. Khu vực thu thập số liệu phân bố trên các trạng thái khác nhau của DF có số cây (N) từ 256 đến 1292 cây/ha với cây có DBH $\geq 5\text{cm}$ và tổng tiết diện ngang (BA, m^2/ha) từ 3.3 đến 23.0. Độ cao của DF từ 150 tới 500m. Lượng mưa và nhiệt độ trung bình năm lần lượt 1,600mm và 25.5°C. Khác với DF EBLF không có họ thực vật ưu thế rõ rệt, chỉ có một vài họ có số loài nhiều hơn như Fagaceae, Myrtaceae, và Lauraceae. Ô mẫu cho EBLF cũng đặt tên các trạng thái rừng khác nhau, với N từ 370 - 3330 cây/ha của DBH $\geq 5\text{cm}$ và BA từ 8.1 - 49.0 m^2/ha . Độ cao phân bố từ 400 tới 1100m so với mặt biển. Lượng mưa trung bình của khu vực EBLF từ 2,100 đến 2,500mm và nhiệt độ trung bình từ 22.2 đến 25.0°C. Mùa khô năm trước kéo dài 3 tháng ở cả hai loại rừng. (Kralicek, Huy et al., 2017).



Hình 5.16. Vị trí các ô mẫu trong vùng nghiên cứu ở rừng khộp và lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. (Kralicek, Huy, et al., 2017)

Tổng cộng có 27 ô mẫu được thiết lập, cho EBLF có 14 ô (20 × 100m) và DF có 13 ô (50 × 50m). Hình 5.17 chỉ ra cấu trúc phân bố DBH và BA của hai kiểu rừng trong khu vực khảo sát. Trong các ô mẫu, cây mẫu lựa chọn để chặt hạ theo các tiêu chí trình bày ở Chương 2. Vì sự khó

khăn và chi phí trong thu thập khối lượng rễ nên chỉ 60 – 65% cây của DF và 30 – 35% của EBLF có rễ được thu thập để xác định BGB. Tổng cộng có 175 cây mẫu được chặt hạ, đào rễ ở hai kiểu rừng để xác định cả hai loại sinh khối trên và dưới mặt đất được sử dụng để thiết lập mô hình và thẩm định chéo sai số (dữ liệu 4). Trong tổng số 175 cây mẫu xác định cả hai AGB và BGB, gồm có 51 loài, 43 chi, và 32 họ thực vật (Bảng 5.22). Tóm tắt thông tin các biến số cây mẫu trong Bảng 5.23. Bảng 5.14 cung cấp thông tin WD trung bình và biến động cây mẫu. Dữ liệu 4 cung cấp toàn bộ thông tin biến số 175 cây mẫu.



Hình 5.17. Cấu trúc của hai kiểu rừng khớp (DF) và lá rộng thường xanh (EBLF) ở Tây Nguyên. (Kralicek, Huy, et al., 2017)

Bảng 5.22. Số cây mẫu chặt hạ xác định cả hai AGB-BGB phân bố theo họ, chi và loài ở hai kiểu rừng

Rừng khớp (DF)			Rừng lá rộng thường xanh (EBLF)		
Họ thực vật	Chi/loài thực vật	N	Họ thực vật	Chi/loài thực vật	N
Chrysobalanaceae	<i>Parinari anamensis</i> Hance	3	Anacardiaceae	<i>Semecarpus sp.</i>	1
Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	5	Annonaceae	<i>Alphonsea sp.</i>	1
	<i>T. corticosa</i>	5	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i>	1
Dilleniaceae	<i>Dillenia sp.</i>	1	Araliaceae	<i>Trevesia palmata</i>	2
Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	7	Burseraceae	<i>Canarium album</i>	1
	<i>D. tuberculatus</i>	42	Cannabaceae	<i>Trema orientalis</i>	1
	<i>Shorea obtusa</i>	10	Clusiaceae	<i>Garcinia oblongifolia</i>	4
	<i>S. siamensis</i> Miq.	6		<i>G. sp.</i>	1
Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp.</i>	6	Ebenaceae	<i>Diospyros ehretioides</i>	1
Lecythidaceae	<i>Careya arborea</i> Roxb.	2	Euphorbiaceae	<i>Aporosa microcalyx</i>	1
Leguminosae	<i>Dalbergia nigrescens</i>	1	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	6
	<i>Sindora siamensis</i>	1		<i>Lithocarpus annamensis</i>	2
	<i>Xylocarpus xylocarpa</i>	7	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	2
Loganiaceae	<i>Strychnos nux-blanda</i>	1		<i>C. parthenoxylon</i>	1

Rừng khộp (DF)			Rừng lá rộng thường xanh (EBLF)		
Họ thực vật	Chi/loài thực vật	N	Họ thực vật	Chi/loài thực vật	N
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	2		<i>Litsea glutinosa</i>	4
Rubiaceae	<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.)Ridsdale	1		<i>Phoebe lanceolata</i>	1
	<i>Nauclea orientalis</i>	5	Lecythidaceae	<i>Careya sphaerica</i>	1
			Leguminosae	<i>Dialium cochinchinense</i>	1
			Malvaceae	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	1
			Meliaceae	<i>Aglaiia annamensis</i>	1
				<i>Chukrasia tabularis</i> A.Juss	1
				<i>Dysoxylum binectariferum</i>	1
				<i>Sandoricum sp.</i>	3
				<i>Walsura pinnata</i> Hassk.	1
			Moraceae	<i>Streblus ilicifolius</i>	1
			Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	6
				<i>S. zeylanicum</i>	1
			Rosaceae	<i>Prunus arborea</i>	1
			Sapotaceae	<i>Donella sp.</i>	1
			Styracaceae	<i>Styrax annamensis</i>	1
			Symplocaceae	<i>Symplocos sp.</i>	2
			Ulmaceae	<i>Gironniera nervosa</i>	1
				<i>G. subaequalis</i>	1
			Chưa xác định		15
Tổng cộng		105			70

Kralicek, Huy, et al., 2017

Bảng 5.23. Tóm tắt thông tin biến số cây mẫu theo hai kiểu rừng

Loại	Tóm tắt	D (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	CA (m ²)	AGB (kg)	BGB (kg)	TB (kg)
Rừng khộp (DF)	Trung bình	11.66	8.13	0.64	7.33	63.51	13.40	76.91
	Nhỏ nhất	3.40	2.80	0.38	0.38	1.53	0.51	2.60
	Lớn nhất	40.50	19.0 0	0.91	54.11	993.46	172.56	1166.0 2
	Sai tiêu chuẩn	6.77	3.55	0.10	8.98	135.67	22.93	157.45
	n		105	105	105	105	105	105

Loại	Tóm tắt	D (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	CA (m ²)	AGB (kg)	BGB (kg)	TB (kg)
Họ dầu (Dip.)	Trung bình	12.53	8.68	0.63	7.72	78.74	15.44	94.18
	Nhỏ nhất	4.90	3.80	0.38	0.38	1.53	0.51	2.60
	Lớn nhất	40.50	19.0 0	0.91	54.11	993.46	172.56	1166.0 2
	Sai tiêu chuẩn	7.23	3.62	0.10	9.71	164.30	27.35	190.29
	n	65	65	65	65	65	65	65
Rừng lá rộng thường xanh (EBLF)	Trung bình	9.85	9.55	0.57	9.32	41.57	7.93	49.50
	Nhỏ nhất	4.70	4.30	0.35	1.13	2.93	0.49	3.49
	Lớn nhất	26.80	16.5 0	0.88	35.26	501.43	61.34	549.98
	Sai tiêu chuẩn	4.00	2.82	0.11	6.40	67.33	11.65	76.93
	n	70	70	70	70	70	70	70

Kralicek, Huy, et al., 2017

Bảng 5.24. Khối lượng thể tích gỗ (WD) trung bình và sai tiêu chuẩn của cây mẫu

Loài	n	WD (g/cm ³)	
		Trung bình	Sai tiêu chuẩn
<i>Donella sp.</i>	1	0.744325	
<i>Aglaia annamensis</i>	1	0.877302	
<i>Alphonsea sp.</i>	1	0.560247	
<i>Alstonia scholaris</i>	1	0.424637	
<i>Aporosa microcalyx</i>	1	0.584242	
<i>Aporosa sp.</i>	6	0.598224	0.070058
<i>Canarium album</i>	1	0.767253	
<i>Careya arborea Roxb.</i>	2	0.535505	0.010462
<i>Careya sphaerica</i>	1	0.621393	
<i>Castanopsis sp.</i>	6	0.571974	0.095765
<i>Chukrasia tabularis A.Juss</i>	1	0.486684	
<i>Cinnamomum iners</i>	2	0.514868	0.176343
<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	1	0.555732	
<i>Dalbergia nigrescens</i>	1	0.661252	
<i>Dialium cochinchinense</i>	1	0.563724	
<i>Dillenia sp.</i>	1	0.526455	
<i>Diospyros ehretioides</i>	1	0.631896	
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	7	0.633515	0.045109
<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	42	0.604108	0.083940
<i>Dysoxylum binectariferum</i>	1	0.725073	
<i>Garcinia oblongifolia</i>	4	0.613932	0.042021

Loài	n	WD (g/cm ³)	
		Trung bình	Sai tiêu chuẩn
<i>Garcinia sp1</i>	1	0.735018	
<i>Gironniera nervosa</i>	1	0.413384	
<i>Gironniera subaequalis</i>	1	0.461097	
<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.)Ridsdale	1	0.589238	
<i>Lithocarpus annamensis</i>	2	0.639003	0.110182
<i>Litsea glutinosa</i>	4	0.593394	0.125003
<i>Nauclea orientalis</i>	5	0.594514	0.041174
<i>Parinari anamensis</i> Hance	3	0.535665	0.016343
<i>Phoebe lanceolata</i>	1	0.394944	
<i>Prunus arborea</i>	1	0.482766	
<i>Pterospermum heterophyllum</i>	1	0.609798	
<i>Sandoricum sp.</i>	3	0.580039	0.075981
<i>Semecarpus sp.</i>	1	0.458370	
<i>Shorea obtusa</i>	10	0.774205	0.081380
<i>Shorea siamensis</i> Miq.	6	0.589928	0.052021
<i>Sindora siamensis</i>	1	0.818989	
<i>Streblus ilicifolius</i>	1	0.726575	
<i>Strychnos nux-blanda</i>	1	0.595675	
<i>Styrax annamensis</i>	1	0.455341	
<i>Symplocos sp.</i>	2	0.504032	0.033942
<i>Syzygium cumini</i>	2	0.589732	0.062332
<i>Syzygium sp.</i>	6	0.583040	0.057960
<i>Syzygium zeylanicum</i>	1	0.641160	
<i>Terminalia alata</i>	5	0.714813	0.093195
<i>Terminalia corticosa</i>	5	0.762169	0.055792
<i>Trema orientalis</i>	1	0.517371	
<i>Trevesia palmata</i>	2	0.415019	0.085994
<i>Walsura pinnata</i> Hassk.	1	0.622296	
<i>Xylia xylocarpa</i>	7	0.706168	0.046754
<i>Other - Unidentified</i>	15	0.544601	0.099339
Tổng/Trung bình	175	0.610873	0.106623

Kralicek, Huy, et al., 2017

5.4.3 Phương pháp SUR thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính đồng thời AGB và BGB

Tổng sinh khối (TB) của một cây và các thành phần của nó (AGB và BGB) có thể được ước tính theo hai cách: bằng cách ước tính TB và sau đó phân chia ra AGB và BGB dựa vào tỷ lệ rễ/cây, hoặc bằng cách ước tính riêng biệt AGB và BGB và tổng hợp chúng để có được TB (Poudel và Temesgen, 2016). Nếu AGB và BGB được coi là thành phần của TB, thì phương pháp SUR có thể được sử dụng lập hệ thống mô hình ước tính đồng thời TB (Parresol, 2001). Sử dụng SUR theo mô

hình bình phương tối thiểu cho phép tối ưu hóa ước lượng tham số dựa trên sai số bé nhất (Poudel and Temesgen, 2016).

Một cách khác, BGB có thể được ước tính thông qua AGB (Kenzo et al., 2009b; Niiyama et al., 2010; Lima et al., 2012, Bảo Huy, 2013a) hoặc dựa vào tỷ lệ BGB/AGB (IPCC, 2006; Ziegler et al., 2012). Tuy nhiên, sử dụng hệ số chuyển đổi từ AGB sang BGB thường không có độ tin cậy cao, vì vậy thiết lập mô hình ước tính trực tiếp BGB là phương pháp tốt nhất (Cairns et al., 1997).

Tiếp cận trong phần này giới thiệu áp dụng SUR để lập mô hình ước tính đồng thời AGB và BGB đạt độ tin cậy cao hơn là ước lượng riêng rẽ hoặc sử dụng hệ số chuyển đổi như truyền thống. Cách tiến hành được mô tả như sau, cùng với việc giới thiệu các codes được phát triển để chạy trong phần mềm mã nguồn mở R và SAS như sau.

Các phương trình riêng biệt lập cho từng kiểu rừng DF và EBLF. Một số mô hình phi tuyến đã được thẩm định cho các thành phần AGB và BGB. Các tham số của mô hình thành phần và TB được ước tính theo phương pháp nấn chỉnh có tính hệ thống ước tính đồng thời các mô hình các thành phần và toàn bộ (SUR).

Cách tiếp cận này hạn chế các mô hình thành phần và TB để tổng lượng sinh khối được dự đoán bởi các mô hình thành phần tương đương với sinh khối dự báo từ mô hình tổng sinh khối (TB).

Các mô hình được ước lượng trước hết với biến D, sau đó lần lượt bổ sung các biến số độc lập như H, WD và CA. Vì có sự phân hóa sinh khối theo DBH, do vậy, trọng số được áp dụng với biến trọng số là D hoặc D^2 tùy thuộc vào dạng hàm. Nếu mô hình TB cũng có sự phân hóa sai số, thì cũng sử dụng trọng số, và nếu biến trọng số của hai mô hình thành phần AGB và BGB khác nhau, thì các biến trọng số này lần lượt được thử nghiệm cho mô hình TB (Kralicek, Huy et al., 2017).

Dạng mô hình được sử dụng (Kralicek, Huy, et al., 2017):

$$AGB_i = \alpha_1 * X_{1i}^{\beta_1} + \varepsilon_{1i} \quad (5.8)$$

$$BGB_i = \alpha_2 * X_{2i}^{\beta_2} + \varepsilon_{2i} \quad (5.9)$$

$$TB_i = \alpha_1 * X_{1i}^{\beta_1} + \varepsilon_{1i} + \alpha_2 * X_{2i}^{\beta_2} + \varepsilon_{2i} \quad (5.10)$$

Trong đó: AGB_i, BGB_i , và TB_i là AGB, BGB, và TB của cây mẫu thứ i^{th} ; α_z and β_z là tham số của mô hình thứ z^{th} ; X_{zi} là biến số độc lập hoặc tổ hợp biến của cây mẫu thứ i^{th} cho mô hình thứ z^{th} ; và ε_{zi} là sai số ngẫu nhiên theo cây thứ i^{th} của mô hình thứ z^{th} với giả thuyết tuân theo phân bố chuẩn có trung bình bằng không và phương pháp cố định.

Dựa vào sáu biến đầu (D, H, WD, CA, D^2H , và D^2HW), tổng cộng mười bốn dạng mô hình khác nhau cho AGB hoặc BGB. Như vậy, cho cả hệ thống mô hình bao gồm ước tính AGB, BGB và TB với 6 biến số sẽ có 196 dạng mô hình đã được khảo sát, đánh giá.

Để lựa chọn và đánh giá hệ thống các mô hình, phương pháp thẩm định chéo của Monte Carlo được áp dụng. Dữ liệu cho từng kiểu rừng được phân chia thành hai phần ngẫu nhiên: 80% dùng lập mô hình và 20% để xác định các sai số, lặp lại như vậy $R = 200$ lần và các chỉ tiêu thống

kê, sai số được tính trung bình (Temesgeb et al., 2014; Huy et al., 2016a,b,c; Kralicek, Huy et al., 2017).

Hệ thống dạng mô hình được lựa chọn qua thẩm định chéo, cuối cùng được thiết lập trên cơ sở toàn bộ dữ liệu. Các phần mềm thống kê được áp dụng là R (R Core Team, 2015) và SAS (SASInstitute Inc., 2013). SAS được sử dụng để lập hệ thống mô hình phi tuyến sử dụng SUR. R được sử dụng để bước đầu lập mô hình AGB và tính toán các chỉ tiêu thống kê dựa vào kết quả từ SAS.

Codes chạy trong R để lập hệ thống mô hình AGB:

```
# - Step 1: Calculate Bias, MAE, and RMSE for each simulation. Return a list of
#       200 dataframes with Bias, MAE, and RMSE.
FT.sum <- lply(FT.rmodel, function(sim.x) {
  # extract simNum so that we can find corresponding test data in orig dataset
  simNum.x <- sim.x[[1]]
  sim.x <- sim.x[-1]

  # find test data
  test.x <- (rdFT %>% filter(simNum == simNum.x & Selected == 0))
  obsv.x <- (rdFT %>% filter(simNum == simNum.x & Selected == 0))$AGB
  # use ldply to get df of stats for each nls fit to this sims train data
  sim.x.sum <- ldply(sim.x, tryCatch(function(nls.i) {
    pred.x <- tryCatch(predict(nls.i, test.x), error = function(e) NULL)
  dif.x <- obsv.x - pred.x
  df.x <- c(bias.nls.x = mean(dif.x / obsv.x),
    mae.nls.x = mean(abs(dif.x) / obsv.x),
    rmse.nls.x = sqrt(mean((dif.x / obsv.x)^2)))
  return(df.x)
  },
  error = function(e) return(rep(NA, 3)) ))
  return(sim.x.sum)
})
# - Step 2: Get Pbias, RMSPE, & MAPE for each function (ignore times when didn't
converge)
FT.rsum <- FT.sum %>% lapply(as.matrix) %>%
  aapply(c(2, 3), function(x) tryCatch((100*mean(x, na.rm = TRUE)) %>%
    round(2),
    error = function(e) return(NA)))
# - Step 3: Get number of times a function didn't converge of the 200 sims
converge.NA <- (FT.sum %>% lapply(as.matrix) %>% aapply(c(2, 3), function(x)
sum(is.na(x))))[,2]
# - Step 4:
# Code models by c(DBH, DBH2H, DBH2HWD, H, WD, CA)
model.forms <- c("D", "D.H", "D2H", "D.wD", "D.CA", "D.H.WD", "D2H.WD", "D2HW",
  "D.H.CA", "D2H.CA", "D.WD.CA", "D.H.WD.CA", "D2H.WD.CA", "D2HW.CA")
# - Step 5: combine Step 2/3/4 into one dataframe
```

```

FT.rsum <- cbind.data.frame(model.forms, FT.rsum, converge.NA)
rm(model.forms, converge.NA, FT.sum)
return(FT.rsum)
}

```

(Kralicek et al., 2017)

Codes chạy trong SAS áp dụng phương pháp SUR:

```

/* Step 1: Subset testing (validation) and training data (model fitting) */
data DF_train; set DF;
  if Selected = 1;
run;
data DF_test; set DF;
  if Selected = 0;
run;
/* Step 2: Fit sur nls models */
/*      parms based on AGB model fitting results outside of SUR (coded in R)*/
proc model data=DF_train NOPRINT;
  by simNum;
  parms a1=0.6122 b1=0.7692 c1=0.3694
        a2=0.6122 b2=0.7692;
  AGB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1);
  h.AGB = 1/DBH2;
  BGB = a2*(&BGB_var1**b2);
  h.BGB = 1/&BGBwt;
  TB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1) + a2*(&BGB_var1**b2);
  h.TB = 1/&TBwt;
  fit AGB BGB TB / sur outest = DF_est /* look at help for PROC MODEL to see how to fetch
R2 and AIC from this line */;
  run;
/* Step 3.1: Calculate summary statistics for each for each estimate */
data DF_Pred; merge DF_test DF_est;
  by simNum;
  pAGB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1);
  pBGB = a2*(&BGB_var1**b2);
  pTB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1) + a2*(&BGB_var1**b2);
  RelDif_AGB = (AGB - pAGB)/AGB;
  RelDif_BGB = (BGB - pBGB)/BGB;
  RelDif_TB = (TB - pTB)/TB;
  AbsRelDif_AGB = abs(AGB - pAGB)/AGB;
  AbsRelDif_BGB = abs(BGB - pBGB)/BGB;
  AbsRelDif_TB = abs(TB - pTB)/TB;
  RelDif2_AGB = RelDif_AGB**2;
  RelDif2_BGB = RelDif_BGB**2;
  RelDif2_TB = RelDif_TB**2;
run;
/* Step 3.2: aggregate summary statistics to a per simulation level */

```

```

proc summary data = DF_Pred mean NOPRINT;
  by simNum;
  var RelDif_AGB  RelDif_BGB  RelDif_TB
      AbsRelDif_AGB AbsRelDif_BGB AbsRelDif_TB
      RelDif2_AGB  RelDif2_BGB  RelDif2_TB;
  output out = DF_Results
         mean = pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
              maape_AGB maape_BGB maape_TB
              mspe_AGB mspe_BGB mspe_TB;
run;
/* Step 3.3: get rmspe -- couldn't figure out how to get it in the proc summary/ proc means step
*/
data DF_Results; set DF_Results;
  by simNum;
  rmspe_AGB = sqrt(mspe_AGB);
  rmspe_BGB = sqrt(mspe_BGB);
  rmspe_TB  = sqrt(mspe_TB);
run;
/* Step 3.4: take mean of Pbias/MAPE/RMSPE across 200 simulations */
proc summary data = DF_Results mean NOPRINT;
var   pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
      maape_AGB maape_BGB maape_TB
      rmspe_AGB rmspe_BGB rmspe_TB;
  output out = DF_Results
         mean = pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
              maape_AGB maape_BGB maape_TB
              rmspe_AGB rmspe_BGB rmspe_TB
              nmiss(pbias_TB) = N_conv;
run;
/* Step 3.5: multiply results by 100 for percentage */
data DF_Results; set DF_Results;
  pbias_AGB = pbias_AGB *100;
  maape_AGB = maape_AGB *100;
  rmspe_AGB = rmspe_AGB *100;
  pbias_BGB = pbias_BGB *100;
  maape_BGB = maape_BGB *100;
  rmspe_BGB = rmspe_BGB *100;
  pbias_TB  = pbias_TB  *100;
  maape_TB  = maape_TB  *100;
  rmspe_TB  = rmspe_TB  *100;
run;
/* Step 4: create name column in dataset */
data DF_Results; set DF_Results;
  fname = "&eq_num.";
run;

```

```

/* Step 5: Export results as .csv file */
proc append base= DF_TBwts data= DF_Results FORCE;
run;
%mend runit_var1;
/* f(1) */
%runit_var1(eq_num=e01_1, BGB_var1= DBH, BGBwt= DBH, TBwt= DBH);
%runit_var1(eq_num=e03_0, BGB_var1= DBH2H, BGBwt= DBH2, TBwt= 1);
%runit_var1(eq_num=e08_2, BGB_var1= DBH2HWD, BGBwt= DBH2, TBwt= DBH2);
/* Repeat model fitting and validation statistic calculation 200 times */
%macro runit_var2(eq_num=, BGB_var1=, BGB_var2=, BGBwt=, TBwt= );
/* Step 1: Subset testing (validation) and training data (model fitting) */
data DF_train; set DF;
  if Selected = 1;
run;
data DF_test; set DF;
  if Selected = 0;
run;
/* Step 2: Fit sur nls models */
/*      parms based on AGB model fitting results outside of SUR (coded in R)*/
proc model data=DF_train NOPRINT;
  by simNum;
  parms a1=0.6122 b1=0.7692 c1=0.3694
        a2=0.6122 b2=0.7692 c2=0.3694;
  AGB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1);
  h.AGB = 1/DBH2;
  BGB = a2*(&BGB_var1**b2)*(&BGB_var2**c2);
  h.BGB = 1/&BGBwt;
  TB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1) + a2*(&BGB_var1**b2)*(&BGB_var2**c2);
  h.TB = 1/&TBwt;
  fit AGB BGB TB / sur outest = DF_est /* look at help for PROC MODEL to see how to fetch
R2 and AIC from this line */;
  run;
/* Step 3.1: Calculate summary statistics for each for each estimate */
data DF_Pred; merge DF_test DF_est;
  by simNum;
  pAGB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1);
  pBGB = a2*(&BGB_var1**b2)*(&BGB_var2**c2);
  pTB = a1*(DBH2HWD**b1)*(CA**c1) + a2*(&BGB_var1**b2)*(&BGB_var2**c2);
  RelDif_AGB = (AGB - pAGB)/AGB;
  RelDif_BGB = (BGB - pBGB)/BGB;
  RelDif_TB = (TB - pTB)/TB;

  AbsRelDif_AGB = abs(AGB - pAGB)/AGB;
  AbsRelDif_BGB = abs(BGB - pBGB)/BGB;
  AbsRelDif_TB = abs(TB - pTB)/TB;
  RelDif2_AGB = RelDif_AGB**2;
  RelDif2_BGB = RelDif_BGB**2;
  RelDif2_TB = RelDif_TB**2;

```



```

run;
/* Step 3.2: aggregate summary statistics to a per simulation level */
proc summary data = DF_Pred mean NOPRINT;
  by simNum;
  var RelDif_AGB  RelDif_BGB  RelDif_TB
      AbsRelDif_AGB AbsRelDif_BGB AbsRelDif_TB
      RelDif2_AGB  RelDif2_BGB  RelDif2_TB;
  output out = DF_Results
         mean = pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
              maape_AGB maape_BGB maape_TB
              mspe_AGB mspe_BGB mspe_TB;
run;
/* Step 3.3: get rmspe -- couldn't figure out how to get it in the proc summary/ proc means step */
data DF_Results; set DF_Results;
  by simNum;
  rmspe_AGB = sqrt(mspe_AGB);
  rmspe_BGB = sqrt(mspe_BGB);
  rmspe_TB  = sqrt(mspe_TB);
run;
/* Step 3.4: take mean of Pbias/MAPE/RMSPE across 200 simulations */
proc summary data = DF_Results mean NOPRINT;
var   pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
      maape_AGB maape_BGB maape_TB
      rmspe_AGB rmspe_BGB rmspe_TB;
output out = DF_Results
       mean = pbias_AGB pbias_BGB pbias_TB
            maape_AGB maape_BGB maape_TB
            rmspe_AGB rmspe_BGB rmspe_TB
            nmiss(pbias_TB) = N_conv;
run;
/* Step 3.5: multiply results by 100 for percentage */
data DF_Results; set DF_Results;
  pbias_AGB = pbias_AGB *100;
  maape_AGB = maape_AGB *100;
  rmspe_AGB = rmspe_AGB *100;
  pbias_BGB = pbias_BGB *100;
  maape_BGB = maape_BGB *100;
  rmspe_BGB = rmspe_BGB *100;
  pbias_TB  = pbias_TB  *100;
  maape_TB  = maape_TB  *100;
  rmspe_TB  = rmspe_TB  *100;
run;
/* Step 4: create name column in dataset */
data DF_Results; set DF_Results;
  fname = "&eq_num.";
run;
/* Step 5: Export results as .csv file */
proc append base= DF_TBwts data= DF_Results FORCE;
run;

```

(Kralicek et al., 2017)

5.4.4 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cây rừng khộp

Mười bốn mô hình tương quan AGB được thử nghiệm riêng lẻ nằm ngoài hệ thống mô hình cho loại rừng DF (Bảng 5.25). Trong đó dạng mô hình $AGB = f(D^2H, WD, CA)$ không thể thực thi lệnh chạy vòng lặp 200 lần trong thăm định chéo. Căn cứ vào lựa chọn cân đối các sai số bé nhất; mô hình được lựa chọn ngoài hệ thống có dạng $AGB = f(D^2HW, CA)$ là tốt nhất để ước tính riêng lẻ AGB. Kết quả là đồng nhất và giúp khẳng định thêm kết luận sử dụng biến CA làm tăng độ tin cậy ước lượng AGB của Huy et al. (2016b).

Bảng 5.25. Các các chỉ tiêu sai số thăm định chéo mô hình AGB rừng khộp

Dạng mô hình AGB	Weight	Bias %	MAPE	RMSE %	R
$AGB = f(D)$	<i>D</i>	-9.66	30.78	50.68	200
$AGB = f(D, H)$	<i>D</i>	-4.54	31.11	45.77	200
$AGB = f(D^2H)$	D^2	-4.24	33.26	43.65	200
$AGB = f(D, WD)$	<i>D</i>	5.67	25.77	36.75	200
$AGB = f(D, CA)$	<i>D</i>	-9.99	28.42	40.20	179
$AGB = f(D, H, WD)$	<i>D</i>	5.21	26.25	36.96	200
$AGB = f(D^2H, WD)$	D^2	3.26	27.58	34.66	141
$AGB = f(D^2HWD)$	D^2	3.05	26.87	33.67	200
$AGB = f(D, H, CA)$	<i>D</i>	-8.56	27.26	37.66	200
$AGB = f(D^2H, CA)$	D^2	-6.27	27.38	34.35	200
$AGB = f(D, WD, CA)$	<i>D</i>	-0.30	21.55	31.36	200
$AGB = f(D, H, WD, CA)$	<i>D</i>	-0.85	21.76	31.23	199
$AGB = f(D^2H, WD, CA)$	D^2	---	---	---	0
$AGB = f(D^2HWD, CA)$	D^2	0.05	22.05	27.77	200

R: Số lần lặp thăm định chéo.

(Kralicek, Huy, et al., 2017)

Trên cơ sở mô hình AGB lựa chọn, tiến hành dò tìm 14 dạng hàm khác nhau của BGB và đồng thời tính sai số qua thăm định chéo 200 lần cho cả ba thành phần BGB, AGB và TB. Kết quả hài hòa sai số hai bộ phận AGB, BGB và tổng TB để lựa chọn mô hình BGB tốt nhất có dạng $BGB = f(D^2H)$ (Bảng 5.26).

Bảng 5.26. Hệ thống các chỉ tiêu thống kê thẩm định chéo với sự tham gia của mô hình lựa chọn $AGB = f(D^2HWD, CA)$ kết hợp với các mô hình BG khác nhau để tính toán sai số hệ thống cho cả ba thành phần AGB, BGB và TB cho rừng khộp

Dạng mô hình BGB	Weight		AGB			BGB			TB			R
	BGB	TB	Bias	MAPE	RMSE	Bias	MAPE	RMSE	Bias	MAPE	RMSE	
$g(D)$	D	D	-1.38	28.28	34.62	7.98	68.02	81.45	3.58	24.19	29.64	200
$g(D, H)$	D	D^2	10.29	28.24	33.55	-16.21	44.05	61.8	7.55	22.6	27.28	200
$g(D^2H)$	D^2	---	-0.38	28.92	35.21	-15.24	49.94	69.81	0.15	22.54	27.49	200
$g(D, WD)$	D	D^2	8.51	29.23	34.72	4.8	38.74	50.86	11.48	24.19	28.93	200
$g(D, CA)$	D	D^2	10.61	28.79	34.1	-6.63	44.06	60.42	9.91	23.04	27.38	198
$g(D, H, WD)$	D	D^2	8.56	28.42	33.89	6.48	42.99	57.78	11.88	24.12	28.97	200
$g(D^2H, WD)$	D^2	D^2	7.59	31.35	37.26	15.73	46.11	57.33	13.13	26.1	31.07	188
$g(D^2HW)$	D^2	D^2	8.64	31.35	37.09	8.85	40.42	53.05	12.4	26.19	31.17	200
$g(D, H, CA)$	D	D	-1.18	27.83	34.18	**	*	*	**	*	*	180
$g(D^2H, CA)$	D^2	D^2	7.34	31.46	37.27	5.79	50.74	64.92	10.35	24.49	29.32	190
$g(D, WD, CA)$	D	D	-2.69	29.17	35.78	-2.09	44.01	57.43	1.69	21.44	26.5	200
$g(D, H, WD, CA)$	D	D^2	5.63	30.8	36.76	**	*	*	**	*	*	154
$g(D^2H, WD, CA)$	D^2	D^2	7.38	30.52	36.27	2.42	42.85	55.25	10.23	24.93	30.1	200
$g(D^2HWD, CA)$	D^2	D^2	7.99	30.88	36.61	5.24	42.16	55.14	11.14	25.08	30.08	200

* value of $x > 10^5$; ** value of $x < -10^5$.

Kralicek, Huy, et al., 2017

Trên cơ sở chọn được hai dạng mô hình cho AGB và BGB tối ưu với sai số hài hòa với TB, sử dụng toàn bộ dữ liệu để xác định tham số của hệ thống mô hình ước tính AGB, BGB và TB cho rừng khộp và sai số của từng thành phần và tổng TB cũng được cung cấp ở Bảng 5.27.

Bảng 5.27. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời TB bao gồm hai thành phần AGB và BGB của rừng khộp và các chỉ tiêu thống kê, sai số

Dạng mô hình	N	Tham số	Giá trị và biến động	RMSE %	$R^2_{adj.}$
$AGB = f(D^2HWD, CA)$	105	a_1	0.79787 ± 0.0619	21.50	0.9749
		b_1	0.667652 ± 0.0180		
		c_1	0.510242 ± 0.0269		
$BGB = g(D^2H)$	105	a_2	56.47582 ± 1.8289	7.72	0.8863
		b_2	0.913188 ± 0.0343		
$TB = f(\cdot) + g(\cdot)$		...	...	24.06	0.9766

Ghi chú: Các tham số có p -value < 0.0001 .

Kralicek, Huy, et al., 2017

5.4.5 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cho cây rừng thuộc họ dầu (Dipterocarpaceae)

14 dạng mô hình AGB cho họ dầu trước hết được lập riêng rẽ ngoài hệ thống mô hình. Trong đó dạng mô hình $AGB = f(D^2H, WD, CA)$ không thể thực thi lệnh chạy vòng lặp 200 lần trong thăm định chéo. Mô hình có thêm biến CA là $AGB = f(D^2HW, CA)$ có các sai số bé nhất nhưng Bias < 0 (dự đoán vượt quan sát). Các mô hình sẽ được sử dụng để dự báo carbon trong chương trình UN-REDD, vì đây là chương trình giảm phát thải, do đó, mô hình báo cáo lượng thấp hơn sẽ được chấp nhận, có nghĩa Bias > 0 (thực tế carbon lớn hơn dự báo). Đáp ứng điều này có hai mô hình $f(D^2H, WD)$ và $f(D^2HWD)$. Cuối cùng mô hình dạng $AGB = f(D^2HWD)$ được lựa chọn vì ít số tham số hơn mô hình $AGB = f(D^2H, WD)$ (Bảng 5.28).

Bảng 5.28. Các các chỉ tiêu sai số thăm định chéo mô hình AGB thuộc họ dầu

Dạng mô hình AGB	Weight	Bias %	MAPE	RMSE %	R
$AGB = f(D)$	D	-8.11	26.34	38.16	200
$AGB = f(D, H)$	D	-9.70	27.25	39.73	199
$AGB = f(D^2H)$	D^2	-4.89	33.58	42.26	200
$AGB = f(D, WD)$	D	-3.39	23.07	31.70	200
$AGB = f(D, CA)$	D	-10.73	25.60	35.63	200
$AGB = f(D, H, WD)$	D	-4.67	23.76	32.79	199
$AGB = f(D^2H, WD)$	D^2	1.06	26.08	31.54	122
$AGB = f(D^2HWD)$	D^2	1.78	25.75	30.88	200
$AGB = f(D, H, CA)$	D	-11.55	26.48	36.82	200
$AGB = f(D^2H, CA)$	D^2	-7.84	29.22	35.65	200
$AGB = f(D, WD, CA)$	D	-3.75	20.38	25.96	200
$AGB = f(D, H, WD, CA)$	D	-4.42	21.02	26.83	196
$AGB = f(D^2H, WD, CA)$	D^2	---	---	---	0
$AGB = f(D^2HWD, CA)$	D^2	-1.41	22.69	27.79	200

R: Số lần lặp thăm định chéo.

Kralicek, Huy, et al., 2017

Trên cơ sở mô hình AGB lựa chọn, tiến hành dò tìm 14 dạng hàm khác nhau của BGB và đồng thời tính sai số qua thăm định chéo 200 lần cho cả ba thành phần BGB, AGB và TB. Kết quả hài hòa sai số hai bộ phận AGB, BGB và tổng TB để lựa chọn mô hình BGB tốt nhất có dạng $BGB = f(D)$ đối với các loài cây thuộc họ dầu (Bảng 5.29).

Bảng 5.29. Hệ thống các chỉ tiêu thống kê thẩm định chéo với sự tham gia của mô hình lựa chọn $AGB = f(D^2HWD)$ kết hợp với các mô hình BGB khác nhau để tính toán sai số hệ thống cho cả ba thành phần AGB, BGB và TB cho họ dầu

Dạng mô hình BGB	Weight		AGB			BGB			TB			R
	BGB	TB	Bias	MAPE	RMSE	Bias	MAPE	RMSE	Bias	MAPE	RMSE	
$g(D)$	D	D	0.9	31.09	37.77	-29.09	66.85	86.37	-2.63	24.29	30.89	200
$g(D, H)$	D	D	-0.77	30.62	37.64	-33.95	81.36	124.56	-3.75	23.07	30.06	191
$g(D^2H)$	D^2	---	2.97	31.23	37.46	-46.34	62.32	87.26	-3.86	27	34.35	200
$g(D, WD)$	D	D^2	1.82	35.6	42.68	-16.53	59.47	85.38	0.13	29.99	37.51	145
$g(D, CA)$	D	D^2	-2.92	34.9	42.73	-13.72	57.74	76.37	-2.26	25.94	31.44	189
$g(D, H, WD)$	D	D^2	14.38	34.26	39.04	-35.68	95.27	161.19	8.99	26.98	32.4	130
$g(D^2H, WD)$	$D2$	D^2	-9.84	41.72	51.89	19.28	53.92	64.94	-1.15	31.97	39.52	161
$g(D^2HW)$	$D2$	D^2	-6.76	36.96	46.08	-2.74	42.96	56.22	-2.53	29.99	37.16	200
$g(D, H, CA)$	D	D^2	3.25	34.38	40.93	-40.62	125.54	226.16	0.67	24.31	32.6	195
$g(D^2H, CA)$	$D2$	D^2	-2.04	34.56	42.2	-30.13	63.7	83.92	-4.7	26.14	31.58	200
$g(D, WD, CA)$	D	D	-3.69	31.94	39.83	-28.32	76.61	106.53	-6.11	26.91	35.74	190
$g(D, H, WD, CA)$	D	D^2	10.53	35.39	40.91	5499.84	5687.74	20269.3	702	723	2554.96	196
$g(D^2H, WD, CA)$	D^2	D^2	-6.07	35.81	44.41	-18.38	62.13	85.13	-4.9	27.79	33.37	199
$g(D^2HW, CA)$	D^2	D^2	-3.46	35.1	43.08	-22.34	59.03	77.9	-4.07	26.48	31.88	200

R: Số lần thẩm định chéo.

Kralicek, Huy, et al., 2017

Trên cơ sở chọn được hai dạng mô hình cho AGB và BGB tối ưu với sai số hài hòa với TB, sử dụng toàn bộ dữ liệu để xác định tham số của hệ thống mô hình ước tính AGB, BGB và TB cho cây họ dầu và sai số của từng thành phần và tổng TB cũng được cung cấp ở Bảng 5.30.

Bảng 5.30. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời TB bao gồm hai thành phần AGB và BGB cho các loài cây thuộc họ dầu và các chỉ tiêu thống kê, sai số

Dạng mô hình	N	Tham số	Giá trị	RMSE %	Adj. R ²
$AGB = f(D^2HW)$		a_1	0.422367 ± 0.0599	34.10	0.9569
		b_1	1.013458 ± 0.0191		
$BGB = g(D)$	65	a_2	0.026438 ± 0.0116	8.59	0.9012
		b_2	2.35221 ± 0.1238		
$TB = f(\cdot) + g(\cdot)$		...	...	33.24	0.9695

Ghi chú: Tất cả tham số có p-value < 0.0001, ngoại trừ a_2 ($p = 0.0256$). Kralicek, Huy, et al., 2017

5.4.6 Mô hình ước tính đồng thời AGB, BGB và TB cây rừng lá rộng thường xanh

Kết quả thẩm định chéo mô hình riêng lẻ AGB của EBLF trình bày trong Bảng 5.31. Một lần nữa dạng mô hình $AGB = f(D2H, WD, CA)$ không thể thi hành lệnh chạy 200 lần để thẩm định chéo. Cuối cùng dạng hàm $AGB = f(D^2HW)$ có MAPE và RMSE thấp hơn và có ít tham số hơn các mô hình khác có tham số gần tương đồng được lựa chọn; đây là mô hình AGB tốt nhất nằm ngoài hệ thống mô hình SUR.

Bảng 5.31. Các các chỉ tiêu sai số thẩm định chéo mô hình AGB của EBLF

Dạng mô hình AGB	Weight	Bias %	MAPE	RMSE %	R
$AGB = f(D)$	D	1.11	30.70	41.19	200
$AGB = f(D, H)$	D	6.77	30.31	39.69	199
$AGB = f(D^2H)$	D^2	-4.62	28.34	40.96	42
$AGB = f(D, WD)$	D	4.07	23.18	32.25	200
$AGB = f(D, CA)$	D	-5.30	32.13	44.48	96
$AGB = f(D, H, WD)$	D	4.58	20.76	29.47	200
$AGB = f(D^2H, WD)$	D^2	2.19	21.68	30.80	200
$AGB = f(D^2HWD)$	D^2	2.19	21.15	30.29	200
$AGB = f(D, H, CA)$	D	6.00	29.91	40.13	192
$AGB = f(D^2H, CA)$	D^2	1.22	28.42	39.56	200
$AGB = f(D, WD, CA)$	D	2.86	21.43	30.89	200
$AGB = f(D, H, WD, CA)$	D	4.53	20.41	29.42	199
$AGB = f(D^2H, WD, CA)$	D^2	---	---	---	0
$AGB = f(D^2HWD, CA)$	D^2	2.63	20.81	30.58	200

R: Số lần lặp thẩm định chéo

Kralicek, Huy, et al., 2017

Cùng theo cách như các phần trên, trên cơ sở mô hình AGB lựa chọn, tiến hành dò tìm 14 dạng hàm khác nhau của BGB và đồng thời tính sai số qua thẩm định chéo 200 lần cho cả ba thành phần BGB, AGB và TB. Kết quả hài hòa sai số hai bộ phận AGB, BGB và tổng TB để lựa chọn mô hình BGB tốt nhất có dạng $BGB = f(D)$ đối với rừng lá rộng thường xanh (Bảng 5.32).

Bảng 5.32. Hệ thống các chỉ tiêu thống kê thẩm định chéo với sự tham gia của mô hình lựa chọn $AGB = f(D^2HWD)$ kết hợp với các mô hình BGB khác nhau để tính toán sai số hệ thống cho cả ba thành phần AGB, BGB và TB cho EBLF

Dạng mô hình BGB	Weight		AGB			BGB			TB			R
	BGB	TB	Bias	MAPE	RMPE	Bias	MAPE	RMSE	Bias	MAPE	RMSE	
$g(D)$	D	D^2	27.68	37.09	42.99	-111.44	122.14	158.26	9.97	19.92	25.58	195
$g(D, H)$	D	D^2	27.93	37.33	43.16	-116.69	128.75	172.79	8.87	21.15	27.44	196
$g(D^2H)$	D^2	D^2	29.27	38.82	44.66	-123.27	132.16	165.42	9.9	21.65	27.99	200
$g(D, WD)$	D	D^2	26.14	36.53	42.78	-111.95	120.61	153.79	8.64	19.49	25.27	200
$g(D, CA)$	D	D^2	28.04	37.46	43.26	-105.84	119.8	157.74	11.08	20.9	26.59	197
$g(D, H, WD)$	D	D^2	26.57	36.89	43.1	-119.97	129.97	170.92	7.32	20.51	26.65	200
$g(D^2H, WD)$	D^2	D^2	29.95	39.1	44.87	-138.5	143.84	176.09	8.36	21.1	27.24	195
$g(D^2HW)$	D^2	D^2	29.2	38.72	44.57	-135.56	142.84	173.96	8.11	20.94	27.07	200
$g(D, H, CA)$	D	D	26.54	36.93	43.22	**	*	*	**	*	*	200
$g(D^2H, CA)$	D^2	D^2	28.38	37.99	44.01	-122.7	140.45	177.88	9.37	20.7	27.19	200
$g(D, WD, CA)$	D	D^2	26.76	37.09	43.26	-108.75	117.9	153.81	9.64	20.46	26.26	200
$g(D, H, WD, CA)$	D	D^2	25.86	36.3	42.7	-125.91	138.5	183.9	5.82	20.07	26.72	199
$g(D^2H, WD, CA)$	D^2	D^2	28.05	37.78	43.77	-131.97	146.5	181.26	7.81	19.83	26.16	199
$g(D^2HW, CA)$	D^2	D^2	28.36	38.05	44.07	-132.65	144.41	178.47	7.91	19.93	26.32	200

* value of $x > 10^{19}$; ** value of $x < -10^{19}$.

Kralicek, Huy, et al., 2017

Trên cơ sở chọn được hai dạng mô hình cho AGB và BGB tối ưu với sai số hài hòa với TB, sử dụng toàn bộ dữ liệu để xác định tham số của hệ thống mô hình ước tính AGB, BGB và TB cho các loài cây rừng lá rộng thường xanh (EBLF) và sai số của từng thành phần và tổng TB cũng được cung cấp ở Bảng 5.33.

Bảng 5.33. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời TB bao gồm hai thành phần AGB và BGB cho các loài cây rừng EBLF và các chỉ tiêu thống kê, sai số

Dạng hàm	N	Tham số	Giá trị	RMSE %	Adj. R ²
$AGB = f(D^2HW)$		a_1	0.148215 ± 0.0270	14.59	0.9530
		b_1	1.23945 ± 0.0286		
$BGB = g(D)$	70	a_2	0.168916 ± 0.0651	6.14	0.7219
		b_2	1.765361 ± 0.1231		
$TB = f(\cdot) + g(\cdot)$		...	...	11.76	0.9766

Ghi chú: Tất cả tham số có p -value < 0.0001, ngoại trừ a_2 ($p = 0.0116$) Kralicek, Huy, et al., 2017

5.4.7 Nhận xét

Từ kết quả thử nghiệm giới thiệu trên cho thấy, với ba hệ thống mô hình được thiết lập, thì đối với AGB mô hình tốt nhất tập trung ở tổ hợp biến D^2HWD , trong khi đó, đối với BGB thì đơn giản hơn đó là tổ hợp biến D^2H hoặc chỉ đơn giản một biến D . Với mô hình BGB, việc đưa thêm các biến như WD hoặc CA đã không cải thiện được các chỉ tiêu thống kê. Kết quả này cho thấy, BGB có những đặc điểm quan hệ với các biến số cây rừng khá khác với AGB.

Hệ thống mô hình BGB của rừng khộp hoặc của họ dầu có các chỉ tiêu thống kê, sai số tốt hơn rừng lá rộng thường xanh. Điều này có thể giải thích rừng khộp có sự đa dạng loài thấp hơn nhiều. Trong một số đánh giá gần đây về ước tính BGB ở Đông Nam Á, Yuen et al. (2013) đã nhấn mạnh sự không tin cậy của các phương pháp thu thập khối lượng rễ thông qua mẫu đất. Chỉ có 10% nghiên cứu đã báo cáo đã thu thập toàn bộ rễ cây từ đào toàn bộ gốc rễ (Yuen et al., 2013). Nghiên cứu giới thiệu trên đây đã đóng góp đáng tin cậy cho ước tính BGB vì đã thu thập toàn bộ hệ rễ thông qua đào toàn bộ gốc rễ cây, tuy nhiên, cũng giới hạn là loại trừ các rễ cắm quá nhỏ.

Kết quả nghiên cứu giới thiệu trên đây đã sử dụng một phương pháp thống kê tiên bộ là SUR để thiết lập đồng thời hệ thống mô hình ước tính AGB, BGB và TB cho cây rừng. Các chỉ tiêu thống kê, sai số của ba hệ thống mô hình theo phương pháp SUR đã đóng góp vào việc tăng độ tin cậy của ước tính sinh khối cây rừng ở hai kiểu rừng khộp và lá rộng thường xanh cũng như riêng cho các loài cây họ dầu (Dipterocarpaceae).

5.5 Thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng theo họ, chi thực vật

Mô hình sinh khối phụ thuộc rất lớn vào loài và thường được phản ánh qua biến số khối lượng thể tích gỗ (Chave et al., 2005. 2014; Basuki et al, 2009), tuy vậy, biến số này chưa thể phản ánh toàn bộ sự khác biệt sinh khối – carbon của các loài cây gỗ khác nhau. Để tăng độ tin cậy của

mô hình AGB, mô hình cần được lập theo hệ thống phân loài thực vật từ họ, chi đến loài (Basuki et al., 2009; Huỳnh Nhân Trí, 2014; Huy et al., 2016c), tất nhiên, điều này sẽ khó khăn và tốn kém với sự đa dạng loài cây gỗ của rừng nhiệt đới. Đối với các khu rừng đơn giản về loài, thì mô hình AGB đã được lập cho loài, như Jenkins et al. (2004) đã tổng hợp 2640 phương trình sinh khối theo đường kính cho các loài cây được ở Bắc Mỹ.

Trước hết cần thiết lập và thẩm định chéo sai số các mô hình theo hệ thống phân loại thực vật thân gỗ so với mô hình hỗn loài, từ đây có những đề xuất chiến lược cho thiết lập hệ thống mô hình sinh khối theo phân loại thực vật rừng nhiệt đới.

5.5.1 Thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối theo chi thực vật rừng khộp và so với vùng Đông Nam Á

Rừng khộp tuy các loài cây gỗ chiếm ưu thế đa số thuộc họ dầu, nhưng vẫn có sự đa dạng loài cây gỗ, chi, họ thực vật trong kiểu rừng này; vì vậy khả năng ước lượng chính xác sinh khối và carbon trong rừng khộp cũng phức tạp bởi bản chất hỗn loài của kiểu rừng này (Maury-Lechon et al., 1998).

Sử dụng dữ liệu thu thập từ 122 cây mẫu chặt hạ, Basuki et al. (2009) đã phát triển các mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB) cho cây rừng khộp, bao gồm mô hình cho mỗi chi thực vật (*Dipterocarpus*, *Hopea*, *Palaquium* và *Shorea*) của rừng khộp ở Đông Kalimantan, Indonesia. Các biến đầu vào của các phương trình là đường kính ngang ngực (DBH), khối lượng thể tích gỗ (WD). Mặc dù đã phát triển được các mô hình đến chi thực vật ưu thế của rừng khộp, các tác giả (Basuki et al., 2009) chỉ tập trung vào việc so sánh để lựa chọn dạng mô hình power được tuyến tính hóa bằng cách lấy logarit cho mô hình sinh khối, rất tiếc là không so sánh độ tin cậy, sai số khi áp dụng mô hình sinh khối chung cho các loài và cho từng chi thực vật.

Sử dụng dữ liệu 222 cây mẫu được chặt hạ để thu thập dữ liệu sinh khối rừng khộp (dữ liệu 2) để thiết lập và thẩm định chéo các mô hình AGB theo chi ưu thế và so với mô hình cùng theo chi ở Indonesia (Basuki et al., 2009).

Một danh sách đầy đủ của các loài, chi và họ của cây mẫu được sử dụng trong thiết lập mô hình được cung cấp trong Bảng 5.34.

Bảng 5.34. Số cây mẫu, trung bình WD và sai tiêu chuẩn theo họ, chi, loài rừng khộp

Họ/Chi/Loài	N	Trung bình WD (g/cm ³)	Sai tiêu chuẩn của WD (g/cm ³)
Chrysobalanaceae	3	0.535665	0.016343
Parinari	3	0.535665	0.016343
<i>Parinari anamensis</i> Hance	3	0.535665	0.016343
Combretaceae	23	0.747057	0.094749
Terminalia	23	0.747057	0.094749
<i>Terminalia alata</i> Roth	16	0.730093	0.100805
<i>Terminalia corticosa</i> Pierre ex Laness	7	0.785830	0.070653
Dilleniaceae	2	0.700423	0.246027

Họ/Chi/Loài	N	Trung bình WD (g/cm ³)	Sai tiêu chuẩn của WD (g/cm ³)
Dillenia	2	0.700423	0.246027
<i>Dillenia</i> sp.	2	0.700423	0.246027
Dipterocarpaceae	130	0.657599	0.098560
Dipterocarpus	94	0.627294	0.080587
<i>Dipterocarpus intricatus</i> Dyer	21	0.589667	0.037682
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	10	0.640704	0.050715
<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	63	0.637707	0.091056
Shorea	36	0.736729	0.098185
<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	28	0.772400	0.074928
<i>Shorea siamensis</i> Miq.	8	0.611881	0.060359
Phyllanthaceae	7	0.612478	0.074246
Aporosa	7	0.612478	0.074246
<i>Aporosa</i> sp.	7	0.612478	0.074246
Hypericaceae	1	0.625000	-
Cratoxylum	1	0.625000	-
<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook.f. ex Dyer	1	0.625000	-
Irvingiaceae	6	0.704833	0.017702
Irvingia	6	0.704833	0.017702
<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A.W.Benn.	6	0.704833	0.017702
Lauraceae	2	0.585500	0.024749
Cryptocarya	2	0.585500	0.024749
<i>Cryptocarya</i> sp.	2	0.585500	0.024749
Lecythidaceae	5	0.592586	0.134872
Careya	5	0.592586	0.134872
<i>Careya arborea</i> Roxb.	5	0.592586	0.134872
Leguminosae	19	0.683648	0.082150
Dalbergia	4	0.606063	0.049240
<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre	3	0.587667	0.040079
<i>Dalbergia nigrescens</i> var. <i>saigonensis</i> (Pierre) Gagnep.	1	0.661252	-
Sindora	1	0.818989	-
<i>Sindora siamensis</i> Miq.	1	0.818989	-
Xylia	14	0.696148	0.073180
<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub.	14	0.696148	0.073180
Loganiaceae	2	0.600613	0.006983
Strychnos	2	0.600613	0.006983
<i>Strychnos nux-blanda</i> A.W. Hill	2	0.600613	0.006983
Myrtaceae	6	0.521244	0.062018
Syzygium	6	0.521244	0.062018
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	2	0.589732	0.062332

Họ/Chi/Loài	N	Trung bình WD (g/cm ³)	Sai tiêu chuẩn của WD (g/cm ³)
<i>Syzygium</i> sp.	4	0.487000	0.020607
Rubiaceae	15	0.589079	0.051010
Adina	2	0.571000	0.000000
<i>Adina pilulifera</i> (Lam.) Franch. ex Drake	2	0.571000	0.000000
Haldina	2	0.611293	0.031190
<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale	2	0.611293	0.031190
Morinda	1	0.463000	-
<i>Morinda citrifolia</i> L.	1	0.463000	-
Nauclea	10	0.600860	0.042858
<i>Nauclea orientalis</i> (L.) L.	10	0.600860	0.042858
Sapindaceae	1	0.630000	-
Sapindus	1	0.630000	-
<i>Sapindus saponaria</i> L.	1	0.630000	-
Tổng/Trung bình	222	0.656475	0.101823

Nguồn: Huy et al. (2016c)

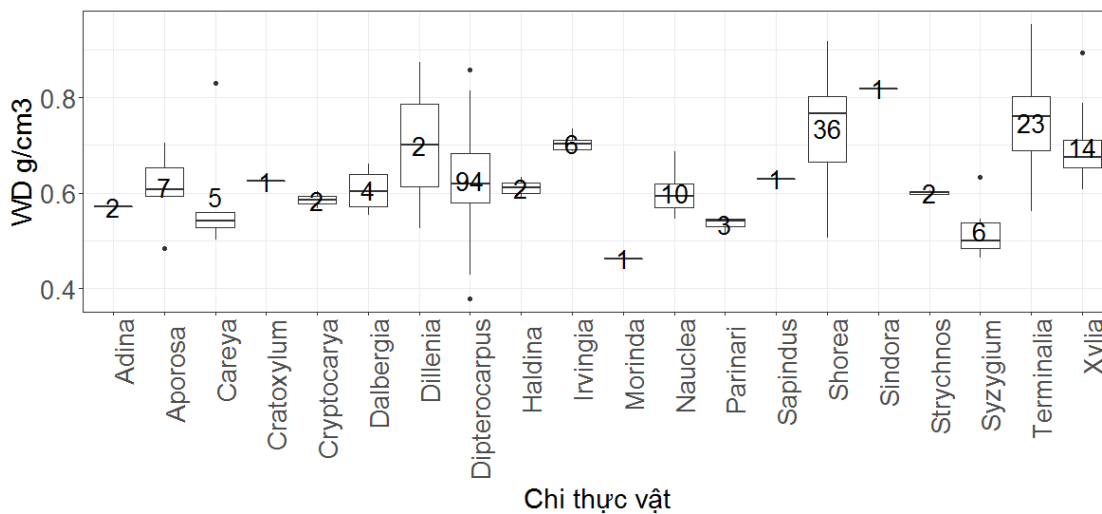
Có sự khác biệt và biến động lớn về WD giữa các chi thực vật Hình 5.18, điều này cho thấy các chi khác nhau cần có mô hình riêng để nâng cao độ tin cậy. Chiều hướng quan hệ AGB/DBH thể hiện trong Hình 5.19 cho thấy có sự khác biệt ở các chi.

Bảng 5.35 cho thấy biến động của các biến số cây mẫu rừng khộp chung các loài và theo hai chi thực vật chính là *Dipterocarpus* và *Shorea*.

Bảng 5.35. Tóm tắt các biến số của cây mẫu rừng khộp chung loài và theo hai chi chính

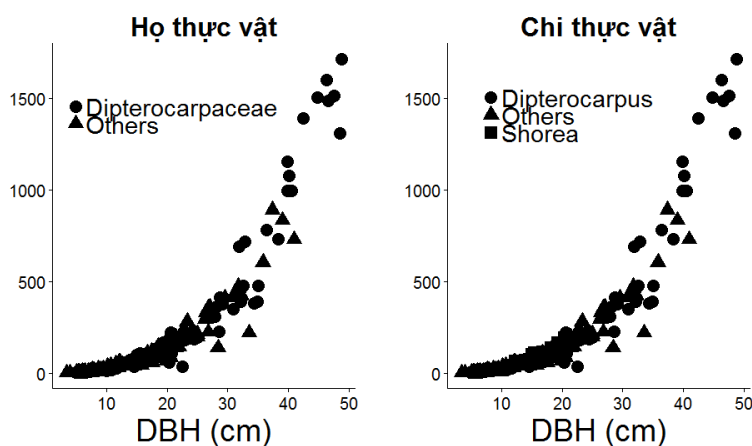
	Tóm tắt	DBH (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	AGB (kg)
Chung các loài	Nhỏ nhất	3.4	2.5	0.379	1.3
	Trung bình	17.6	10.3	0.656	184.9
	Lớn nhất	48.8	23.5	0.953	1,710.8
	Sai tiêu chuẩn	10.3	4.5	0.102	315.0
	n	222	222	222	222
<i>Chi Dipterocarpus</i>	Nhỏ nhất	4.9	3.8	0.379	1.5
	Trung bình	20.4	11.2	0.627	285.6
	Lớn nhất	48.8	23.5	0.858	1710.8
	Sai tiêu chuẩn	12.4	5.3	0.081	431.8
	n	94	94	94	94
<i>Chi Shorea</i>	Nhỏ nhất	5.6	4.4	0.507	2.9

Tóm tắt	DBH (cm)	H (m)	WD (g/cm ³)	AGB (kg)
Trung bình	15.2	9.4	0.737	86.4
Lớn nhất	23.0	14.1	0.917	205.9
Sai tiêu chuẩn	4.2	2.4	0.098	52.5
n	36	36	36	36



Hình 5.18. Sơ đồ box biến động WD theo chi thực vật rừng khộp. Giá trị trong box là số cây mẫu của chi.
 Nguồn: Huy et al. (2016c)

Sử dụng phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số (codes nlme chạy trong R) để thiết lập mô hình AGB theo các biến đầu vào khác nhau cho hai chi chính. Kết quả cho thấy các giá trị AIC và R² của các mô hình cho từng chi thực vật là không có sự khác biệt rõ rệt, vì vậy, lựa chọn mô hình đơn giản, có ít biến số và tham số nhất – đó là mô hình một biến DBH cho từng chi (Bảng 5.36).



Hình 5.19. AGB/DBH theo họ (trái) và chi (phải) thực vật chính của cây mẫu rừng khộp.
 Nguồn: Huy et al. (2016c)

Bảng 5.36. So sánh các mô hình với biến đầu vào khác nhau cho chi *Dipterocarpus* (67 cây mẫu) và chi *Shorea* (26 cây mẫu)

Mô hình lựa chọn	Biến đầu vào	Dạng mô hình	Biến trọng số (Weight)	AIC	R ² _{adj.}
Chi: <i>Dipterocarpus</i>					
D1	DBH	$AGB = a \times DBH^b$	$1/DBH^k$	612	0.940
D2	DBH, H	$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	$1/(DBH^2 H)^k$	602	0.979
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	$1/DBH^k$	622	0.964
D3	DBH, WD	$AGB = a \times (DBH^2 WD)^b$	$1/(DBH^2 WD)^k$	619	0.931
		$AGB = a \times DBH^b \times WD^{c(\#)}$	$1/DBH^k$	594	0.944
D4	DBH, H, WD	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	$1/(DBH^2 HWD)^k$	613	0.953
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^d$	$1/DBH^k$	618	0.947
Chi: <i>Shorea</i>					
S1	DBH	$AGB = a \times DBH^b$	$1/DBH^k$	223	0.896
S2	DBH, H	$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	$1/(DBH^2 H)^k$	221	0.834
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	$1/DBH^k$	229	0.896
S3	DBH, WD	$AGB = a \times (DBH^2 WD)^b$	$1/(DBH^2 WD)^k$	228	0.847
		$AGB = a \times DBH^b \times WD^{c(\#)}$	$1/DBH^k$	229	0.891
S4	DBH, H, WD	$AGB = a \times (DBH^2 HWD)^b$	$1/(DBH^2 HWD)^k$	220	0.901
		$AGB = a \times DBH^b \times H^c \times WD^{d(\#)}$	$1/DBH^k$	231	0.911

(#): *p*-value của tham số > 0.05; *k* hệ số của hàm phương sai.

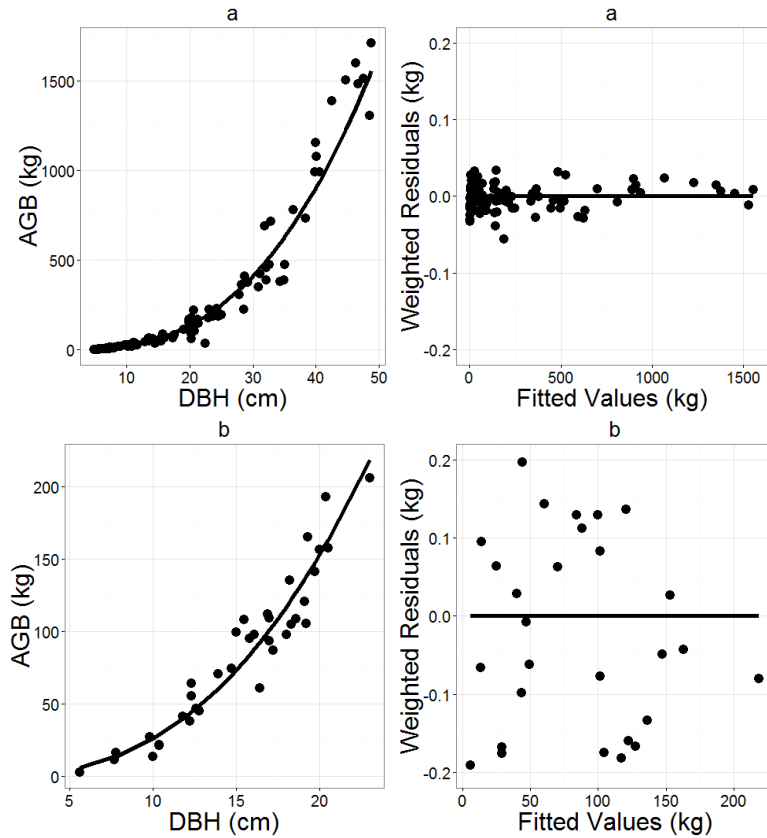
Nguồn Huy et al., 2016c

Mô hình sinh khối AGB cho hai chi ưu thế rừng khộp *Dipterocarpus* và *Shorea* được thiết lập trên cơ sở toàn bộ dữ liệu (94 cây mẫu cho chi *Dip.*, 36 cây mẫu cho *Shorea*):

$$Dipterocarpus: AGB = 0.03713 \times DBH^{2.73813} \quad (5.11)$$

$$Shorea: AGB = 0.07483 \times DBH^{2.54496} \quad (5.12)$$

Các mô hình dự đoán AGB theo kích thước cây là DBH là tốt cho cả hai *Dipterocarpus* và *Shorea*. Sai số có trọng số của hai mô hình theo chi được lựa chọn cho thấy không có xu hướng phân tán và có giá trị thấp, như vậy, mô hình theo chi đã giảm sai số (Hình 5.20).



Hình 5.20. Đồ thị mô hình $AGB = a \times DBH^b$ (trái) và sai số (phải). (a) *Dipterocarpus* ($n = 94$ cây mẫu), (b) *Shorea* ($n = 36$ cây mẫu) Nguồn Huy et al., 2016c

Mô hình lựa chọn cho hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea* (D1 và S1) được thẩm định chéo với các mô hình của Basuki et al. (2009) cũng lập cho hai chi này ở Indonesia:

$$\text{Basuki et al I (2009) cho chi } Dipterocarpus: \quad (5.13)$$

$$AGB = \exp(-1.232 + 2.178 \times \log(DBH))$$

$$\text{Basuki et al. I (2009) cho chi } Shorea: \quad (5.14)$$

$$AGB = \exp(-2.193 + 2.371 \times \log(DBH))$$

Với $\log(\cdot)$ là logarit tự nhiên

Phương pháp thẩm định chéo Monte Carlo được áp dụng với 70% dữ liệu chọn ngẫu nhiên để lập mô hình lựa chọn và 30% dữ liệu còn lại đánh giá sai số mô hình lựa chọn và của Basuki et al. (2009), sai số được tính trung bình từ 200 lần lặp lại (Temesgen et al, 2014; Huy et al., 2016c).

Dự đoán AGB từ phương trình (D1), (S1) và Basuki et al. (2009) cho chi *Shorea* là bám sát dữ liệu đánh giá ngẫu nhiên, sai số RMSE và MAPE trong cả ba cấp kính là nhỏ (Hình 5.31, Bảng 5.37). Các sai số cao hơn đối với mô hình của Basuki et al. (2009) cho chi *Dipterocarpus*, tuy nhiên, trên đồ thị thì dự đoán AGB của mô hình này vẫn bám sát dữ liệu quan sát và mô hình D1 lựa chọn.

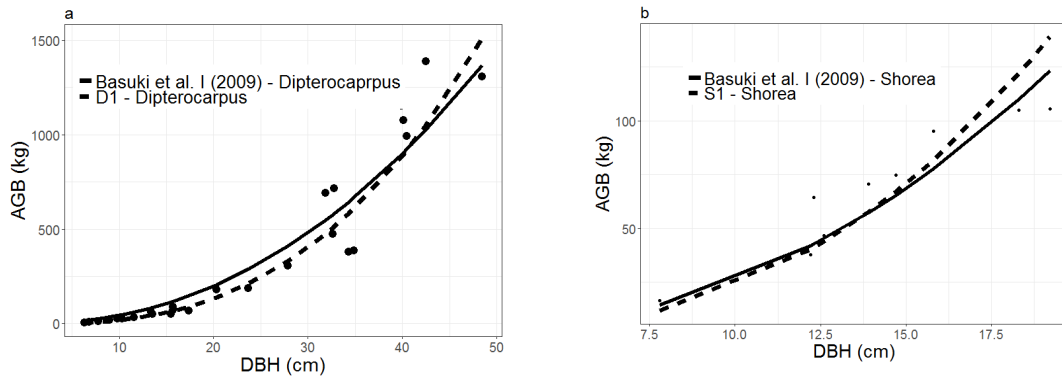
Bảng 5.37. Sai số từ kết quả thẩm định chéo cho các mô hình lựa chọn và Basuki et al. (2009) ở Indonesia theo hai chỉ ưu thế rừng khộp

Chi	Mô hình	Cấp DBH (cm)	Bias %	RMSE %	MAPE
<i>Dipterocarpus</i>	Basuki et al I (2009)	< 15	-159.5	208.8	159.5
		15 - 30	-76.6	109.4	76.8
		> 30	-4.9	29.1	24.5
		All	-95.4	156.6	100.2
	D1	< 15	-7.4	42.8	30.0
		15 - 30	-24.4	59.0	33.9
		> 30	-1.5	24.0	20.2
		All	-13.1	53.7	30.3
<i>Shorea</i>	Basuki et al. II (2009)	< 15	-16.3	42.7	31.5
		15 - 30	8.3	18.2	15.6
		> 30	-	-	-
		All	-0.7	28.8	21.0
	S1	< 15	-17.9	42.1	31.2
		15 - 30	-1.8	19.0	16.2
		> 30	-	-	-
		All	-7.7	29.5	21.7

Nguồn Huy et al., 2016c

Kết quả chứng minh rằng, các phương trình tương quan sinh khối phát triển ở mức chi thực vật ở các khu vực khác nhau (ví dụ, Việt Nam và Indonesia) không khác nhau đáng kể về độ chính xác. Trong khi đó, danh sách các loài của hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea* sử dụng trong phát triển phương trình bởi Basuki et al. (2009) khác nhau với thành loài ở Việt Nam. Tuy nhiên, dự báo báo cáo giá trị AGB từ các phương trình theo chi của Basuki et al. (2009) và từ nghiên cứu này (D1, S1) không khác nhau đáng kể. Điều này có thể là do các loài trong chi cũng có tương tự như cấu trúc của tán lá cây và đặc biệt là WD, so với các loài cây trong một chi khác. Những đánh giá này hỗ trợ các ứng dụng của phương trình sinh khối chung cho từng chi thực vật của rừng khộp khắp Đông Nam Á. Tuy vậy, cần có thêm nghiên cứu trong tương lai để bổ sung dữ liệu nhằm để xác nhận thêm phát hiện này.

Ngoài ra mô hình sinh khối với chỉ một biến số DBH theo chi cũng cho thấy có độ chính xác hơn khi sử dụng mô hình chung loài có đến ba biến số (sai số mô hình theo chi bé hơn). Vì vậy, phát triển các mô hình theo chi thực vật là tiềm năng để giảm sai số so với áp dụng mô hình hỗn loài và có thể áp dụng trên khu vực rộng với nhiều vùng sinh thái khác nhau ở Đông Nam Á.



Hình 5.21. Dự đoán AGB của mô hình lựa chọn và Basuki et al. (2009) theo 30% dữ liệu đánh giá ngẫu nhiên. (a) *Dipterocarpus* và (b) *Shorea* genera. Nguồn Huy et al., 2016c

5.5.2 Mô hình sinh khối AGB theo họ thực vật rừng lá rộng thường xanh

Đối với rừng lá rộng thường xanh với thành loài đa dạng, chưa thể tiếp cận mô hình sinh khối đến chi, do vậy, một thẩm định chéo đến họ đã được thực hiện và cho thấy thay đổi tham số một số mô hình AGB theo họ thực vật thân gỗ sẽ cải thiện độ tin cậy của mô hình.

Sử dụng dữ liệu 3 với 968 cây mẫu được thu thập ở 5 vùng sinh thái Việt Nam (dữ liệu 3), tiến hành thiết lập và thẩm định chéo các mô hình ước tính AGB với các biến đầu vào khác nhau có xét ảnh hưởng của họ thực vật (gồm 9 họ chính là Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Lauraceae, Leguminosae, Meliaceae, Myrtaceae, Ulmaceae và các họ khác). Các họ thực vật chính này là đại diện cho rừng lá rộng thường xanh ở các vùng sinh thái và mỗi họ được xem xét có số cây mẫu trên 30 cây. Hình 5.22 cho thấy có sự khác biệt về đường cong AGB/DBH ở các họ thực vật khác nhau, vì vậy cần xét ảnh hưởng của nó đến mô hình ước tính AGB. Bảng 5.38 chỉ ra số cây mẫu phân bố theo họ thực vật và vùng sinh thái.

Bảng 5.38. Số cây mẫu theo chín họ thực vật ở năm vùng sinh thái rừng lá rộng thường xanh

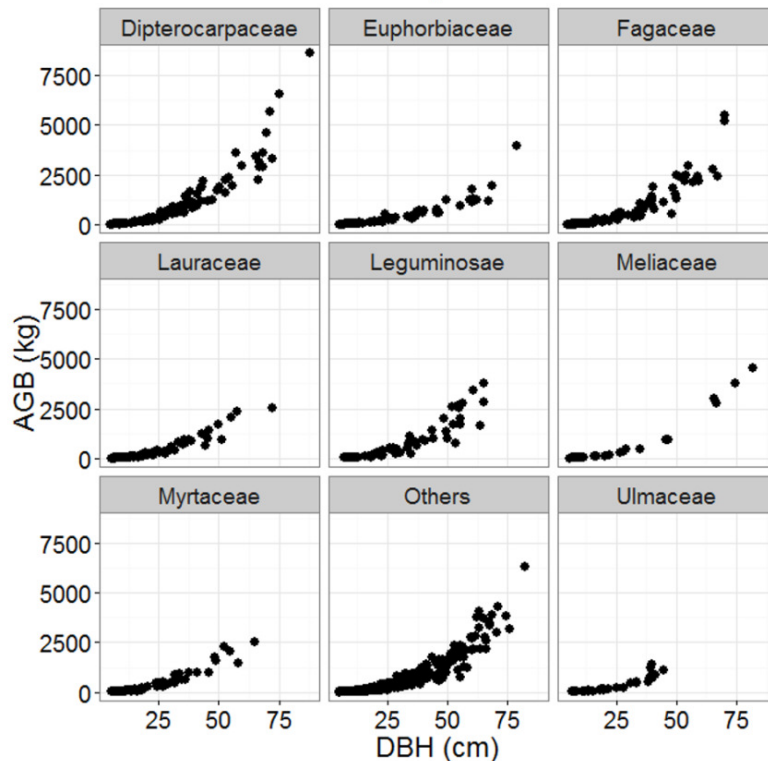
Họ thực vật	Vùng sinh thái					Tổng
	CH	NCC	NE	SCC	SE	
Dipterocarpaceae	3	29	19	7	27	85
Euphorbiaceae	10	32	15	4		61
Fagaceae	29	25	24	7		85
Lauraceae	21	25	30	3		79
Leguminosae	1	34	19		19	73
Meliaceae	12	6	6	6		30
Myrtaceae	27	11	7	8	4	57
Ulmaceae	5	15	8	4		32
Others	114	134	87	71	60	466
Tổng	222	311	215	110	110	968

Ghi chú: CH: Tây Nguyên; NCC: Duyên hải Bắc Trung Bộ; NE: Đông Bắc; SCC: Duyên hải Nam Trung Bộ; SE: Đông Nam. Huy et al., 2016a

Áp dụng phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và xét ảnh hưởng đến họ thực vật (random effect) theo codes nlme chạy trong phần mềm mã nguồn mở R để thiết lập mô hình. Thẩm định chéo theo Monte Carlo cũng được áp dụng phân chia 80%/20% dữ liệu để lập và đánh giá độ tin cậy, sai số, được lặp lại R=200 lần (Temesgen et al, 2014).

Đã thử nghiệm xét ảnh hưởng của họ thực vật đến các mô hình có biến số đầu vào khác nhau như DBH, DBH+H, DBH+H+WD và kết quả nhận được đối với mô hình AGB không có biến số WD thì họ thực vật ảnh hưởng đến các tham số của mô hình.

Đối với mô hình power theo hai biến số DBH và H, hai mô hình $AGB = a \times DBH^b H^c$ và $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ đã được kiểm tra sự phù hợp. Trong đó mô hình có tổ hợp biến $DBH^2 H$ tốt hơn với AIC và các sai số thẩm định chéo nhỏ hơn rõ rệt (Bảng 5.39). Do đó, sử dụng mô hình tổ hợp biến để xét ảnh hưởng của họ thực vật.



Hình 5.22. Đám mây điểm AGB theo DBH của cây mẫu theo các họ thực vật chính rừng lá rộng thường xanh. Trích: Huy et al. 2016a

Codes chạy trong R để thiết lập và thẩm định chéo xét ảnh hưởng (random effect) của họ thực vật được giới thiệu sau đây:

Codes thiết lập mô hình theo phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và xét ảnh hưởng (random effect) của họ thực vật cho mô hình $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$ và thẩm định chéo theo Monte Carlo với 80%/20% dữ liệu lập/đánh giá, lặp lại ngẫu nhiên 200 lần:

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
```



```

dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy USA 2015 - 2016/1 - OSU Professional/Article for National/Data for
EBLF")
# Import country data
t <- read.table("t_all.txt", header=T,sep="t",stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
#####
# AGB = a*DBH2H^b - Random effect of Family Group
#####
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Each time: Monte Carlo 80 for development of equation /20% for validation
  t_eq <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.8), ]
  n_va <- t[!t$ID %in% t_eq$ID, ]
  # Develop Model:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH2H), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH2H^b, data=t_eq, fixed=a+b~1, random=a~1,
    start=start, groups=~Family.Group, weights=varPower(form=~DBH2H))
  # Estimated values and Predicted:
  k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
  t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH2H^k
  # calcul of AIC, R2
  AIC[i] <- AIC(Max_like2)
  R2 <- 1- sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like2.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
  R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
  R2adj[i] <- R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like2, newdata=n_va)
  # Calcul of RMSE, Bias, MAPE% each time:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
  RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
  MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}

```

```

}
i
# Mean of AIC, R2 adj.:
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram for validation, comparison:
mean(RMSE)
mean(Bias)
mean(MAPE)
hist(RMSE)
hist(Bias)
hist(MAPE)
# Output of Model
summary(Max_like2)
k<- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
k
# Parameters and random parameters
fixef(Max_like2)
ranef(Max_like2)
coef(Max_like2)
# Standardized Sdi = ai / Si > Si = ai / Sdi > SEi = Si/sqrt(ni)
# Sdi for ai, bi: Sdi = ai, bi / Si
Sdi = ranef(Max_like2, standard= TRUE)
Sdi
# Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
Si = ranef(Max_like2)/Sdi
Si
# SE for ai, bi: SEi = Si / sqrt(ni)
SEi = Si/sqrt(table(t_eq$Family.Group))
SEi
# Fitted and predicted values of the model
t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH2H^k
n_va$Pred <- predict(Max_like2, newdata=n_va)
# Plots of Fitted values and Validation:
p5 <- ggplot(t_eq)
p5 <- ggplot(t_eq, aes(x=DBH2H, y=AGB, pch=Family.Group))
p5 <- p5 + geom_point(cex=2.5)
p5 <- p5 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2H, y=Max_like2.fit, linetype=Family.Group))
p5 <- p5 + xlab("DBH2H (m3)") + ylab("AGB (kg)") + theme_bw()
p5 <- p5 + theme(legend.title=element_blank())
p5 <- p5 + labs(title = "c")
p5
p6 <- ggplot(n_va)

```

```

p6 <- ggplot(n_va, aes(x=DBH2H, y=AGB, pch=Family.Group))
p6 <- p6 + geom_point(cex=2.5)
p6 <- p6 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=DBH2H, y=Pred, linetype=Family.Group))
p6 <- p6 + xlab("DBH2H (m3)") + ylab("") + theme_bw()
p6 <- p6 + theme(legend.title=element_blank())
p6 <- p6 + labs(title = "c")
p6
# All plot of random effects
plot_grid(p5, p6, ncol = 2)
# The end

```

Kết quả chạy codes trong R mô hình $AGB = a \times (DBH^2H)^b$ xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của họ thực vật

```

> # Mean of AIC, R2 adj.:
> mean(AIC)
[1] 8247.483
> mean(R2adj)
[1] 0.9220168
>
> # Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram for validation,
comparation:
> mean(RMSE)
[1] 34.95741
> mean(Bias)
[1] -8.904118
> mean(MAPE)
[1] 25.27278
>
> hist(RMSE)
> hist(Bias)
> hist(MAPE)
>
> # Parameters and random parameters
> fixef(Max_like2)
          a          b
262.9914087  0.9308089
> ranef(Max_like2)
a
Dipterocarpaceae  49.064372
Euphorbiaceae    -62.689109
Fagaceae         45.435068
Lauraceae       -17.426295
Leguminosae     -5.136748
Meliaceae       -8.860130
Myrtaceae       50.476967
Others          -11.196785
Ulmaceae        -39.667341
> coef(Max_like2)
          a          b
Dipterocarpaceae 312.0558 0.9308089
Euphorbiaceae   200.3023 0.9308089

```

```

Fagaceae      308.4265 0.9308089
Lauraceae     245.5651 0.9308089
Leguminosae   257.8547 0.9308089
Meliaceae     254.1313 0.9308089
Myrtaceae     313.4684 0.9308089
Others        251.7946 0.9308089
Ulmaceae      223.3241 0.9308089
> # Standardized Sdi = ai / Si > Si = ai / Sdi > SEi = Si/sqrt(ni)
> # Sdi for ai, bi: Sdi = ai, bi / Si
> Sdi = ranef(Max_like2, standard= TRUE)
> Sdi
              a
Dipterocarpaceae  1.2431575
Euphorbiaceae    -1.5883712
Fagaceae          1.1512008
Lauraceae         -0.4415348
Leguminosae      -0.1301512
Meliaceae        -0.2244915
Myrtaceae         1.2789488
Others            -0.2836960
Ulmaceae         -1.0050624
> # Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
> Si = ranef(Max_like2)/Sdi
> Si
              a
Dipterocarpaceae 39.46754
Euphorbiaceae   39.46754
Fagaceae        39.46754
Lauraceae       39.46754
Leguminosae     39.46754
Meliaceae       39.46754
Myrtaceae       39.46754
Others          39.46754
Ulmaceae        39.46754
> # SE for ai, bi: SEi = Si / sqrt(ni)
> SEi = Si/sqrt(table(t_eq$Family.Group))
> SEi
              a
Dipterocarpaceae 4.683936
Euphorbiaceae    5.581553
Fagaceae         4.717274
Lauraceae        4.858119
Leguminosae     5.227604
Meliaceae       7.740222
Myrtaceae       5.756933
Others          2.071509
Ulmaceae        8.056278

```

Họ thực vật cũng dẫn đến những cải tiến đáng kể các chỉ tiêu thống kê (AIC và R^2) và các sai số của mô hình (Bias, RMSE, MAPE đều giảm rõ) (Bảng 5.39). Như vậy, sử dụng ảnh hưởng của họ thực vật sẽ nâng cao độ tin cậy của mô hình ước tính AGB rõ rệt.

Bảng 5.39. So sánh và thẩm định chéo các mô hình $AGB = f(DBH, H)$ có hay không xét ảnh hưởng của họ thực vật

Dạng mô hình	Nhân tố ảnh hưởng (Random effect)	Biến trọng số (Weight variable)	AIC	R^2_{adj}	RMSE %	Bias %	MAPE
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Không xét (*)	$1/DBH^k$	8342	0.896	36.6	-8.6	27.4
$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Không xét	$1/DBH^k$	8344	0.897	37.8	-10.6	28.0
$AGB = a \times (DBH^2 H)^b$	Họ thực vật Family (*)	$1/(DBH^2 H)^k$	8245	0.923	34.9	-9.0	25.4

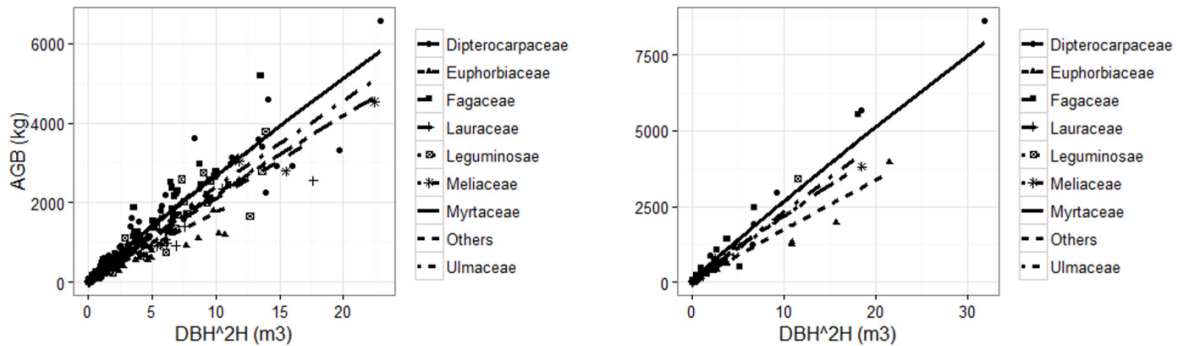
(*) Mô hình lựa chọn.

Trích: Huy et al. 2016a

Mô hình dưới ảnh hưởng ngẫu nhiên của họ thực vật đã dẫn đến những thay đổi đáng kể trong ước lượng tham số khi so sánh với các mô hình không xét đến ảnh hưởng này. Các ước lượng tham số và sai số chuẩn của các mô hình lựa chọn bao gồm mô hình có ảnh hưởng ngẫu nhiên của họ thực vật được cung cấp trong Bảng 5.40.

Hình 5.23 chỉ ra rằng có sự khác biệt khá lớn trong dự đoán AGB theo tổ hợp biến DBH^2H khi xét đến ảnh hưởng của họ thực vật.

Họ thực vật giúp giải thích sự biến động của AGB theo DBH và $DBH+H$; với sự tham gia của họ thực vật đã làm gia tăng hệ số xác định R^2 và giảm AIC, các sai số thẩm định chéo RMSE, Bias % và MAPE. Kết quả cũng cho thấy rằng, đối với các mô hình có biến WD tham gia như $AGB = f(DBH, H, WD)$, và $AGB = f(DBH, WD)$, thì họ thực vật không cải thiện đáng kể độ tin cậy của mô hình. Điều này có thể là do họ thực vật đóng vai trò như một thay thế cho WD.



Hình 5.23. Mô hình $AGB = a \times DBH^2 H^b$ theo họ thực vật. Trái: AGB dự báo so với toàn bộ dữ liệu lập mô hình. Phải: AGB dự đoán so với 20% dữ liệu ngẫu nhiên thẩm định chéo. Trích: Huy et al. 2016a

Bảng 5.40. Tham số sau cùng, sai số tiêu chuẩn, kích thước mẫu của toàn bộ dữ liệu của mô hình $AGB=a \times (DBH^2 H)^b$ có hay không ảnh hưởng của họ thực vật

Nhân tố ảnh hưởng (Random Effect)	Họ thực vật	Tham số mô hình		Sai số tiêu chuẩn (Standard Error)		N cây mẫu
		a	b	a	b	
<i>Không xét</i>	---	263.9977	0.93645	2.778249	0.005567	968
	Dipterocarpaceae	313.3334	0.93293	4.497709	0.005167	85
	Euphorbiaceae	199.6983	0.93293	5.309283	0.005167	61
	Fagaceae	315.0759	0.93293	4.497709	0.005167	85
	Lauraceae	249.1764	0.93293	4.665383	0.005167	79
<i>Họ thực vật</i>	Leguminosae	259.1900	0.93293	4.853325	0.005167	73
	Meliaceae	265.4258	0.93293	7.570772	0.005167	30
	Myrtaceae	321.5197	0.93293	5.492415	0.005167	57
	Ulmaceae	221.1848	0.93293	7.330369	0.005167	32
	Các họ khác	252.2186	0.93293	1.920914	0.005167	466

Trích: Huy et al. 2016a

5.6 Thiết lập mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên theo cấp chiều cao

Như các phần trên đã giới thiệu, mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) có độ tin cậy cao khi có sự tham gia nhiều biến số như DBH, H, WD và CA. Tuy vậy, nhiều biến số hơn sẽ chi phí cao hơn và đôi khi mắc sai số nhiều hơn, do đó, hoặc sử dụng những biến số khó đạt độ tin cậy cao như H, WD, CA.

Trong chương trình “Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng” của Liên Hiệp Quốc (UN-REDD), cần giám sát và báo cáo phát thải CO₂ tương đương từ rừng thông qua hệ thống “Đo lường – Báo cáo – Thẩm định (MRV, 2016)” trong đó yêu cầu có sự tham gia của cộng đồng trong giám sát carbon rừng. Vì vậy, ngoài các mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng áp dụng cho các cơ quan chuyên nghiệp đã được phát triển, cũng cần có nghiên cứu để xây dựng các mô hình áp dụng được với dữ liệu đầu vào do cộng đồng đo đạc, giám sát; và các mô hình cũng cần phải bảo đảm độ tin cậy theo IPCC (2006).

Trong giám sát carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng địa phương (PCM), người dân có thể đo đạc chính xác các chỉ tiêu rừng đơn giản như đường kính ngang ngực (DBH) (Huy et al., 2013). Để chuyển đổi từ dữ liệu đo đạc bởi cộng đồng sang sinh khối, carbon và lượng CO₂ tương đương thì cần có các mô hình ước tính sinh khối của cây gỗ và lâm phần với biến số đầu vào đơn giản như DBH. Van Laake (2008) cũng đã đề xuất xây dựng các mô hình quan hệ giữa sinh khối và carbon tích lũy trong hệ sinh thái rừng với các nhân tố điều tra rừng đơn giản như loài cây, mật độ, chu vi cây; đây là các nhân tố mà người dân địa phương có thể đo đếm chính xác.

Mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) cho rừng lá rộng thường xanh với một biến số đầu vào đơn giản là DBH cũng đã được xây dựng cho cả vùng rừng nhiệt đới (pantropic) (Brown, 1997; IPCC, 2003), hoặc cụ thể cho vùng Tây Nguyên (Võ Đại Hải và Đặng Thịnh Triều, 2012; Bảo Huy, 2013a; Huỳnh Nhân Trí, 2014), hoặc cho các vùng sinh thái của Việt Nam trong đó có Tây Nguyên (Phuong *et al.*, 2012b; Sola *et al.*, 2014; Huy *et al.*, 2016b).

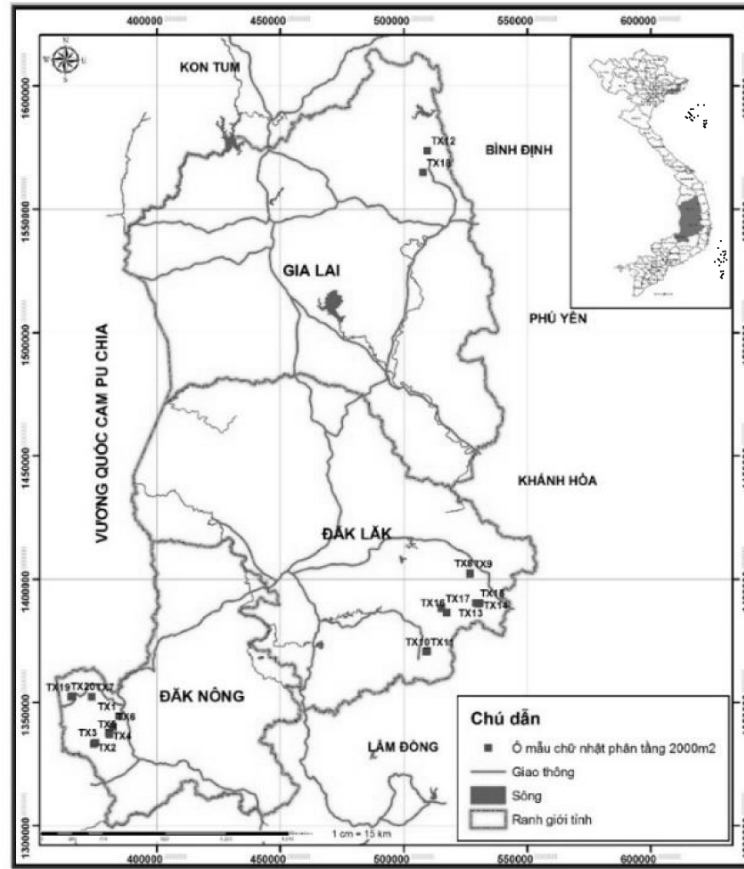
Tuy nhiên, như các nghiên cứu đã chỉ ra, mô hình ước tính AGB chỉ có độ tin cậy cao khi bao gồm nhiều biến số đầu vào như là DBH, chiều cao cây (H), khối lượng thể tích gỗ (WD) và diện tích tán lá (CA) (Huỳnh Nhân Trí, 2014; Huy *et al.*, 2016a,b). Vì vậy, mô hình AGB chỉ với một biến DBH đầu vào sẽ cho độ tin cậy thấp, trong khi đó cộng đồng hoặc ngay nhân viên kỹ thuật cũng khó có thể đo lường và cung cấp chính xác thêm các biến số như H, WD hoặc CA ở đối tượng rừng phức tạp như rừng nhiệt đới.

Về phương pháp thiết lập mô hình sinh khối, hầu hết đều sử dụng mô hình power theo cách tuyến tính hóa bằng hàm logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu để ước lượng và đánh giá các tham số của mô hình (Brown, 1997; IPCC, 2003; Bảo Huy, 2013a; Huỳnh Nhân Trí, 2014). Trong khi đó, phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số đã chỉ ra độ tin cậy cao hơn phương pháp tuyến tính hóa do nắn chỉnh mô hình phù hợp với sự phân tán dữ liệu quan sát AGB gia tăng khi DBH tăng lên (Sola *et al.*, 2014; Bảo Huy, 2016; Huy *et al.*, 2016a,b). Ngoài ra, hầu hết các mô hình hiện có đều chưa có giải pháp sử dụng dữ liệu để lập, thẩm định và đánh giá khách quan; ngoại trừ công bố gần đây của Bảo Huy (2016); Huy *et al.*, (2016a) về phương pháp thẩm định chéo các mô hình sinh khối, tuy nhiên, các mô hình này cũng chưa có giải pháp nâng cao độ tin cậy khi chỉ với mô hình một biến đầu vào là DBH.

Xu hướng để đơn giản cho sử dụng, và đặc biệt là ứng dụng trong giám sát carbon rừng có tham gia của người dân, cộng đồng địa phương, thì mô hình chỉ với một biến DBH (Brown, 1997; IPCC, 2003) cần được áp dụng. Nhưng như đã thảo luận mô hình một biến DBH sẽ không cho độ tin cậy cao. Vì vậy, thử nghiệm phát triển mô hình một biến DBH nhưng xét thêm ảnh hưởng của nhân tố môi trường, lâm phần để đo đạc như BA (một biến đại diện cho mật độ N, trữ lượng lâm phần M) hoặc phân chia mô hình AGB theo cấp chiều cao H (chỉ thị lập địa), trong đó, việc xác định chỉ thị lập địa chỉ cần đo H 3-5 cây ở cấp kính đại diện trong lâm phần. Xu hướng này cần được quan tâm, kết quả giới thiệu dưới đây là một định hướng cho những nghiên cứu để phát triển các mô hình ước tính AGB theo hướng này.

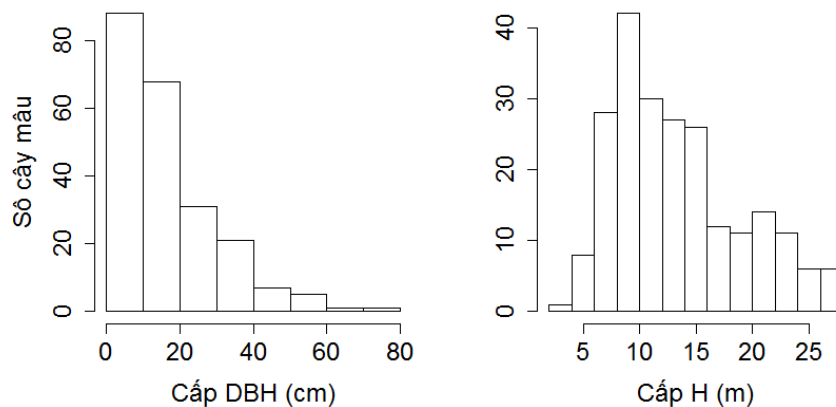
5.6.1 Vùng sinh thái và số liệu thu thập

Dữ liệu trong nghiên cứu này được thu thập ở vùng Tây Nguyên, trên bốn tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông và Lâm Đồng ở kiểu rừng lá rộng thường xanh với các trạng thái và cấp trữ lượng khác nhau. Biến động mật độ (N) từ 370 – 3.300 cây/ha (với cây có DBH \geq 5cm) và tổng tiết diện ngang (BA) biến động từ 2.6 – 72.6m²/ha. Đặc điểm sinh thái ở các khu vực thiết lập ô mẫu: Độ cao so với mặt biển từ 377 – 1068m, độ dốc từ 0 – 36°, lượng mưa trung bình năm từ 2.100 – 2.500mm, có ba tháng mùa khô, nhiệt độ trung bình năm từ 22.2 – 25.0°C. Hầu hết khu vực nghiên cứu có đất nâu đỏ hình thành trên đá Sedimentary (Nguồn tác giả, Hijmans *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2008).



Hình 5.24. Bản đồ vị trí các ô mẫu thu thập dữ liệu sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất (AGB) rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên (*Bảo Huy, 2013b*)

20 ô mẫu 2000m² (20×100m) đã được thiết lập để thu thập số liệu sinh khối cây rừng (AGB). Hình 5.24 chỉ ra phân bố các ô mẫu ở Tây Nguyên. Trong ô mẫu, cây mẫu được lựa chọn để chặt hạ và xác định sinh khối tỷ lệ với phân bố số cây theo cấp kính và % loài ưu thế. Mỗi ô chọn khoảng 10-12 cây để chặt hạ, tổng số có 222 cây mẫu được chặt hạ để thu thập số liệu sinh khối trên mặt đất (AGB) (dữ liệu 5). Phân bố số cây mẫu chặt hạ theo cấp kính và cấp chiều cao ở Hình 5.25 là phù hợp với kiểu phân bố của rừng nghiên cứu.



Hình 5.25. Phân bố số cây mẫu chặt hạ theo cấp kính và cấp chiều cao rừng lá rộng thường xanh (*Bảo Huy, 2013b*)

Bảng 5.41 dưới đây cung cấp thông tin các biến số độc lập và sinh khối thu thập được cây mẫu chặt hạ.

Bảng 5.41. Tóm tắt thông tin thống kê các biến số của cây mẫu đo tính sinh khối

Chỉ tiêu thống kê	DBH (cm)	H (m)	AGB (kg)
Min	4.7	3.9	2.9
Trung bình	17.4	13.4	265.3
Max	76.0	27.5	3149.0
Sai tiêu chuẩn	12.6	5.7	471.2
n	222	222	222

Nguồn: Bảo Huy 2013b

5.6.2 Mô hình AGB theo DBH và H có hay không ảnh hưởng của BA

Mô hình AGB theo DBH được thiết lập và mô hình có thêm biến H chỉ để làm cơ sở cho việc nâng cao độ tin cậy của ước tính AGB thông qua cấp chiều cao (cấp H). Đồng thời để thử nghiệm nâng cao độ tin cậy ước tính AGB, đã xem xét ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) của biến số tổng tiết diện ngang lâm phần (BA).

Sử dụng phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và áp dụng thẩm định chéo theo Monte Carlo với 200 lần lặp có 70%/30% dữ liệu lặp và đánh giá mô hình. Bảng 5.42 là kết quả so sánh để lựa chọn và thẩm định chéo các mô hình AGB với biến số đầu vào khác nhau gồm DBH, DBH và H hoặc tổ hợp biến DBH^2H ; đồng thời xét ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) của biến số tổng tiết diện ngang lâm phần (BA). Căn cứ vào giá trị AIC trung bình bé nhất, đối với một biến số DBH thì mô hình lựa chọn là $AGB = a \times DBH^b$ và đối với hai biến DBH và H thì mô hình tổ hợp biến $AGB = a \times (DBH^2H)^b$ được lựa chọn.

Các sai số trung bình (Bias%, RMSE%, MAPE) của các mô hình được lựa chọn này cũng bé hơn các mô hình khác. Hình biểu diễn phân bố Bias% của 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên 30% thẩm định và đường ước tính AGB so với 30% dữ liệu thẩm định chéo không tham gia lập mô hình của hai mô hình lựa chọn. Đồ thị cho thấy Bias% phân bố tiệm cận chuẩn, chứng tỏ với 200 lần rút 30% mẫu ngẫu nhiên độc lập để đánh giá đã phản ảnh tốt sai số của mô hình (không bị sai lệch sai số) và đồ thị ước tính AGB bám sát 30% giá trị đánh giá được rút mẫu ngẫu nhiên và không tham gia lập mô hình AGB, cho thấy mô hình có độ chính xác tốt.

Viết codes trong R để sử dụng phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số và xét random effect của BA. Áp dụng thẩm định chéo theo Monte Carlo với 200 lần lặp có 70%/30% dữ liệu lặp và đánh giá mô hình. Dưới đây minh họa cho mô hình một biến DBH. Trong đó BA được chia thành 4 cấp: $\leq 10m^2/ha$, $10 - 20m^2/ha$, $20 - 30m^2/ha$ và $> 30m^2/ha$.

Codes lập và thẩm định chéo mô hình $AGB = a \times DBH^b$ xét ảnh hưởng của BA:

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Book of Model Biomass Carbon/Data")
# Import country data
t <- read.table("_t_AGB-BA.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)

#####
# AGB = a*DBH^b - Random effect of BA Class
#####
# Create BA class variable (Tạo cấp BA)
t$BA_class <- ifelse(t$BA_m2_ha <= 10, "Poor",
                    ifelse(t$BA_m2_ha <= 20, "Medium",
                           ifelse(t$BA_m2_ha <= 30, "Rich", "Very Rich")))
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Each time: Monte Carlo 80 for development of equation /20% for validation
  t_eq <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.7), ]
  n_va <- t[!t$ID %in% t_eq$ID, ]
  # Develop Model:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(DBH), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1] <- exp(start[1])
  Max_like2 <- nlme(AGB~a*DBH^b, data=t_eq, fixed=a+b~1, random=a+b~1,
                   start=start, groups=~BA_class, weights=varPower(form=~DBH))
  # Fitted and predicted values of the model
  k <- summary(Max_like2)$modelStruct$varStruct[1]
  t_eq$Max_like2.fit <- fitted.values(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res <- residuals(Max_like2)
  t_eq$Max_like2.res.weigh <- residuals(Max_like2)/t_eq$DBH^k
  # calcul of AIC, R2
```

```

AIC[i] <- AIC(Max_like2)
R2 <- 1 - sum((t_eq$AGB - t_eq$Max_like2.fit)^2)/sum((t_eq$AGB - mean(t_eq$AGB))^2)
R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
R2adj[i] <- R2.adjusted
# Prediction of the model for validation
n_va$Pred <- predict(Max_like2, newdata=n_va)
# Calcul of RMSE, Bias, MAPE%:
Bias[i] = 100*mean((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)^2))
MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$AGB - n_va$Pred)/n_va$AGB)
}
# Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram
i
mean(AIC)
mean(R2adj)
mean(RMSE)
mean(Bias)
mean(MAPE)
hist(RMSE)
hist(Bias)
hist(MAPE)
# The end

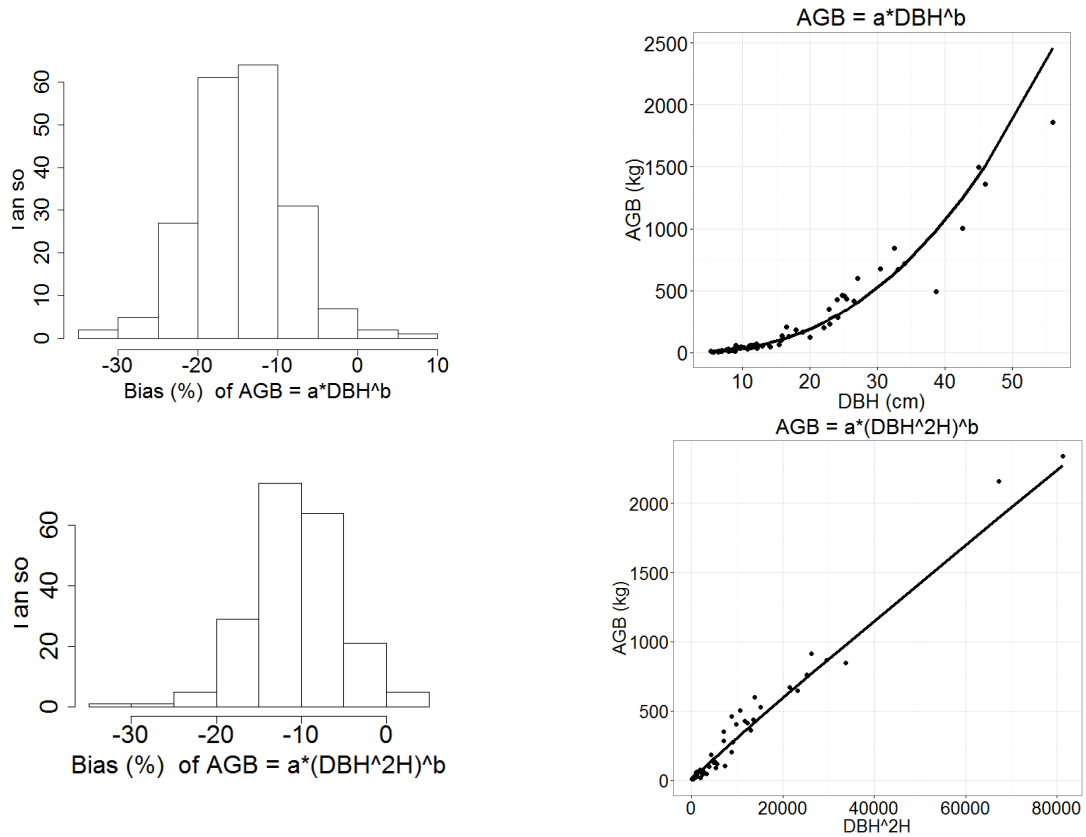
```

Các mô hình lựa chọn với biến số đầu vào DBH hoặc DBH^2H đã được xem xét ảnh hưởng của các cấp BA khác nhau từ các lâm phần có sinh khối, trữ lượng rừng khác nhau. Các chỉ số AIC và các sai số trung bình từ 200 lần đánh giá của mô hình có BA không được cải thiện rõ rệt; có nghĩa thay đổi cấp BA không làm thay đổi có ý nghĩa các tham số của mô hình (Bảng 5.42). Hình 5.26 cho thấy Bias của hai mô hình lựa chọn.

Bảng 5.42. So sánh và thẩm định chéo mô hình ước tính AGB có hay không có ảnh hưởng của cấp BA theo các biến số đầu vào khác nhau

Biến số đầu vào	Mô hình	Nhân tố ảnh hưởng	Trọng số	AIC	Adj. R ²	RMSE %	Bias %	MAPE %
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	Không (*)	$1/DBH^k$	1489	0.795	47.8	-14.7	34.2
	$AGB = a \times DBH^b$	Cấp BA	$1/DBH^k$	1491	0.806	48.2	-15.3	34.3
DBH + H	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Không (*)	$1/DBH^k$	1464	0.908	43.6	-10.4	29.6
	$AGB = a \times DBH^b \times H^c$	Không	$1/DBH^k$	1468	0.883	43.4	-12.0	29.9
	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	Cấp BA	$1/(DBH^2H)^k$	1452	0.911	43.8	-11.8	29.7

Ghi chú Bảng 5.42: () Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R²; và đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSE%, Bias% và MAPE%. Trích: Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy 2016.*



Hình 5.26. Mô hình AGB lựa chọn với biến số đầu vào khác nhau: Phân bố % Bias của 200 lần thẩm định (trái), mô hình AGB lựa chọn so với 30% dữ liệu thẩm định chéo được rút mẫu ngẫu nhiên (phải)
Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016

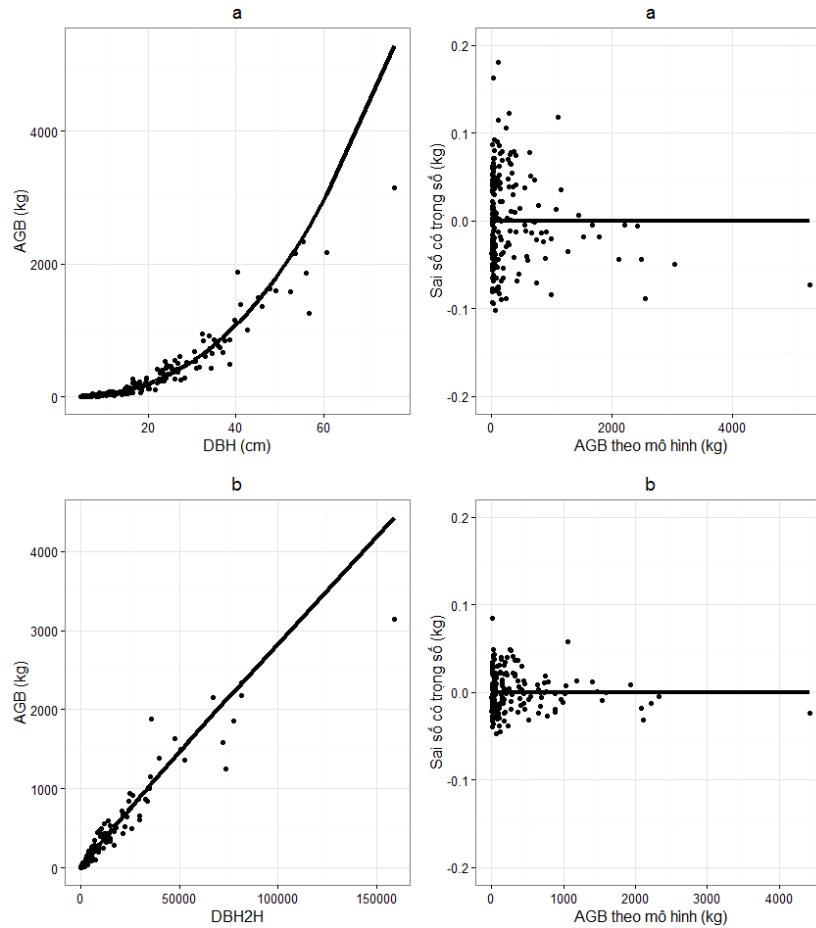
Sau khi lựa chọn mô hình và đánh giá chéo, sử dụng toàn bộ số liệu để ước lượng các tham số của các mô hình lựa chọn. Kết quả ở Bảng 5.43.

Bảng 5.43. Tham số của mô hình AGB lựa chọn với các biến số đầu vào khác nhau, trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Biến đầu vào	Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số	
		a	b	a	b
DBH	$AGB = a \times DBH^b$	0.114691	2.479830	0.011816	0.036767
DBH+H	$AGB = a \times (DBH^2H)^b$	0.044343	0.961302	0.004636	0.012690

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa P-value < 0.0001. Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016

Nhìn vào biến động sai số AGB có trọng số ở Hình 5.27 cho thấy, mô hình có hai biến số dạng DBH^2H có sai số bé hơn rất nhiều so với một biến số DBH, vì vậy, cần đưa biến H thông qua cấp H vào mô hình AGB để tăng độ tin cậy. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu của (Chave *et al.*, 2014; Sola *et al.*, 2014; Huy *et al.*, 2016a,b) chỉ ra rằng khi gia tăng biến số của mô hình chỉ với một biến DBH với các biến như H, khối lượng thể tích gỗ (WD) hoặc diện tích tán lá (CA) sẽ làm tăng độ tin cậy của các mô hình sinh khối.



Hình 5.27. Trái: Ước tính AGB qua mô hình lựa chọn so với quan sát, Phải: Sai số có trọng số theo AGB ước tính qua mô hình. a) Mô hình $AGB = a \times DBH^b$; b) Mô hình $AGB = a \times (DBH^2 H)^b$
Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016

5.6.3 Mô hình AGB theo cấp chiều cao H (chỉ thị lập địa)

Mô hình ước tính AGB theo tổ hợp hai biến DBH^2H sẽ cho độ tin cậy cao hơn mô hình chỉ có một biến số đầu vào DBH vì ảnh hưởng của lập địa khác nhau; trong cùng một DBH chiều cao H sẽ khác nhau. Do vậy, để tăng độ tin cậy của mô hình một biến DBH cần phân chia tham số của nó theo các cấp chỉ thị lập địa, hay nói khác là lập mô hình theo cấp H. Việc phân chia mô hình theo cấp H sẽ giảm công đo H trong thực tế vì chỉ cần đo cao chính xác 3 - 5 cây trong một cấp kính đại diện sẽ xác định được cấp H (chỉ thị lập địa).

Để lập mô hình AGB theo cấp H, trước hết lập tương quan H/DBH và phân chia cấp chiều cao, sau đó, thế H vào mô hình $AGB = f(DBH, H)$ sẽ thu được mô hình chỉ một biến $AGB = f(DBH)$ nhưng tham số theo các cấp H khác nhau.

Lập mô hình quan hệ $H = f(DBH)$ theo hàm mũ có hay không có hằng số 1.3m, vì nó là phổ biến trong thiết lập mối quan hệ này (Temesgen *et al.*, 2014). Kết quả ở Bảng 5.44 cho thấy cả hai mô hình đều cho kết quả thống kê và thẩm định sai số gần như nhau. Do vậy, mô hình lựa chọn là mô hình power đơn giản hơn, không có hằng số 1.3m. Sau khi đánh giá, sử dụng toàn bộ số liệu để ước lượng các tham số của các mô hình lựa chọn H/DBH , kết quả ở Bảng 5.45.

Bảng 5.44. So sánh và thẩm định chéo mô hình quan hệ $H = f(\text{DBH})$

Mô hình	Trọng số	AIC	R^2_{adj}	RMSE %	Bias %	MAPE
$H = a \times \text{DBH}^b$ (*)	$1/\text{DBH}^k$	748	0.740	27.0	-5.5	18.1
$H = 1.3 + a \times \text{DBH}^b$	$1/\text{DBH}^k$	749	0.734	26.9	-4.9	18.2

(*) Mô hình lựa chọn theo biến số đầu vào. Giá trị thống kê, sai số được tính trung bình từ 200 lần rút mẫu ngẫu nhiên: lập mô hình với 70% dữ liệu, tính các chỉ tiêu so sánh mô hình AIC và R^2 ; và đánh giá mô hình với 30% dữ liệu, tính các sai số RMSE%, Bias% và MAPE (Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016).

Bảng 5.45. Tham số của mô hình $H = f(\text{DBH})$ lựa chọn, trên cơ sở toàn bộ dữ liệu

Mô hình lựa chọn	Tham số		Sai số tiêu chuẩn của tham số Standard Error	
	a	b	a	b
$H = a \times \text{DBH}^b$	2.796423	0.568826	0.165503	0.021573

Ghi chú: Các tham số đều có mức ý nghĩa $P\text{-value} < 0.0001$. Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016

Từ mô hình H/DBH lựa chọn, phân chia mô hình theo 3 cấp chiều cao: Khảo sát biến động H ở cấp $\text{DBH} = 30 - 40\text{cm}$, trung bình là 35cm . Kết quả có $\bar{H} = 20.7\text{m}$ và độ lệch chuẩn $S = 3.77\text{m}$. Xác định biến động của H trong cấp kính 35cm theo quy luật $\pm 2S$ ứng với dữ liệu nằm trong phân bố chuẩn với độ tin cậy 95%. Chia biến động H thành ba cấp. Kết quả có chiều cao chỉ thị S_i chỉ thị cho 3 cấp H_i ở cấp kính trung bình 35cm là: $S_{26} = 26\text{m}$, $S_{21} = 21\text{m}$ và $S_{16} = 16\text{m}$. Thay đổi tham số a_i và cố định b của hàm mũ cho cấp H_i : $a_i = S_i / 35^{0.568826}$. Kết quả cho các tham số a_i : $a_1 = 3.409200$, $a_2 = 2.743552$ và $a_3 = 2.077904$.

Codes để lập và thẩm định chéo quan hệ $H = 1.3 + a \times \text{DBH}^b$

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("E:/1 - Bao Huy 2017/Books All/Book of Model Biomass Carbon/Data")
# Import country data
t <- read.table("t_all-BA.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
AIC = rep(0, 200)
R2adj = rep(0, 200)
RMSE = rep(0, 200)
```

```

Bias = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
for(i in 1:200){
  # Each time: Monte Carlo 70 for development of equation 30% for validation
  t_eq <- t[sample(nrow(t), length(t$DBH)*0.7), ]
  n_va <- t[!t$ID %in% t_eq$ID, ]
  # Develop Model:
  start <- coefficients(lm(log(H)~log(DBH), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(H~1.3+a*DBH^b, data=cbind(t_eq,g="a"), fixed=a+b~1,
    start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~DBH))

  # Estimated values and Predicted:
  k<- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct[1]
  t_eq$Max_like.fit <- fitted.values(Max_like)
  t_eq$Max_like.res <- residuals(Max_like)
  t_eq$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$DBH^k
  # calcul of AIC, R2
  AIC[i] <- AIC(Max_like)
  R2 <- 1- sum((t_eq$H- t_eq$Max_like.fit)^2)/sum((t_eq$H- mean(t_eq$H))^2)
  R2.adjusted <- 1 - (1-R2)*(length(t_eq$DBH)-1)/(length(t_eq$DBH)-3-1)
  R2adj[i] <- R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  # Calcul of RMSE, Bias, MAPE% each time:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$H- n_va$Pred)/n_va$H)
  RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$H- n_va$Pred)/n_va$H)^2))
  MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$H- n_va$Pred)/n_va$H)
}
i
# Mean of AIC, R2 adj.:
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE% and histogram for validation, comparison:
mean(RMSE)
mean(Bias)
mean(MAPE)
hist(RMSE)
hist(Bias, main = paste("", "" ), xlab = "Bias (%) of H = 1.3 + a*DBH^b", ylab = "Tan s0",
  cex.lab=2, cex.axis=2, cex.main=2, cex.sub=2)
hist(MAPE)
# The end

```

Phương trình quan hệ $H = a_i \times DBH^b$ theo 3 cấp H_i :

$$\text{Cấp H 1 với } S_{26}: H = 3.409200 \times DBH^{0.568826} \quad (5.15)$$

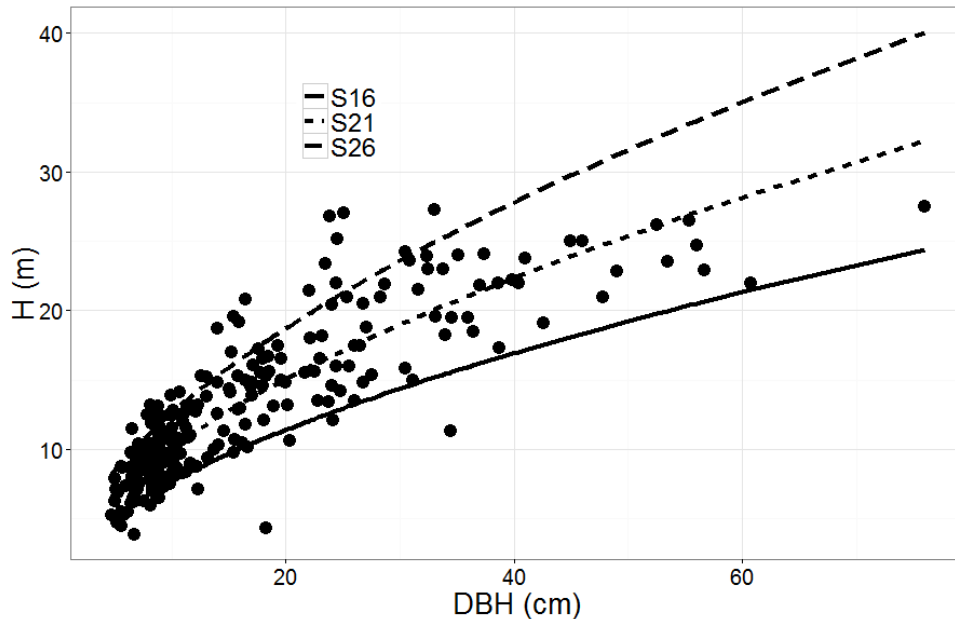
$$\text{Cấp H 2 với } S_{21}: H = 2.743552 \times DBH^{0.568826} \quad (5.16)$$

$$\text{Cấp H 3 với } S_{16}: H = 2.077904 \times DBH^{0.568826} \quad (5.17)$$

Trong thực tế để xác định chiều cao chỉ thị S_i tiến hành đo H , DBH khoảng 3 - 5 cây trong một cấp kính đại diện của lâm phần (ví dụ, rừng non thì có thể đo ở cấp kính nhỏ từ 10 - 20cm, trong khi đó rừng thành thực thì nên tiếp cận cấp kính 30 - 40cm), sau đó tính trung bình có \bar{H}_i và \overline{DBH}_i . Chiều cao chỉ thị S_i tại $DBH = 35\text{cm}$ của lâm phần điều tra (chỉ số lập địa S_i) sẽ được tính toán theo công thức sau:

$$S_i = \bar{H}_i \times (35 / \overline{DBH}_i)^{0.568826} \quad (5.18)$$

Hình 5.28 biểu diễn mô hình $H_i = a_i \times DBH^b$ theo ba cấp chiều cao chỉ thị khác nhau S_i . Hình này cho thấy việc phân chia 3 cấp H là phù hợp, các đường cong H/DBH phù khá kín đám mây điểm quan sát thực tế H/DBH .



Hình 5.28. Mô hình quan hệ $H = f(DBH)$ trung bình của ba cấp H với chiều cao chỉ thị S_i so với dữ liệu quan sát. *Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016*

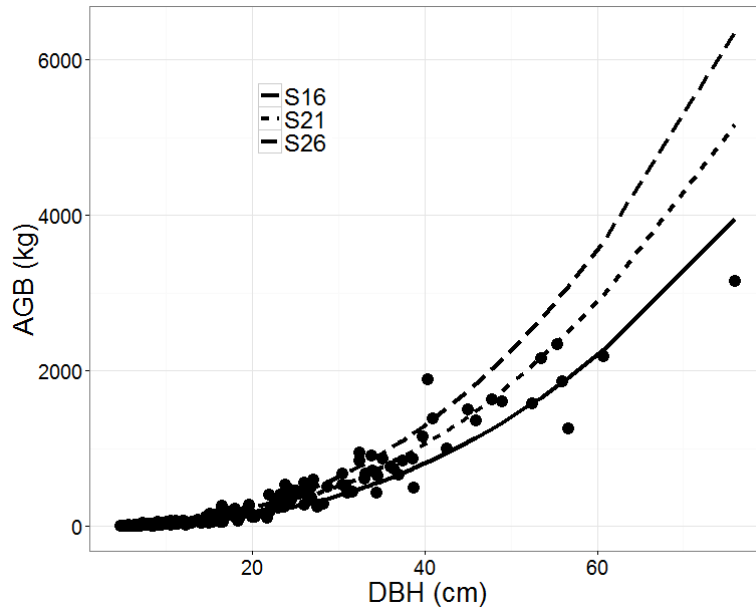
Thế các mô hình $H_i = a_i \times DBH^b$ theo 3 cấp chiều cao chỉ thị S_i vào biến H của mô hình $AGB = a \times DBH^2 H$ sẽ có được mô hình AGB với một biến số DBH và tham số a_i thay đổi theo chiều cao chỉ thị S_i : $AGB = a_i \times DBH^b$:

$$\text{Cấp H 1: } S_{26}: AGB = 0.144171 \times DBH^{2.469418} \quad (5.19)$$

$$\text{Cấp H 2: } S_{21}: AGB = 0.116997 \times DBH^{2.469418} \quad (5.20)$$

$$\text{Cấp H 3: } S_{16}: AGB = 0.089569 \times DBH^{2.469418} \quad (5.21)$$

Trong thực tế, không cần đo H toàn bộ, chỉ cần xác định cấp H_i qua chiều cao chỉ thị S_i để lựa chọn mô hình AGB theo một biến DBH thích hợp nhờ đo cao 3 – 5 cây ở một cấp kính đại diện trong lâm phần điều tra. Kết quả ở Hình 5.29 chỉ ra mô hình ước tính AGB theo một biến số đầu vào là DBH nhưng được phân chia thành ba cấp chiều cao chỉ thị S_i (chỉ số lập địa) sẽ nâng cao độ chính xác rõ rệt vì các đường cong này bao phủ hầu như toàn bộ dữ liệu AGB quan sát theo cấp DBH.



Hình 5.29. Đồ thị ước lượng AGB theo một biến số DBH và ba cấp chiều cao chỉ thị S_i so với dữ liệu quan sát. *Phạm Tuấn Anh, Bảo Huy, 2016*

Như vậy, mô hình sinh khối cây rừng trên mặt đất AGB được ước tính theo biến đầu vào đơn giản là DBH, đồng thời độ tin cậy của nó sẽ được cải thiện khi phân chia mô hình theo cấp chiều cao dạng $AGB = a_i \times DBH^b$ trong đó tham số a_i thay đổi theo chiều cao chỉ thị S_i của lâm phần điều tra.

Chương 6

CƠ SỞ DỮ LIỆU ĐỂ THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN Ở CÁC KIỂU RỪNG, VÙNG SINH THÁI

Hệ thống cơ sở dữ liệu cây mẫu thu thập sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng (AGB, BGB) và các nhân tố điều tra cây rừng (DBH, H, WD, CA), cùng với các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần đã được thu thập ở các vùng sinh thái chính của Việt Nam (Đông Bắc, Duyên hải Bắc Trung Bộ, Duyên hải Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Đông Nam Bộ), cho hai kiểu rừng chính là rừng khộp và rừng lá rộng thường xanh đã được tổng hợp để nghiên cứu, tham khảo, thực hành trong thiết lập và thẩm định mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên.

Bao gồm 05 bộ dữ liệu như sau:

Dữ liệu 1: Dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất và các biến số điều tra cây rừng ở vùng sinh thái Nam Trung Bộ, tỉnh Quảng Nam.

Dữ liệu 2: Dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất và các biến số điều tra cây rừng khộp ở vùng Tây Nguyên và Đông Nam Việt Nam.

Dữ liệu 3: Bộ dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất rừng lá rộng thường xanh ở 5 vùng sinh thái, theo họ thực vật và cấp WD.

Dữ liệu 4: Dữ liệu sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh và khộp ở vùng sinh thái Tây Nguyên.

Dữ liệu 5: Dữ liệu sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên với biến đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc.

Dữ liệu 1. Dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất và các biến số điều tra cây rừng ở vùng sinh thái Nam Trung Bộ, tỉnh Quảng Nam

ID	Mã cây	Tên loài	Tên khoa học	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg
1	I.1	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	14.6	12.0	0.588	16.62	67.7
2	I.2	Sỗ	<i>Dillenia indica</i> var. <i>aurea</i> (Sm.) Kuntze	9.6	9.3	0.552	7.07	27.9
3	I.3	Côm	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagnep.	12.1	11.5	0.582	9.08	47.8
4	I.4	Lộc vừng	<i>Barringtonia racemosa</i> (L.) Spreng.	11.4	9.3	0.541	9.08	39.9
5	I.5	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	13.6	13.5	0.603	13.85	53.4
6	I.6	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	6.5	6.2	0.593	7.07	14.7
7	I.7	Sỗ	<i>Dillenia indica</i> var. <i>aurea</i> (Sm.) Kuntze	13.4	14.0	0.559	13.20	76.0
8	I.8	Sỗ	<i>Dillenia indica</i> var. <i>aurea</i> (Sm.) Kuntze	9.3	11.6	0.476	5.73	21.9
9	I.9	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	13.5	15.1	0.614	10.75	77.7
10	I.10	Trôm	<i>Sterculia parviflora</i> Roxb.	12.0	13.9	0.533	13.20	57.1
11	I.11	Bùi tía	<i>Ilex annamensis</i> Tardieu	6.9	7.6	0.581	2.84	11.8
12	I.12	Sỗ	<i>Dillenia indica</i> var. <i>aurea</i> (Sm.) Kuntze	11.0	11.5	0.536	6.16	34.0
13	I.13	Thị rừng	<i>Diospyros decandra</i> Lour.	14.5	17.4	0.664	13.20	120.3
14	I.14	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	6.2	9.5	0.591	2.54	9.7
15	I.15	Dành dành	<i>Gardenia philastrei</i> Pierre ex Pit.	10.6	12.9	0.566	9.62	54.3
16	I.16	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	5.6	12.2	0.620	1.33	7.7
17	I.17	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	10.2	10.9	0.586	7.07	33.2
18	I.18	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	7.2	10.4	0.638	5.31	13.5
19	I.19	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	10.2	12.1	0.568	3.80	35.4
20	I.20	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	8.5	10.3	0.619	13.85	25.2
21	I.21	Dè	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	11.7	14.3	0.585	0.79	44.2
22	I.22	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	7.0	9.4	0.536	2.54	12.0
23	I.23	Lộc vừng	<i>Barringtonia racemosa</i> (L.) Spreng.	9.1	7.2	0.494	6.16	19.8
24	I.24	Giổi	<i>Aglaia roxburghiana</i> (Wight & Arn.) Miq.	6.8	8.0	0.659	6.16	18.0
25	I.25	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	8.8	11.0	0.561	2.54	21.1
26	I.26	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	16.4	18.4	0.567	15.21	100.4
27	I.27	Xoan đào	<i>Prunus ceylanica</i> (Wight.) Miq.	23.4	18.0	0.589	7.07	238.4
28	I.28	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	21.7	23.3	0.589	10.18	248.5
29	I.29	Gáo	<i>Nauclea orientalis</i> (L.) L.	16.9	17.0	0.430	9.08	77.5
30	I.30	Máu chó	<i>Knema pierrei</i> Warb.	15.7	14.2	0.595	14.52	80.7
31	I.31	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	18.8	20.5	0.591	18.10	175.0
32	I.32	Bình Linh	<i>Vitex</i> sp.	16.0	14.3	0.524	20.43	100.1
33	I.33	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	24.2	22.9	0.595	30.19	283.5
34	I.34	Máu chó	<i>Knema pierrei</i> Warb.	17.2	16.3	0.591	26.42	136.1

ID	Mã cây	Tên loài	Tên khoa học	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg
35	I.35	Ngát vàng	<i>Gironniera subaequalis</i> Planch.	19.9	13.5	0.506	15.21	128.5
36	I.36	Chè rừng	<i>Camellia fleuryi</i> (A.Chev.) Sealy	32.3	21.7	0.505	32.17	610.0
37	I.37	Sòi	<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	35.9	20.2	0.544	8.04	450.4
38	I.38	Vàng nghệ	<i>Garcinia hanburyi</i> Hook.f.	25.9	16.9	0.691	30.19	411.0
39	I.39	Bứa	<i>Garcinia oliveri</i> Pierre	30.2	17.5	0.712	40.72	644.3
40	I.40	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	31.3	31.2	0.637	38.48	853.7
41	I.41	Bưởi bung	<i>Maclurodendron oligophlebium</i> (Merr.) T.G. Hartley	49.5	22.8	0.495	46.57	968.2
42	I.42	Bưởi bung	<i>Maclurodendron oligophlebium</i> (Merr.) T.G. Hartley	36.6	22.2	0.518	40.72	742.6
43	I.43	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	42.8	31.5	0.630	36.32	1903.4
44	I.44	Dẻ	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	54.7	29.2	0.566	24.63	2960.7
45	I.45	Giổi	<i>Magnolia braianensis</i> (Gagnep.) Figlar	54.1	33.5	0.634	40.72	1988.4
46	I.46	Trôm	<i>Sterculia parviflora</i> Roxb.	49.7	34.4	0.644	51.53	1651.8
47	I.47	Côm	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagnep.	55.5	27.6	0.598	30.19	747.1
48	I.48	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	55.0	32.7	0.610	34.21	1800.5
49	I.49	Bôi lồi lá bầu dục	<i>Litsea elliptica</i> Blume	57.8	31.5	0.582	32.17	2345.4
50	I.50	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	65.0	32.5	0.640	78.54	3687.3
51	I.51	Cồng	<i>Calophyllum dryobalanoides</i> Pierre	68.4	26.4	0.567	201.06	3894.5
52	I.52	Xoan	<i>Melia azedarach</i> L.	66.5	35.0	0.502	52.81	2785.9
53	I.53	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	82.4	33.5	0.644	201.06	6349.5
54	I.54	Sòi	<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	79.0	34.5	0.575	55.42	3954.1
55	I.55	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	87.7	41.4	0.663	91.61	8633.0
56	II.1	An tức hương	<i>Styrax benzoin</i> Dryand.	12.8	14.1	0.557	4.91	63.6
57	II.2	Chè rừng	<i>Camellia fleuryi</i> (A.Chev.) Sealy	8.8	8.7	0.613	7.07	22.7
58	II.3	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	13.5	13.1	0.645	12.57	51.4
59	II.4	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	14.3	12.6	0.620	15.21	91.6
60	II.5	Côm	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagnep.	10.6	6.7	0.572	8.04	14.9
61	II.6	Chè rừng	<i>Camellia fleuryi</i> (A.Chev.) Sealy	12.4	10.2	0.647	7.07	44.9
62	II.7	Chè rừng	<i>Camellia fleuryi</i> (A.Chev.) Sealy	8.4	12.3	0.624	3.14	28.1
63	II.8	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	11.8	11.2	0.640	5.31	47.9
64	II.9	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	10.4	15.2	0.553	4.52	50.6
65	II.10	Sơn	<i>Madhuca alpina</i> (A.Chev. ex Lecomte) A.Chev.	14.8	19.6	0.613	10.18	118.0
66	II.11	Dâu da	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	10.9	14.2	0.603	5.73	43.5
67	II.12	Ngâu rừng	<i>Aglaiia elaeagnoidea</i> (A.Juss.) Benth.	9.2	12.6	0.485	11.34	19.8
68	II.13	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	5.5	7.1	0.538	3.14	7.0

ID	Mã cây	Tên loài	Tên khoa học	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg
69	II.14	Thị	<i>Diospyros pilosula</i> (A.DC.) Wall. ex Hiern	5.7	6.4	0.621	2.54	6.4
70	II.15	Thị	<i>Diospyros pilosula</i> (A.DC.) Wall. ex Hiern	7.6	9.1	0.641	3.14	19.9
71	II.16	Giỏi	<i>Magnolia braianensis</i> (Gagnep.) Figlar	7.2	8.1	0.516	4.91	6.5
72	II.17	Ngát	<i>Gironniera subaequalis</i> Planch.	13.4	14.1	0.568	13.85	64.3
73	II.18	Máu chó	<i>Knema pierrei</i> Warb.	5.4	4.7	0.609	4.52	6.8
74	II.19	Bồi lồi	<i>Litsea baviensis</i> var. <i>venulosa</i> H. Liu	5.2	7.4	0.515	7.07	7.6
75	II.20	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	7.2	9.6	0.614	7.07	21.5
76	II.21	Máu chó	<i>Knema pierrei</i> Warb.	5.4	6.8	0.596	9.08	6.9
77	II.22	Sơn	<i>Madhuca alpina</i> (A.Chev. ex Lecomte) A.Chev.	5.3	9.2	0.633	3.14	8.6
78	II.23	Ngát	<i>Gironniera subaequalis</i> Planch.	6.5	5.2	0.549	3.80	6.2
79	II.24	Nhãn rừng	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	4.9	8.5	0.649	3.14	7.3
80	II.25	Nhọc	<i>Polyalthia nemoralis</i> Aug.DC.	5.1	5.8	0.577	8.04	5.9
81	II.26	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	9.9	11.1	0.600	6.16	30.0
82	II.27	Dè	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	14.7	16.5	0.549	11.95	86.2
83	II.28	Dè	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	20.2	20.0	0.626	16.62	260.0
84	II.29	Lộc vừng	<i>Barringtonia racenmosa</i> (L.) Spreng.	16.9	10.4	0.556	20.43	117.9
85	II.30	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	24.4	18.5	0.595	28.27	329.0
86	II.31	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	17.1	14.0	0.650	12.57	153.8
87	II.32	sp	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Pierre	17.4	16.1	0.593	8.04	93.8
88	II.33	Bưởi bung	<i>Maclurodendron oligophlebium</i> (Merr.) T.G. Hartley	18.0	17.0	0.560	11.34	103.4
89	II.34	Dè	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	15.5	17.3	0.517	5.73	83.5
90	II.35	Nhãn rừng	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	22.3	15.9	0.561	14.52	170.7
91	II.36	Giỏi	<i>Aglaia roxburghiana</i> (Wight & Arn.) Miq.	16.8	15.0	0.511	3.80	99.1
92	II.37	Bứa	<i>Garcinia oliveri</i> Pierre	25.3	22.0	0.543	15.21	423.2
93	II.38	Giỏi	<i>Aglaia roxburghiana</i> (Wight & Arn.) Miq.	26.6	13.5	0.501	17.35	261.4
94	II.39	Chiêu liêu xanh	<i>Terminalia calamansanay</i> Rolfe	35.5	27.3	0.574	15.90	903.3
95	II.40	Dè	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	29.8	14.1	0.570	55.42	457.8
96	II.41	Lòng máng lá nhỏ	<i>Pterospermum diversifolium</i> Blume	37.1	20.3	0.556	59.45	980.3
97	II.42	Giỏi	<i>Magnolia braianensis</i> (Gagnep.) Figlar	39.2	26.1	0.646	28.27	1224.3
98	II.43	Săng máu	<i>Horsfieldia amygdalina</i> (Wall.) Warb.	41.1	23.9	0.565	18.10	968.6

ID	Mã cây	Tên loài	Tên khoa học	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg
99	II.44	Re Hương	<i>Cinnamomum subavenium</i> Miq.	42.9	27.8	0.626	27.34	1243.2
100	II.45	Trâm	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr.	52.1	23.2	0.583	35.26	2275.1
101	II.46	Ngát	<i>Gironniera subaequalis</i> Planch.	41.4	22.5	0.481	34.21	848.8
102	II.47	Dê	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickel & A.Camus) Barnett	51.9	24.5	0.645	45.36	2376.7
103	II.48	Thị	<i>Diospyros pilosula</i> (A.DC.) Wall. ex Hiern	48.0	23.2	0.611	58.09	1503.1
104	II.49	Vạng trứng	<i>Endospermum chinense</i> Benth.	60.0	27.2	0.570	66.48	1782.9
105	II.50	Sơn huyết	<i>Melanorrhoea curtisii</i> Oliv.	62.3	25.4	0.626	66.48	3816.3
106	II.51	Trám	<i>Canarium littorale</i> Blume	51.2	27.5	0.634	45.36	1933.3
107	II.52	Sơn	<i>Madhuca alpina</i> (A.Chev. ex Lecomte) A.Chev.	53.3	25.4	0.646	62.21	2074.1
108	II.53	Giổi	<i>Aglaia roxburghiana</i> (Wight & Arn.) Miq.	65.9	27.2	0.660	84.95	3032.0
109	II.54	Vàng nghệ	<i>Garcinia hanburyi</i> Hook.f.	67.5	26.3	0.698	50.27	3608.0
110	II.55	Chò	<i>Shorea farinosa</i> C.E.C.Fisch.	75.1	40.5	0.602	81.71	6575.9

Nguồn: Huy et al. 2016b

Dữ liệu 2. Dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất và các biến số điều tra cây rừng khộp ở vùng Tây Nguyên và Đông Nam Việt Nam

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
1	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	40.1	21.2	0.634	1077.0
2	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	42.5	22.5	0.673	1387.3
3	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	39.8	22.3	0.632	993.1
4	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	46.3	23.5	0.596	1596.7
5	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	47.5	23.0	0.584	1512.8
6	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	48.8	21.6	0.592	1710.8
7	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	31.8	17.6	0.629	691.7
8	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	35.1	19.4	0.549	475.5
9	SE	Bình Thuận	Adina	<i>Adina pilulifera</i>	Gáo vàng	11.8	8.8	0.571	32.6
10	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	46.7	16.9	0.633	1484.0
11	SE	Bình Thuận	Dalbergia	<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	Trắc	18.5	13.6	0.632	144.0
12	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	39.0	18.0	0.712	833.3
13	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	21.5	12.7	0.688	193.8
14	SE	Bình Thuận	Syzygium	<i>Syzygium sp.</i>	Trâm	40.9	19.2	0.514	727.7
15	SE	Bình Thuận	Adina	<i>Adina pilulifera</i>	Gáo vàng	22.8	15.8	0.571	202.4
16	SE	Bình Thuận	Syzygium	<i>Syzygium sp.</i>	Trâm	10.5	9.2	0.487	27.5
17	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	10.2	10.4	0.665	37.0
18	SE	Bình Thuận	Careya	<i>Careya arborea Roxb.</i>	Vừng	11.9	8.2	0.502	31.0
19	SE	Bình Thuận	Syzygium	<i>Syzygium sp.</i>	Trâm	11.7	10.9	0.483	35.6
20	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	29.5	13.5	0.708	409.8
21	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	28.2	15.7	0.575	363.0
22	SE	Bình Thuận	Careya	<i>Careya arborea Roxb.</i>	Vừng	15.4	9.8	0.559	57.6
23	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	29.2	16.4	0.551	375.2
24	SE	Bình Thuận	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	15.5	13.8	0.650	108.1
25	SE	Bình Thuận	Sapindus	<i>Sapindus saponaria</i>	Bồ hòn	27.1	17.6	0.630	359.2
26	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	26.8	12.8	0.735	352.9
27	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	12.2	9.6	0.644	60.5
28	SE	Bình Thuận	Morinda	<i>Morinda citrifolia</i>	Nhàu	10.4	8.0	0.463	20.3
29	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	32.6	18.4	0.601	474.0
30	SE	Bình Thuận	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu	31.8	15.4	0.680	473.1
31	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	25.0	15.9	0.676	212.0
32	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	20.1	11.4	0.697	133.0
33	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	37.4	20.2	0.689	890.5
34	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	30.9	14.9	0.569	349.5

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
35	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	15.7	12.3	0.532	88.3
36	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	15.7	11.6	0.544	71.3
37	SE	Bình Thuận	Dalbergia	<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	Trắc	18.0	12.0	0.577	105.4
38	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	8.6	8.3	0.608	23.5
39	SE	Bình Thuận	Syzygium	<i>Syzygium sp.</i>	Trâm	9.0	7.1	0.464	17.2
40	SE	Bình Thuận	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	18.2	12.3	0.583	135.2
41	SE	Bình Thuận	Dalbergia	<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	Trắc	15.1	10.1	0.554	46.3
42	SE	Bình Thuận	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	11.5	11.8	0.627	49.6
43	SE	Bình Thuận	Cryptocarya	<i>Cryptocarya petelotii</i>	Cà giam	15.2	10.8	0.603	79.8
44	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	44.8	22.2	0.618	1504.7
45	SE	Bình Thuận	Cratoxylum	<i>Cratoxylum formosum</i>	Thành ngành	10.5	10.0	0.625	30.6
46	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	11.2	10.0	0.554	38.3
47	SE	Bình Thuận	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu	11.0	7.5	0.615	27.6
48	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	11.1	10.7	0.560	41.6
49	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	10.3	8.6	0.555	27.6
50	SE	Bình Thuận	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu	7.6	7.3	0.603	17.7
51	SE	Bình Thuận	Irvingia	<i>Irvingia malayana</i>	Kơ nia	26.3	16.7	0.689	295.5
52	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	48.5	18.1	0.586	1307.6
53	SE	Bình Thuận	Cryptocarya	<i>Cryptocarya petelotii</i>	Cà giam	17.5	15.4	0.568	117.4
54	SE	Bình Thuận	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	Dầu lông	39.9	20.8	0.616	1153.0
55	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	7.3	4.5	0.607	4.8
56	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	6.4	3.9	0.704	8.5
57	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	5.5	5.1	0.484	3.3
58	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	5.9	6.8	0.607	5.5
59	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	6.0	6.0	0.597	5.5
60	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	16.2	7.4	0.698	76.1
61	CH	Dak Lak	Aporosa	<i>Aporosa sp</i>	Thầu tấu	6.1	5.8	0.591	5.1
62	CH	Dak Lak	Careya	<i>Careya arborea Roxb.</i>	Vừng	5.3	3.9	0.528	2.7
63	CH	Dak Lak	Careya	<i>Careya arborea Roxb.</i>	Vừng	11.1	6.2	0.543	26.4
64	CH	Dak Lak	Careya	<i>Careya arborea Roxb.</i>	Vừng	35.8	17.8	0.831	602.0
65	CH	Dak Lak	Dalbergia	<i>Dalbergia nigrescens</i>	Cắm lai đen	7.6	5.3	0.661	13.6
66	CH	Dak Lak	Dillenia	<i>Dillenia sp</i>	Sỗ	7.4	5.7	0.526	8.4
67	CH	Dak Lak	Dillenia	<i>Dillenia sp</i>	Sỗ	20.1	9.4	0.874	179.1
68	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	36.4	16.0	0.616	780.7
69	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus</i>	Dầu trà beng	23.0	16.4	0.641	178.8

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loại	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
				<i>obtusifolius</i>					
70	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	14.2	11.6	0.599	52.3
71	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	8.7	8.6	0.609	18.3
72	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	5.6	5.6	0.564	4.0
73	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	32.1	12.6	0.673	459.4
74	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	13.5	4.5	0.692	48.9
75	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	12.9	10.0	0.658	46.3
76	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	27.9	12.2	0.718	305.7
77	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	20.3	8.1	0.674	178.9
78	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	Dầu trà beng	17.6	13.8	0.581	81.5
79	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	23.7	18.0	0.687	188.3
80	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	15.5	14.7	0.589	64.2
81	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	24.3	17.7	0.683	229.5
82	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	4.9	4.5	0.428	2.0
83	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	40.5	19.0	0.705	993.5
84	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	19.9	13.0	0.752	152.8
85	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	6.3	6.3	0.579	5.8
86	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	5.6	5.8	0.498	3.2
87	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	5.4	4.3	0.379	1.6
88	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	7.3	7.6	0.592	6.1
89	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	14.2	12.0	0.734	59.6
90	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	10.2	10.5	0.609	18.0
91	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	14.7	13.1	0.515	40.3
92	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	14.5	10.1	0.550	35.8

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
93	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	7.8	12.0	0.478	11.5
94	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	6.6	6.0	0.532	4.9
95	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	5.5	5.0	0.514	2.1
96	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	5.6	4.6	0.465	1.5
97	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	19.9	12.0	0.710	168.3
98	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	23.1	12.5	0.697	223.3
99	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	21.4	11.0	0.684	148.7
100	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	6.8	4.5	0.589	8.5
101	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	31.2	14.2	0.726	421.5
102	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	11.6	8.1	0.603	31.2
103	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	10.2	9.0	0.623	28.8
104	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	22.5	8.6	0.668	37.2
105	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	8.2	6.1	0.594	13.8
106	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	32.1	15.9	0.610	389.5
107	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	20.3	6.8	0.701	60.1
108	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	10.5	7.3	0.560	27.7
109	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	7.6	6.3	0.555	13.0
110	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	13.4	7.7	0.689	60.4
111	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	9.8	8.8	0.654	25.2
112	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	24.5	10.0	0.722	185.6
113	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	20.6	9.1	0.782	220.1
114	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	21.2	9.7	0.858	169.3
115	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	6.0	5.3	0.588	6.1
116	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	5.9	4.9	0.557	5.4

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
117	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	10.2	7.6	0.670	29.0
118	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	8.0	3.8	0.689	12.0
119	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	15.5	6.7	0.683	50.7
120	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	20.2	6.5	0.739	95.0
121	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	13.5	6.7	0.641	64.7
122	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	25.0	8.6	0.654	196.0
123	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	38.4	14.2	0.636	732.3
124	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	32.8	14.0	0.785	717.4
125	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	20.8	9.2	0.731	105.7
126	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	34.3	13.5	0.686	381.1
127	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	19.0	10.1	0.660	113.7
128	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	10.9	7.0	0.598	17.8
129	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	7.0	4.0	0.592	7.3
130	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	34.9	15.6	0.697	387.7
131	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	11.6	8.0	0.654	26.5
132	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	17.4	12.2	0.652	66.6
133	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	9.0	7.1	0.613	18.9
134	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	20.6	7.2	0.633	132.2
135	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	28.6	7.5	0.642	225.6
136	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	28.7	10.3	0.814	410.7
137	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	16.0	6.0	0.723	66.4
138	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	11.7	7.9	0.574	28.3
139	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	6.2	4.7	0.613	6.8
140	CH	Dak Lak	Dipterocarpus	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	Dầu đồng	7.3	6.0	0.720	12.8

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
141	CH	Dak Lak	Haldina	<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale	Gáo	7.3	4.7	0.589	9.0
142	CH	Dak Lak	Haldina	<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale	Gáo	20.3	11.8	0.633	112.0
143	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	17.4	12.5	0.622	70.7
144	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	10.9	7.7	0.561	25.1
145	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	18.5	10.8	0.615	84.7
146	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	15.7	9.0	0.583	45.4
147	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	12.7	10.0	0.545	38.6
148	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	12.6	10.2	0.601	42.0
149	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	19.9	11.0	0.586	64.9
150	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	11.0	6.4	0.644	28.8
151	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	17.8	10.9	0.565	81.5
152	CH	Dak Lak	Nauclea	<i>Nauclea orientalis</i>	Gáo vàng	20.6	9.2	0.688	87.1
153	CH	Dak Lak	Parinari	<i>Parinari anamensis</i> Hance	Cám	5.6	4.5	0.543	2.1
154	CH	Dak Lak	Parinari	<i>Parinari anamensis</i> Hance	Cám	6.4	6.0	0.517	4.3
155	CH	Dak Lak	Parinari	<i>Parinari anamensis</i> Hance	Cám	5.5	5.0	0.547	2.2
156	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	12.6	8.5	0.665	46.8
157	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	7.7	7.2	0.604	11.7
158	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	7.8	7.8	0.600	16.6
159	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	23.0	14.1	0.692	205.9
160	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	10.4	8.1	0.601	21.3
161	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	5.6	4.4	0.507	2.9
162	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	12.2	8.4	0.564	38.0
163	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	Cắm liên	16.4	8.2	0.664	61.0
164	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	15.0	8.8	0.912	99.8
165	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	10.0	7.5	0.656	13.7
166	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	17.0	8.5	0.807	93.8
167	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	13.9	8.8	0.823	70.7
168	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	10.4	5.4	0.776	21.7
169	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	20.5	12.1	0.817	157.4
170	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	19.7	13.8	0.781	141.4
171	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	18.6	7.3	0.856	108.7
172	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	19.3	13.3	0.775	165.4
173	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	19.1	8.8	0.842	120.6
174	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	16.1	11.0	0.744	98.2

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
175	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	18.0	12.5	0.713	97.8
176	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	12.3	10.0	0.842	64.4
177	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	12.8	8.8	0.774	45.4
178	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	20.4	12.8	0.764	192.7
179	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	19.2	7.6	0.779	105.4
180	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	17.2	10.4	0.757	87.1
181	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	16.9	10.1	0.789	112.2
182	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	11.8	6.7	0.665	41.5
183	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	12.3	8.9	0.765	55.8
184	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	15.8	10.0	0.769	95.2
185	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	9.8	6.3	0.697	27.5
186	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	20.0	8.0	0.806	156.6
187	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	17.0	8.8	0.766	109.3
188	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	14.7	9.9	0.800	74.8
189	CH	Dak Lak	Shorea	<i>Shorea obtusa</i>	Cà chít	18.3	10.3	0.917	104.8
190	CH	Dak Lak	Sindora	<i>Sindora siamensis</i>	Gõ mật	11.8	4.8	0.819	47.3
191	CH	Dak Lak	Strychnos	<i>Strychnos nux-blanda</i>	Mã tiền	7.5	3.9	0.596	2.1
192	CH	Dak Lak	Strychnos	<i>Strychnos nux-blanda</i>	Mã tiền	17.5	8.7	0.606	58.9
193	CH	Dak Lak	Syzygium	<i>Syzygium cumini</i>	Trâm vối	3.4	5.3	0.634	1.8
194	CH	Dak Lak	Syzygium	<i>Syzygium cumini</i>	Trâm vối	28.4	10.0	0.546	137.1
195	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	22.6	15.8	0.810	229.7
196	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	4.0	2.5	0.627	1.3
197	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	10.8	5.0	0.760	20.8
198	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	33.5	16.1	0.821	219.7
199	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	16.7	11.4	0.749	109.7
200	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	26.8	7.6	0.953	224.2
201	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	25.0	12.5	0.744	197.9
202	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	9.5	4.8	0.731	22.1
203	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	20.9	10.5	0.842	174.2
204	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	21.3	11.6	0.773	169.8
205	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	5.1	2.8	0.562	4.1
206	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	18.4	11.3	0.699	110.1
207	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia alata</i>	Chiêu liêu đen	12.4	9.5	0.711	50.7
208	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	11.5	12.5	0.674	31.0
209	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	18.6	12.3	0.794	117.8
210	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	21.4	14.3	0.760	141.5
211	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	23.3	12.5	0.760	279.8

ID	Vùng sinh thái	Tỉnh	Chi thực vật	Tên khoa học loài	Loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg
212	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	26.4	14.4	0.907	330.8
213	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	32.3	16.3	0.783	421.6
214	CH	Dak Lak	Terminalia	<i>Terminalia corticosa</i>	Chiêu liêu ổi	12.1	10.5	0.822	59.4
215	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	8.0	7.5	0.707	13.2
216	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	8.5	8.6	0.676	15.1
217	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	5.0	6.3	0.712	4.4
218	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	6.0	3.5	0.649	7.2
219	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	7.0	4.2	0.739	10.4
220	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	21.9	11.0	0.894	142.6
221	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	7.7	6.1	0.673	9.6
222	CH	Dak Lak	Xylia	<i>Xylia xylocarpa</i>	Cắm xe	10.7	9.1	0.788	38.7

Ghi chú: SE: Vùng Đông Nam Bộ, CH: Vùng Tây Nguyên.

Nguồn: Bảo Huy (2013), Phuong et al. (2012b) và Huy et al. (2016c)

Dữ liệu 3. Bộ dữ liệu sinh khối cây rừng trên mặt đất rừng lá rộng thường xanh ở 5 vùng sinh thái, theo họ thực vật và cấp WD

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
1	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	33.5	24.5	0.485	513.0	WD2
2	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	8.7	12.0	0.560	23.4	WD2
3	NE	Others	<i>Adinandra bockiana</i>	25.5	15.5	0.415	197.2	WD2
4	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	39.5	23.6	0.723	1262.2	WD3
5	NE	Others	<i>Canarium sp.</i>	12.9	12.0	0.488	51.7	WD2
6	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	44.7	24.0	0.613	1129.9	WD3
7	NE	Others	<i>Adinandra bockiana</i>	23.9	14.8	0.390	158.1	WD1
8	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	30.4	20.1	0.628	419.9	WD3
9	NE	Others	<i>Garcinia multiflora</i>	12.6	11.4	0.535	58.6	WD2
10	NE	Others	<i>Schefflera heptaphilla</i>	28.2	19.4	0.378	261.4	WD1
11	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum balansae</i>	12.1	12.2	0.510	42.9	WD2
12	NE	Others	<i>Manglietia sp.</i>	19.3	13.7	0.405	125.6	WD2
13	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	49.7	20.6	0.664	1548.4	WD3
14	NE	Others	<i>Rhaphiolepis indica</i>	6.0	9.2	0.756	14.4	WD3
15	NE	Others	<i>Choerospondias axillaris</i>	20.2	21.0	0.509	137.2	WD2
16	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	9.7	12.0	0.523	32.0	WD2
17	NE	Leguminosae	<i>Archidendron tonkinensis</i>	7.8	11.2	0.357	10.8	WD1
18	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	7.6	8.2	0.560	14.3	WD2
19	NE	Leguminosae	<i>Cassia javanica</i>	12.4	14.0	0.517	60.3	WD2
20	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	24.8	18.8	0.372	340.2	WD1
21	NE	Others	<i>Canarium sp.</i>	17.2	14.3	0.442	86.6	WD2
22	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium chanlos</i>	6.2	6.0	0.570	10.8	WD2
23	NE	Others	<i>Trevesia palmata</i>	12.6	9.6	0.410	21.8	WD2
24	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	9.7	12.2	0.473	30.0	WD2
25	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	8.6	9.6	0.473	23.6	WD2
26	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	8.1	9.8	0.465	22.0	WD2
27	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	11.8	12.3	0.571	47.2	WD2
28	NE	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	39.4	22.9	0.528	681.7	WD2
29	NE	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	17.7	20.5	0.448	130.2	WD2
30	NE	Euphorbiaceae	<i>Mallotus paniculatus</i>	10.2	16.0	0.371	36.8	WD1
31	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	6.7	8.6	0.465	10.7	WD2
32	NE	Others	<i>Styrax tonkinensis</i>	35.3	26.5	0.420	579.9	WD2
33	NE	Others	<i>Choerospondias axillaris</i>	22.4	19.3	0.464	122.6	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
34	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	8.7	12.5	0.521	23.9	WD2
35	NE	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	19.7	23.0	0.441	164.8	WD2
36	NE	Others	<i>Adinandra boeckiana</i>	31.0	17.2	0.570	447.9	WD2
37	NE	Fagaceae	<i>Lithocarpus sp.</i>	35.1	21.6	0.770	1078.0	WD3
38	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	27.4	18.5	0.681	477.2	WD3
39	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	39.6	24.6	0.662	1013.4	WD3
40	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	30.1	25.4	0.479	575.3	WD2
41	NE	Others	<i>Styrax tonkinensis</i>	30.2	21.0	0.368	339.6	WD1
42	NE	Others	<i>Elaeocarpus floribundus</i>	24.5	18.0	0.616	402.4	WD3
43	NE	Others	<i>Choerospondias axillaris</i>	35.6	24.0	0.590	672.3	WD2
44	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	50.0	26.0	0.839	2504.1	WD3
45	NE	Others	<i>Rhaphiolepis indica</i>	7.9	9.5	0.945	25.4	WD3
46	NE	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	49.2	27.0	0.428	1215.2	WD2
47	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	52.9	25.0	0.669	2296.8	WD3
48	NE	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	74.6	32.7	0.524	3806.1	WD2
49	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	55.0	31.3	0.526	2058.2	WD2
50	NE	Others	<i>Schefflera heptaphylla</i>	54.5	25.0	0.407	1090.5	WD2
51	NE	Others	<i>Elaeocarpus floribundus</i>	65.5	28.5	0.451	2789.7	WD2
52	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	6.8	9.0	0.366	6.9	WD1
53	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	12.5	11.0	0.391	35.2	WD1
54	NE	Others	<i>Manglietia sp.</i>	6.8	8.2	0.292	9.2	WD1
55	NE	Meliaceae	<i>Aglaiia spectabilis</i>	7.5	8.5	0.433	11.5	WD2
56	NE	Others	<i>Gmelina arborea</i>	10.5	10.0	0.432	21.4	WD2
57	NE	Others	<i>Garcinia multiflora</i>	29.1	20.4	0.745	450.7	WD3
58	NE	Others	<i>Canarium parvum</i>	16.2	19.4	0.581	153.8	WD2
59	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	24.5	21.8	0.665	368.4	WD3
60	NE	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	16.6	16.5	0.721	158.8	WD3
61	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	33.4	19.7	0.659	792.9	WD3
62	NE	Others	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	30.9	19.2	0.673	587.9	WD3
63	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	18.0	14.3	0.695	158.4	WD3
64	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	65.0	23.7	0.801	2771.9	WD3
65	NE	Others	<i>Wendlandia paniculata</i>	14.5	12.8	0.648	57.2	WD3
66	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	13.7	14.4	0.686	83.0	WD3
67	NE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea mollissima</i>	15.1	14.1	0.928	161.5	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
68	NE	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	23.9	15.7	0.674	331.1	WD3
69	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	36.6	24.2	0.548	666.4	WD2
70	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	6.8	7.8	0.507	10.4	WD2
71	NE	Lauraceae	<i>Phoebe tovoyana</i>	28.8	14.5	0.499	329.1	WD2
72	NE	Others	<i>Huodendron biaristatum</i>	24.8	17.5	0.719	294.2	WD3
73	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	6.4	9.1	0.608	11.9	WD3
74	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium chanlos</i>	10.5	12.6	0.962	57.6	WD3
75	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	28.7	18.2	0.544	360.0	WD2
76	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium chanlos</i>	30.6	18.6	0.787	532.2	WD3
77	NE	Leguminosae	<i>Albizia lebbeck</i>	19.9	15.6	0.770	235.5	WD3
78	NE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea mollissima</i>	57.3	25.2	0.960	3625.9	WD3
79	NE	Others	<i>Canarium parvum</i>	10.7	13.3	0.594	36.6	WD2
80	NE	Others	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	25.5	22.7	0.693	425.8	WD3
81	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	44.3	21.6	0.547	1007.7	WD2
82	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	19.7	19.2	0.743	286.9	WD3
83	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	27.8	17.2	0.598	355.3	WD2
84	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	15.9	13.0	0.455	74.7	WD2
85	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	14.9	14.2	0.748	119.9	WD3
86	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	35.0	23.2	0.571	717.3	WD2
87	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium chanlos</i>	37.4	24.5	0.762	958.2	WD3
88	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	50.1	26.7	0.544	1273.8	WD2
89	NE	Others	<i>Semecarpus perniciososa</i>	27.0	19.8	0.550	316.7	WD2
90	NE	Others	<i>Adinandra bockiana</i>	29.7	24.6	0.738	767.4	WD3
91	NE	Others	<i>Adinandra glischroloma</i>	6.3	7.2	0.598	11.7	WD2
92	NE	Others	<i>Symplocos laurina</i>	8.9	10.9	0.833	33.6	WD3
93	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	39.6	24.7	0.794	1265.6	WD3
94	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	67.1	24.5	0.719	2432.3	WD3
95	NE	Others	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	11.8	15.0	0.637	52.5	WD3
96	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	37.1	18.5	0.519	640.6	WD2
97	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	40.4	19.5	0.477	865.5	WD2
98	NE	Lauraceae	<i>Actinodaphne pilosa</i>	8.3	10.2	0.328	15.1	WD1
99	NE	Others	<i>Styrax tonkinensis</i>	7.8	10.3	0.326	13.4	WD1
100	NE	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	56.6	17.8	0.690	1750.0	WD3
101	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	70.1	27.5	0.760	5178.5	WD3
102	NE	Lauraceae	<i>Phoebe tovoyana</i>	13.2	14.2	0.553	88.8	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
103	NE	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	11.7	11.0	0.647	34.6	WD3
104	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	49.8	23.7	0.524	1671.8	WD2
105	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	54.0	23.2	0.912	2461.5	WD3
106	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium chanlos</i>	46.0	19.5	0.920	1002.7	WD3
107	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	28.3	13.3	0.482	232.6	WD2
108	NE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea mollissima</i>	21.2	19.2	0.960	344.4	WD3
109	NE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea mollissima</i>	6.8	10.2	0.870	22.8	WD3
110	NE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea mollissima</i>	28.7	19.8	0.885	682.6	WD3
111	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	8.4	12.5	0.517	23.0	WD2
112	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	21.0	17.0	0.495	137.8	WD2
113	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	22.6	18.0	0.477	168.2	WD2
114	SE	Others	<i>Adina polycephala</i>	13.4	14.6	0.320	36.2	WD1
115	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	25.3	19.5	0.487	229.4	WD2
116	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	20.7	19.0	0.505	157.7	WD2
117	SE	Others	<i>Iringia malayana</i>	15.9	13.8	0.675	124.9	WD3
118	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	10.4	13.3	0.546	34.1	WD2
119	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	11.1	10.0	0.471	35.6	WD2
120	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	35.9	26.8	0.524	663.8	WD2
121	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	32.9	21.5	0.556	560.2	WD2
122	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	35.7	20.0	0.543	574.0	WD2
123	SE	Others	<i>Adina polycephala</i>	34.9	30.0	0.340	536.2	WD1
124	SE	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	48.2	32.3	0.681	2022.2	WD3
125	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	34.9	22.3	0.521	384.7	WD2
126	SE	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	58.2	30.0	0.491	1482.7	WD2
127	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	27.4	25.5	0.632	524.1	WD3
128	SE	Others	<i>Mangifera minutifolia</i>	29.5	19.3	0.470	374.8	WD2
129	SE	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	36.0	20.4	0.530	620.8	WD2
130	SE	Others	<i>Diospyros maritima</i>	17.5	17.8	0.629	187.9	WD3
131	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	22.5	20.9	0.620	312.7	WD3
132	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	66.9	35.8	0.581	2911.9	WD2
133	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	12.9	14.0	0.559	53.0	WD2
134	SE	Others	<i>Cephalanthus tetrandra</i>	60.1	34.3	0.357	2091.3	WD1
135	SE	Others	<i>Vitex ajugiflora</i>	20.5	19.1	0.490	117.0	WD2
136	SE	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	65.0	28.0	0.590	2547.9	WD2
137	SE	Others	NA	70.9	38.0	0.666	4330.3	WD3
138	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	41.5	28.3	0.555	786.7	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
139	SE	Others	<i>Terminalia triptera</i>	36.3	32.4	0.588	803.1	WD2
140	SE	Others	NA	55.1	25.8	0.575	1984.8	WD2
141	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	50.1	32.2	0.594	1887.3	WD2
142	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	14.7	12.9	0.569	60.9	WD2
143	SE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea odorata</i>	39.2	23.6	0.554	800.9	WD2
144	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	24.0	20.8	0.553	176.8	WD2
145	SE	Leguminosae	<i>Xylocarpus xylocarpa</i>	20.4	22.1	0.632	278.8	WD3
146	SE	Dipterocarpaceae	<i>Hopea odorata</i>	22.6	20.9	0.540	254.0	WD2
147	SE	Others	<i>Diospyros maritima</i>	14.1	12.0	0.577	77.5	WD2
148	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	36.6	26.5	0.558	552.4	WD2
149	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	10.4	14.6	0.521	35.5	WD2
150	SE	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	48.4	26.5	0.562	1754.0	WD2
151	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	52.5	27.0	0.519	1580.1	WD2
152	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	26.0	24.1	0.672	365.5	WD3
153	SE	Leguminosae	<i>Bauhinia sp.</i>	18.8	15.3	0.532	147.2	WD2
154	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	20.4	18.6	0.562	162.6	WD2
155	SE	Others	<i>Spathodea campanulata</i>	10.2	10.5	0.570	32.9	WD2
156	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	9.9	13.9	0.546	40.2	WD2
157	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	6.8	9.1	0.538	11.2	WD2
158	SE	Others	<i>Vitex ajugiflora</i>	21.3	19.6	0.518	130.2	WD2
159	SE	Others	<i>Diospyros maritima</i>	12.6	10.0	0.558	63.3	WD2
160	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	26.0	24.3	0.651	241.7	WD3
161	SE	Others	<i>Dillenia scabrella</i>	11.5	11.5	0.564	42.0	WD2
162	SE	Leguminosae	<i>Xylocarpus xylocarpa</i>	33.9	27.0	0.631	738.7	WD3
163	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	13.5	11.7	0.505	49.1	WD2
164	SE	Others	<i>Adina polycephala</i>	23.0	22.5	0.390	162.4	WD1
165	SE	Others	<i>Mangifera minutifolia</i>	21.4	15.0	0.495	163.1	WD2
166	SE	Others	<i>Mischocarpus pentapetalus</i>	15.4	16.2	0.512	83.1	WD2
167	SE	Leguminosae	<i>Dalbergia oliveri</i>	9.2	8.5	0.631	18.8	WD3
168	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	13.7	17.3	0.529	70.2	WD2
169	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	42.5	26.5	0.576	1153.0	WD2
170	SE	Dipterocarpaceae	<i>Anisoptera costata</i>	41.2	26.8	0.590	912.5	WD2
171	SE	Leguminosae	<i>Xylocarpus xylocarpa</i>	51.7	27.5	0.702	2590.5	WD3
172	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	72.5	37.5	0.587	3313.8	WD2
173	SE	Leguminosae	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	63.7	31.2	0.395	1664.4	WD1
174	SE	Others	<i>Adina polycephala</i>	35.9	23.6	0.390	603.3	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
175	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	66.5	31.5	0.525	2245.9	WD2
176	SE	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	39.8	27.3	0.648	952.3	WD3
177	SE	Others	<i>Careya arborea</i>	15.0	11.3	0.491	64.4	WD2
178	SE	Others	<i>Lagerstroemia crispa</i>	9.8	11.9	0.623	30.7	WD3
179	SE	Leguminosae	<i>Dalbergia oliveri</i>	8.1	6.8	0.629	13.1	WD3
180	SE	Leguminosae	<i>Dalbergia oliveri</i>	11.1	10.5	0.660	31.7	WD3
181	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	15.2	18.0	0.594	127.7	WD2
182	SE	Others	<i>Cratoxylum formosum</i>	15.4	16.9	0.599	90.6	WD2
183	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	30.6	20.2	0.654	602.2	WD3
184	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	12.3	13.1	0.531	39.9	WD2
185	SE	Others	<i>Diospyros decandra</i>	11.6	15.1	0.693	67.7	WD3
186	SE	Others	NA	19.4	19.5	0.620	206.7	WD3
187	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	16.0	16.1	0.552	62.7	WD2
188	SE	Others	<i>Vitex ajugiflora</i>	24.9	21.5	0.567	287.5	WD2
189	SE	Others	<i>Cephalanthus tetrandra</i>	24.4	20.5	0.395	217.4	WD1
190	SE	Others	<i>Lagerstroemia crispa</i>	22.3	21.0	0.623	309.0	WD3
191	SE	Others	<i>Adina pilulifera</i>	47.8	25.4	0.571	1048.8	WD2
192	SE	Others	<i>Adina pilulifera</i>	30.9	23.2	0.591	503.3	WD2
193	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	31.5	17.6	0.528	277.0	WD2
194	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	28.6	21.5	0.650	514.4	WD3
195	SE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i>	55.7	21.8	0.586	1924.3	WD2
196	SE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea roxburghii</i>	68.5	28.5	0.570	3582.1	WD2
197	SE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea roxburghii</i>	45.2	21.8	0.598	1159.8	WD2
198	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	47.6	29.0	0.595	1245.0	WD2
199	SE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea roxburghii</i>	30.6	22.0	0.571	521.8	WD2
200	SE	Others	<i>Irvingia malayana</i>	45.6	20.4	0.700	889.3	WD3
201	SE	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	39.0	26.7	0.667	1093.0	WD3
202	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	30.4	21.4	0.524	311.6	WD2
203	SE	Others	<i>Lagerstroemia crispa</i>	32.9	18.7	0.641	522.8	WD3
204	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	36.5	23.5	0.638	583.5	WD3
205	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	28.8	20.8	0.669	402.7	WD3
206	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	26.1	23.0	0.655	489.9	WD3
207	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	25.3	20.5	0.651	296.2	WD3
208	SE	Others	<i>Terminalia chebula</i>	9.9	15.5	0.627	39.5	WD3
209	SE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea roxburghii</i>	27.8	19.0	0.599	409.4	WD2
210	SE	Leguminosae	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	16.9	15.6	0.581	103.7	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
211	SE	Others	<i>Vitex ajugiflora</i>	9.4	13.0	0.540	25.6	WD2
212	SE	Others	<i>Irvingia malayana</i>	7.5	10.1	0.674	20.3	WD3
213	SE	Others	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	8.9	12.3	0.518	18.5	WD2
214	SE	Leguminosae	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	11.9	13.8	0.604	52.5	WD3
215	SE	Others	<i>Microcos paniculata</i>	7.2	10.0	0.535	18.0	WD2
216	SE	Others	<i>Careya arborea</i>	11.7	10.7	0.508	31.1	WD2
217	SE	Leguminosae	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	12.9	15.5	0.538	57.0	WD2
218	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	15.6	16.3	0.661	111.3	WD3
219	SE	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	52.3	25.7	0.714	1690.0	WD3
220	SE	Others	<i>Mangifera minutifolia</i>	22.3	16.7	0.464	193.7	WD2
221	NCC	Others	<i>Manglietia dandyi</i>	25.0	14.5	0.429	121.7	WD2
222	NCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus pseudosundaicus</i>	5.6	8.4	0.465	9.0	WD2
223	NCC	Others	<i>Ficus sp.</i>	38.8	16.2	0.453	390.9	WD2
224	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	23.0	19.4	0.687	389.8	WD3
225	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis tessellata</i>	32.3	20.5	0.380	321.2	WD1
226	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	40.3	21.5	0.588	858.7	WD2
227	NCC	Leguminosae	<i>Archidendron balansae</i>	35.0	16.0	0.431	237.8	WD2
228	NCC	Leguminosae	<i>Archidendron balansae</i>	53.3	21.4	0.493	741.0	WD2
229	NCC	Lauraceae	<i>Litsea sp.</i>	27.6	15.4	0.406	207.6	WD2
230	NCC	Others	<i>Polyalthia sp.</i>	45.5	22.0	0.392	736.1	WD1
231	NCC	Leguminosae	<i>Aidia pycnantha</i>	7.0	7.6	0.609	16.3	WD3
232	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	35.7	16.6	0.643	625.5	WD3
233	NCC	Euphorbiaceae	<i>Sapium sebiferum</i>	25.5	17.1	0.342	207.5	WD1
234	NCC	Lauraceae	<i>Cinnadenia paniculata</i>	28.2	19.2	0.592	333.5	WD2
235	NCC	Leguminosae	<i>Pithecolobium acuminatum</i>	23.1	15.2	0.367	136.5	WD1
236	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia balansae</i>	8.1	9.7	0.451	11.5	WD2
237	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	5.0	7.2	0.702	9.7	WD3
238	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis tessellata</i>	11.8	11.5	0.384	38.7	WD1
239	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	6.3	9.0	0.672	15.1	WD3
240	NCC	Others	<i>Helicia cochinchinensis</i>	22.0	13.8	0.529	137.6	WD2
241	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	29.4	19.8	0.545	350.1	WD2
242	NCC	Others	<i>Camelia sp.</i>	9.6	11.4	0.434	23.4	WD2
243	NCC	Meliaceae	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	22.3	15.7	0.406	140.3	WD2
244	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia balansae</i>	10.3	12.3	0.439	35.2	WD2
245	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	19.7	12.6	0.437	108.7	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
246	NCC	Others	<i>Prunus arborea</i>	24.0	15.9	0.427	188.1	WD2
247	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	22.9	16.4	0.383	136.5	WD1
248	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	19.3	11.6	0.494	113.2	WD2
249	NCC	Leguminosae	<i>Pithecolobium acumiratum</i>	30.6	15.7	0.448	294.6	WD2
250	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	22.1	14.3	0.388	167.3	WD1
251	NCC	Lauraceae	<i>Litsea sp.</i>	20.6	14.5	0.529	147.3	WD2
252	NCC	Leguminosae	<i>Pithecolobium acumiratum</i>	22.6	14.6	0.437	109.8	WD2
253	NCC	Others	<i>Ficus sp.</i>	35.2	18.1	0.417	351.2	WD2
254	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	19.3	14.5	0.527	143.1	WD2
255	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	7.9	8.5	0.384	13.9	WD1
256	NCC	Others	<i>Knema conferta</i>	11.6	9.9	0.419	34.0	WD2
257	NCC	Leguminosae	<i>Pithecolobium acumiratum</i>	7.9	10.0	0.450	11.4	WD2
258	NCC	Others	<i>Dracontomelon duperreanum</i>	18.7	12.1	0.462	84.5	WD2
259	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	18.3	12.7	0.411	72.0	WD2
260	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis tessellata</i>	25.8	14.8	0.390	221.7	WD1
261	NCC	Lauraceae	<i>Cinnadenia paniculata</i>	14.5	13.3	0.424	51.8	WD2
262	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	12.1	10.6	0.500	37.1	WD2
263	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	12.6	11.9	0.594	68.8	WD2
264	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	6.0	8.2	0.703	12.5	WD3
265	NCC	Others	<i>Symplocos sp.</i>	10.1	10.0	0.366	21.4	WD1
266	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	7.1	7.8	0.640	15.4	WD3
267	NCC	Euphorbiaceae	<i>Mallotus macrostachyus</i>	9.5	10.6	0.450	22.7	WD2
268	NCC	Leguminosae	<i>Pithecolobium acumiratum</i>	10.3	13.5	0.482	36.6	WD2
269	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	18.2	14.8	0.577	116.3	WD2
270	NCC	Others	<i>Goniothalamus macrocalyx</i>	5.9	7.6	0.602	15.2	WD3
271	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	52.9	24.8	0.760	2213.1	WD3
272	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	70.0	28.7	0.648	4605.2	WD3
273	NCC	Leguminosae	<i>Archidendron eberhardtia</i>	28.7	22.8	0.526	458.8	WD2
274	NCC	Lauraceae	<i>Cryptocarya lenticellata</i>	10.7	8.2	0.487	26.1	WD2
275	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	39.2	22.6	0.504	784.2	WD2
276	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	10.4	7.1	0.529	35.8	WD2
277	NCC	Others	<i>Knema conferta</i>	11.2	9.5	0.575	36.9	WD2
278	NCC	Others	<i>Engelhardtia</i>	38.6	22.1	0.546	504.8	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
			<i>roxburghiana</i>					
279	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	27.9	13.5	0.426	221.4	WD2
280	NCC	Others	<i>Symplocos laurina</i>	22.6	17.8	0.469	248.9	WD2
281	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis hystrix</i>	59.0	25.4	0.468	2436.3	WD2
282	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	34.2	19.3	0.466	490.4	WD2
283	NCC	Lauraceae	<i>Actinodaphne ellipticibacca</i>	17.0	15.8	0.380	77.0	WD1
284	NCC	Others	NA	14.8	17.5	0.432	78.4	WD2
285	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	17.2	17.3	0.452	125.3	WD2
286	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	16.5	18.8	0.444	109.0	WD2
287	NCC	Leguminosae	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	56.5	28.2	0.553	2759.2	WD2
288	NCC	Others	<i>Rubus parvifolius</i>	15.7	14.8	0.608	86.1	WD3
289	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	16.7	14.8	0.618	147.9	WD3
290	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis hystrix</i>	37.4	27.3	0.463	966.5	WD2
291	NCC	Others	<i>Eberhardtia tonkinensis</i>	9.4	12.2	0.375	18.3	WD1
292	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	33.0	20.3	0.573	730.5	WD2
293	NCC	Others	NA	19.6	15.4	0.591	215.4	WD2
294	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.3	7.8	0.316	14.2	WD1
295	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	7.3	11.0	0.526	11.7	WD2
296	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	24.1	13.7	0.508	216.1	WD2
297	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	13.2	12.2	0.449	50.7	WD2
298	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	56.2	22.6	0.567	2313.2	WD2
299	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	59.4	26.1	0.648	2972.5	WD3
300	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	41.0	23.6	0.742	1513.3	WD3
301	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	23.1	16.1	0.666	312.0	WD3
302	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	31.4	24.9	0.731	871.5	WD3
303	NCC	Others	<i>Eberhardtia tonkinensis</i>	18.2	13.3	0.376	89.8	WD1
304	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	18.6	15.8	0.425	131.7	WD2
305	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	14.6	14.9	0.546	123.6	WD2
306	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	14.5	12.4	0.626	85.5	WD3
307	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	33.8	25.9	0.453	639.1	WD2
308	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	49.1	27.6	0.727	1688.6	WD3
309	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	53.5	27.5	0.552	1878.9	WD2
310	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	29.0	18.2	0.630	792.3	WD3
311	NCC	Others	NA	46.9	16.4	0.555	1195.4	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
312	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	38.3	25.6	0.707	1168.9	WD3
313	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	15.8	15.9	0.593	127.6	WD2
314	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	71.4	36.2	0.638	5659.5	WD3
315	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis hystrix</i>	48.5	27.9	0.589	1829.7	WD2
316	NCC	Others	<i>Schima superba</i>	22.4	23.7	0.487	215.5	WD2
317	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	54.0	29.8	0.750	2356.2	WD3
318	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	65.4	31.8	0.676	3421.6	WD3
319	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	39.1	19.3	0.538	511.4	WD2
320	NCC	Others	<i>Nephelium cuspidatum</i>	63.3	26.6	0.748	4086.6	WD3
321	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	39.7	25.0	0.460	673.1	WD2
322	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	18.4	17.0	0.407	135.5	WD2
323	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	41.8	25.8	0.480	709.8	WD2
324	NCC	Others	<i>Eberhardtia tonkinensis</i>	25.3	23.6	0.340	186.9	WD1
325	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	32.9	17.5	0.647	926.5	WD3
326	NCC	Lauraceae	<i>Endiandra hainanensis</i>	27.2	22.4	0.429	364.5	WD2
327	NCC	Lauraceae	<i>Actinodaphne pilosa</i>	31.6	23.0	0.425	375.6	WD2
328	NCC	Leguminosae	<i>Archidendron eberhardtia</i>	33.2	21.5	0.517	524.8	WD2
329	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	24.5	17.7	0.542	260.9	WD2
330	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	46.3	25.6	0.621	1614.9	WD3
331	NCC	Others	NA	31.9	15.4	0.505	454.9	WD2
332	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	9.0	10.9	0.679	39.5	WD3
333	NCC	Leguminosae	<i>Archidendron eberhardtia</i>	26.1	23.1	0.497	458.3	WD2
334	NCC	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	54.3	33.6	0.474	2657.2	WD2
335	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	37.1	27.2	0.434	625.2	WD2
336	NCC	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	55.1	25.5	0.468	1713.9	WD2
337	NCC	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	8.1	9.4	0.431	14.8	WD2
338	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	36.3	24.8	0.703	1399.5	WD3
339	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis hystrix</i>	56.9	29.2	0.574	2099.7	WD2
340	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	11.0	12.7	0.510	41.4	WD2
341	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	30.6	21.3	0.675	868.6	WD3
342	NCC	Others	NA	39.6	17.8	0.548	656.2	WD2
343	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	33.6	17.5	0.432	466.8	WD2
344	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	26.0	20.8	0.572	519.8	WD2
345	NCC	Others	<i>Alangium barbatum</i>	20.9	19.8	0.391	134.3	WD1
346	NCC	Others	<i>Rubus parvifolius</i>	18.1	14.1	0.599	123.5	WD2
347	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	11.6	10.9	0.652	69.0	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
348	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	45.8	23.3	0.622	1528.4	WD3
349	NCC	Lauraceae	<i>Endiandra hainanensis</i>	30.1	24.9	0.519	520.9	WD2
350	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	38.1	23.3	0.729	1628.4	WD3
351	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	11.0	16.1	0.640	62.3	WD3
352	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	38.1	28.4	0.386	712.5	WD1
353	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	10.8	13.4	0.450	54.4	WD2
354	NCC	Lauraceae	<i>Cryptocarya lenticellata</i>	9.8	8.9	0.588	23.2	WD2
355	NCC	Euphorbiaceae	<i>Aleurites montana</i>	39.5	23.6	0.396	558.3	WD1
356	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	40.6	21.1	0.644	837.5	WD3
357	NCC	Others	<i>Schima superba</i>	60.0	32.0	0.537	2676.2	WD2
358	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	19.6	13.7	0.658	249.8	WD3
359	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	15.3	15.0	0.483	86.2	WD2
360	NCC	Others	<i>Nephelium cuspidatum</i>	21.2	20.4	0.630	273.6	WD3
361	NCC	Others	<i>Manglietia dandyi</i>	22.2	15.2	0.370	142.1	WD1
362	NCC	Others	<i>Artocarpus rigidus</i>	22.6	20.0	0.442	189.6	WD2
363	NCC	Leguminosae	<i>Antheroporum pierrei</i>	65.3	32.6	0.578	3796.2	WD2
364	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	67.1	24.9	0.740	3148.1	WD3
365	NCC	Others	<i>Nephelium cuspidatum</i>	66.1	26.4	0.647	2579.2	WD3
366	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	66.0	32.9	0.527	2169.9	WD2
367	NCC	Others	<i>Oroxylum indicum</i>	15.9	15.9	0.364	62.8	WD1
368	NCC	Others	<i>Knema conferta</i>	7.9	11.2	0.367	12.1	WD1
369	NCC	Others	NA	27.0	18.0	0.516	271.0	WD2
370	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis hystrix</i>	59.4	26.4	0.511	2193.1	WD2
371	NCC	Others	<i>Elaeocarpus griffithii</i>	18.6	15.3	0.363	121.6	WD1
372	SCC	Others	<i>Canarium littorale Bl.</i>	14.6	12.0	0.588	67.7	WD2
373	SCC	Others	<i>Sterculia parviflora Roxb.</i>	12.0	13.9	0.533	57.1	WD2
374	SCC	Others	<i>Ilex annamensis Tard</i>	6.9	7.6	0.581	11.8	WD2
375	SCC	Others	<i>Dillenia indica L.</i>	11.0	11.5	0.536	34.0	WD2
376	SCC	Others	<i>Diospyros decandra</i>	14.5	17.4	0.664	120.3	WD3
377	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	6.2	9.5	0.591	9.7	WD2
378	SCC	Others	<i>Gardenia philastrei Pierre</i> ex Pit.	10.6	12.9	0.566	54.3	WD2
379	SCC	Others	<i>Canarium littorale Bl.</i>	5.6	12.2	0.620	7.7	WD3
380	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis A.</i> Dc.	10.2	10.9	0.586	33.2	WD2
381	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	7.2	10.4	0.638	13.5	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
382	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	10.2	12.1	0.568	35.4	WD2
383	SCC	Others	<i>Dillenia indica</i> L.	9.6	9.3	0.552	27.9	WD2
384	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	8.5	10.3	0.619	25.2	WD3
385	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> A. Camus.	11.7	14.3	0.585	44.2	WD2
386	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et Perry.	7.0	9.4	0.536	12.0	WD2
387	SCC	Others	<i>Barringtonia racenmosa</i> (L.) Spreng	9.1	7.2	0.494	19.8	WD2
388	SCC	Meliaceae	<i>Aglaia roxburghiana</i> Miq.	6.8	8.0	0.659	18.0	WD3
389	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	8.8	11.0	0.561	21.1	WD2
390	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et Perry.	16.4	18.4	0.567	100.4	WD2
391	SCC	Others	<i>Prunus ceylanica</i> (Wight.) Miq.	23.4	18.0	0.589	238.4	WD2
392	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	21.7	23.3	0.589	248.5	WD2
393	SCC	Others	<i>Nauclea orientalis</i> L.	16.9	17.0	0.430	77.5	WD2
394	SCC	Others	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagn.	12.1	11.5	0.582	47.8	WD2
395	SCC	Others	<i>Knema pierre</i> Warb.	15.7	14.2	0.595	80.7	WD2
396	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> (Hance) Kosterm.	18.8	20.5	0.591	175.0	WD2
397	SCC	Others	<i>Vitex plerrea</i> P. Dop.	16.0	14.3	0.524	100.1	WD2
398	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et Perry.	24.2	22.9	0.595	283.5	WD2
399	SCC	Others	<i>Knema pierre</i> Warb.	17.2	16.3	0.591	136.1	WD2
400	SCC	Ulmaceae	<i>Gironiera subaequalis</i> Planch.	19.9	13.5	0.506	128.5	WD2
401	SCC	Others	<i>Camelia fleuryi</i> (Pit.) Sealy	32.3	21.7	0.505	610.0	WD2
402	SCC	Euphorbiaceae	<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	35.9	20.2	0.544	450.4	WD2
403	SCC	Others	<i>Garcinia handburyi</i> Hook.F	25.9	16.9	0.691	411.0	WD3
404	SCC	Others	<i>Garcinia oliveri</i> Pierre.	30.2	17.5	0.712	644.3	WD3
405	SCC	Others	<i>Barringtonia racenmosa</i> (L.) Spreng	11.4	9.3	0.541	39.9	WD2
406	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	31.3	31.2	0.637	853.7	WD3
407	SCC	Others	<i>Acronychia oligophlebia</i> Merr	49.5	22.8	0.495	968.2	WD2
408	SCC	Others	<i>Acronychia oligophlebia</i> Merr	36.6	22.2	0.518	742.6	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
409	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	42.8	31.5	0.630	1903.4	WD3
410	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> <i>A. Camus.</i>	54.7	29.2	0.566	2960.7	WD2
411	SCC	Others	<i>Magnolia braianensis</i> <i>Gagnep.</i>	54.1	33.5	0.634	1988.4	WD3
412	SCC	Others	<i>Sterculia parviflora</i> Roxb.	49.7	34.4	0.644	1651.8	WD3
413	SCC	Others	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> <i>Gagn.</i>	55.5	27.6	0.598	747.1	WD2
414	SCC	Others	<i>Canarium littorale</i> Bl.	55.0	32.7	0.610	1800.5	WD3
415	SCC	Lauraceae	<i>Litsea elliptica</i>	57.8	31.5	0.582	2345.4	WD2
416	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et <i>Perry.</i>	13.6	13.5	0.603	53.4	WD3
417	SCC	Others	<i>Canarium littorale</i> Bl.	65.0	32.5	0.640	3687.3	WD3
418	SCC	Others	<i>Calophyllum</i> <i>dryobalanooides</i> Pierre	68.4	26.4	0.567	3894.5	WD2
419	SCC	Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	66.5	35.0	0.502	2785.9	WD2
420	SCC	Others	<i>Canarium littorale</i> Bl.	82.4	33.5	0.644	6349.5	WD3
421	SCC	Euphorbiaceae	<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	79.0	34.5	0.575	3954.1	WD2
422	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	87.7	41.4	0.663	8633.0	WD3
423	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis</i> A. <i>Dc.</i>	6.5	6.2	0.593	14.7	WD2
424	SCC	Others	<i>Dillenia indica</i> L.	13.4	14.0	0.559	76.0	WD2
425	SCC	Others	<i>Dillenia indica</i> L.	9.3	11.6	0.476	21.9	WD2
426	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis</i> A. <i>Dc.</i>	13.5	15.1	0.614	77.7	WD3
427	SCC	Others	<i>Styrax benjoin</i> Dryand.	12.8	14.1	0.557	63.6	WD2
428	SCC	Others	<i>Madhuca alpina</i> Chev.	14.8	19.6	0.613	118.0	WD3
429	SCC	Euphorbiaceae	<i>Baccaurea ramiflora</i> <i>Lour.</i>	10.9	14.2	0.603	43.5	WD3
430	SCC	Meliaceae	<i>Aglaia elaeagnoidea</i> <i>Benth.</i>	9.2	12.6	0.485	19.8	WD2
431	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis</i> A. <i>Dc.</i>	5.5	7.1	0.538	7.0	WD2
432	SCC	Others	<i>Diospyros pilosula</i> Hiern.	5.7	6.4	0.621	6.4	WD3
433	SCC	Others	<i>Diospyros pilosula</i> Hiern.	7.6	9.1	0.641	19.9	WD3
434	SCC	Others	<i>Magnolia braianensis</i> <i>Gagnep.</i>	7.2	8.1	0.516	6.5	WD2
435	SCC	Ulmaceae	<i>Gironiera subaequalis</i> <i>Planch.</i>	13.4	14.1	0.568	64.3	WD2
436	SCC	Others	<i>Knema pierre</i> Warb.	5.4	4.7	0.609	6.8	WD3
437	SCC	Lauraceae	<i>Litsea baviensis</i> var <i>venulosa</i> Liouho.	5.2	7.4	0.515	7.6	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
438	SCC	Others	<i>Camelia fleuryi</i> (Pit.) <i>Sealy</i>	8.8	8.7	0.613	22.7	WD3
439	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et <i>Perry.</i>	7.2	9.6	0.614	21.5	WD3
440	SCC	Others	<i>Knema pierre</i> Warb.	5.4	6.8	0.596	6.9	WD2
441	SCC	Others	<i>Madhuca alpina</i> Chev.	5.3	9.2	0.633	8.6	WD3
442	SCC	Ulmaceae	<i>Gironiera subaequalis</i> <i>Planch.</i>	6.5	5.2	0.549	6.2	WD2
443	SCC	Others	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> <i>Leenh.</i>	4.9	8.5	0.649	7.3	WD3
444	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis</i> A. <i>Dc.</i>	5.1	5.8	0.577	5.9	WD2
445	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	9.9	11.1	0.600	30.0	WD3
446	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> <i>A. Camus.</i>	14.7	16.5	0.549	86.2	WD2
447	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> <i>A. Camus.</i>	20.2	20.0	0.626	260.0	WD3
448	SCC	Others	<i>Barringtonia racenmosa</i> <i>(L.) Spreng</i>	16.9	10.4	0.556	117.9	WD2
449	SCC	Others	<i>Canarium littorale</i> Bl.	13.5	13.1	0.645	51.4	WD3
450	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	24.4	18.5	0.595	329.0	WD2
451	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et <i>Perry.</i>	17.1	14.0	0.650	153.8	WD3
452	SCC	Others	<i>Scaphium lychnophorum</i> <i>(Hance) Kosterm.</i>	17.4	16.1	0.593	93.8	WD2
453	SCC	Others	<i>Acronychia oligophlebia</i> <i>Merr</i>	18.0	17.0	0.560	103.4	WD2
454	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> <i>A. Camus.</i>	15.5	17.3	0.517	83.5	WD2
455	SCC	Others	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> <i>Leenh.</i>	22.3	15.9	0.561	170.7	WD2
456	SCC	Meliaceae	<i>Aglaia roxburghiana</i> Miq.	16.8	15.0	0.511	99.1	WD2
457	SCC	Others	<i>Garcinia oliveri</i> Pierre.	25.3	22.0	0.543	423.2	WD2
458	SCC	Meliaceae	<i>Aglaia roxburghiana</i> Miq.	26.6	13.5	0.501	261.4	WD2
459	SCC	Others	<i>Terminalia calamansanai</i> <i>Rolfé.</i>	35.5	27.3	0.574	903.3	WD2
460	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et <i>Perry.</i>	14.3	12.6	0.620	91.6	WD3
461	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> <i>A. Camus.</i>	29.8	14.1	0.570	457.8	WD2
462	SCC	Others	<i>Pterospermum diversifolia</i> <i>Bl.</i>	37.1	20.3	0.556	980.3	WD2
463	SCC	Others	<i>Magnolia braianensis</i> <i>Gagnep.</i>	39.2	26.1	0.646	1224.3	WD3
464	SCC	Others	<i>Hosfieldia amygdalina</i>	41.1	23.9	0.565	968.6	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
			(Wall.) Warb.					
465	SCC	Lauraceae	<i>Cinnamomum subavenium</i> Miq.	42.9	27.8	0.626	1243.2	WD3
466	SCC	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i> Merr. Et Perry.	52.1	23.2	0.583	2275.1	WD2
467	SCC	Ulmaceae	<i>Gironiera subaequalis</i> Planch.	41.4	22.5	0.481	848.8	WD2
468	SCC	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i> A. Camus.	51.9	24.5	0.645	2376.7	WD3
469	SCC	Others	<i>Diospyros pilosula</i> Hiern.	48.0	23.2	0.611	1503.1	WD3
470	SCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum sinensis</i> Benth.	60.0	27.2	0.570	1782.9	WD2
471	SCC	Others	<i>Elaeocarpus kontumensis</i> Gagn.	10.6	6.7	0.572	14.9	WD2
472	SCC	Others	<i>Melanorhea laccifera</i> Pierre.	62.3	25.4	0.626	3801.3	WD3
473	SCC	Others	<i>Canarium littorale</i> Bl.	51.2	27.5	0.634	1933.3	WD3
474	SCC	Others	<i>Madhuca alpina</i> Chev.	53.3	25.4	0.646	2074.1	WD3
475	SCC	Meliaceae	<i>Aglaia roxburghiana</i> Miq.	65.9	27.2	0.660	3032.0	WD3
476	SCC	Others	<i>Garcinia handburyi</i> Hook.F	67.5	26.3	0.698	3466.9	WD3
477	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	75.1	40.5	0.602	6575.9	WD3
478	SCC	Others	<i>Camelia fleuryi</i> (Pit.) Sealy	12.4	10.2	0.647	44.9	WD3
479	SCC	Others	<i>Camelia fleuryi</i> (Pit.) Sealy	8.4	12.3	0.624	28.1	WD3
480	SCC	Others	<i>Polyalthia nemoralis</i> A. Dc.	11.8	11.2	0.640	47.9	WD3
481	SCC	Dipterocarpaceae	<i>Shorea farinosa</i>	10.4	15.2	0.553	50.6	WD2
482	NE	Lauraceae	<i>Phoebe tovoyana</i>	8.8	10.3	0.378	16.8	WD1
483	NE	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	40.1	28.2	0.359	680.9	WD1
484	NE	Others	<i>Michelia mediocris</i>	17.0	14.4	0.327	75.0	WD1
485	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis</i> sp.	19.1	17.0	0.377	114.9	WD1
486	NE	Others	<i>Terminalia bellirica</i>	26.1	22.7	0.472	330.0	WD2
487	NE	Leguminosae	<i>Archidendron tonkinensis</i>	49.4	28.0	0.497	1337.9	WD2
488	NE	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	19.7	14.7	0.327	82.0	WD1
489	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	19.1	18.6	0.785	230.6	WD3
490	NE	Lauraceae	<i>Cryptocarya impressa</i>	17.4	17.4	0.559	137.6	WD2
491	NE	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	14.5	14.0	0.300	46.3	WD1
492	NE	Lauraceae	<i>Litsea</i> sp.	11.1	11.4	0.395	32.5	WD1
493	NE	Lauraceae	<i>Phoebe tovoyana</i>	25.2	15.8	0.546	288.8	WD2
494	NE	Others	<i>Eberhardtia tonkinensis</i>	12.7	13.0	0.373	38.2	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
495	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	68.5	31.5	0.715	2908.8	WD3
496	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	51.3	26.1	0.362	911.9	WD1
497	NE	Others	<i>Dillenia turbiana</i>	23.2	15.3	0.559	207.8	WD2
498	NE	Others	<i>Canarium sp.</i>	63.7	31.1	0.470	2189.0	WD2
499	NE	Meliaceae	<i>Aglaia spectabilis</i>	81.8	33.5	0.475	4531.9	WD2
500	NE	Lauraceae	<i>Cinnamomum glaucescens</i>	25.2	17.8	0.335	266.7	WD1
501	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	9.2	13.0	0.445	30.7	WD2
502	NE	Others	<i>Tetradium glabrifolium</i>	28.0	22.6	0.295	241.4	WD1
503	NE	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	13.4	15.1	0.339	61.4	WD1
504	NE	Meliaceae	<i>Aglaia spectabilis</i>	28.0	21.4	0.401	357.7	WD2
505	NE	Others	<i>Tetradium glabrifolium</i>	31.2	22.8	0.341	357.4	WD1
506	NE	Leguminosae	<i>Archidendron tonkinensis</i>	11.6	10.3	0.383	37.2	WD1
507	NE	Leguminosae	<i>Archidendron lucidum</i>	9.2	11.4	0.404	20.1	WD2
508	NE	Leguminosae	<i>Archidendron tonkinensis</i>	8.9	13.5	0.255	12.2	WD1
509	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	10.0	10.9	0.408	23.3	WD2
510	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	12.7	14.5	0.398	45.2	WD1
511	NE	Others	<i>Schima wallichii</i>	17.2	15.9	0.490	137.3	WD2
512	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	37.4	26.0	0.491	938.9	WD2
513	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	32.8	23.0	0.594	552.3	WD2
514	NE	Others	<i>Sapindus delavayi</i>	10.8	11.5	0.322	22.8	WD1
515	NE	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	10.6	11.2	0.300	27.4	WD1
516	NE	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	17.7	16.4	0.352	104.4	WD1
517	NE	Others	<i>Euodia sutchuenensis</i>	45.5	23.1	0.378	652.7	WD1
518	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	40.4	28.4	0.404	738.4	WD2
519	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	35.2	26.1	0.757	891.4	WD3
520	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	25.8	18.0	0.463	459.4	WD2
521	NE	Others	<i>Huodendron biaristatum</i>	26.3	21.5	0.406	263.3	WD2
522	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	19.1	17.8	0.723	179.5	WD3
523	NE	Others	<i>Euodia sutchuenensis</i>	30.3	23.4	0.259	290.5	WD1
524	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	33.8	27.0	0.586	722.0	WD2
525	NE	Leguminosae	<i>Archidendron tonkinensis</i>	21.0	17.4	0.436	195.9	WD2
526	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	22.3	20.2	0.742	356.3	WD3
527	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	43.6	27.8	0.508	1392.1	WD2
528	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	14.0	12.4	0.738	87.0	WD3
529	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	16.9	20.6	0.774	148.9	WD3
530	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	6.3	7.0	0.398	9.5	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
531	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	44.9	30.0	0.500	1078.1	WD2
532	NE	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	23.1	17.7	0.325	124.6	WD1
533	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	44.7	32.0	0.472	1081.8	WD2
534	NE	Others	<i>Ficus trivia</i>	21.5	17.8	0.686	242.2	WD3
535	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	21.6	16.3	0.397	136.6	WD1
536	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	35.6	24.8	0.964	947.0	WD3
537	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	39.6	30.2	0.467	890.1	WD2
538	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	57.1	29.5	0.652	2103.6	WD3
539	NE	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	19.7	22.3	0.435	137.2	WD2
540	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	8.7	10.2	0.469	17.7	WD2
541	NE	Others	<i>Symplocos laurina</i>	25.7	20.2	0.781	366.1	WD3
542	NE	Meliaceae	<i>Aglaia spectabilis</i>	45.5	25.8	0.441	918.1	WD2
543	NE	Others	<i>Canarium sp.</i>	43.8	33.1	0.605	1728.7	WD3
544	NE	Lauraceae	<i>Litsea cubeba</i>	22.9	20.2	0.411	161.3	WD2
545	NE	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	10.3	11.1	0.320	23.2	WD1
546	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	12.6	13.7	0.431	55.6	WD2
547	NE	Others	<i>Nephelium melliferum</i>	11.7	15.3	0.592	67.0	WD2
548	NE	Lauraceae	<i>Phoebe toveyana</i>	46.0	35.5	0.540	1398.2	WD2
549	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	43.7	31.8	0.902	2196.3	WD3
550	NE	Leguminosae	<i>Albizia lebbek</i>	55.1	30.7	0.698	1985.3	WD3
551	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	10.7	12.8	0.488	38.2	WD2
552	NE	Others	<i>Symplocos laurina</i>	9.5	11.6	0.558	23.0	WD2
553	NE	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	11.1	12.7	0.656	39.9	WD3
554	NE	Others	<i>Symplocos laurina</i>	14.7	14.5	0.516	77.1	WD2
555	NE	Others	<i>Symplocos laurina</i>	14.2	14.6	0.565	84.8	WD2
556	NE	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	18.4	18.0	0.385	122.6	WD1
557	NE	Dipterocarpaceae	<i>Shorea roxburghii</i>	35.5	23.3	0.508	653.9	WD2
558	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	19.4	16.3	0.830	209.9	WD3
559	NE	Others	<i>Pometia pinnata</i>	47.0	32.2	0.576	1473.3	WD2
560	NE	Others	<i>Holarrhena pubescens</i>	34.1	25.1	0.437	518.4	WD2
561	NE	Meliaceae	<i>Aglaia spectabilis</i>	34.7	16.0	0.512	475.1	WD2
562	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	8.5	11.1	0.817	30.0	WD3
563	NE	Others	<i>Adinandra bockiana</i>	10.8	11.9	0.711	47.2	WD3
564	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	6.7	8.8	0.766	16.5	WD3
565	NE	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	21.5	19.0	0.708	209.0	WD3
566	NE	Meliaceae	<i>Aglaia spectabilis</i>	5.4	6.1	0.693	7.2	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
567	NE	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	9.9	12.6	0.409	26.4	WD2
568	NE	Others	<i>Ficus vasculosa</i>	9.4	10.5	0.361	19.5	WD1
569	NE	Others	<i>Schefflera heptaphylla</i>	5.7	8.9	0.509	7.0	WD2
570	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium wightianum</i>	31.7	27.2	0.797	863.3	WD3
571	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	12.5	11.6	0.445	38.1	WD2
572	NE	Others	<i>Prunus arborea</i>	33.4	21.3	0.342	312.0	WD1
573	NE	Others	<i>Elaeocarpus tonkinensis</i>	25.3	19.7	0.560	313.1	WD2
574	NE	Others	<i>Choerospondias axillaris</i>	29.0	25.2	0.494	444.5	WD2
575	NE	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	28.2	22.2	0.400	358.0	WD1
576	NE	Others	<i>Ficus vasculosa</i>	30.5	21.9	0.479	402.6	WD2
577	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	34.0	21.7	0.833	919.1	WD3
578	NE	Others	<i>Nephelium melliferum</i>	61.8	27.4	0.882	2832.0	WD3
579	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	38.8	18.3	0.531	664.2	WD2
580	NE	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	39.4	27.4	0.689	1238.5	WD3
581	NE	Leguminosae	<i>Archidendron chevalieri</i>	49.9	24.2	0.439	1003.5	WD2
582	NE	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	70.3	36.6	0.889	5521.8	WD3
583	NE	Others	<i>Garuga pinnata</i>	16.4	17.4	0.601	129.2	WD3
584	NE	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	5.9	8.2	0.840	11.4	WD3
585	NE	Others	<i>Kitabalia macrophylla</i>	9.8	6.5	0.556	18.7	WD2
586	NE	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	13.2	11.1	0.838	88.1	WD3
587	NCC	Others	<i>Zygoceus truncatus</i>	48.0	20.5	0.475	701.1	WD2
588	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	19.7	17.0	0.703	246.8	WD3
589	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	25.9	16.5	0.546	466.7	WD2
590	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	19.4	14.5	0.701	184.1	WD3
591	NCC	Others	<i>Adinandra integerrima</i>	36.0	23.5	0.469	607.6	WD2
592	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	27.1	22.0	0.369	208.5	WD1
593	NCC	Others	<i>Prunus arborea</i>	25.2	19.5	0.576	270.8	WD2
594	NCC	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	38.1	24.0	0.415	692.2	WD2
595	NCC	Euphorbiaceae	<i>Sapium discolor</i>	21.5	21.3	0.403	175.6	WD2
596	NCC	Lauraceae	<i>Cryptocarya sp.</i>	35.6	28.0	0.512	911.2	WD2
597	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica chevalieri</i>	35.6	30.0	0.686	997.0	WD3
598	NCC	Leguminosae	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	10.6	8.4	0.647	31.3	WD3
599	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	38.1	23.4	0.449	492.7	WD2
600	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	26.4	20.0	0.431	271.4	WD2
601	NCC	Meliaceae	<i>Aglaia macrocarpa</i>	46.5	26.0	0.373	943.2	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
602	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis chinensis</i>	39.9	23.9	0.541	1435.6	WD2
603	NCC	Meliaceae	<i>Aglaia macrocarpa</i>	29.0	18.0	0.500	430.5	WD2
604	NCC	Others	NA	28.4	21.5	0.397	268.6	WD1
605	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium wightianum</i>	27.0	18.5	0.437	257.6	WD2
606	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	62.0	28.1	0.401	1259.0	WD2
607	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis pierrei</i>	35.2	20.0	0.468	449.1	WD2
608	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	18.8	10.0	0.543	140.0	WD2
609	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	33.5	18.0	0.398	411.7	WD1
610	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis pierrei</i>	40.7	19.0	0.473	727.0	WD2
611	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia balansae</i>	35.1	23.0	0.507	862.8	WD2
612	NCC	Others	<i>Manglietia conifera</i>	29.6	15.0	0.383	203.5	WD1
613	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	35.2	19.7	0.391	289.7	WD1
614	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	59.2	29.2	0.422	1224.4	WD2
615	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	26.5	19.7	0.404	268.1	WD2
616	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	60.5	29.8	0.392	1314.5	WD1
617	NCC	Others	<i>Pometia pinnata</i>	25.3	22.5	0.389	281.2	WD1
618	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis pierrei</i>	34.7	19.5	0.518	385.6	WD2
619	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	36.7	20.0	0.350	400.1	WD1
620	NCC	Others	<i>Prunus arborea</i>	20.5	14.5	0.544	97.1	WD2
621	NCC	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	27.0	21.0	0.364	262.4	WD1
622	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	20.6	13.5	0.602	234.7	WD3
623	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	55.2	25.2	0.353	926.0	WD1
624	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	67.2	23.7	0.368	1199.1	WD1
625	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	60.2	23.8	0.375	1084.1	WD1
626	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	45.6	24.0	0.382	782.7	WD1
627	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	45.5	19.5	0.361	609.8	WD1
628	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	35.8	21.5	0.351	405.5	WD1
629	NCC	Others	<i>Alstonia scholaris</i>	46.5	18.5	0.428	586.4	WD2
630	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis pierrei</i>	24.8	17.0	0.434	314.5	WD2
631	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia balansae</i>	22.6	18.7	0.472	355.2	WD2
632	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	45.4	22.5	0.383	557.4	WD1
633	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	46.3	23.0	0.353	596.7	WD1
634	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis cerebrina</i>	47.9	22.5	0.429	501.8	WD2
635	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	12.0	9.0	0.323	26.6	WD1
636	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	22.0	17.0	0.385	162.3	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
637	NCC	Leguminosae	<i>Sindora siamensis</i>	60.5	31.5	0.578	3409.6	WD2
638	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	29.0	17.0	0.699	387.4	WD3
639	NCC	Others	<i>Canarium sp.</i>	31.5	19.7	0.750	526.8	WD3
640	NCC	Others	<i>Polyathia lauii</i>	46.8	24.5	0.386	847.7	WD1
641	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	47.4	27.5	0.616	1462.0	WD3
642	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	26.0	25.5	0.925	635.9	WD3
643	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	42.7	30.9	0.873	1806.2	WD3
644	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	70.4	34.9	0.623	2986.3	WD3
645	NCC	Others	<i>Canarium sp.</i>	37.4	25.1	0.708	792.6	WD3
646	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	59.6	34.2	0.714	2780.3	WD3
647	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	41.4	22.7	0.733	1324.8	WD3
648	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium wightianum</i>	54.9	28.5	0.639	2031.4	WD3
649	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	32.5	26.5	0.748	551.8	WD3
650	NCC	Others	<i>Microcos paniculata</i>	26.9	20.4	0.637	429.9	WD3
651	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	25.1	15.9	0.864	323.8	WD3
652	NCC	Euphorbiaceae	<i>Koilodepas longifolium</i>	13.1	17.8	0.861	104.9	WD3
653	NCC	Lauraceae	<i>Machilus sp.</i>	22.4	22.1	0.538	165.6	WD2
654	NCC	Others	<i>Artocarpus lakoocha</i>	11.1	14.7	0.416	26.4	WD2
655	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	6.1	8.0	0.660	9.9	WD3
656	NCC	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	7.5	9.0	0.526	14.9	WD2
657	NCC	Others	<i>Carallia brachiata</i>	10.6	10.2	0.411	21.9	WD2
658	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	19.7	14.2	0.453	126.5	WD2
659	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	25.1	21.0	0.559	232.7	WD2
660	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	5.0	9.0	0.643	8.8	WD3
661	NCC	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	5.9	6.9	0.780	9.8	WD3
662	NCC	Lauraceae	<i>Machilus odoratissima</i>	14.4	17.5	0.722	103.6	WD3
663	NCC	Meliaceae	<i>Aphanamixis grandiflora</i>	6.4	9.8	0.776	15.3	WD3
664	NCC	Others	<i>Symplocos sp.</i>	6.7	7.7	0.658	10.8	WD3
665	NCC	Others	<i>Diospyros sylvatica</i>	24.6	19.2	0.624	322.1	WD3
666	NCC	Others	<i>Glycosmis citrifolia</i>	17.2	15.4	0.671	139.0	WD3
667	NCC	Euphorbiaceae	<i>Macaranga denticulata</i>	9.1	10.8	0.823	41.2	WD3
668	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia sp.</i>	7.0	9.6	0.456	10.7	WD2
669	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	16.8	18.3	0.567	153.3	WD2
670	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	40.8	20.5	0.721	990.6	WD3
671	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	5.4	9.3	0.548	9.3	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
672	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	11.1	12.5	0.927	65.7	WD3
673	NCC	Lauraceae	<i>Litsea sp.</i>	12.5	14.3	0.665	66.1	WD3
674	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	21.0	16.5	0.752	178.1	WD3
675	NCC	Others	<i>Diospyros apiculata</i>	9.1	8.6	0.608	27.5	WD3
676	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	14.5	15.6	0.396	59.0	WD1
677	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	15.1	14.3	0.926	142.2	WD3
678	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	18.6	18.6	0.736	199.4	WD3
679	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	21.3	14.6	0.765	240.4	WD3
680	NCC	Others	<i>Michelia mediocris</i>	9.6	12.5	0.547	21.5	WD2
681	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	36.1	24.7	0.595	921.7	WD2
682	NCC	Others	<i>Diospyros apiculata</i>	7.3	6.9	0.646	15.3	WD3
683	NCC	Others	<i>Diospyros sylvatica</i>	7.9	9.0	0.744	14.3	WD3
684	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	9.3	10.2	0.650	36.4	WD3
685	NCC	Euphorbiaceae	<i>Koilodepas longifolium</i>	9.7	11.3	0.792	43.9	WD3
686	NCC	Meliaceae	<i>Aphanamixis grandiflora</i>	11.1	12.2	0.553	41.8	WD2
687	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	15.2	11.8	0.468	36.6	WD2
688	NCC	Leguminosae	<i>Sindora siamensis</i>	54.8	31.8	0.677	2557.3	WD3
689	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	67.5	33.1	0.508	3333.8	WD2
690	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia sp.</i>	65.2	32.0	0.537	2801.1	WD2
691	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	55.1	22.8	0.942	1759.2	WD3
692	NCC	Lauraceae	<i>Litsea umbellata</i>	44.5	22.1	0.437	650.4	WD2
693	NCC	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	32.6	23.3	0.511	509.8	WD2
694	NCC	Others	<i>Canarium tramdenum</i>	49.8	26.5	0.528	1366.3	WD2
695	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	31.0	16.4	0.762	438.3	WD3
696	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	55.0	25.4	0.639	1935.7	WD3
697	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	34.5	24.1	0.860	1108.0	WD3
698	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	25.1	21.2	0.597	316.1	WD2
699	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	28.1	21.2	0.838	623.8	WD3
700	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	39.3	23.1	0.441	735.7	WD2
701	NCC	Others	<i>Ficus sp.</i>	33.0	21.3	0.480	364.6	WD2
702	NCC	Meliaceae	<i>Aphanamixis grandiflora</i>	74.5	33.3	0.716	3805.0	WD3
703	NCC	Others	<i>Glenniea philippinensis</i>	63.0	33.2	0.730	3240.3	WD3
704	NCC	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	39.8	26.3	0.581	1385.8	WD2
705	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	29.5	22.8	0.847	698.9	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
706	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	52.7	31.2	0.863	2336.3	WD3
707	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	12.3	13.6	0.652	63.2	WD3
708	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	10.0	12.4	0.647	35.0	WD3
709	NCC	Others	<i>Canarium sp.</i>	9.2	14.4	0.762	37.1	WD3
710	NCC	Others	<i>Symplocos sp.</i>	14.5	19.0	0.573	75.2	WD2
711	NCC	Others	<i>Alangium ridleyi</i>	6.6	9.3	0.552	12.9	WD2
712	NCC	Others	<i>Knema sp.</i>	11.5	11.9	0.499	36.9	WD2
713	NCC	Others	<i>Symplocos sp.</i>	7.6	9.0	0.679	13.8	WD3
714	NCC	Others	<i>Schefflera heptaphylla</i>	26.6	17.7	0.402	221.7	WD2
715	NCC	Leguminosae	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	22.6	20.4	0.572	246.2	WD2
716	NCC	Leguminosae	<i>Erythrophleum fordii</i>	7.8	9.4	0.584	16.3	WD2
717	NCC	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	10.4	13.0	0.605	41.8	WD3
718	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	6.4	7.5	0.521	9.0	WD2
719	NCC	Others	<i>Artocarpus rigidus</i>	13.4	16.1	0.448	38.6	WD2
720	NCC	Others	<i>Xerospermum macrophyllum</i>	5.9	8.5	0.752	11.2	WD3
721	NCC	Others	<i>Horsfieldia amygdalina</i>	17.5	12.8	0.465	77.9	WD2
722	NCC	Others	<i>Knema sp.</i>	9.5	9.3	0.497	23.2	WD2
723	NCC	Others	<i>Tarrietia javanica</i>	10.4	12.2	0.549	29.8	WD2
724	NCC	Others	<i>Vernonia arborea</i>	18.6	21.5	0.661	207.0	WD3
725	NCC	Lauraceae	<i>Machilus odoratissima</i>	45.6	29.5	0.442	971.9	WD2
726	NCC	Lauraceae	<i>Cinnamomum obtusifolium</i>	21.7	16.0	0.534	198.2	WD2
727	NCC	Lauraceae	<i>Cryptocarya lenticellata</i>	9.7	10.5	0.496	31.9	WD2
728	NCC	Lauraceae	<i>Litsea sp.</i>	17.1	15.9	0.518	105.6	WD2
729	NCC	Lauraceae	<i>Litsea sp.</i>	7.0	10.3	0.451	10.3	WD2
730	NCC	Others	<i>Horsfieldia amygdalina</i>	5.6	6.9	0.484	4.9	WD2
731	NCC	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.2	8.4	0.667	7.1	WD3
732	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	14.1	14.8	0.869	118.0	WD3
733	NCC	Others	<i>Diospyros apiculata</i>	6.3	6.5	0.568	9.3	WD2
734	NCC	Others	<i>Artocarpus rigidus</i>	15.6	18.5	0.746	115.7	WD3
735	NCC	Others	<i>Artocarpus masticata</i>	8.6	11.7	0.446	16.4	WD2
736	NCC	Lauraceae	<i>Machilus sp.</i>	72.2	33.8	0.443	2550.6	WD2
737	NCC	Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	10.3	12.9	0.473	26.1	WD2
738	NCC	Others	<i>Knema sp.</i>	22.7	19.4	0.669	258.6	WD3
739	NCC	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	20.3	21.5	0.668	274.4	WD3
740	NCC	Lauraceae	<i>Cryptocarya sp.</i>	12.0	12.0	0.443	35.0	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
741	NCC	Others	<i>Glycosmis citrifolia</i>	19.0	16.2	0.462	85.6	WD2
742	NCC	Others	<i>Garcinia cowa</i>	7.8	9.1	0.674	22.9	WD3
743	NCC	Others	<i>Polyathia lauii</i>	58.2	29.2	0.435	1232.8	WD2
744	NCC	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	68.5	33.5	0.444	1971.2	WD2
745	NCC	Leguminosae	<i>Ormosia sp.</i>	36.8	23.9	0.537	809.3	WD2
746	NCC	Dipterocarpaceae	<i>Vatica odorata</i>	45.5	21.4	0.946	1191.6	WD3
747	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	4.7	5.3	0.622	3.9	WD3
748	CH	Euphorbiaceae	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	5.0	7.9	0.339	5.0	WD1
749	CH	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.0	6.3	0.614	5.3	WD3
750	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	5.1	7.1	0.597	9.6	WD2
751	CH	Others	NA	5.2	4.7	0.375	2.9	WD1
752	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	5.3	6.9	0.600	9.5	WD2
753	CH	Lauraceae	<i>Phoebe lanceolata</i>	5.6	8.8	0.395	5.0	WD1
754	CH	Others	<i>Symplocos sp.</i>	5.6	4.5	0.480	5.9	WD2
755	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	5.6	5.5	0.491	7.3	WD2
756	CH	Others	<i>Cratoxylum prunifolium</i>	5.7	8.7	0.416	11.3	WD2
757	CH	Others	NA	5.8	5.3	0.422	6.2	WD2
758	CH	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.9	7.4	0.574	7.0	WD2
759	CH	Others	<i>Michelia mediocris</i>	6.1	5.5	0.397	6.3	WD1
760	CH	Others	<i>Hydnocarpus kurzii (King)</i> <i>Warb</i>	6.4	7.4	0.547	11.6	WD2
761	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	6.4	9.8	0.640	11.2	WD3
762	CH	Others	<i>Alstonia scholaris</i>	6.4	6.1	0.425	6.1	WD2
763	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	6.5	8.0	0.352	10.1	WD1
764	CH	Euphorbiaceae	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	6.5	7.5	0.341	7.3	WD1
765	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	6.5	11.5	0.681	14.8	WD3
766	CH	Ulmaceae	<i>Gironniera nervosa</i>	6.5	9.7	0.413	10.0	WD2
767	CH	Others	<i>Prunus arborea</i>	6.5	8.1	0.483	9.5	WD2
768	CH	Others	NA	6.5	8.8	0.219	7.1	WD1
769	CH	Others	<i>Diospyros ehretioides</i>	6.6	6.5	0.632	9.8	WD3
770	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium hancei</i>	6.7	3.9	0.555	10.2	WD2
771	CH	Others	<i>Grewia paniculata</i>	6.8	6.3	0.459	11.1	WD2
772	CH	Meliaceae	<i>Walsura pinnata Hassk.</i>	6.8	6.9	0.622	15.4	WD3
773	CH	Euphorbiaceae	<i>Macaranga indica</i>	7.0	9.5	0.341	11.0	WD1
774	CH	Others	NA	7.0	7.8	0.695	14.7	WD3
775	CH	Others	<i>Tetradium sp</i>	7.0	8.2	0.530	16.6	WD2
776	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	7.0	7.4	0.569	14.5	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
777	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	7.0	8.5	0.326	13.8	WD1
778	CH	Others	<i>Calophyllum sp.</i>	7.0	7.1	0.590	18.0	WD2
779	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	7.1	10.4	0.237	6.3	WD1
780	CH	Others	<i>Barringtonia acutangula</i>	7.2	7.6	0.435	21.8	WD2
781	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	7.2	8.5	0.554	17.1	WD2
782	CH	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.3	9.4	0.596	16.0	WD2
783	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	7.3	10.0	0.682	44.5	WD3
784	CH	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.5	9.0	0.672	16.4	WD3
785	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	7.5	8.7	0.660	18.0	WD3
786	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	7.6	10.2	0.603	22.5	WD3
787	CH	Others	NA	7.6	9.4	0.573	17.8	WD2
788	CH	Euphorbiaceae	<i>Aporosa microcalyx</i>	7.6	6.3	0.584	19.7	WD2
789	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	7.7	9.4	0.522	18.4	WD2
790	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	7.7	9.4	0.669	19.8	WD3
791	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	7.8	12.5	0.507	25.5	WD2
792	CH	Others	<i>Symplocos sp.</i>	7.9	9.9	0.528	21.2	WD2
793	CH	Ulmaceae	<i>Girroniera nervosa</i>	7.9	10.5	0.502	19.2	WD2
794	CH	Others	<i>Alphonsea sp.</i>	7.9	8.4	0.560	16.3	WD2
795	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	8.0	9.8	0.546	32.1	WD2
796	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	8.0	7.8	0.286	12.8	WD1
797	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	8.1	6.0	0.658	13.4	WD3
798	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	8.1	8.9	0.556	21.0	WD2
799	CH	Others	NA	8.1	13.2	0.573	28.2	WD2
800	CH	Others	<i>Knema poilanei</i>	8.2	11.9	0.344	15.5	WD1
801	CH	Others	NA	8.2	8.3	0.706	22.4	WD3
802	CH	Others	<i>Pterospermum grewifolium Pierre</i>	8.3	7.0	0.182	7.6	WD1
803	CH	Others	NA	8.3	7.3	0.580	19.4	WD2
804	CH	Others	<i>Grewia paniculata</i>	8.3	9.2	0.730	29.1	WD3
805	CH	Euphorbiaceae	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	8.5	9.0	0.304	18.3	WD1
806	CH	Others	<i>Schima superba</i>	8.5	10.5	0.303	25.3	WD1
807	CH	Meliaceae	<i>Melia sp.</i>	8.5	12.4	0.203	18.8	WD1
808	CH	Ulmaceae	<i>Girroniera nervosa</i>	8.6	8.0	0.165	8.3	WD1
809	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	8.6	9.9	0.410	18.1	WD2
810	CH	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	8.6	9.5	0.489	33.4	WD2
811	CH	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus</i>	8.7	6.5	0.291	14.0	WD1

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
			<i>duperreanus</i>					
812	CH	Others	<i>Styrax annamensis</i>	8.7	11.3	0.455	20.7	WD2
813	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	8.8	13.1	0.458	36.0	WD2
814	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	8.8	10.5	0.611	27.9	WD3
815	CH	Euphorbiaceae	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	8.8	9.6	0.318	16.8	WD1
816	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	8.9	6.5	0.362	13.5	WD1
817	CH	Others	NA	8.9	8.8	0.598	31.5	WD2
818	CH	Others	NA	8.9	10.3	0.545	23.8	WD2
819	CH	Others	<i>Vitex pubescens</i>	9.0	12.4	0.294	21.8	WD1
820	CH	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i>	9.0	11.5	0.561	37.1	WD2
821	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	9.0	11.6	0.597	57.0	WD2
822	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	9.3	7.3	0.517	24.9	WD2
823	CH	Meliaceae	<i>Aglaia annamensis</i>	9.3	11.2	0.877	42.2	WD3
824	CH	Meliaceae	<i>Walsura pinnata Hassk.</i>	9.4	8.0	0.590	40.3	WD2
825	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	9.4	9.1	0.307	21.2	WD1
826	CH	Others	NA	9.5	9.7	0.393	21.9	WD1
827	CH	Meliaceae	<i>Xylocarpus granatum</i> <i>J.Koenig</i>	9.7	10.7	0.467	34.1	WD2
828	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	9.7	7.7	0.456	25.0	WD2
829	CH	Others	<i>Streblus ilicifolius</i>	9.8	7.5	0.727	41.9	WD3
830	CH	Euphorbiaceae	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	9.8	12.5	0.353	44.6	WD1
831	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	9.9	11.0	0.369	36.2	WD1
832	CH	Others	<i>Pterospermum</i> <i>heterophyllum</i>	9.9	13.9	0.610	35.4	WD3
833	CH	Others	NA	10.0	11.6	0.598	34.4	WD2
834	CH	Meliaceae	<i>Chukrasia</i> <i>tabularis A.Juss</i>	10.0	8.3	0.487	26.9	WD2
835	CH	Fagaceae	<i>Quercus glauca Thunb</i>	10.1	12.5	0.692	52.9	WD3
836	CH	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	10.1	12.8	0.493	28.3	WD2
837	CH	Others	<i>Trevesia palmata</i>	10.2	10.2	0.476	26.3	WD2
838	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	10.2	8.9	0.581	24.4	WD2
839	CH	Meliaceae	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	10.2	9.5	0.725	41.4	WD3
840	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	10.5	8.6	0.482	21.4	WD2
841	CH	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i>	10.6	10.8	0.717	65.3	WD3
842	CH	Others	<i>Donella Sp.</i>	10.7	14.1	0.744	60.9	WD3
843	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	10.8	9.7	0.319	30.3	WD1
844	CH	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	10.8	10.6	0.461	28.3	WD2
845	CH	Others	NA	11.0	8.3	0.451	27.9	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
846	CH	Others	<i>Garcinia spl</i>	11.0	12.0	0.735	52.7	WD3
847	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	11.1	12.6	0.569	69.4	WD2
848	CH	Others	NA	11.2	11.6	0.540	57.3	WD2
849	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	11.2	8.4	0.564	34.7	WD2
850	CH	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	11.3	13.1	0.618	40.9	WD3
851	CH	Others	<i>Semecarpus sp.</i>	11.4	10.9	0.458	32.2	WD2
852	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	11.5	13.2	0.486	62.0	WD2
853	CH	Others	<i>Morinda sp.</i>	11.6	11.0	0.562	47.4	WD2
854	CH	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	11.6	9.0	0.629	53.6	WD3
855	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	11.9	12.8	0.579	75.3	WD2
856	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	12.1	12.7	0.492	70.9	WD2
857	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	12.2	8.8	0.277	36.6	WD1
858	CH	Others	NA	12.3	13.2	0.513	18.2	WD2
859	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	12.3	7.1	0.721	61.9	WD3
860	CH	Others	<i>Calophyllum calaba</i>	12.6	15.3	0.279	42.6	WD1
861	CH	Euphorbiaceae	<i>Macaranga indica</i>	13.0	13.8	0.349	49.3	WD1
862	CH	Others	<i>Trevesia palmata</i>	13.0	15.2	0.354	54.4	WD1
863	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	13.1	9.4	0.346	54.6	WD1
864	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	13.7	10.0	0.641	80.2	WD3
865	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	14.0	18.7	0.609	37.9	WD3
866	CH	Others	NA	14.0	12.6	0.265	52.0	WD1
867	CH	Others	<i>Ixora coccinea</i>	14.0	14.8	0.197	52.2	WD1
868	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	14.1	10.3	0.292	46.0	WD1
869	CH	Others	<i>Donella Sp.</i>	14.6	11.3	0.712	115.2	WD3
870	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	15.0	14.4	0.267	45.2	WD1
871	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	15.1	14.1	0.556	153.5	WD2
872	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	15.2	17.0	0.224	99.9	WD1
873	CH	Others	<i>Trema orientalis</i>	15.4	9.8	0.299	50.1	WD1
874	CH	Others	<i>Manglietia sp.</i>	15.4	19.6	0.616	134.0	WD3
875	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	15.5	10.7	0.457	67.1	WD2
876	CH	Others	<i>Careya sphaerica</i>	15.8	15.3	0.621	99.2	WD3
877	CH	Others	<i>Acronychia pedunculata</i>	15.8	12.9	0.576	140.2	WD2
878	CH	Others	<i>Celtis philippinensis</i> Blanco var. <i>wightii</i> (Planch.) <i>Soepadmo</i>	15.9	19.2	0.683	138.5	WD3
879	CH	Meliaceae	<i>Melia sp.</i>	16.0	13.0	0.329	79.3	WD1
880	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i>	16.2	10.5	0.732	58.1	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
881	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	16.5	11.8	0.390	59.0	WD1
882	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	16.5	20.8	0.575	261.8	WD2
883	CH	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i>	16.5	15.0	0.736	210.3	WD3
884	CH	Others	<i>Schefflera octophylla</i>	16.6	10.2	0.404	55.8	WD2
885	CH	Others	<i>Canarium sp1</i>	16.9	14.5	0.645	129.4	WD3
886	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	17.0	13.9	0.463	201.4	WD2
887	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	17.0	14.8	0.330	182.1	WD1
888	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	17.1	16.1	0.596	175.8	WD2
889	CH	Others	<i>Polyalthia cerasoides</i>	17.6	17.2	0.751	180.4	WD3
890	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	17.8	15.5	0.507	128.1	WD2
891	CH	Others	<i>Elaeocarpus sp.</i>	18.0	14.6	0.542	184.7	WD2
892	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	18.0	16.5	0.508	222.8	WD2
893	CH	Others	<i>Diospyros maritima</i>	18.1	12.1	0.715	172.6	WD3
894	CH	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	18.3	15.3	0.323	133.4	WD1
895	CH	Leguminosae	<i>Dialium cochinchinense</i>	18.3	4.3	0.564	65.4	WD2
896	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	18.4	16.7	0.443	118.3	WD2
897	CH	Others	<i>Alstonia scholaris</i>	18.5	15.6	0.410	88.9	WD2
898	CH	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	18.9	13.1	0.520	167.4	WD2
899	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	19.3	17.5	0.465	202.2	WD2
900	CH	Others	<i>Nephelium lappaceum</i>	19.6	15.0	0.882	276.6	WD3
901	CH	Others	<i>Canarium album</i>	19.6	16.5	0.767	265.5	WD3
902	CH	Meliaceae	<i>Melia sp.</i>	20.0	14.8	0.235	126.2	WD1
903	CH	Lauraceae	<i>Phoebe lanceolata</i>	20.1	13.2	0.595	150.4	WD2
904	CH	Others	NA	20.3	10.6	0.608	117.4	WD3
905	CH	Others	<i>Alstonia scholaris</i>	21.7	15.5	0.340	102.8	WD1
906	CH	Others	<i>Polyalthia cerasoides</i>	22.0	21.4	0.756	410.1	WD3
907	CH	Others	<i>Elaeocarpus sp.</i>	22.1	18.0	0.492	200.9	WD2
908	CH	Others	<i>Schima superba</i>	22.5	15.6	0.726	263.7	WD3
909	CH	Others	NA	22.8	13.5	0.823	348.7	WD3
910	CH	Others	<i>Hydnocarpus kurzii</i> (King) Warb	23.0	16.5	0.320	230.6	WD1
911	CH	Others	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	23.2	18.2	0.723	402.3	WD3
912	CH	Lauraceae	<i>Machilus parviflora</i>	23.5	23.4	0.586	359.7	WD2
913	CH	Others	<i>Garcinia oblongifolia</i>	23.7	13.4	0.732	244.2	WD3
914	CH	Euphorbiaceae	<i>Aporosa microcalyx</i>	23.8	26.8	0.706	528.0	WD3

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
915	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	24.0	20.4	0.409	429.5	WD2
916	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	24.0	14.6	0.501	448.5	WD2
917	CH	Others	<i>Ternstroemia kwangtungensis</i>	24.1	12.1	0.628	285.5	WD3
918	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	24.4	16.0	0.484	472.6	WD2
919	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	24.4	22.0	0.549	319.3	WD2
920	CH	Others	<i>Michelia balansae</i>	24.5	25.2	0.452	341.1	WD2
921	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium hancei</i>	24.8	14.2	0.664	461.9	WD3
922	CH	Others	<i>Calophyllum dongnaiense</i>	25.1	27.0	0.642	456.5	WD3
923	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	25.4	21.0	0.369	435.1	WD1
924	CH	Others	<i>Diospyros sp.</i>	25.5	16.0	0.765	420.1	WD3
925	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	26.0	17.5	0.345	554.3	WD1
926	CH	Others	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	26.0	13.5	0.357	274.4	WD1
927	CH	Others	<i>Irvingia malayana</i>	26.5	17.5	0.846	413.4	WD3
928	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	26.8	20.5	0.434	369.5	WD2
929	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	26.8	14.8	0.641	501.4	WD3
930	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	27.1	18.8	0.517	600.1	WD2
931	CH	Euphorbiaceae	<i>Endospermum chinense</i>	27.5	15.4	0.280	245.6	WD1
932	CH	Others	<i>Schefflera octophylla</i>	28.3	21.0	0.407	285.9	WD2
933	CH	Others	<i>Garcinia sp1</i>	28.7	21.9	0.874	514.0	WD3
934	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	30.5	15.8	0.565	533.2	WD2
935	CH	Others	<i>Schima superba</i>	30.5	24.2	0.320	678.6	WD1
936	CH	Others	<i>Manglietia sp.</i>	30.8	23.6	0.464	526.1	WD2
937	CH	Ulmaceae	<i>Gironniera nervosa</i>	31.1	15.0	0.475	435.2	WD2
938	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	31.6	21.5	0.462	437.7	WD2
939	CH	Others	<i>Camellia vietnamensis</i>	32.4	23.9	0.746	944.3	WD3
940	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	32.5	23.0	0.404	844.7	WD2
941	CH	Others	<i>Schima superba</i>	33.0	27.3	0.212	611.5	WD1
942	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium levinei</i>	33.1	19.6	0.586	672.3	WD2
943	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	33.8	23.0	0.581	913.1	WD2
944	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	34.0	18.3	0.336	716.7	WD1
945	CH	Others	<i>Vitex quinata</i>	34.4	11.3	0.622	425.1	WD3
946	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	34.5	19.5	0.602	648.0	WD3
947	CH	Others	<i>Manglietia confifera</i>	35.1	24.0	0.631	864.9	WD3
948	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	36.0	19.5	0.294	762.4	WD1
949	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	36.4	18.5	0.426	733.6	WD2

ID	Vùng sinh thái (Region)	Họ thực vật (Family.Group)	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	AGB, kg	WD. class
950	CH	Others	<i>Hydnocarpus kurzii</i> (King) Warb	37.0	21.8	0.223	660.0	WD1
951	CH	Others	<i>Elaeocarpus sp.</i>	37.4	24.1	0.617	844.7	WD3
952	CH	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	38.6	22.0	0.527	865.3	WD2
953	CH	Others	<i>Wrightia pubescens</i>	38.7	17.3	0.451	494.3	WD2
954	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	39.8	22.2	0.541	1147.1	WD2
955	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	40.4	22.0	0.607	1882.4	WD3
956	CH	Others	<i>Calophyllum sp.</i>	41.0	23.8	0.298	1385.5	WD1
957	CH	Others	<i>Spondias pinnata</i>	42.6	19.1	0.642	1003.2	WD3
958	CH	Others	<i>Schima superba</i>	45.0	25.0	0.319	1497.7	WD1
959	CH	Others	<i>Schima superba</i>	46.0	25.0	0.356	1359.9	WD1
960	CH	Others	<i>Schima superba</i>	47.8	21.0	0.550	1631.1	WD2
961	CH	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	49.0	22.8	0.425	1600.5	WD2
962	CH	Others	<i>Schima superba</i>	52.5	26.2	0.310	1580.7	WD1
963	CH	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	53.5	23.5	0.447	2159.2	WD2
964	CH	Others	<i>Schima superba</i>	55.4	26.5	0.410	2337.0	WD2
965	CH	Others	<i>Schima superba</i>	56.0	24.7	0.272	1860.0	WD1
966	CH	Others	<i>Elaeocarpus sp.</i>	56.7	22.9	0.274	1255.8	WD1
967	CH	Others	<i>Tetrameles nudiflora</i>	60.8	22.0	0.356	2179.5	WD1
968	CH	Others	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	76.0	27.5	0.456	3149.3	WD2

Ghi chú: Ký hiệu vùng sinh thái: NE: Đông Bắc, NCC: Bắc miền Trung, SCC: Nam miền Trung, CH: Tây Nguyên và SE: Đông Nam Bộ.

Nguồn: Phuong et al., (2012b), Bảo Huy (2013) và Huy et al. (2016a)

Dữ liệu 4. Dữ liệu sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh và rừng khộp ở vùng sinh thái Tây Nguyên

Ký hiệu ô	ID	Kiểu rừng	Họ thực vật	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg	BGB, kg	RS
K1	55	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	7.3	4.5	0.607	2.84	4.8	1.6	0.33
K1	56	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	6.4	3.9	0.704	4.52	8.5	7.2	0.85
K2	57	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	5.5	5.1	0.484	1.54	3.3	1.5	0.44
K2	58	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	5.9	6.8	0.607	2.01	5.5	1.4	0.26
K3	59	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	6.0	6.0	0.597	1.33	5.5	1.6	0.28
K13	61	DF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa sp</i>	6.1	5.8	0.591	4.52	5.1	1.6	0.31
K1	62	DF	Lecythidaceae	<i>Careya arborea</i> Roxb.	5.3	3.9	0.528	0.95	2.7	0.7	0.27
K10	63	DF	Lecythidaceae	<i>Careya arborea</i> Roxb.	11.1	6.2	0.543	9.62	26.4	8.4	0.32
K4	65	DF	Leguminosae	<i>Dalbergia nigrescens</i>	7.6	5.3	0.661	9.62	13.6	3.9	0.28
K4	66	DF	Dilleniaceae	<i>Dillenia sp</i>	7.4	5.7	0.526	0.79	8.4	2.5	0.30
K1	68	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	36.4	16.0	0.616	54.11	780.7	84.8	0.11
K3	69	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	23.0	16.4	0.641	18.10	178.8	50.5	0.28
K3	70	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	14.2	11.6	0.599	12.57	52.3	14.7	0.28
K3	71	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	8.7	8.6	0.609	4.15	18.3	4.2	0.23
K3	72	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	5.6	5.6	0.564	2.54	4.0	2.0	0.50
K4	73	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	32.1	12.6	0.673	26.42	459.4	77.5	0.17
K4	74	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	13.5	4.5	0.692	8.55	48.9	4.0	0.08
K5	75	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	12.9	10.0	0.658	4.91	46.3	14.8	0.32
K1	79	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	23.7	18.0	0.687	12.57	188.3	31.4	0.17
K1	80	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	15.5	14.7	0.589	2.54	64.2	5.3	0.08
K1	81	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	24.3	17.7	0.683	11.34	229.5	35.7	0.16
K1	82	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	4.9	4.5	0.428	1.13	2.0	1.2	0.60
K2	83	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	40.5	19.0	0.705	51.53	993.5	172.6	0.17
K2	84	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	19.9	13.0	0.752	22.06	152.8	30.1	0.20
K2	85	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	6.3	6.3	0.579	1.77	5.8	1.7	0.29
K2	86	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.6	5.8	0.498	0.95	3.2	2.2	0.68
K2	87	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.4	4.3	0.379	0.50	1.6	1.9	1.23
K3	88	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	7.3	7.6	0.592	2.01	6.1	2.7	0.44
K3	89	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	14.2	12.0	0.734	5.31	59.6	7.9	0.13
K3	90	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	10.2	10.5	0.609	3.46	18.0	4.3	0.24
K3	91	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	14.7	13.1	0.515	6.61	40.3	11.7	0.29
K3	92	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	14.5	10.1	0.550	7.07	35.8	10.5	0.29
K3	93	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	7.8	12.0	0.478	2.01	11.5	1.7	0.14
K3	94	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	6.6	6.0	0.532	1.77	4.9	2.4	0.48
K3	95	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.5	5.0	0.514	0.38	2.1	0.5	0.24

Ký hiệu ô	ID	Kiểu rừng	Họ thực vật	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg	BGB, kg	RS
K3	96	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.6	4.6	0.465	0.79	1.5	1.1	0.71
K4	97	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	19.9	12.0	0.710	8.55	168.3	53.8	0.32
K4	98	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	23.1	12.5	0.697	16.62	223.3	64.1	0.29
K4	99	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	21.4	11.0	0.684	13.20	148.7	61.2	0.41
K4	100	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	6.8	4.5	0.589	3.80	8.5	2.8	0.33
K5	102	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	11.6	8.1	0.603	6.16	31.2	9.1	0.29
K5	103	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	10.2	9.0	0.623	3.30	28.8	6.6	0.23
K5	105	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	8.2	6.1	0.594	2.54	13.8	3.0	0.22
K6	108	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	10.5	7.3	0.560	8.04	27.7	5.6	0.20
K6	109	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	7.6	6.3	0.555	1.13	13.0	2.6	0.20
K6	110	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	13.4	7.7	0.689	3.80	60.4	7.1	0.12
K6	111	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	9.8	8.8	0.654	1.13	25.2	4.1	0.16
K6	115	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	6.0	5.3	0.588	0.95	6.1	1.8	0.29
K6	116	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.9	4.9	0.557	0.50	5.4	1.4	0.25
K6	117	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	10.2	7.6	0.670	6.16	29.0	5.4	0.19
K6	118	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	8.0	3.8	0.689	3.46	12.0	1.8	0.15
K6	121	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	13.5	6.7	0.641	9.08	64.7	10.9	0.17
K9	128	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	10.9	7.0	0.598	4.15	17.8	5.1	0.29
K9	129	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	7.0	4.0	0.592	1.33	7.3	1.6	0.22
K10	131	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	11.6	8.0	0.654	4.91	26.5	7.6	0.29
K11	133	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	9.0	7.1	0.613	7.07	18.9	2.6	0.14
K13	138	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	11.7	7.9	0.574	6.61	28.3	5.4	0.19
K13	139	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	6.2	4.7	0.613	3.80	6.8	1.8	0.26
K13	140	DF	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	7.3	6.0	0.720	11.34	12.8	3.4	0.27
K5	141	DF	Rubiaceae	<i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale	7.3	4.7	0.589	0.95	9.0	2.0	0.22
K4	143	DF	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	17.4	12.5	0.622	6.16	70.7	18.4	0.26
K4	144	DF	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	10.9	7.7	0.561	12.57	25.1	5.7	0.23
K7	147	DF	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	12.7	10.0	0.545	3.80	38.6	8.9	0.23
K8	148	DF	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	12.6	10.2	0.601	9.62	42.0	13.8	0.33
K9	150	DF	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	11.0	6.4	0.644	9.08	28.8	8.9	0.31
K1	153	DF	Chrysobalanaceae	<i>Parinari anamensis</i> Hance	5.6	4.5	0.543	0.79	2.1	2.0	0.97
K1	154	DF	Chrysobalanaceae	<i>Parinari anamensis</i> Hance	6.4	6.0	0.517	1.77	4.3	1.7	0.40
K2	155	DF	Chrysobalanaceae	<i>Parinari anamensis</i> Hance	5.5	5.0	0.547	0.50	2.2	2.5	1.11
K6	156	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	12.6	8.5	0.665	3.80	46.8	14.9	0.32
K7	157	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	7.7	7.2	0.604	2.01	11.7	2.7	0.23
K7	158	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	7.8	7.8	0.600	3.14	16.6	2.1	0.13

Ký hiệu ô	ID	Kiểu rừng	Họ thực vật	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg	BGB, kg	RS
K10	160	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	10.4	8.1	0.601	6.16	21.3	5.5	0.26
K10	161	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	5.6	4.4	0.507	1.77	2.9	1.2	0.42
K11	162	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	12.2	8.4	0.564	8.04	38.0	6.6	0.17
K1	164	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	15.0	8.8	0.912	9.08	99.8	30.6	0.31
K3	165	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	10.0	7.5	0.656	1.33	13.7	3.3	0.24
K4	166	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	17.0	8.5	0.807	9.62	93.8	25.4	0.27
K4	167	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	13.9	8.8	0.823	11.34	70.7	5.8	0.08
K7	176	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	12.3	10.0	0.842	6.61	64.4	8.4	0.13
K7	177	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	12.8	8.8	0.774	5.31	45.4	8.6	0.19
K8	182	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	11.8	6.7	0.665	8.04	41.5	8.8	0.21
K8	183	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	12.3	8.9	0.765	17.35	55.8	13.4	0.24
K11	185	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	9.8	6.3	0.697	6.16	27.5	7.1	0.26
K12	188	DF	Dipterocarpaceae	<i>Shorea obtusa</i>	14.7	9.9	0.800	9.08	74.8	12.6	0.17
K4	190	DF	Leguminosae	<i>Sindora siamensis</i>	11.8	4.8	0.819	21.24	47.3	10.7	0.23
K1	191	DF	Loganiaceae	<i>Strychnos nux-blanda</i>	7.5	3.9	0.596	0.95	2.1	2.5	1.17
K1	193	DF	Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	3.4	5.3	0.634	0.79	1.8	2.2	1.23
K4	194	DF	Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	28.4	10.0	0.546	11.34	137.1	37.0	0.27
K1	195	DF	Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	22.6	15.8	0.810	32.17	229.7	36.9	0.16
K5	197	DF	Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	10.8	5.0	0.760	1.13	20.8	19.6	0.94
K8	202	DF	Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	9.5	4.8	0.731	5.73	22.1	10.0	0.45
K9	205	DF	Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	5.1	2.8	0.562	4.52	4.1	2.4	0.58
K11	207	DF	Combretaceae	<i>Terminalia alata</i>	12.4	9.5	0.711	3.46	50.7	7.8	0.15
K2	208	DF	Combretaceae	<i>Terminalia corticosa</i>	11.5	12.5	0.674	2.01	31.0	9.7	0.31
K4	209	DF	Combretaceae	<i>Terminalia corticosa</i>	18.6	12.3	0.794	10.18	117.8	27.2	0.23
K4	210	DF	Combretaceae	<i>Terminalia corticosa</i>	21.4	14.3	0.760	17.35	141.5	40.8	0.29
K4	211	DF	Combretaceae	<i>Terminalia corticosa</i>	23.3	12.5	0.760	34.21	279.8	54.4	0.19
K12	214	DF	Combretaceae	<i>Terminalia corticosa</i>	12.1	10.5	0.822	7.55	59.4	11.1	0.19
K2	215	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	8.0	7.5	0.707	3.80	13.2	4.5	0.34
K2	216	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	8.5	8.6	0.676	4.15	15.1	9.7	0.64
K2	217	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	5.0	6.3	0.712	1.77	4.4	2.2	0.50
K8	218	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	6.0	3.5	0.649	7.07	7.2	3.8	0.52
K8	219	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	7.0	4.2	0.739	3.14	10.4	1.9	0.19
K13	221	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	7.7	6.1	0.673	4.91	9.6	5.7	0.59
K13	222	DF	Leguminosae	<i>Xylia xylocarpa</i>	10.7	9.1	0.788	8.04	38.7	9.4	0.24
TX12	747	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	4.7	5.3	0.622	1.13	3.9	0.5	0.13
TX20	749	EBLF	Clusiaceae	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.0	6.3	0.614	4.15	5.3	1.1	0.21
TX9	751	EBLF	NA	NA	5.2	4.7	0.375	3.14	2.9	0.6	0.19

Ký hiệu ô	ID	Kiểu rừng	Họ thực vật	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg	BGB, kg	RS
TX11	753	EBLF	Lauraceae	<i>Phoebe lanceolata</i>	5.6	8.8	0.395	2.01	5.0	0.7	0.14
TX12	754	EBLF	Symplocaceae	<i>Symplocos sp.</i>	5.6	4.5	0.480	2.27	5.9	1.3	0.22
TX15	755	EBLF	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	5.6	5.5	0.491	26.42	7.3	1.1	0.15
TX7	757	EBLF	NA	NA	5.8	5.3	0.422	4.15	6.2	0.8	0.13
TX7	758	EBLF	Clusiaceae	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.9	7.4	0.574	4.15	7.0	1.5	0.21
TX8	761	EBLF	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	6.4	9.8	0.640	7.55	11.2	1.3	0.12
TX11	762	EBLF	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i>	6.4	6.1	0.425	3.46	6.1	1.3	0.21
TX14	765	EBLF	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	6.5	11.5	0.681	1.77	14.8	2.1	0.14
TX17	766	EBLF	Ulmaceae	<i>Gironniera nervosa</i>	6.5	9.7	0.413	5.31	10.0	1.1	0.11
TX20	767	EBLF	Rosaceae	<i>Prunus arborea</i>	6.5	8.1	0.483	8.04	9.5	3.0	0.31
TX14	769	EBLF	Ebenaceae	<i>Diospyros ehretioides</i>	6.6	6.5	0.632	3.80	9.8	2.5	0.25
TX7	772	EBLF	Meliaceae	<i>Walsura pinnata</i> Hassk.	6.8	6.9	0.622	7.07	15.4	2.4	0.16
TX7	774	EBLF	NA	NA	7.0	7.8	0.695	6.16	14.7	1.5	0.11
TX16	776	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	7.0	7.4	0.569	7.07	14.5	2.3	0.16
TX7	782	EBLF	Clusiaceae	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.3	9.4	0.596	10.75	16.0	2.2	0.13
TX7	784	EBLF	Clusiaceae	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.5	9.0	0.672	6.61	16.4	2.2	0.13
TX13	785	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	7.5	8.7	0.660	6.16	18.0	4.1	0.23
TX8	787	EBLF	NA	NA	7.6	9.4	0.573	9.62	17.8	2.7	0.15
TX19	788	EBLF	Euphorbiaceae	<i>Aporosa microcalyx</i>	7.6	6.3	0.584	5.31	19.7	3.1	0.16
TX16	790	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	7.7	9.4	0.669	1.77	19.8	5.5	0.28
TX10	792	EBLF	Symplocaceae	<i>Symplocos sp.</i>	7.9	9.9	0.528	7.55	21.2	2.5	0.12
TX10	794	EBLF	Annonaceae	<i>Alphonsea sp.</i>	7.9	8.4	0.560	9.08	16.3	3.8	0.23
TX8	795	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	8.0	9.8	0.546	12.57	32.1	5.2	0.16
TX9	797	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	8.1	6.0	0.658	1.13	13.4	2.1	0.16
TX11	798	EBLF	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	8.1	8.9	0.556	5.73	21.0	2.4	0.11
TX20	799	EBLF	NA	NA	8.1	13.2	0.573	5.73	28.2	7.1	0.25
TX9	801	EBLF	NA	NA	8.2	8.3	0.706	5.31	22.4	4.2	0.19
TX9	803	EBLF	NA	NA	8.3	7.3	0.580	5.73	19.4	3.5	0.18
TX17	812	EBLF	Styracaceae	<i>Styrax annamensis</i>	8.7	11.3	0.455	5.73	20.7	3.5	0.17
TX7	817	EBLF	NA	NA	8.9	8.8	0.598	11.34	31.5	3.3	0.11
TX17	818	EBLF	NA	NA	8.9	10.3	0.545	10.18	23.8	3.6	0.15
TX10	820	EBLF	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i>	9.0	11.5	0.561	14.52	37.1	5.5	0.15
TX8	822	EBLF	Cannabaceae	<i>Trema orientalis</i>	9.3	7.3	0.517	15.21	24.9	3.4	0.14
TX14	823	EBLF	Meliaceae	<i>Aglaia annamensis</i>	9.3	11.2	0.877	6.16	42.2	5.9	0.14
TX15	826	EBLF	NA	NA	9.5	9.7	0.393	4.15	21.9	2.7	0.12
TX8	828	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	9.7	7.7	0.456	16.62	25.0	4.8	0.19
TX18	829	EBLF	Moraceae	<i>Streblus ilicifolius</i>	9.8	7.5	0.727	4.91	41.9	5.6	0.13

Ký hiệu ô	ID	Kiểu rừng	Họ thực vật	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	WD, g/cm ³	CA, m ²	AGB, kg	BGB, kg	RS
TX14	832	EBLF	Malvaceae	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	9.9	13.9	0.610	13.20	35.4	6.6	0.19
TX12	833	EBLF	NA	NA	10.0	11.6	0.598	4.91	34.4	4.5	0.13
TX19	834	EBLF	Meliaceae	<i>Chukrasia tabularis</i> A.Juss	10.0	8.3	0.487	13.85	26.9	4.7	0.17
TX9	836	EBLF	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	10.1	12.8	0.493	4.91	28.3	3.7	0.13
TX9	837	EBLF	Araliaceae	<i>Trevesia palmata</i>	10.2	10.2	0.476	6.16	26.3	5.4	0.21
TX9	838	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	10.2	8.9	0.581	4.91	24.4	4.2	0.17
TX11	839	EBLF	Meliaceae	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	10.2	9.5	0.725	12.57	41.4	6.5	0.16
TX19	840	EBLF	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	10.5	8.6	0.482	7.55	21.4	2.1	0.10
TX11	841	EBLF	Fagaceae	<i>Lithocarpus annamensis</i>	10.6	10.8	0.717	28.27	65.3	10.8	0.16
TX14	842	EBLF	Sapotaceae	<i>Donella Sp.</i>	10.7	14.1	0.744	17.35	60.9	10.2	0.17
TX10	844	EBLF	Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i>	10.8	10.6	0.461	8.04	28.3	3.3	0.12
TX9	845	EBLF	NA	NA	11.0	8.3	0.451	10.75	27.9	6.4	0.23
TX15	846	EBLF	Clusiaceae	<i>Garcinia spl</i>	11.0	12.0	0.735	9.08	52.7	7.8	0.15
TX9	848	EBLF	NA	NA	11.2	11.6	0.540	8.04	57.3	6.7	0.12
TX19	849	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	11.2	8.4	0.564	11.34	34.7	6.0	0.17
TX9	850	EBLF	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	11.3	13.1	0.618	12.57	40.9	10.9	0.27
TX7	851	EBLF	Anacardiaceae	<i>Semecarpus sp.</i>	11.4	10.9	0.458	11.34	32.2	3.4	0.10
TX9	854	EBLF	Meliaceae	<i>Sandoricum sp.</i>	11.6	9.0	0.629	10.75	53.6	10.8	0.20
TX8	858	EBLF	NA	NA	12.3	13.2	0.513	12.57	18.2	8.5	0.46
TX19	859	EBLF	Lauraceae	<i>Litsea glutinosa</i>	12.3	7.1	0.721	8.04	61.9	13.7	0.22
TX8	862	EBLF	Araliaceae	<i>Trevesia palmata</i>	13.0	15.2	0.354	11.34	54.4	9.9	0.18
TX9	864	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	13.7	10.0	0.641	5.31	80.2	21.0	0.26
TX9	875	EBLF	Fagaceae	<i>Castanopsis sp.</i>	15.5	10.7	0.457	15.90	67.1	24.1	0.36
TX8	876	EBLF	Lecythidaceae	<i>Careya sphaerica</i>	15.8	15.3	0.621	9.62	99.2	28.5	0.29
TX7	881	EBLF	Lauraceae	<i>Cinnamomum iners</i>	16.5	11.8	0.390	15.90	59.0	6.1	0.10
TX9	890	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium sp.</i>	17.8	15.5	0.507	13.85	128.1	33.8	0.26
TX12	895	EBLF	Leguminosae	<i>Dialium cochinchinense</i>	18.3	4.3	0.564	8.04	65.4	21.1	0.32
TX12	901	EBLF	Burseraceae	<i>Canarium album</i>	19.6	16.5	0.767	16.62	265.5	50.5	0.19
TX9	904	EBLF	NA	NA	20.3	10.6	0.608	24.63	117.4	61.3	0.52
TX7	929	EBLF	Myrtaceae	<i>Syzygium zeylanicum</i>	26.8	14.8	0.641	35.26	501.4	48.6	0.10

Ghi chú: Ký hiệu kiểu rừng: EBLF: Rừng lá rộng thường xanh, DF: Rừng khộp.

Nguồn: Bảo Huy (2013) và Huy et al. (2016c)

Dữ liệu 5. Dữ liệu sinh khối trên và dưới mặt đất cây rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên với biến đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX12	747	Gia Lai	<i>Castanopsis sp.</i>	4.7	5.3	3.9	0.5	34	BA4
TX12	889	Gia Lai	<i>Polyalthia cerasoides</i>	17.6	17.2	180.4	NA	34	BA4
TX12	949	Gia Lai	<i>Castanopsis sp.</i>	36.4	18.5	733.6	117.8	34	BA4
TX12	754	Gia Lai	<i>Symplocos sp.</i>	5.6	4.5	5.9	1.3	34	BA4
TX12	901	Gia Lai	<i>Canarium album</i>	19.6	16.5	265.5	50.5	34	BA4
TX12	906	Gia Lai	<i>Polyalthia cerasoides</i>	22.0	21.4	410.1	NA	34	BA4
TX12	833	Gia Lai	NA	10.0	11.6	34.4	4.5	34	BA4
TX12	878	Gia Lai	<i>Celtis philippinensis</i> Blanco var. <i>wightii</i> (Planch.) Soepadmo	15.9	19.2	138.5	NA	34	BA4
TX12	895	Gia Lai	<i>Dialium cochinchinense</i>	18.3	4.3	65.4	21.1	34	BA4
TX12	939	Gia Lai	<i>Camellia vietnamensis</i>	32.4	23.9	944.3	NA	34	BA4
TX5	764	Dak Nong	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	6.5	7.5	7.3	NA	9	BA1
TX5	748	Dak Nong	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	5.0	7.9	5.0	NA	9	BA1
TX5	843	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	10.8	9.7	30.3	NA	9	BA1
TX5	825	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	9.4	9.1	21.2	NA	9	BA1
TX5	857	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	12.2	8.8	36.6	NA	9	BA1
TX5	815	Dak Nong	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	8.8	9.6	16.8	NA	9	BA1
TX5	763	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	6.5	8.0	10.1	NA	9	BA1
TX5	873	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	15.4	9.8	50.1	NA	9	BA1
TX5	868	Dak Nong	<i>Trema orientalis</i>	14.1	10.3	46.0	NA	9	BA1
TX20	783	Dak Nong	<i>Syzygium sp.</i>	7.3	10.0	44.5	NA	38	BA4
TX20	913	Dak Nong	<i>Garcinia oblongifolia</i>	23.7	13.4	244.2	NA	38	BA4
TX20	934	Dak Nong	<i>Litsea glutinosa</i>	30.5	15.8	533.2	NA	38	BA4
TX20	799	Dak Nong	NA	8.1	13.2	28.2	7.1	38	BA4
TX20	781	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	7.2	8.5	17.1	NA	38	BA4
TX20	749	Dak Nong	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.0	6.3	5.3	1.1	38	BA4
TX20	908	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	22.5	15.6	263.7	NA	38	BA4
TX20	891	Dak Nong	<i>Elaeocarpus sp.</i>	18.0	14.6	184.7	NA	38	BA4
TX20	767	Dak Nong	<i>Prunus arborea</i>	6.5	8.1	9.5	3.0	38	BA4
TX1	770	Dak Nong	<i>Syzygium hancei</i>	6.7	3.9	10.2	NA	29	BA3
TX1	759	Dak Nong	<i>Michelia mediocris</i>	6.1	5.5	6.3	NA	29	BA3
TX1	773	Dak Nong	<i>Macaranga indica</i>	7.0	9.5	11.0	NA	29	BA3
TX1	750	Dak Nong	<i>Syzygium zeylanicum</i>	5.1	7.1	9.6	NA	29	BA3
TX1	861	Dak Nong	<i>Macaranga indica</i>	13.0	13.8	49.3	NA	29	BA3
TX1	964	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	55.4	26.5	2337.0	NA	29	BA3
TX1	808	Dak Nong	<i>Gironniera nervosa</i>	8.6	8.0	8.3	NA	29	BA3

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX1	863	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	13.1	9.4	54.6	NA	29	BA3
TX1	856	Dak Nong	<i>Syzygium zeylanicum</i>	12.1	12.7	70.9	NA	29	BA3
TX1	824	Dak Nong	<i>Walsura pinnata Hassk.</i>	9.4	8.0	40.3	NA	29	BA3
TX1	931	Dak Nong	<i>Endospermum chinense</i>	27.5	15.4	245.6	NA	29	BA3
TX1	899	Dak Nong	<i>Syzygium zeylanicum</i>	19.3	17.5	202.2	NA	29	BA3
TX1	930	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	27.1	18.8	600.1	NA	29	BA3
TX9	801	Dak Lak	NA	8.2	8.3	22.4	4.2	44	BA4
TX9	848	Dak Lak	NA	11.2	11.6	57.3	6.7	44	BA4
TX9	854	Dak Lak	<i>Sandoricum sp.</i>	11.6	9.0	53.6	10.8	44	BA4
TX9	803	Dak Lak	NA	8.3	7.3	19.4	3.5	44	BA4
TX9	904	Dak Lak	NA	20.3	10.6	117.4	61.3	44	BA4
TX9	797	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	8.1	6.0	13.4	2.1	44	BA4
TX9	836	Dak Lak	<i>Sandoricum sp.</i>	10.1	12.8	28.3	3.7	44	BA4
TX9	864	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	13.7	10.0	80.2	21.0	44	BA4
TX9	890	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	17.8	15.5	128.1	33.8	44	BA4
TX9	845	Dak Lak	NA	11.0	8.3	27.9	6.4	44	BA4
TX9	751	Dak Lak	NA	5.2	4.7	2.9	0.6	44	BA4
TX9	837	Dak Lak	<i>Trevesia palmata</i>	10.2	10.2	26.3	5.4	44	BA4
TX9	850	Dak Lak	<i>Sandoricum sp.</i>	11.3	13.1	40.9	10.9	44	BA4
TX9	875	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	15.5	10.7	67.1	24.1	44	BA4
TX9	838	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	10.2	8.9	24.4	4.2	44	BA4
TX3	966	Dak Nong	<i>Elaeocarpus sp.</i>	56.7	22.9	1255.8	NA	19	BA2
TX3	871	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	15.1	14.1	153.5	NA	19	BA2
TX3	813	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	8.8	13.1	36.0	NA	19	BA2
TX3	831	Dak Nong	<i>Syzygium sp.</i>	9.9	11.0	36.2	NA	19	BA2
TX3	860	Dak Nong	<i>Calophyllum calaba</i>	12.6	15.3	42.6	NA	19	BA2
TX3	752	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	5.3	6.9	9.5	NA	19	BA2
TX3	915	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	24.0	20.4	429.5	NA	19	BA2
TX3	789	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	7.7	9.4	18.4	NA	19	BA2
TX3	847	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	11.1	12.6	69.4	NA	19	BA2
TX11	762	Dak Lak	<i>Alstonia scholaris</i>	6.4	6.1	6.1	1.3	27	BA3
TX11	883	Dak Lak	<i>Lithocarpus annamensis</i>	16.5	15.0	210.3	NA	27	BA3
TX11	839	Dak Lak	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	10.2	9.5	41.4	6.5	27	BA3
TX11	898	Dak Lak	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	18.9	13.1	167.4	NA	27	BA3
TX11	841	Dak Lak	<i>Lithocarpus annamensis</i>	10.6	10.8	65.3	10.8	27	BA3
TX11	907	Dak Lak	<i>Elaeocarpus sp.</i>	22.1	18.0	200.9	NA	27	BA3
TX11	753	Dak Lak	<i>Phoebe lanceolata</i>	5.6	8.8	5.0	0.7	27	BA3

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX11	798	Dak Lak	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	8.1	8.9	21.0	2.4	27	BA3
TX11	775	Dak Lak	<i>Tetradium sp</i>	7.0	8.2	16.6	1.3	27	BA3
TX11	905	Dak Lak	<i>Alstonia scholaris</i>	21.7	15.5	102.8	NA	27	BA3
TX11	911	Dak Lak	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	23.2	18.2	402.3	NA	27	BA3
TX11	900	Dak Lak	<i>Nephelium lappaceum</i>	19.6	15.0	276.6	NA	27	BA3
TX11	903	Dak Lak	<i>Phoebe lanceolata</i>	20.1	13.2	150.4	NA	27	BA3
TX15	953	Dak Lak	<i>Wrightia pubescens</i>	38.7	17.3	494.3	NA	17	BA2
TX15	826	Dak Lak	NA	9.5	9.7	21.9	2.7	17	BA2
TX15	945	Dak Lak	<i>Vitex quinata</i>	34.4	11.3	425.1	NA	17	BA2
TX15	846	Dak Lak	<i>Garcinia sp1</i>	11.0	12.0	52.7	7.8	17	BA2
TX15	755	Dak Lak	<i>Litsea glutinosa</i>	5.6	5.5	7.3	1.1	17	BA2
TX4	855	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	11.9	12.8	75.3	NA	19	BA2
TX4	786	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	7.6	10.2	22.5	NA	19	BA2
TX4	814	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	8.8	10.5	27.9	NA	19	BA2
TX4	756	Dak Nong	<i>Cratoxylum prunifolium</i>	5.7	8.7	11.3	NA	19	BA2
TX4	955	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	40.4	22.0	1882.4	NA	19	BA2
TX4	800	Dak Nong	<i>Knema poilanei</i>	8.2	11.9	15.5	NA	19	BA2
TX4	888	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	17.1	16.1	175.8	NA	19	BA2
TX4	918	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	24.4	16.0	472.6	NA	19	BA2
TX7	774	Dak Nong	NA	7.0	7.8	14.7	1.5	44	BA4
TX7	782	Dak Nong	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.3	9.4	16.0	2.2	44	BA4
TX7	881	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	16.5	11.8	59.0	6.1	44	BA4
TX7	772	Dak Nong	<i>Walsura pinnata Hassk.</i>	6.8	6.9	15.4	2.4	44	BA4
TX7	758	Dak Nong	<i>Garcinia oblongifolia</i>	5.9	7.4	7.0	1.5	44	BA4
TX7	784	Dak Nong	<i>Garcinia oblongifolia</i>	7.5	9.0	16.4	2.2	44	BA4
TX7	817	Dak Nong	NA	8.9	8.8	31.5	3.3	44	BA4
TX7	929	Dak Nong	<i>Syzygium zeylanicum</i>	26.8	14.8	501.4	48.6	44	BA4
TX7	757	Dak Nong	NA	5.8	5.3	6.2	0.8	44	BA4
TX7	960	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	47.8	21.0	1631.1	175.8	44	BA4
TX7	760	Dak Nong	<i>Hydnocarpus kurzii (King) Warb</i>	6.4	7.4	11.6	0.9	44	BA4
TX7	852	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	11.5	13.2	62.0	4.7	44	BA4
TX7	851	Dak Nong	<i>Semecarpus sp.</i>	11.4	10.9	32.2	3.4	44	BA4
TX7	835	Dak Nong	<i>Quercus glauca Thunb</i>	10.1	12.5	52.9	3.9	44	BA4
TX8	952	Dak Lak	<i>Litsea glutinosa</i>	38.6	22.0	865.3	84.4	42	BA4
TX8	828	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	9.7	7.7	25.0	4.8	42	BA4
TX8	858	Dak Lak	NA	12.3	13.2	18.2	8.5	42	BA4
TX8	946	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	34.5	19.5	648.0	68.1	42	BA4

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX8	761	Dak Lak	<i>Cinnamomum iners</i>	6.4	9.8	11.2	1.3	42	BA4
TX8	938	Dak Lak	<i>Syzygium zeylanicum</i>	31.6	21.5	437.7	83.5	42	BA4
TX8	862	Dak Lak	<i>Trevesia palmata</i>	13.0	15.2	54.4	9.9	42	BA4
TX8	853	Dak Lak	<i>Morinda sp.</i>	11.6	11.0	47.4	5.4	42	BA4
TX8	884	Dak Lak	<i>Schefflera octophylla</i>	16.6	10.2	55.8	19.1	42	BA4
TX8	876	Dak Lak	<i>Careya sphaerica</i>	15.8	15.3	99.2	28.5	42	BA4
TX8	787	Dak Lak	NA	7.6	9.4	17.8	2.7	42	BA4
TX8	932	Dak Lak	<i>Schefflera octophylla</i>	28.3	21.0	285.9	35.8	42	BA4
TX8	919	Dak Lak	<i>Syzygium zeylanicum</i>	24.4	22.0	319.3	66.4	42	BA4
TX8	916	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	24.0	14.6	448.5	81.1	42	BA4
TX8	822	Dak Lak	<i>Trema orientalis</i>	9.3	7.3	24.9	3.4	42	BA4
TX8	795	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	8.0	9.8	32.1	5.2	42	BA4
TX8	942	Dak Lak	<i>Syzygium levinei</i>	33.1	19.6	672.3	51.9	42	BA4
TX14	842	Dak Lak	<i>Donella Sp.</i>	10.7	14.1	60.9	10.2	44	BA4
TX14	909	Dak Lak	NA	22.8	13.5	348.7	NA	44	BA4
TX14	765	Dak Lak	<i>Litsea glutinosa</i>	6.5	11.5	14.8	2.1	44	BA4
TX14	769	Dak Lak	<i>Diospyros ehretioides</i>	6.6	6.5	9.8	2.5	44	BA4
TX14	933	Dak Lak	<i>Garcinia spl</i>	28.7	21.9	514.0	NA	44	BA4
TX14	957	Dak Lak	<i>Spondias pinnata</i>	42.6	19.1	1003.2	NA	44	BA4
TX14	823	Dak Lak	<i>Aglaiia annamensis</i>	9.3	11.2	42.2	5.9	44	BA4
TX14	832	Dak Lak	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	9.9	13.9	35.4	6.6	44	BA4
TX17	766	Dak Lak	<i>Gironniera nervosa</i>	6.5	9.7	10.0	1.1	39	BA4
TX17	921	Dak Lak	<i>Syzygium hancei</i>	24.8	14.2	461.9	NA	39	BA4
TX17	917	Dak Lak	<i>Ternstroemia kwangtungensis</i>	24.1	12.1	285.5	NA	39	BA4
TX17	812	Dak Lak	<i>Styrax annamensis</i>	8.7	11.3	20.7	3.5	39	BA4
TX17	818	Dak Lak	NA	8.9	10.3	23.8	3.6	39	BA4
TX2TA	805	Dak Nong	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	8.5	9.0	18.3	NA	31	BA4
TX2TA	866	Dak Nong	NA	14.0	12.6	52.0	NA	31	BA4
TX2TA	902	Dak Nong	<i>Melia sp.</i>	20.0	14.8	126.2	NA	31	BA4
TX2TA	768	Dak Nong	NA	6.5	8.8	7.1	NA	31	BA4
TX6	928	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	26.8	20.5	369.5	NA	43	BA4
TX6	894	Dak Nong	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	18.3	15.3	133.4	NA	43	BA4
TX6	870	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	15.0	14.4	45.2	NA	43	BA4
TX6	816	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	8.9	6.5	13.5	NA	43	BA4
TX6	771	Dak Nong	<i>Grewia paniculata</i>	6.8	6.3	11.1	NA	43	BA4
TX6	811	Dak Nong	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	8.7	6.5	14.0	NA	43	BA4
TX6	810	Dak Nong	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	8.6	9.5	33.4	NA	43	BA4

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX6	968	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	76.0	27.5	3149.3	NA	43	BA4
TX16	914	Dak Lak	<i>Aporosa microcalyx</i>	23.8	26.8	528.0	NA	49	BA4
TX16	790	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	7.7	9.4	19.8	5.5	49	BA4
TX16	912	Dak Lak	<i>Machilus parviflora</i>	23.5	23.4	359.7	NA	49	BA4
TX16	922	Dak Lak	<i>Calophyllum dongnaiense</i>	25.1	27.0	456.5	NA	49	BA4
TX16	776	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	7.0	7.4	14.5	2.3	49	BA4
TX16	791	Dak Lak	<i>Cinnamomum iners</i>	7.8	12.5	25.5	2.2	49	BA4
TX16	865	Dak Lak	<i>Castanopsis sp.</i>	14.0	18.7	37.9	NA	49	BA4
TX1TA	944	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	34.0	18.3	716.7	NA	27	BA3
TX1TA	948	Dak Nong	<i>Litsea glutinosa</i>	36.0	19.5	762.4	NA	27	BA3
TX1TA	886	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	17.0	13.9	201.4	NA	27	BA3
TX1TA	777	Dak Nong	<i>Syzygium sp.</i>	7.0	8.5	13.8	NA	27	BA3
TX1TA	956	Dak Nong	<i>Calophyllum sp.</i>	41.0	23.8	1385.5	NA	27	BA3
TX1TA	925	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	26.0	17.5	554.3	NA	27	BA3
TX3TA	887	Dak Nong	<i>Castanopsis sp.</i>	17.0	14.8	182.1	NA	32	BA4
TX3TA	965	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	56.0	24.7	1860.0	NA	32	BA4
TX3TA	958	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	45.0	25.0	1497.7	NA	32	BA4
TX3TA	950	Dak Nong	<i>Hydnocarpus kurzii</i> (King) Warb	37.0	21.8	660.0	NA	32	BA4
TX3TA	941	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	33.0	27.3	611.5	NA	32	BA4
TX3TA	778	Dak Nong	<i>Calophyllum sp.</i>	7.0	7.1	18.0	NA	32	BA4
TX3TA	806	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	8.5	10.5	25.3	NA	32	BA4
TX3TA	926	Dak Nong	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	26.0	13.5	274.4	NA	32	BA4
TX2	967	Dak Nong	<i>Tetrameles nudiflora</i>	60.8	22.0	2179.5	NA	10	BA1
TX2	819	Dak Nong	<i>Vitex pubescens</i>	9.0	12.4	21.8	NA	10	BA1
TX2	809	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	8.6	9.9	18.1	NA	10	BA1
TX2	780	Dak Nong	<i>Barringtonia acutangula</i>	7.2	7.6	21.8	NA	10	BA1
TX2	827	Dak Nong	<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	9.7	10.7	34.1	NA	10	BA1
TX2	779	Dak Nong	<i>Lagerstroemia floribunda</i>	7.1	10.4	6.3	NA	10	BA1
TX2	802	Dak Nong	<i>Pterospermum grewifolium</i> Pierre	8.3	7.0	7.6	NA	10	BA1
TX13	951	Dak Lak	<i>Elaeocarpus sp.</i>	37.4	24.1	844.7	NA	11	BA2
TX13	804	Dak Lak	<i>Grewia paniculata</i>	8.3	9.2	29.1	NA	11	BA2
TX13	785	Dak Lak	<i>Syzygium sp.</i>	7.5	8.7	18.0	4.1	11	BA2
TX13	927	Dak Lak	<i>Irvingia malayana</i>	26.5	17.5	413.4	NA	11	BA2
TX19	937	Dak Nong	<i>Gironniera nervosa</i>	31.1	15.0	435.2	NA	38	BA4
TX19	869	Dak Nong	<i>Donella Sp.</i>	14.6	11.3	115.2	NA	38	BA4
TX19	788	Dak Nong	<i>Aporosa microcalyx</i>	7.6	6.3	19.7	3.1	38	BA4
TX19	840	Dak Nong	<i>Litsea glutinosa</i>	10.5	8.6	21.4	2.1	38	BA4
TX19	859	Dak Nong	<i>Litsea glutinosa</i>	12.3	7.1	61.9	13.7	38	BA4

Ký hiệu ô	ID	Tỉnh	Tên khoa học loài	DBH, cm	H, m	AGB, kg	BGB, kg	BA, m ² /ha	BA_class
TX19	834	Dak Nong	<i>Chukrasia tabularis</i> A.Juss	10.0	8.3	26.9	4.7	38	BA4
TX19	849	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	11.2	8.4	34.7	6.0	38	BA4
TX19	943	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	33.8	23.0	913.1	NA	38	BA4
TX10	920	Dak Lak	<i>Michelia balansae</i>	24.5	25.2	341.1	NA	34	BA4
TX10	936	Dak Lak	<i>Manglietia</i> sp.	30.8	23.6	526.1	NA	34	BA4
TX10	947	Dak Lak	<i>Manglietia conifera</i>	35.1	24.0	864.9	NA	34	BA4
TX10	897	Dak Lak	<i>Alstonia scholaris</i>	18.5	15.6	88.9	NA	34	BA4
TX10	896	Dak Lak	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	18.4	16.7	118.3	NA	34	BA4
TX10	882	Dak Lak	<i>Castanopsis</i> sp.	16.5	20.8	261.8	NA	34	BA4
TX10	844	Dak Lak	<i>Gironniera subaequalis</i>	10.8	10.6	28.3	3.3	34	BA4
TX10	954	Dak Lak	<i>Castanopsis</i> sp.	39.8	22.2	1147.1	NA	34	BA4
TX10	794	Dak Lak	<i>Alphonsea</i> sp.	7.9	8.4	16.3	3.8	34	BA4
TX10	820	Dak Lak	<i>Lithocarpus annamensis</i>	9.0	11.5	37.1	5.5	34	BA4
TX10	874	Dak Lak	<i>Manglietia</i> sp.	15.4	19.6	134.0	NA	34	BA4
TX10	793	Dak Lak	<i>Gironniera nervosa</i>	7.9	10.5	19.2	NA	34	BA4
TX10	792	Dak Lak	<i>Symplocos</i> sp.	7.9	9.9	21.2	2.5	34	BA4
TX10	885	Dak Lak	<i>Canarium sp1</i>	16.9	14.5	129.4	NA	34	BA4
TX10	877	Dak Lak	<i>Acronychia pedunculata</i>	15.8	12.9	140.2	NA	34	BA4
TX5TA	807	Dak Nong	<i>Melia</i> sp.	8.5	12.4	18.8	NA	31	BA4
TX5TA	867	Dak Nong	<i>Ixora coccinea</i>	14.0	14.8	52.2	NA	31	BA4
TX5TA	796	Dak Nong	<i>Cinnamomum iners</i>	8.0	7.8	12.8	NA	31	BA4
TX5TA	879	Dak Nong	<i>Melia</i> sp.	16.0	13.0	79.3	NA	31	BA4
TX6TA	959	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	46.0	25.0	1359.9	NA	33	BA4
TX6TA	892	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	18.0	16.5	222.8	NA	33	BA4
TX6TA	910	Dak Nong	<i>Hydnocarpus kurzii</i> (King) Warb	23.0	16.5	230.6	NA	33	BA4
TX6TA	962	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	52.5	26.2	1580.7	NA	33	BA4
TX6TA	821	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	9.0	11.6	57.0	NA	33	BA4
TX6TA	935	Dak Nong	<i>Schima superba</i>	30.5	24.2	678.6	NA	33	BA4
TX18	829	Gia Lai	<i>Streblus ilicifolius</i>	9.8	7.5	41.9	5.6	24	BA3
TX18	893	Gia Lai	<i>Diospyros maritima</i>	18.1	12.1	172.6	NA	24	BA3
TX18	880	Gia Lai	<i>Syzygium levinei</i>	16.2	10.5	58.1	NA	24	BA3
TX18	924	Gia Lai	<i>Diospyros</i> sp.	25.5	16.0	420.1	NA	24	BA3
TX4TA	830	Dak Nong	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	9.8	12.5	44.6	NA	27	BA3
TX4TA	961	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	49.0	22.8	1600.5	NA	27	BA3
TX4TA	923	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	25.4	21.0	435.1	NA	27	BA3
TX4TA	872	Dak Nong	<i>Castanopsis</i> sp.	15.2	17.0	99.9	NA	27	BA3
TX4TA	940	Dak Nong	<i>Syzygium</i> sp.	32.5	23.0	844.7	NA	27	BA3
TX4TA	963	Dak Nong	<i>Castanopsis</i> sp.	53.5	23.5	2159.2	NA	27	BA3

Nguồn: Báo Huy 2013

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Phạm Tuấn Anh và Bảo Huy, 2016. *Mô hình ước tính sinh khối rừng sử dụng biến số đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc*. Tạp chí Nông nghiệp và PTNT, số 23(2016): 98-107.
- [2] Võ Đại Hải, Đặng Thịnh Triều, 2012. *Nghiên cứu khả năng hấp thụ carbon của rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, bán thường xanh và rụng lá ở Tây Nguyên*. Báo cáo khoa học đề tài nghiên cứu khoa học Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- [3] Đồng Sĩ Hiền, 1974. *Lập biểu thể tích và độ thon cây đứng cho rừng Việt Nam*. NXB. Khoa học và kỹ thuật.
- [4] Bảo Huy, 2009. *Phương pháp nghiên cứu ước tính trữ lượng các bon của rừng tự nhiên làm cơ sở tính toán lượng CO₂ phát thải từ suy thoái và mất rừng ở Việt Nam*. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 1(2009): 85 – 91.
- [5] Bảo Huy, 2012. *Xây dựng phương pháp giám sát và đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng ở Việt Nam*. Tạp chí Rừng và Môi trường, 44 – 45 (2012): 34 – 45.
- [6] Bảo Huy, 2013a. *Xác định lượng CO₂ hấp thụ của rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên làm cơ sở tham gia chương trình REDD*. Báo cáo khoa học đề tài trong điểm cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hà Nội
- [7] Bảo Huy, 2013b. *Mô hình sinh trắc và viễn thám – GIS để xác định CO₂ hấp thụ của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [8] Bảo Huy, 2016. *Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng theo kiểu rừng và vùng sinh thái: Trường hợp rừng lá rộng thường xanh Vùng Nam Trung Bộ*. Tạp chí Nông nghiệp và PTNT số 10(2016): 121-130.
- [9] Nguyễn Ngọc Lung, 1989. *Điều tra rừng thông Pinus kesiya Việt Nam làm cơ sở tổ chức kinh doanh*. Luận án Tiến sĩ khoa học. Học viện kỹ thuật lâm nghiệp Leningrad mang tên S.M. Kirov, Leningrad. (Bản dịch tiếng Việt).
- [10] Vũ Tấn Phương, 2006. *Nghiên cứu trữ lượng carbon thảm tươi và cây bụi: Cơ sở để xác định đường carbon cơ sở trong các dự án trồng rừng/tái trồng rừng theo cơ chế phát triển sạch ở Việt Nam*. Tạp chí NN & PTNT.
- [11] Ngô Đình Quế, 2007. *Khả năng hấp thụ CO₂ của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam*. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
- [12] Huỳnh Nhân Trí, Bảo Huy, 2013: *Xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối theo họ thực vật của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên*. Tạp chí Rừng và Môi trường, 60(2013): 32-40.

- [13] Huỳnh Nhân Trí. 2014. *Xây dựng các cơ sở khoa học và thực tiễn để giám sát lượng CO₂ hấp thụ của rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên*. Luận văn Tiến Sĩ chuyên ngành Lâm học. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
- [14] Thái Văn Trùng (1978). *Thăm thực vật rừng Việt Nam trên quan điểm hệ sinh thái*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

Tiếng Anh

- [1] Appanah, S. 1998. Management of Natural Forests. In *A Review of Dipterocarp: Taxonomy, Ecology and Silviculture*; Appanah, S., Turnbull, J.M., Eds.; Center for International Forestry Research (CIFOR): Bogor, Indonesia, 1998; pp. 130–149.
- [2] Basuki, T.M.; Van Lake, P.E.; Skidmore, A.K.; Hussin, Y.A. 2009. *Allometric equations for estimating the above-ground biomass in the tropical lowland Dipterocarp forests*. For. Ecol. and Manag. 257(2009): 1684-1694. DOI 10.1016/j.foreco.2009.01.027.
- [3] Bates, D. M. and Watts, D. G. 1988. *Nonlinear Regression Analysis and Its Applications*, Wiley.
- [4] Bates, D.M., 2010. *lme4: Mixed-effects modeling with R*. Springer, 131 p.
- [5] Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer*. FAO Forestry paper – 134. ISBN 92-5-103955-0. Available on-line: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>
- [6] Cairns, M. A.; Olmsted, I.; Granados, J.; Argaez, J., 2003. *Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula*. Forest Ecology and Management 186, 125–132.
- [7] Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baumgardner, G.A. 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. Oecologia 111: 1–11. DOI 10.1007/s00442005020.
- [8] Chambers, J. M. 1992. *Linear models. Chapter 4 of Statistical Models* in S eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
- [9] Chambers, J.Q.; dos Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. 2001. *Tree damage allometric relationship and above-ground net primary production in central Amazon forest*. For. Ecol. Manag. 2001, 152, 73–84
- [10] Chapman, H.H., 1921. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons, Incorporated, New York, 553pp.
- [11] Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Rier B, Yamakura T. 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia 145 (2005): 87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
- [12] Chave, J., Mechain, M.R., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Yrizar, A.M., Mugasha,

- W.A., Mullerlandau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., and Vieilledent, G. 2014. *Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*. *Global change biology*, 20(2014): 3177-3190. Doi: 10.1111/gcb.12629.
- [13] Davidian, M. and Giltinan, D.M., 1995. *Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measurement Data*, Chapman and Hall.
- [14] Dietz, J., Kuyah, S., 2011. *Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling*. World Agroforestry Center (ICRAF). Protocol CBP 1.3. Available at <http://reddcommunity.org/sites/default/files/field/publications/allometry2013.pdf>.
- [15] FAO, 2010. *Managing forests for climate change*. I1960E/1/11.10. <http://www.fao.org/forestry>.
- [16] FAO, 2016. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. (FAO Forestry Paper-134)*. Available online: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#Contents> (accessed on 16 August 2016).
- [17] Fischer, G., Nachtergaele, F.O., Prieler, S., Teixeira, E., Toth, G., van Velthuizen, H., Verelst, L., Wiberg, D. 2008. *Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008)*. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- [18] Freese, F. (1976). *Elementary Forest Sampling*. U.S. Department of Agriculture and Forest Service, USA
- [19] Furnival, G.M. (1961). *An index for comparing equations used in constructing volume tables*. *For. Sci.* 7: 337-341.
- [20] Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., Saint-Andre, L. 2010. *Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa*. *For. Ecol. and Manag.* 260(8): 1375-1388. doi:10.1016/j.foreco.2010.07.040.
- [21] Henry, M., Jara, M.C., Réjou-Méchain, M., Piotto, D., Fuentes, J.M.M., Wayson, C., Guier, F.A., Lombis, H.C., López, E.C., Lara, R.C., Rojas, K.C., Pasquel, J.D.A., Montoya, A.D., Vega, J.F., Galo, A.J., López, O.R., Marklund, L.G., Milla, F., Cahidez, J.J.N., Malavassi, E.O., Pérez, J., Zea, C.R., García, L.R., Pons, R.R., Sanquetta, C., Scott, C., Westfall, J., Zapata-Cuartas, M., Saint-André, L. 2015. *Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty*. *Annals of Forest Science*, Issue 6, 72(2015): 769 – 777.
- [22] Hertel, D.; Moser, G.; Culmsee, H.; Erasmi, S.; Horna, V.; Schuldt, B.; Leuschner, C.H. 2009. *Below-and above-ground biomass and net primary production in a paleotropical natural forest (Sulawesi, Indonesia) as compared to neotropical forests*. *For. Ecol. and Manag.* 258(9): 1904-1912. DOI 10.1016/j.foreco.2009.07.019.

- [23] Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- [24] Huy, B., 2014. Part B1. 2014. *Equations for biomass of aboveground trees, branches and leaves biomass in Evergreen Broadleaved forests, and for aboveground biomass of six tree families in Evergreen and Deciduous forests*. In: (eds) Sola, G. et al., 2014. *Allometric equations at national scale for estimating tree and forest biomass in Viet Nam*, UN-REDD Programme, Ha Noi, Viet Nam.
- [25] Huy, B., Anh, P.T., 2008. *Estimating CO₂ sequestration in natural broad-leaved evergreen forests in Vietnam*. Asia-Pacific Agroforestry News, FAO, SEANAFE 32, 7 – 10.
- [26] Huy, B., Hung, V., Ly, C.T., Dinh, N.D., 2012. *Tree allometric equations in Evergreen Broadleaf Forests in the South Central Coastal region, Viet Nam*, in (Eds) Inoguchi, A., Henry, M. Birigazzi, L. Sola, G. *Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam*, UN-REDD Programme, Hanoi, Viet Nam.
- [27] Huy, B., Kralicek, K., Poudel, K.P., Phuong, V.T., Khoa, P.V., Hung, N.D., Temesgen, H. 2016a. *Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Evergreen Broadleaf Forests of Viet Nam*. For. Ecol. and Mgmt. 382: 193-205.
- [28] Huy, B., Sharma, B.D., Quang, N.V., 2013. *Participatory Carbon Monitoring: Manual for Local Staff; Local People and Field Reference*. SNV Netherlands Development Organization, REED+ Programme.
- [29] Huy, B., Poudel K.P., Temesgen, H. 2016b. *Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Viet Nam: Selection of eco-regional or pantropical models*. For. Ecol. and Mgmt. 376: 276-282.
- [30] Huy, B., Poudel, K.P., Kralicek, K., Hung, N.D., Khoa, P.V., Phuong, V.T., Temesgen, H. 2016c. *Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Viet Nam*. Forests 2016, 7(180): 1-19.
- [31] ICRAF, 2007. *Rapid carbon stock appraisal*.
- [32] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. *IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner F., (eds). Published: IGES, Japan.
- [33] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Forest land*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., (eds). Published: IGES, Japan.
- [34] IUCN, 2007. *Forest and livelihoods. Reducing emissions from deforestation and ecosystem degradation (REDD)*. Climate change briefing.

- [35] Jara, M.C., Henry, M., Rejou-Mechain, M., Wayson, C., Zapata-Cuartas, M., Piotto, D., Guier, F.A., Lombis, H.C., Lopez, E.C., Lara, R.C., Rojas, K.C., Pasquel, J.D., Montoya, A.D., Vega, J.F., Galo, A.J., Lopez, O.R., Marklund, L.G., Fuentes, J.M.M., Milla, F., Chaidez, J.D.N., Malavassi, E.O., Perez, J., Zea, C.R., Garcia, L.R., Pons, R.R., Saint-Andre, L., Sanquetta, C., Scott, C., Westfall, J. 2015. *Guidelines for documenting and reporting tree allometric equations*. *Annals of Forest Science*, 72: 763-768.
- [36] Jayaraman, K., 1999. *A Statistical Manual for Forestry Research*. FAO, 231pp.
- [37] Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. and Birdsey, R.A. 2003. *National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species*. *Journal of Forest Science* 49(1): 12-35.
- [38] Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. and Birdsey, R.A. 2004. *Comprehensive Database of Diameter-based Biomass Regressions for North American Tree Species*. United States Department of Agriculture, 45 pp.
- [39] Johannes, D., Shem, K. 2011. *Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling*. CIFOR.
- [40] Keller, M.; Palace, M.; Hurtt, G. 2001. *Biomass estimation in the Tapajos National Forest. Brazil examination of sampling and allometric uncertainties*. *For. Ecol. Manag.* 2001, 154, 371–382
- [41] Kenzo, T.; Furutani, R.; Hattori, D.; Kendawang, J.J.; Tanaka, S.; Sakurai, K.; Ninomiya, I. 2009a. *Allometric equations for accurate estimation of above-ground biomass in logged-over tropical rainforests in Sarawak, Malaysia*. *J For Res.* 14: 365–372. DOI 10.1007/s10310-10009-10149-10311.
- [42] Kenzo, T.; Ichie, T.; Hattori, D.; Itioka, T.; Handa, C.; Ohkubo, T.; Kendawang, J.J.; Nakamura, M.; Sakaguchi, M.; Takahashi, N.; Okamoto, M. 2009b. *Development of allometric relationships for accurate estimation of above-and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia*. *Journal of Tropical Ecology*, 25(04): 371-386. DOI 10.1017/S0266467409006129.
- [43] Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M., 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*. *For. Ecol. and Manag.* 146(2001): 199-209
- [44] Kralicek, K., Huy, B., Poudel, K.P., Temesgen, H., Salas, C. 2017. *Simultaneous estimation of above- and below-ground biomass in tropical forests of Viet Nam*. *Forest Ecology and Management* 390 (2017) 147–156. <https://authors.elsevier.com/a/1UX1z1L~Gw8-IJ>
- [45] Lackmann, S. (2011). *Lesson 8 - Good Practice in Designing a Forest Inventory*. Regional Workshop: "Capacity Development for Sustainable National Greenhouse Gas Inventories", AFOLU sector (CD-REDD II) Programme. Quito, Ecuador.
- [46] Lima, A.J.N.; Suwa, R.; de Mello Ribeiro, G.H.P.; Kajimoto, T.; dos Santos, J.; da Silva, R.P.; de Souza, C.A.S.; de Barros, P.C.; Noguchi, H.; Ishizuka, M; Higuchi, N. 2012. *Allometric models for estimating above-and below-ground biomass in Amazonian forests*

- at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 277: 163-172. dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.028.
- [47] MacDicken, K.G., 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development.
- [48] Maury-Lechon, G.; Curtet, L. 1998. *Biogeography and Evolutionary Systematics of Dipterocarpaceae*. In *A Review of Dipterocarp: Taxonomy, Ecology and Silviculture*; Appanah, S., Turnbull, J.M., Eds.; Center for International Forestry Research (CIFOR): Bogor, Indonesia, 1998; pp. 5–44.
- [49] Mayer, D.G., Butler, D.G., 1993. *Statistical validation*. *Ecological Modelling*, 68, 21-32.
- [50] Mehtatalo, L. 2013. *Forest Biometrics with Examples in R*. University of Eastern Finland. School of Computing, 398p.
- [51] Moore, A.W. 2017. *Cross-validation for detecting and preventing overfitting*. School of Computer Science. Carnegie Mellon University. Available on-line: https://www.autonlab.org/_media/tutorials/overfit10.pdf on February 02, 2017.
- [52] MRV, 2016. *Measurement, Reporting & Verification (MRV) Framework Document*. Available online: <http://theredddesk.org/resources/measurement-reporting-and-verification-framework-document> (accessed on 17 August 2016).
- [53] Nachtergaele, F.O.; van Velthuisen, H.T.; Verelst, L.; Wiberg, D.; Batjes, N.H.; Dijkshoorn, J.A.; van Engelen, V.W.P.; Fischer, G.; Jones, A.; Montanarella, L.; Petri, M.; Prieler, S.; Teixeira, E.; and Shi, X. 2012. *Harmonized World Soil Database (Version 1.2)*; FAO: Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, 2012, 42 p.
- [54] Nelson, B.W., Mesquita, R., Pereira, J.L.G., de Souza, S.G.A., Batista, G.T., Couta, L.B., 1999. *Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the Central Amazon*. *Forest Ecology and Management* 117, 149–167.
- [55] Niiyama, K.; Kajimoto, T.; Matsuura, Y.; Yamashita, T.; Matsuo, N.; Yashiro, Y.; Ripin, A.; Kassim, A.R.; Noor, N.S. 2010. *Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia*. *Journal of Tropical Ecology* 26(3): 271-284. DOI 10.1017/S0266467410000040.
- [56] Parresol, B.R. 2001. *Additivity of nonlinear biomass equations*. *Canadian Journal of Forest Research* 31(5): 865-878.
- [57] Patrick Van Laake, 2008. *Forest biomass assessment in support of REDD by indigenous people and local communities*. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC).
- [58] Pearson, T.R.H., Brown, S.L, Birdsey, R.A. 2007. *Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon*. General Technical Report. NRS – 18. U.S. Department of Agriculture Forest Service, PA, USA.

- [59] Phuong, V.T., Huy, B., Hung, N.D., Khoa, P.V., Trieu, D.T., Cuong, P.M. 2012a. *Guidelines on Destructive Measurement for Forest Above Ground Biomass Estimation*. For Technical Staff Use. UN-REDD Programme, Hanoi, Viet Nam.
- [60] Phuong, V.T., Inoguchi, A., Birigazzi, L., Henry, M., Sola, G. 2012b. Introduction and Background of the study, Vietnam, in (Eds) Inoguchi, A., Henry, M. Birigazzi, L. Sola, G. *Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam (Part A)*, UN-REDD Programme, Hanoi, Viet Nam.
- [61] Phuong, V.T.; Linh, N.T.M. 2011. *Final report on forest ecological stratification in Vietnam*. UN-REDD Programme, Ha Noi, Viet Nam.
- [62] Picard, N., Saint-André L., Henry M. 2012. *Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, 215 pp.
- [63] Picard, N; Rutishauser, E.; Ploton, P.; Ngomanda, A.; Henry, M. 2015. *Should tree biomass allometry be restricted to power models?* For. Ecol. and Manag. 353: 156-163. DOI 10.1016/j.foreco.2015.05.035.
- [64] Picard, R., Cook, D. 1984. *Cross-Validation of Regression Models*. Journal of the American Statistical Association. 79 (387): 575–583. doi:10.2307/2288403. JSTOR 2288403.
- [65] Pinheiro, J., Bates, D., Debroy, S., Sarkar, D. & Team, R. C. 2014. nlme: *Linear and nonlinear mixed effects models*. R package version 3.1-117.
- [66] Poso, S., Wang, G., and Tuominen, S. 1999. *Weighting alternative estimates when using multisource auxiliary data for forest inventory*. Silva Fennica, 33(1): 41–50.
- [67] Poudel, K.P.; Temesgen, H. 2016. *Developing biomass equations for Western hemlock and red alder trees in Western Oregon forests*. Forests 7(4): 88. DOI 10.3390/f7040088.
- [68] R Core Team, 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [69] Silva, H.P., Erin, S., Michael, N., Sarah, M. W., Sandra, B. 2010. *Manual technical issues ralted to implementing REDD+ programs in Mekong Countries*. Winrock International, USA.
- [70] Skutsch, M.M., Patrick E. van Laake, Zahabu, E.M., Karky, B.S., and Phartiyal, P., 2009. *Community monitoring in REDD+*. In *Realíng REDD+*, Angelsen, A., (Ed.). CIFOR, pp. 101 – 112.
- [71] Snowdon, P., 2002. *Protocol for sampling tree and stand biomass*. Greenhouse Office, Australian.
- [72] Sola, G., Inoguchi, A., Garcia-Perez, J., Donegan, E., Birigazzi, L., Henry, M., 2014a. *Allometric equations at national scale for tree biomass assessment in Viet Nam. Context, methodology and summary of the results*, UN-REDD Programme, Ha Noi, Viet Nam.

- [73] Sola, G., Inoguchi, A., Phuong, V.T., Huy, B., Khoa, P.V., Hung, N.D., Xuan, N.V. and Henry, M., 2014b. *Allometric equations at national scale for tree biomass assessment in Viet Nam*, UN-REDD Programme, Ha Noi, Viet Nam.
- [74] Stewart, J.L; Dunsdon, A.J.; Hellin, J.J.; Hughes, C.E. 1992. *Wood Biomass Estimation of the Central American Dry Zone Species*; Tropical Forestry Papers 26; Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford: Oxford, England, UK, 1992.
- [75] Subedi, B.P., Pandey, S. S., Pandey, A., Rana, E. B., Bhattarai, S., Banskota, T. R., Charmakar, S., Tamrakar, R., 2010. *Forest Carbon Stock Measurement: Guidelines for measuring carbon stocks in community – managed forests*. Asia Network for Sustainable, Agriculture and Bioresources (ANSAB). Federation of Community Forest, Users, Nepal (FECOFUN). International Centre for Integrated, Mountain Development (ICIMOD). Kathmadu, Nepal. 69p.
- [76] Swanson, D.A., Tayman, J., Bryan, T.M., 2011. *MAPE-R: a rescaled measure of accuracy for cross-sectional subnational population forecasts*. J Pop Research 28(2011):225-243. DOI 10.1007/s12546-011-9054-5.
- [77] Temesgen H, Affleck D, Poudel K, Gray A, Sessions J. 2015. *A review of the challenges and opportunities in estimating above ground forest biomass using tree-level models*. Scand J For Res, 30(4):326–335. doi: 10.1080/02827581.2015.1012114
- [78] Temesgen, H., Goerndt, M.E., Johnson, G.P., Adams, D.M., Monserud, R.A., 2007. *Forest measurement and biometrics in forest management: Status and Future Needs of the Pacific Northwest USA*. Journal of Forestry 105, 233 – 238.
- [79] Temesgen, H., Zhang, C.H., Zhao, X.H. 2014. *Modelling tree height-diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from Northeast China*. Journal of Forest Ecology and Management, 316(2014): 78-89
- [80] Ter-Mikaelian, M.T.; Korzukhin, M.D. 1997. *Biomass equations for sixty-five North American tree species*. J. For. Ecol. Manag. 1997, 97, 1–24.
- [81] *The R Project for Statistical Computing*. 2016. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 16 August 2016).
- [82] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2008. *Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session*. Proceedings of UNFCCC, Bonn, Germany.
- [83] UN-REDD 2011. *Measurement, Reporting & Verification (MRV) Framework Document. UN-REDD Viet Nam Programme*.
- [84] Van Laake, P. 2008. *Forest biomass assessment in support of REDD by indigenous people and local communities*. International Institute for Geo- information Science and Earth Observation (ITC).
- [85] Vanclay, J.K. 1992. *Assessing site productivity in tropical moist forests: a review*. Forest Ecology and Management, 54 (1992): 257-287, doi:10.1016/0378-1127(92)90017-4.

- [86] Vogt, K.A.; Vogt, D.J.; Palmiotto, P.A.; Boon, P.; O'Hara J.; Asbjornsen H. 1996. *Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species*. Plant and Soil. 187: 159-219. DOI 10.1007/BF00017088.
- [87] Weiskittel, A.R., MacFarlane, D.W., Radtke, P.J., Affleck, D.L.R., Temesgen, H., Woodall, C.W., Westfall, J.A., and Coulston, J.W., 2015. *A call to improve methods for estimating tree biomass for Regional and National assessment*. Journal of Forestry 113, 414-424.
- [88] Wickham, H. & Chang, W. 2013. *Package 'ggplot2': an implementation of the Grammar of Graphics*.
- [89] Xiaolu Z., 2004. *Sitmulating Forest Growth and Carbon Dynamics of the Lake Abitibi Model Forest in Northeastern Ontario*. Ontario Forest Research Institute, Canada.
- [90] Yuen, J.Q.; Ziegler, A.D.; Webb, E.L.; Ryan, C.M. 2013. *Uncertainty in below-ground carbon biomass for major land covers in Southeast Asia*. Forest Ecology and Management, 310: 915-926. DOI 10.1016/j.foreco.2013.09.042.
- [91] Zhang, L. 1997. *Cross-validation of Non-linear Growth Functions for Modelling Tree Height–Diameter Relationships*. Annals of Botany 79(1997): 251–257.
- [92] Ziegler, A.D.; Phelps, J.; Yuen, J.Q.; Webb, E.L.; Lawrence, D.; Fox, J.M.; Bruun, T.B.; Leisz, S.J.; Ryan, C.M.; Dressler, W.; Mertz, O. 2012. *Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: great uncertainties and REDD+ policy implications*. Global Change Biology, 18(10): 3087-3099. DOI 0.1111/j.1365-2486.2012.02747.x.

PGS.TS. BẢO HUY

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

Chịu trách nhiệm xuất bản:
GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP

PHẠM NGỌC KHÔI

Biên tập : PHẠM THỊ MAI

Thiết kế bìa : HOÀNG VIỆT

Trình bày : PHẠM THỊ MAI

Sửa bản in : PHẠM THỊ MAI

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo – Quận Hoàn Kiếm – Hà Nội

ĐT: (04) 3942 2443 Fax: (04) 3822 0658

Website: <http://www.nxbkhkt.com.vn> Email: nxbkhkt@hn.vnn.vn

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

28 Đồng Khởi, 12 Hồ Huân Nghiệp – Quận 1 – TP. Hồ Chí Minh

ĐT: (08) 3822 5062 Fax: (08) 3829 6628

Email: chinhanhnxbkhkt@yahoo.com.vn

(Sách thật có đóng dấu và dán tem ở bìa 3)

In 300 bản, khổ 19cm × 27cm tại Công ty cổ phần thương mại In Nhật Nam

Địa chỉ: 007 Lô I – KCN Tân Bình – P. Tây Thạnh – Q. Tân Phú – TP. Hồ Chí Minh

Số ĐKXB: 1131– 2017/CXBIPH/5 – 35/KHKT

Quyết định XB số: 24/QĐ-NXBKHKT, ngày 17/04/2017

Mã ISBN: 978-604-67-0886-5

In xong và nộp lưu chiểu quý I năm 2017

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP
VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO

MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI

CÂY RỪNG TỰ NHIÊN

PGS.TS. BẢO HUY



Giá: 195.000đ

