

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

NGUYỄN THỊ TÌNH

**THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG
MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI TRÊN MẶT ĐẤT
CÂY RỪNG KHỘP Ở VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP

Đắk Lắk, 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

NGUYỄN THỊ TÌNH

**THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG
MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI TRÊN MẶT ĐẤT
CÂY RỪNG KHỘP Ở VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Lâm sinh

Mã số: 9 62 02 05

Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Bảo Huy

Đắk Lắk, 2021

LỜI CAM ĐOAN

Luận án Tiến sĩ này được hoàn thành theo Chương trình đào tạo tiến sĩ tại trường Đại học Tây Nguyên, khóa 2 (2017 - 2020). Tôi xin cam đoan công trình nghiên cứu này là của bản thân tôi. Tất cả các số liệu và kết quả trình bày trong luận án là trung thực, nếu có gì sai tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm.

Được sự cho phép, một phần số liệu của Luận án kế thừa của GS.TS. Bảo Huy trong chương trình lập mô hình sinh khối cây rừng cho UN-REDD Việt Nam bao gồm 222 cây mẫu xác định sinh khối.

Tác giả

Nguyễn Thị Tình

LỜI CẢM ƠN

Luận án này được hoàn thành trong Chương trình đào tạo nghiên cứu sinh khóa II (2017 – 2020) tại trường Đại học Tây Nguyên.

Trước hết tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Thầy, GS.TS. Bảo Huy đã dành nhiều thời gian và công sức để hướng dẫn khoa học và giúp đỡ nghiên cứu sinh hoàn thành luận án này.

Trân trọng cảm ơn sự quan tâm, tạo điều kiện và động viên của Lãnh đạo trường Đại học Tây Nguyên, khoa Nông Lâm nghiệp, bộ môn Quản lý tài nguyên rừng và môi trường, bộ môn Lâm sinh và sự hỗ trợ của sinh viên các lớp Lâm sinh, Quản lý tài nguyên rừng Đại học Tây Nguyên.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Sở NN & PTNT, các Công ty Lâm nghiệp trong vùng nghiên cứu, đã tạo mọi điều kiện thuận lợi và giúp đỡ tác giả trong việc đo đếm và thu thập số liệu tại hiện trường.

Cảm ơn các anh chị cùng khoá học Nghiên cứu sinh đã gắn bó và động viên tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Vô cùng biết ơn sự quan tâm và khích lệ của gia đình, người thân về mọi mặt giúp tôi hoàn thành khóa học này.

KÝ HIỆU VIẾT TẮT

AGB	Above ground biomas: Sinh khối trên mặt đất của thực vật, chủ yếu trong cây gỗ, bao gồm thân, cành, lá và vỏ (kg/cây)
AGC	Above ground carbon: Carbon tích lũy trong sinh khối trên mặt đất của thực vật, chủ yếu trong 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 biomas: Sinh khối dưới mặt đất, là rễ của thực vật, nhưng chủ yếu là rễ cây gỗ (kg/cây)
BGC	Below ground carbon: Carbon tích lũy trong sinh khối dưới mặt đất của thực vật, chủ yếu trong 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)
Bstu	Biomass of stump: Sinh khối của gốc cây gỗ (kg/cây)
CA	Diện tích hình chiếu tán lá ($\text{m}^2/\text{cây}$)
CD	Crown diameter: Đường kính tán lá (m)
CDM	Clean Development Mechanism: Cơ chế phát triển sạch
D	Đường kính ở độ cao ngang ngực, độ cao 1,3m, đơn vị cm
DF	Dipterocarp Forest: Rừng khộp
FAO	Food and Agriculture Organization: Tổ chức Nông Lương của Liên Hiệp Quốc
G	Tiết diện ngang thân cây vị trí 1,3m (m^2)
H	Height: Chiều cao cây (m)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change: Cơ quan liên chính phủ về biến đổi khí hậu
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural

	Resources: Liên minh quốc tế bảo tồn thiên nhiên và tài nguyên thiên nhiên
MRV	Measurement, Reporting & Verification: Đo tính, báo cáo và thẩm định.
N	Mật độ cây gỗ/ha (cây/ha)
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng
REDD ⁺	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng kết hợp với bảo tồn, quản lý bền vững rừng và tăng cường trữ lượng carbon.
SAS	Statistical Analysis Software: Phần mềm phân tích thống kê
SOC	Soil Organic Carbon: Carbon hữu cơ trong đất, (tấn/ha)
SUR	Seemingly Unrelated Regression: Thiết lập đồng thời các mô hình thành phần
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 của Liên Hiệp Quốc và Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng
V	Volume: Thể tích cây đứng ($\text{m}^3/\text{cây}$)
WD	Wood density: Khối lượng thể tích gỗ (g/cm^3) hoặc ($\text{tấn}/\text{m}^3$)

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	iii
LỜI CẢM ƠN	iv
KÝ HIỆU VIẾT TẮT.....	v
DANH MỤC CÁC BẢNG	xi
DANH MỤC CÁC HÌNH	xiv
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	6
1.1 Một số thuật ngữ chính sử dụng trong luận án.....	6
1.2 Chương trình REDD ⁺ và nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng.....	7
1.3 Tổng quan về thiết lập mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng.	11
1.3.1 Rút mẫu cây rừng để thu thập dữ liệu sinh khối lập mô hình.....	11
1.3.2 Biến số độc lập, biến số đầu vào (Predictor(s)) của mô hình ước tính sinh khối cây rừng.....	12
1.3.3 Dạng hàm sinh khối	13
1.3.4 Ước lượng mô hình sinh khối dạng power tuyến tính hóa logarit hay phi tuyến?.....	14
1.3.5 Mô hình có trọng số	15
1.3.6 Thiết lập mô hình phi tuyến tính có trọng số có hay không có ảnh hưởng các nhân tố ngẫu nhiên theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed models with/without random effects fit by Maximum Likelihood)	15
1.3.7 Phương pháp thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và chung (Seemingly Unrelated Regression - SUR).....	16

1.3.8 Phát triển mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng	17
1.4 Thẩm định chéo (Cross-Validation) mô hình sinh trắc	19
1.4.1 Phương pháp thẩm định sai số sử dụng dữ liệu độc lập	20
1.4.2 Phương pháp thẩm định chéo - Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)	21
1.4.3 Phương pháp thẩm định chéo - K-Fold	22
1.4.4 Phương pháp thẩm định chéo - Monte Carlo	22
1.5 Hệ sinh thái rừng khộp và các mô hình sinh khối được thiết lập cho kiểu rừng này	23
1.5.1 Hệ sinh thái rừng khộp	23
1.5.2 Các mô hình sinh khối rừng khộp	26
1.6 Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối cây rừng để ước tính carbon tích lũy trong bể chứa trong cây rừng trên mặt đất	28
1.7 Thảo luận	29
CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	31
2.1 Đối tượng nghiên cứu	31
2.1.1 Đối tượng, phạm vi nghiên cứu	31
2.1.2 Đặc điểm khu vực và rừng khộp nghiên cứu	32
2.2 Nội dung nghiên cứu	32
2.3 Phương pháp nghiên cứu	33
2.3.1 Tiếp cận lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp	33
2.3.2 Thu thập số liệu sinh khối trên cây mẫu chặt hạ và dữ liệu sinh thái môi trường và lâm phần nghiên cứu	35

2.3.3	Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối ..	42
2.3.4	Phương pháp thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập ..	46
2.3.5	Phương pháp thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối (Seemingly Unrelated Regression – SUR)) và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập.....	51
2.3.6	Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng khớp dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng và lâm phần.....	53
2.3.7	Phương pháp so sánh độ tin cậy mô hình chung cho vùng nhiệt đới với mô hình cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khớp	56
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN.....		57
3.1	Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối.....	57
3.1.1	Lựa chọn phương pháp thiết lập mô hình sinh khối dạng power theo logarit tuyến tính hay phi tuyến	57
3.1.2	Lựa chọn phương pháp thẩm định chéo (Cross-Validation) các mô hình sinh khối cây rừng.....	58
3.2	Hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập	61
3.3	Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập	74
3.3.1	Hệ thống mô hình ước tính đồng thời các bộ phận sinh khối cây rừng và toàn bộ theo SUR	74

3.3.2 So sánh độ tin cậy của hai hệ thống mô hình thiết lập theo hai phương pháp độc lập và SUR	90
3.4 Ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần đến mô hình ước tính AGB cây rừng khộp	94
3.4.1 Ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần lên mô hình sinh khối cây rừng khộp AGB	94
3.4.2 Ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần đến mô hình sinh khối AGB	96
3.5 Mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới hay cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp	101
3.6 Ứng dụng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng	106
3.6.1 Hướng dẫn thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng	106
3.6.2 Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối để ước tính carbon tích lũy và CO ₂ tương đương cho lâm phần	126
CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN, TỒN TẠI VÀ KIẾN NGHỊ.....	130
4.1 Kết luận	130
4.2 Tồn tại.....	132
4.3 Kiến nghị.....	132
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ.....	134
TÀI LIỆU THAM KHẢO	135
PHỤ LỤC	150

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Biến động dữ liệu các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần rừng khộp nghiên cứu	35
Bảng 2.2. Thống kê tóm tắt các biến số sinh khối dự đoán và biến số đầu vào cây mẫu theo hệ thống loại thực vật cây gỗ ưu thế rừng khộp	39
Bảng 3.1. Chỉ số Furnival (FI) dùng so sánh hai phương pháp lập mô hình sinh khối AGB theo logarit tuyến tính và phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số	58
Bảng 3.2. Tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình $AGB = a \times (D^2HWD)^b$ theo các phương pháp khác nhau	60
Bảng 3.3. Thẩm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB) theo hệ thống phân loại thực vật rừng khộp	62
Bảng 3.4. Thẩm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình cho các thành phần sinh khối bao gồm <i>Bst</i> , <i>Bbr</i> , <i>Ble</i> và <i>Bba</i> (sinh khối của thân, cành, lá và vỏ cây tương ứng) trong trường hợp mô hình lập chung các loài cây rừng khộp.	69
Bảng 3.5. Thẩm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình cho các thành phần sinh khối cây rừng bao gồm <i>Bst</i> , <i>Bbr</i> , <i>Ble</i> và <i>Bba</i> (sinh khối của thân, cành, lá và vỏ cây tương ứng) cho họ ưu thế Dipterocarpaceae.	71
Bảng 3.6. Thẩm định chéo K-Fold cho hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối các bộ phận cây rừng (<i>Bst</i> , <i>Bbr</i> , <i>Ble</i> và <i>Bba</i>) và AGB theo phương pháp SUR theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp	75
Bảng 3.7. Các tham số được ước lượng theo phương pháp SUR của hệ thống mô hình ước tính đồng thời AGB và các thành phần của nó (<i>Bst</i> , <i>Bbr</i> , <i>Ble</i> và <i>Bba</i>) theo hệ thống phân loại thực vật rừng khộp	83

Bảng 3.8. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và <i>AGB</i> cho chi Dầu <i>Dipterocarpus</i> rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào <i>D</i>	86
Bảng 3.9. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và <i>AGB</i> cho chi Cà Chít <i>Shorea</i> rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào <i>D</i>	87
Bảng 3.10. Các tham số được ước lượng theo phương pháp SUR của hệ thống mô hình ước tính đồng thời <i>AGB</i> và các thành phần của nó (<i>Bst</i> , <i>Bbr</i> , <i>Ble</i> và <i>Bba</i>) chung cho tất cả các loài cây rừng khộp theo một biến số đường kính ngang ngực (<i>D</i>).....	88
Bảng 3.11. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và <i>AGB</i> chung cho các loài cây rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào <i>D</i>	89
Bảng 3.12. So sánh kết quả thẩm định chéo K-Fold giữa hai phương pháp thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng (độc lập và SUR).....	90
Bảng 3.13. Thẩm định chéo K-Fold mô hình $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$ chung cho các loài cây rừng khộp dưới ảnh hưởng các nhân tố sinh thái, lâm phần.	95
Bảng 3.14. Thẩm định chéo K-Fold để so sánh và lựa chọn phương trình sinh khối <i>AGB</i> chung cho các loài cây rừng khộp dựa trên ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần qua hàm MODIFIER	97
Bảng 3.15. Các tham số của mô hình <i>AGB</i> chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của các biến sinh thái môi trường và lâm phần, ước lượng theo phương pháp phi tuyến cố định có trọng số theo Maximum Likelihood	99
Bảng 3.16. Ước tính <i>AGB</i> chung cho các loài cây rừng khộp dựa vào mô hình $AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62))$	100

Bảng 3.17. Kết quả thẩm định chéo K-fold mô hình ước tính đồng thời <i>AGB</i> theo phương pháp SUR trong nghiên cứu này và so sánh với các mô hình <i>AGB</i> khác cho rừng khộp vùng nhiệt đới ở các cấp độ chung loài và chi thực vật	102
--	-----

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 2.1. Bản đồ phân bố các ô mẫu nghiên cứu trong rừng khộp ở Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE).....	33
Hình 2.2. Phân bố đường kính (D , cm) (bên trái dưới) và chiều cao (H , m) (bên phải dưới) của các cây được lấy mẫu chặt hạ tỷ lệ theo phân bố N/D (bên trên) của rừng khộp	37
Hình 2.3. Phân bố sinh khối thân cây (Bst , kg), cành (Bbr , kg), lá (Ble , kg), vỏ cây (Bba , kg) và tổng sinh khối cây rừng khộp trên mặt đất (AGB , kg) theo đường kính ngang ngực (D , cm) trong trường hợp chung loài.	48
Hình 2.4. Quan hệ AGB theo D theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp.....	49
Hình 2.5. Phân hóa mạnh dữ liệu sinh khối khi kích thước cây tăng lên theo hiện tượng heteroscedasticity.....	50
Hình 3.1. Đồ thị đánh giá biến động và sai số của mô hình AGB được lựa chọn cho trường hợp chung các loài, theo họ và chi ưu thế.	67
Hình 3.2. Đồ thị đánh giá biến động và sai số của mô hình AGB được lựa chọn cho bốn loài ưu thế.....	68
Hình 3.3. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (Bst), cành (Bbr), lá (Ble), vỏ cây (Bba) và tổng sinh khối trên mặt đất (AGB), trường hợp sử dụng phương pháp SUR chung cho các loài (Mixed species) sử dụng toàn bộ dữ liệu.	80
Hình 3.4. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (Bst), cành (Bbr), lá (Ble), vỏ cây (Bba) và tổng sinh khối trên mặt đất (AGB), trường hợp sử dụng phương pháp SUR cho chi thực vật <i>Dipterocarpus</i> sử dụng toàn bộ dữ liệu.	81

Hình 3.5. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (<i>Bst</i>), cành (<i>Bbr</i>), lá (<i>Ble</i>), vỏ cây (<i>Bba</i>) và tổng sinh khối trên mặt đất (<i>AGB</i>), trường hợp sử dụng phương pháp SUR cho chi thực vật <i>Shorea</i> sử dụng toàn bộ bộ dữ liệu.....	82
Hình 3.6. Đồ thị Bland- Altman so sánh sai lệch ước tính <i>AGB</i> của hai mô hình thiết lập theo SUR và độc lập (Non-SUR) với độ tin cậy 95%	93
Hình 3.7. Mô hình $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$ điều chỉnh mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần. Quan hệ giữa <i>AGB</i> ước tính qua mô hình với <i>AGB</i> quan sát (trái). Biến động sai số có trọng số theo <i>AGB</i> ước tính qua mô hình (phải)	100
Hình 3.8. So sánh các giá trị <i>AGB</i> dự đoán ở các mô hình khác nhau so với giá trị quan sát <i>AGB</i>	105
Hình 3.9. Tiếp cận của IPCC (2006) để tính toán phát thải/hấp thụ khí nhà kính trong lâm nghiệp	129

MỞ ĐẦU

1 Sự cần thiết của luận án

Rừng khộp (Rừng nhiệt đới khô rụng lá cây họ dầu ưu thế - Tropical Deciduous Dry Dipterocarp Forest, viết tắt Dipterocarp Forest - DF) có vai trò quan trọng trong giảm nhẹ biến đổi khí hậu nhờ năng lực tích lũy carbon của nó. Để ước tính khả năng hấp thụ khí nhà kính CO₂ của rừng khộp làm cơ sở phát triển dịch vụ sinh thái rừng, cần có hệ thống mô hình ước tính sinh khối, carbon cho kiểu rừng đặc thù này ở Việt Nam, Đông Nam Á và Nam Á.

Biến đổi khí hậu và mối quan hệ của nó với phát thải khí CO₂ từ suy thoái và mất rừng là một vấn đề toàn cầu quan tâm. Việc quản lý các hệ sinh thái rừng để giảm thiểu biến đổi khí hậu thông qua hấp thụ CO₂ của rừng đang 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. Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC) đã có 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 rừng. Trong đó rừng khộp là một hệ sinh thái rừng đặc thù của vùng Nam Á, Đông Nam Á nhưng cũng chưa có hoàn chỉnh hệ thống mô hình sinh trắc đã được thẩm định để ước tính sinh khối – carbon cho kiểu rừng này.

Rừng khộp là một kiểu rừng chính đặc trưng và chỉ có ở châu Á, phân bố ở các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới (Wohlfart và ctv, 2014). Phân bố rừng khộp trải dài từ tây bắc Ấn Độ và Myanmar, dọc Thái Lan đến sông Mê Kông, Lào, Campuchia và Việt Nam (Maury-Lechon và Curtet, 1998; Rundel và ctv, 2017; Khamyong và ctv, 2018; Huy và ctv, 2018). Ở Việt Nam rừng

khộp có khoảng 650.000 ha phân bố chủ yếu ở Tây Nguyên và Đông Nam bộ (Huy và ctv, 2018).

Mặt khác, có một nhu cầu đáng kể trên toàn cầu và tại Việt Nam là 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 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) (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, các vùng sinh thái là cần thiết và cần có đánh giá để cung cấp thông tin về độ tin cậy, sai số chính xác.

Ước lượng sinh khối chính xác là thành phần quan trọng trong việc xác định trữ lượng carbon rừng và tỷ lệ hấp thu khí CO₂ để giảm nhẹ 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 (Temesgen và ctv, 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 và ctv, 2014a,b; Huy và ctv, 2012; Huy, 2014).

Hiện tại đối với mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng khộp trong nước và trên thế giới chỉ mới một vài công bố quốc tế đó là Huy và ctv (2016c), Kralicek và ctv (2017) ở Việt Nam, Basuki và ctv (2009) cho Indonesia. Kralicek và ctv (2017) là một công bố hiếm hoi đề cập đến mô

hình ước tính sinh khối dưới mặt đất (BGB) của cây rừng khộp; vì sự khó khăn và chi phí cao của việc thu thập dữ liệu sinh khối của hệ rễ cây rừng. Huy và ctv (2016c) đã lập mô hình cho chung các loài rừng khộp với dữ liệu 222 cây mẫu và cho hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* (94 cây mẫu) và *Shorea* (36 cây mẫu), tuy vậy số lượng cây mẫu còn khá thấp đặc biệt đối với chi *Shorea* và các chi khác của rừng khộp. Tác giả cũng cho biết rằng do đã chọn mẫu dựa theo tỷ lệ phân bố số cây theo cấp kính (N/D), do đó các loài, chi ưu thế nói chung còn thiếu dữ liệu ở cây có kích thước lớn; vì vậy bổ sung dữ liệu để lập hoàn thiện hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp cũng như thẩm định sai số, so sánh với các mô hình của Basuki và ctv (2009) theo chi, họ thực vật để áp dụng chung cho rừng khộp vùng Đông Nam Á là cần thiết. Ngoài ra tác giả cũng đã đề nghị cần có nghiên cứu bổ sung ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái, môi trường rừng và biến đổi khí hậu trong các mô hình ước tính sinh khối.

Để góp phần giải quyết vấn đề nêu trên, chúng tôi tiến hành nghiên cứu nội dung: “*Thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp ở Việt Nam*”.

2 Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung:

Đóng góp vào cơ sở khoa học trong thiết lập và thẩm định chéo hệ thống các mô hình ước tính sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật và yếu tố môi trường sinh thái rừng.

Mục tiêu cụ thể:

i) Xây dựng được một hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng và các bộ phận trên mặt đất của rừng khộp theo hệ thống phân loại thực vật cây gỗ từ loài, chi, họ ưu thế và có xét đến ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng.

ii) Thẩm định chéo sai số để so sánh hệ thống mô hình của rừng khộp Việt Nam đã thiết lập với các mô hình ở vùng Đông Nam Á và chung cho vùng nhiệt đới để đề xuất phạm vi áp dụng.

3 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

i) Ý nghĩa khoa học: Bổ sung cơ sở lý luận, phương pháp xây dựng và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên.

ii) Ý nghĩa thực tiễn: Cung cấp đầy đủ một hệ thống mô hình phục vụ ước tính sinh khối, carbon tích lũy trong cây rừng khộp cho chương trình UN-REDD+ và các dự án REDD khác

4 Những điểm mới của luận án

Có hai điểm mới chính:

i) Đã sử dụng phương pháp thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối các bộ phận cây rừng theo phương pháp phi tuyến có trọng số theo SUR (Weighted Non-Linear fit by Seemingly Unrelated Regression) hoặc mô hình xem xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái môi trường rừng ($AGB = AVERAGE \times MODIFIER$) để cải thiện độ tin cậy trong ước tính sinh khối cây rừng so với các mô hình được thiết lập độc lập như truyền thống.

ii) Thiết lập và cung cấp sai số khách quan theo phương pháp thẩm định chéo (Cross-Validation) của hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối cây rừng theo họ, chi, loài ưu thế rừng khộp ở Việt Nam và chỉ ra mô hình sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) theo chỉ thực vật ưu thế rừng khộp với một biến đơn giản là đường kính (D) có độ tin cậy cao hơn mô hình chung các loài với ba biến D , chiều cao cây (H) và khối lượng thể tích gỗ (WD) và mô hình theo chỉ thực vật có thể áp dụng chung cho vùng nhiệt đới.

5 Cấu trúc của luận án

Luận án có 149 trang với 19 Bảng và 14 Hình. Gồm có phần Mở đầu (5 trang), Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu (25 trang), Chương 2: Đối

tượng, phạm vi, nội dung và phương pháp nghiên cứu (26 trang), Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận (73 trang), Kết luận, tồn tại và kiến nghị (4 trang); Tài liệu tham khảo (16 trang); và Phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1 Một số thuật ngữ chính sử dụng trong luận án

Sinh khối trên mặt đất cây rừng (AGB): Trong hệ sinh thái rừng có 5 bể chứa carbon theo IPCC (2006) đó là: 1) Trong sinh khối của thực vật phần trên mặt đất (AGB) (bao gồm trong thân, cành, lá, và vỏ cây), 2) Trong sinh khối của thực vật phần dưới mặt đất là hệ rễ cây (BGB), 3) Trong thảm mục rừng (*Litter*), 4) Trong gỗ chết (chết đứng và nằm) (*Dead Wood*), và 5) Trong carbon hữu cơ trong đất (*SOC*). Nghiên cứu này tập trung cho AGB nhưng chỉ cho thực vật thân gỗ.

Mô hình sinh trắc, sinh khối cây rừng: Đó là các mô hình toán mô phỏng mối quan hệ sinh học giữa sinh trưởng, sinh khối, carbon của cây rừng với các nhân tố điều tra cây cá thể và có thể có các nhân tố sinh thái, môi trường rừng.

Hệ thống mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng: Bao gồm các mô hình ước tính AGB và bộ phận của nó là sinh khối cành, lá và vỏ cây; hoặc bao gồm các mô hình theo hệ thống phân loại thực vật rừng khớp; hoặc bao gồm các mô hình dưới sự ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường. Các mô hình này có thể thiết lập độc lập hay đồng thời.

Thẩm định chéo (Cross Validation): Đây là một phương pháp đánh giá sai số của mô hình khách quan, dữ liệu được phân chia ngẫu nhiên thành hai phần, một phần cho thiết lập mô hình (Training), và phần còn lại để đánh giá sai số (Validation), tỷ lệ mỗi phần phụ thuộc vào từng phương pháp. Tiến hành lặp lại việc phân chia dữ liệu để training và validation R lần và các chỉ tiêu thống kê của mô hình cũng như sai số được tính trung bình từ R lần. Như vậy có nghĩa là tất cả dữ liệu đều được sử dụng lập mô hình và tất cả dữ liệu cũng được dùng thẩm định mô hình, chúng kiểm tra chéo lẫn nhau và bảo đảm sai số đúng trong mọi trường hợp của dữ liệu nghiên cứu.

Trọng số của mô hình (Weight): Sinh khối cây rừng có hiện tượng phân hóa (heteroscedasticity), làm cho sai số biến động càng lớn khi kích thước cây càng tăng, dẫn đến mô hình gia tăng sai số ở các cây có kích thước lớn. Vì vậy trọng số được sử dụng trong quá trình mô hình hóa là nhằm để điều hòa biến động sai số ở các kích thước cây khác nhau, làm cho chúng khá tương đồng và mô hình có sai số đồng đều ở các kích thước cây.

Hệ thống mô hình thiết lập đồng thời theo phương SUR: Thông thường các mô hình ước tính AGB và bộ phận của nó là sinh khối cành, lá và vỏ cây được thiết lập độc lập. Kết quả cho thấy AGB tính từ tổng các mô hình sinh khối thành phần sẽ có độ lệch đáng kể so với mô hình ước tính AGB độc lập. Ngoài ra, các sinh khối thành phần còn có quan hệ với nhau theo mối tương quan chéo giữa các phương trình. Để khắc phục các nhược điểm này của các mô hình sinh khối thành phần được xây dựng độc lập, phương pháp Seemingly Unrelated Regression (SUR) đã được xây dựng (Parresol, 2001). SUR giúp thiết lập đồng thời các mô hình AGB và các mô hình sinh khối bộ phận như cành, lá, vỏ trong mối quan hệ sinh học giữa các thành phần và cải thiện độ tin cậy khi đã xem xét các mối quan hệ giữa thành phần với nhau (Picard và ctv, 2012; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2019).

1.2 Chương trình REDD⁺ và nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng

Hiệp định khung của Liên Hiệp Quốc về biến đổi khí hậu (UNFCCC) đã thông qua 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 tính toán carbon, góp phần vào mục tiêu cuối cùng là ổn định nồng độ khí nhà kính trong khí quyển ở mức có thể ngăn chặn để giảm nguy hiểm của con người. Các nước

nhiet đới cắt giảm khí thải nhà kính, có xác nhận của UNFCCC và sau đó giao dịch tín dụng carbon trên thị trường carbon quốc tế (UN-REDD, 2011)

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. Trong vài năm qua những đường nét của cơ chế này đã nổi lên, và trên cơ sở đó các nước đang 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 (UN-REDD⁺, 2011): i) Giảm phát thải từ mất rừng; ii) Giảm phát thải từ suy thoái rừng; iii) Bảo tồn trữ lượng carbon rừng; iv) Quản lý rừng bền vững và v) Nâng cao các bể chứa carbon rừng

Như vậy có thể thấy mặc dù chương trình 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 đến.

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, 2016), 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 và ctv, 2009; Silva và ctv, 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 (2003, 2006).

Theo IPCC (2003, 2006) thì rừng có 5 bể chứa carbon: 1) Trong thực vật rừng phần trên mặt đất (Above Ground Carbon - AGC); 2) Trong thực vật rừng phần dưới mặt đất (Below Ground Carbon - BGC); 3) Trong thảm mục (Litter); 4) Trong gỗ chết (Dead Wood) và 5) Carbon hữu cơ trong đất (Soil Organic Carbon - SOC). Nhiều yếu tố tương tác ảnh hưởng các bể chứa carbon này như loại hệ sinh thái rừng, độ tuổi của rừng, các tầng rừng (Omar và ctv, 2015) loại rừng có độ cao khác nhau (Matthew và ctv, 2018). Đồng thời, hiểu giá trị của các bể chứa carbon rất hữu ích để xây dựng các chính sách và khung pháp lý phù hợp với bảo tồn rừng. Do vậy, cần có nghiên cứu xác định trữ lượng carbon cho các bể chứa khác nhau để có được bức tranh toàn diện về carbon được tích lũy trong các hệ sinh thái rừng.

Snowdon (2002) đã xác định carbon ở các bể chứa là thực vật sống trên mặt đất, cây bụi thảm tươi, trong rễ và trong đất khi nghiên cứu hấp thụ carbon rừng, đồng thời đưa ra phương pháp thu thập mẫu để phân tích hàm

lượng carbon trong mỗi bể chứa. Năm 2006, IPCC tổng kết đầy đủ tất cả các nghiên cứu trên thế giới về đo tính, giám sát, thẩm định thay đổi bể chứa carbon rừng để hướng dẫn các quốc gia, dự án REDD⁺ áp dụng. Hertel và ctv (2009) đã nghiên cứu bể chứa carbon dưới mặt đất và trên mặt đất trong một khu rừng tự nhiên cổ đại và so sánh với rừng nguyên sinh ở Sulawesi, Indonesia. Đến năm 2010, Subedi đưa ra phương pháp hướng dẫn đo lường trữ lượng carbon rừng do cộng đồng quản lý ở năm bể chứa. Sau đó hai năm, Bảo Huy và ctv (2012) đã xây dựng được hệ thống hàm sinh trắc với các biến số điều tra rừng, nhân tố sinh thái, cấu trúc lâm phần để ước tính sinh khối và carbon cho cả năm bể chứa rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Đồng thời sử dụng công nghệ GIS để xây dựng phương pháp giám sát trữ lượng sinh khối, carbon rừng. Nam và ctv (2016) ước tính sinh khối trên mặt đất (Above Ground Biomass - AGB) và sinh khối rễ (Below Ground Biomass - BGB) khu rừng thường xanh ở Việt Nam. Các ước tính sinh khối từ các mô hình địa phương này được so sánh với các mô hình vùng và nhiệt đới.

Trong 5 bể chứa carbon thì bể chứa AGC là quan trọng nhất và biến động theo mức độ quản lý tác động đến rừng, do vậy trong các dự án, chương trình REDD đều tập trung vào đo lường, giám sát thay đổi AGC. Trong khi đó để cung cấp dữ liệu AGC thì cần có các mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng bao gồm sinh khối trong thân cây gỗ (Biomass of Stem - Bst), trong vỏ cây (Biomass of Bark - Bba), trong cành (Biomass of Branch - Bbr), trong lá (Biomass of Leaf - Bl) và toàn bộ sinh khối trên mặt đất của cây rừng (Above Ground Biomass - AGB).

Như vậy, việc giám sát phát thải hoặc hấp thụ 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 lí rừng, làm cơ sở cho việc buôn bán tín chỉ carbon rừng.

1.3 Tổng quan về thiết lập mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng

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; AGC hoặc BGC) hoặc trong các bộ phận sinh khối của nó như *Bst*, *Bbr*, *Bba*, *Bl*; x_j (predictors) là các nhân tố điều tra cây rừng có thể đo tính như đường kính ngang ngực (D , cm), chiều cao (H , m), diện tích tán lá (CA , m²) hoặc đường kính tán lá (CD , m), khối lượng thể tích gỗ (WD , g/cm³) (Huy et al., 2016a, b, c). Như vậy từ các biến số có thể đo đếm trực tiếp như D , H , CD hoặc có sẵn như WD , thông qua mô hình có thể dự đoán sinh khối/carbon tích lũy trong toàn bộ hay từng bộ phận cây rừng với một độ tin cậy nhất định, từ đó có thể suy ra cho khu rừng.

1.3.1 Rút mẫu cây rừng để thu thập dữ liệu sinh khối lập mô hình

Để lập mô hình ước tính sinh khối – carbon cây rừng, phương pháp chặt hạ cây (destructive sampling) để thu thập số liệu sinh khối được áp dụng phổ biến và là phương pháp có độ tin cậy nhất vì xác định sinh khối, carbon tích lũy trong các bộ phận cây rừng trực tiếp để lập mô hình, tuy nhiên có hạn chế là chi phí cao và tác động đến rừng.

Tùy theo phạm vi áp dụng, khu vực sinh thái mà số cây mẫu thu thập sinh khối để lập mô hình biến động từ 17 đến 166 cây để bảo đảm yêu cầu để bảo đảm độ tin cậy 90 – 95% (Dutcă và ctv, 2020); hoặc theo Picard và ctv (2012) trung bình là 100 cây.

Phân bố cây mẫu theo cấp kính cũng ảnh hưởng đến độ tin cậy của mô hình sinh khối. Phân bố cây mẫu đồng đều theo cấp kính sẽ cho mô hình có độ tin cậy cao nhất với rừng thuần loại đều tuổi (Dutcă và ctv, 2020). Trong

khi đó đối với rừng khác tuổi thì lựa chọn số cây lấy mẫu tỷ lệ thuận với sự phân bố đường kính hoặc cấp tiết diện ngang (BA, m²) của lâm phần và tỷ lệ mật độ của các loài chiếm ưu thế (Basuki và ctv, 2009).

Mỗi bộ phận của cây mẫu rừng được cân sinh khối tươi, lấy mẫu để xác định tỷ lệ sinh khối khô, tỷ lệ carbon. Để xác định tỷ lệ sinh khối khô, mẫu tươi được sấy ở nhiệt độ 80⁰ – 105⁰C 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.

1.3.2 Biến số độc lập, biến số đầu vào (Predictor(s)) của mô hình ước tính sinh khối cây rừng

Biến số độc lập quan trọng nhất cho phương trình ước tính sinh khối là đường kính của cây ngang ngực (D , cm), vì sinh khối cây rừng luôn có quan hệ thuận với D (Brown và ctv, 1989, 1997, 2001; Brown và Iverson, 1992).

Cùng với biến D thì biến đầu vào của mô hình sinh khối là chiều cao cây rừng (H , m) cũng được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều mô hình sinh khối trong trường hợp mô hình được lập ở khu vực rộng, trên nhiều vùng sinh thái, lập địa khác nhau Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017). Biến H cũng là biến được sử dụng trong phân cấp đất, cấp chiều cao, cấp lập địa, nó phản ánh sự tốt xấu của lập địa qua chiều cao chỉ thị ở một cấp tuổi, cấp kính. Do đó đưa thêm biến H vào mô hình sinh khối sẽ giúp cho mô hình sinh khối đạt độ tin cậy cao hơn khi được lập trong một khu vực có sinh thái thay đổi (Phạm Tuấn Anh và Bảo Huy, 2016)

Khối lượng thể tích gỗ (WD , g/cm³) là hệ số chuyển đổi giữa thể tích thân cây gỗ tươi thành sinh khối khô trong từng loài (Ketterings và ctv, 2001;

Chave và ctv, 2005, 2006; Basuki và ctv, 2009; Picard và ctv, 2012). Vì vậy để nâng cao độ tin cậy cho mô hình sinh khối cây rừng của các kiểu rừng hỗn loài khác tuổi, trong khi chưa thể lập được mô hình theo loài thì biến *WD* sẽ giúp cải thiện độ tin cậy, giảm sai số khi ước tính sinh khối theo mô hình cho các loài khác nhau. Vì *WD* thường không đo đạc trực tiếp trên hiện trường khi áp dụng mô hình sinh khối có biến này, giá trị trung bình theo loài thường được sử dụng, dữ liệu *WD* cũng có sẵn trên cơ sở dữ liệu quốc tế (IPCC, 2006; Chave và ctv, 2009) tại web site <http://db.worldagroforestry.org/wd>.

Ngoài ra, một số tác giả cho rằng đường kính tán cây (*CD*, m) hoặc diện tích tán lá (*CA*, m²) giúp cải thiện độ chính xác và độ tin cậy của các ước tính sinh khối cây rừng (Dietz và ctv, 2011; Henry và ctv, 2010, 2015; Huy và ctv, 2016b). Điều này được giải thích là hai cá thể có thể có cùng *D*, *H* và cả *WD* nhưng do loài khác nhau hoặc do mọc trong điều kiện sinh thái như địa hình khác nhau dẫn đến hình thái tán lá sẽ rộng hẹp khác nhau và làm thay đổi tổng sinh khối trên, dưới mặt đất, vì vậy nếu biến *CD* hoặc *CA* tham gia vào mô hình sẽ cải thiện độ tin cậy trong những trường hợp như vậy. Tuy vậy biến số *CD*, *CA* ít được biết và áp dụng trong các mô hình sinh khối cho dù nó đại diện cho sự khác biệt về tán lá cây của những cây có cùng *D*, *H*, *WD* (Huy và ctv, 2016b)

Các biến số đầu vào nói trên có thể sử dụng như là biến đơn hoặc tổ hợp biến: $D^2H \text{ (m}^3\text{)} = (D \text{ (cm)} / 100)^2 \times H \text{ (m)}$ đại diện cho thể tích thân cây và $D^2HWD \text{ (kg)} = D^2H \text{ (m}^3\text{)} \times WD \text{ (g/cm}^3\text{)} \times 10^3$ đại diện cho sinh khối thân cây (Brown, 1997; IPCC, 2003; Cairns và ctv, 2003; Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Huy và ctv, 2016a, b, c; Kralicek và ctv, 2017).

1.3.3 Dạng hàm sinh khối

Một loạt các dạng hàm toán có thể biểu diễn mô hình sinh khối cây rừng như hàm mũ Power, logarit, bậc hai parabol, hàm cơ số e hoặc các hàm lồng

ghép các biến số. Trong đó dạng hàm Power đã được sử dụng rộng rãi để lập mô hình dự đoán sinh khối vì sự đơn giản và độ tin cậy đạt được mặc dù nó có thể không có độ tin cậy vượt trội so với một số mô hình toán phức tạp hoặc mô hình lồng ghép các hàm (Picard và ctv, 2015).

Hàm Power đã được đề xuất cho hầu hết các mô hình sinh khối vùng nhiệt đới (Chave và ctv, 2005, 2014; Pearson 2007; Picard và ctv, 2015; Sola và ctv, 2014a,b; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017). Đôi khi các hàm parabol bậc hai cũng được sử dụng (ví dụ Brown và ctv, 1989, 1997). Basuki và ctv (2009) và Huy và ctv (2016c) đã sử dụng các mô hình hàm Power để xây dựng mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp ở vùng thấp của Indonesia và ở Việt Nam. Ngay cả quốc gia có nền khoa học sinh trắc rừng phát triển như ở Hoa Kỳ thì hàm mũ đơn giản cũng được sử dụng để lập các mô hình sinh khối theo loài do có độ biến động nhỏ và đạt độ tin cậy cho phép (Pearson, 2007; Jenkins và ctv, 2003, 2004).

1.3.4 Ước lượng mô hình sinh khối dạng power tuyến tính hóa logarit hay phi tuyến?

Mô hình Power có hai cách chính để thiết lập: i) Lập mô hình tuyến tính dạng log-log (Brown, 1997; IPCC, 2003; Chave và ctv, 2005; Huy và Anh, 2008; Basuki và ctv, 2009; Huy và ctv, 2012, 2014); ii) Lập mô hình trực tiếp dạng phi tuyến tính (Non-Linear) (Chave và ctv, 2014; Huy và ctv, 2016a,b,c, 2019; Kralicek và ctv, 2017)

Phương pháp truyền thống và phổ biến là lập mô hình dạng Power bằng cách tuyến tính hai vế bằng hàm logarit sau đó ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu (Least Squared). Tuy nhiên với sự tiến bộ của khoa học sinh trắc, công nghệ máy tính đã cho phép ước tính trực tiếp các tham số của mô hình Power ở dạng phi tuyến mà không phải thông qua hàm trung gian là logarit như trước đây, vì vậy hầu hết nâng cao được độ tin cậy của mô hình

sinh khối dạng phi tuyến, Các phương pháp ước lượng hàm phi tuyến hiện đại bao gồm phi tuyến theo phương pháp bình phương tối thiểu (Non-Linear fit by Least Squared) hoặc phi tuyến ước lượng theo phương pháp hợp lý cực đại (Non-Linear fit by Maximum Likelihood).

Kiểm tra để lựa chọn một trong hai phương pháp nói trên thường sử dụng chỉ số Furnival's Index (FI) (Jayaraman, 1999) để so sánh các mô hình không giống nhau về biến số phụ thuộc (ví dụ y và $\ln(y)$), lúc này các chỉ tiêu thống kê như hệ số xác định R^2 , AIC (Akaike information criterion), các loại sai số sẽ không thể dùng để so sánh do khác nhau về giá trị của biến phụ thuộc. Các mô hình theo phương pháp ước lượng có chỉ số Furnival thấp hơn là tốt hơn (Huy và ctv, 2016b)

1.3.5 Mô hình có trọng số

Đối với các mô hình sinh khối, khi biến số độc lập tăng lên, ví dụ như D thì biến dự đoán sinh khối ví dụ AGB sẽ tăng lên và phân tán rộng hơn gọi là hiện tượng heteroscedasticity. Hay nói khác ở các cây có kích thước lớn sẽ có độ phân tán cao giá trị sinh khối quan sát và nếu áp dụng phương pháp ước lượng hàm thông thường sẽ mắc sai số lớn ở các cây có kích thước lớn. Vì vậy để giảm biến động và sai số dự đoán vì sự phân tán dữ liệu sinh khối AGB khi D tăng lên, trọng số cần được áp dụng trong thiết lập mô hình sinh khối (Davidian và Giltinan, 1995; Picard và ctv, 2012).

1.3.6 Thiết lập mô hình phi tuyến tính có trọng số có hay không có ảnh hưởng các nhân tố ngẫu nhiên theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed models with/without random effects fit by Maximum Likelihood)

Có các phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến tính khác nhau như bình phương tối thiểu (Least Squared), Marquardt, Maximum Likelihood; trong đó phương pháp Maximum likelihood là phương pháp tiên tiến, cho kết

quả thiết lập trực tiếp các mô hình phi tuyến tính có độ tin cậy cao (Bảo Huy, 2017a, b).

Ngoài ra mô hình phi tuyến theo phương pháp Maximum Likelihood còn có hai dạng: i) Cố định (Fixed), đó là mô hình theo các biến số độc lập cố định và ii) Hỗn hợp (Mixed) là mô hình thay đổi theo các nhân tố ảnh hưởng ngẫu nhiên khác (random effects) ngoài biến số độc lập, ví dụ như các nhân tố sinh thái, môi trường, khí hậu (Bates, 2010; Pinheiro và ctv, 2014; Huy và ctv, 2016 a,b,c; 2019; Bảo Huy, 2017a, b). Mô hình dưới ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố (random effects) thay đổi các tham số của các mô hình theo sự thay đổi của các nhân tố tác động, làm cho mô hình chung phân chia thành các mô hình theo từng nhân tố và phù hợp hơn với sự đa dạng của yếu tố môi trường trong thực tế. Đây là một dạng mô hình tiên tiến trong nâng cao độ tin cậy của mô hình sinh khối khi mà cây rừng thường mọc trong những điều kiện hoàn cảnh khác nhau.

1.3.7 Phương pháp thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và chung (Seemingly Unrelated Regression - SUR)

Theo phương pháp truyền thống thì các mô hình sinh khối thành phần của cây rừng và tổng được thiết lập một cách độc lập. Các nghiên cứu đã cho thấy rằng tổng các hàm power của các mô hình ước tính sinh khối thành phần không phải là hàm power của phương trình AGB chung các thành phần (Picard và ctv, 2012; Sanquetta và ctv, 2015; Poudel và Temesgen, 2016). Do đó thiết lập các mô hình thành phần sinh khối độc lập để tính tổng AGB sẽ có độ lệch đáng kể so với mô hình ước tính AGB độc lập. Ngoài ra, các sinh khối thành phần còn có quan hệ với nhau theo mối tương quan chéo giữa các phương trình, vì vậy một phương pháp mới đã được xây dựng để khắc phục cho nhược điểm lập các mô hình sinh khối thành phần độc lập, đó là thiết lập hệ thống đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và tổng chung (Seemingly Unrelated Regression –

SUR). Nhiều công bố đã chứng minh phương pháp SUR đã cải thiện đáng kể độ tin cậy khi thiết lập hệ thống mô hình sinh khối vì có các mối quan hệ sinh khối thành phần với nhau (Parresol, 2001; Picard và ctv, 2012; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2019).

1.3.8 Phát triển mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng

Mô hình sinh trắc (allometric equation) ước tính sinh khối cây rừng trên thế giới đã được thực hiện bởi nhiều tác giả như Brown (1997 - 2001), MacDicken (1997), Nelson và ctv (1999), Ketterings và ctv (2001), Cairns và ctv (2003), Ziegler và ctv (2012), Chave và ctv (2005, 2014), Pearson (2007), Basuki và ctv (2009), Henry và ctv (2010, 2015), Dietz và ctv (2011), Johannes và ctv (2011) và Matthew và ctv (2018). Tuy nhiên các mô hình sinh khối trên thế giới số liệu cây chặt hạ còn ít trên vùng nhiệt đới rộng lớn toàn cầu, hầu như 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+. Với nhu cầu này, gần đây ở Việt Nam đã bắt đầu thiết lập hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng cho một số kiểu rừng chính như rừng lá rộng thường xanh, rừng khộp (DF), tre lồ ô, rừng ngập mặn và được thừa nhận trên thế giới (Huy và ctv, 2008, 2016a,b,c, 2019; Hai và ctv, 2015; Nam và ctv, 2016; Nam và Vinh, 2016; Kralicek và ctv, 2017).

Đối với các nước phát triển và có tổ thành loài không quá phức tạp như ở Hoa Kỳ thì mô hình sinh khối được lập sẵn cho hầu hết các loài cây (Jenkins và ctv, 2003, 2004; Ter-Mikaelian và Korzukhin, 1997). Với sự đa dạng của rừng nhiệt đới, 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 và ctv (1997) đã sử dụng 371 cây mẫu chặt hạ và Chave và ctv (2005) đã sử dụng 2410 cây mẫu để lập các mô hình sinh khối chung cho vùng rừng nhiệt đới. Jara và ctv (2015), Chave và ctv (2014) đã chỉ ra rằng các phương trình sinh khối 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 và ctv, 2014). Để nâng cao độ tin cậy của mô hình sinh khối, Temesgen và ctv (2007, 2015) đề nghị phát triển mô hình 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.

Riêng ở Việt Nam, trước khi có chương trình REDD⁺ thì một số nhà khoa học cũng đã quan tâm đến sinh khối rừng như Nguyễn Ngọc Lung (1989) nghiên cứu đầu tiên về sinh khối 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. Võ Đại Hải (2009) nghiên cứu hấp thụ CO₂ của rừng trồng bạch đàn *Urophylla*. 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 REDD⁺. Đến năm 2008, Huy và ctv 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. Tiếp đến Võ Đại Hải và ctv (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, Bảo Huy và ctv (2013), 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. Đối với rừng lá rộng thường

xanh vùng Nam trung bộ, Bảo Huy (2016) cũng đã đưa ra các phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng theo kiểu rừng và vùng sinh thái. Phạm Tuấn Anh và Bảo Huy (2016) đã xây dựng hệ thống các mô hình ước tính sinh khối rừng lá rộng thường xanh sử dụng biến đầu vào cộng đồng có khả năng đo đạc, giám sát.

Gần đây các phương pháp luận và thiết lập mô hình, thẩm định sai số, độ tin cậy của các mô hình sinh khối cây rừng tự nhiên của Việt Nam đã được công bố có tính hệ thống (Huy và ctv, 2016a,b,c; 2019; Bảo Huy, 2016).

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, hiện tại ở Việt Nam chỉ có một vài công bố về mô hình ước tính sinh khối cây rừng phần dưới mặt đất (BGB) như của Bảo Huy (2013) cho rừng lá rộng thường xanh và Kralicek và ctv (2017) cho hai kiểu rừng lá rộng thường xanh và khộp.

Để ước tính BGB hiện nay trên thế giới 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 sang sinh khối dưới mặt đất 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 thì $R = 0,20 - 0,24$. Ngoài ra Dietz và ctv (2011) cũng cho thấy tỷ lệ BGB/AGB rất biến động theo đường kính cây rừng. Trong khi đó theo MacDicken (1997) thì $R = 0,2$ ($BGB = 20\% \times AGB$).

1.4 Thẩm định chéo (Cross-Validation) mô hình sinh trắc

Để đủ điều kiện nhận chi trả tài chính của chương trình REDD⁺ thì yêu cầu các quốc gia tham gia phải có ước tính chính xác về trữ lượng carbon và khí thải liên quan đến tất cả các kiểu che phủ đất quan trọng (Brown, 2002; UNFCCC, 2008).

Các mô hình được sử dụng để ước tính sinh khối và trữ lượng carbon trong rừng (Hanpattanakit và ctv, 2016) trong hệ thống “Đo lường – Báo cáo – Thẩm định (MRV)” của chương trình UN-REDD⁺ cần chỉ ra sai số của các mô hình này trong bản báo cáo là điều cần thiết. Vì vậy, các phương pháp thẩm định chéo (Cross Validation) được sử dụng và là cơ sở để thẩm định và đánh giá khách quan sai số của các mô hình sinh khối này.

Ngoài ra để lựa chọn mô hình tối ưu và cung cấp thông tin sai số chính xác các mô hình sinh khối thì các phương pháp “Thẩm định chéo – Cross Validation” (Moore, 2017; Zhang, 1997) giúp tránh lựa chọn các mô hình có sai lệch lớn so với thực tế (overfitting). Bên cạnh đó, thẩm định chéo còn giúp cho việc lựa chọn các biến số thích hợp cho mô hình (Picard và Cook, 1984)

Có bốn phương pháp thẩm định mô hình cần xem xét là: Phương pháp truyền thống là sử dụng dữ liệu độc lập, các phương pháp thẩm định chéo như Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV), K-Fold và Monte Carlo.

1.4.1 Phương pháp thẩm định sai số sử dụng dữ liệu độc lập

Phương pháp phân chia dữ liệu ngẫu nhiên làm hai phần: Ví dụ 80% cho lập mô hình và 20% cho đánh giá sai số của các mô hình. 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 (Bảo Huy, 2017a,b)

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 và ctv, 1993; Chave và ctv, 2005; Basuki và ctv, 2009; Swanson và ctv, 2011; Huy và ctv, 2016a,b; Bảo Huy, 2017a,b):

$$Bias \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{(y_i)} \quad (1.1)$$

$$RMSE \% = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (1.2)$$

$$MAPE \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (1.3)$$

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.

Khi áp dụng phương pháp thẩm định sai số truyền thống cần xem xét tính ổn định thông tin sai số của các mô hình ước tính sinh khối ở các vùng, địa phương khác nhau. Vì đây là phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập để so sánh, thẩm định sai số mô hình và thường không cung cấp chính xác sai số trong mọi trường hợp ứng dụng. Sai số chỉ được xác định một lần cho một bộ dữ liệu độc lập nhất định và có thể thay đổi khi áp dụng theo một bộ dữ liệu độc lập khác, do đó nó có ý nghĩa trong đánh giá sai số khi áp dụng mô hình vào một địa phương cụ thể.

1.4.2 Phương pháp thẩm định chéo - Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)

Với phương pháp Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) từ n dữ liệu cây mẫu, 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 và 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).

1.4.3 Phương pháp thẩm định chéo - K-Fold

Theo Moore (2017) phương pháp K-Fold phân chia dữ liệu thành K phần bằng nhau, K-1 phần dữ liệu dùng lập mô hình, một phần dữ liệu không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số. Tiến hành lặp lại như vậy K 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 (thông thường K= 5 - 10 lần).

1.4.4 Phương pháp thẩm định chéo - Monte Carlo

Temesgen và ctv (2014) và Huy và ctv (2016a,b) mô tả phương pháp Monte Carlo sử dụng để thẩm định chéo các mô hình sinh khối như sau: phân chia dữ liệu ngẫu nhiên làm 2 phần, một phần dùng để lập mô hình (thường từ 70%-80% dữ liệu) và một phần dùng để đánh giá sai số (thường từ 20% - 30% dữ liệu). 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 lần.

Như vậy đối với ba phương pháp thẩm định chéo, khi đánh giá sai số, các phương pháp này không bỏ ra một phần dữ liệu để đánh giá như cách làm truyền thống (cần tách dữ liệu độc lập riêng để đánh giá), nó 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, mô hình sau cùng được lập dựa vào toàn bộ dữ liệu. Đây là ưu điểm của phương pháp thẩm định chéo đó là 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 có độ tin cậy càng cao hơn vì phản ánh và đại diện cho toàn bộ dữ liệu ở các vùng sinh thái thu thập (Bảo Huy, 2017a,b).

1.5 Hệ sinh thái rừng khộp và các mô hình sinh khối được thiết lập cho kiểu rừng này

1.5.1 Hệ sinh thái rừng khộp

Ở châu Á, có bốn kiểu rừng cây họ dầu chiếm ưu thế đó là rừng nhiệt đới ẩm ướt rụng lá, rừng bán thường xanh nhiệt đới, rừng nhiệt đới rụng lá ẩm và rừng nhiệt đới khô rụng lá (Appanah, 1998). Rừng khộp ở Việt Nam thuộc kiểu sau cùng. Các kiểu rừng này chiếm một lượng lớn các môi trường sống từ ven biển vào nội địa, ven sông đến đầm lầy và đất khô, từ gợn sóng đến địa hình phức tạp, rừng núi, sườn núi, thung lũng, trên đất phong hóa từ sâu đến nông, thoát nước tốt đến kém, và từ giàu đến nghèo chất dinh dưỡng (Maury-Lechon và Curtet, 1998).

Theo Thái Văn Trùng (1978), ở Việt Nam rừng khộp nằm trong kiểu phụ miền thực vật thân thuộc với khu hệ di cư Malaysia – Indonesia và Ấn Độ - Miến Điện, ưu hợp họ dầu (Dipterocarpaceae) và họ Bàng (Combretaceae). Đây là kiểu phụ miền của chế độ hơi khô ở miền Nam Việt Nam, chịu ảnh hưởng rõ rệt của nhóm nhân tố đá mẹ - thổ nhưỡng trong quá trình phát sinh.

Maury-Lechon và ctv (1998) cho biết rừng khộp có phân bố chủ yếu ở Đông Nam Á. Tại Việt Nam, rừng khộp phân bố chủ yếu ở Tây Nguyên, vùng duyên hải Nam Trung Bộ và Đông Nam Bộ. Ở Việt Nam, rừng khộp có diện tích khoảng 650.000 ha phân bố từ Nam cao nguyên Pleiku đến Tây Ninh; trong đó tập trung ở huyện Buôn Đôn, Ea Soup của tỉnh Đắk Lắk vùng Tây Nguyên (Huy và ctv, 2018).

Theo Appanah (1998) rừng khộp bị giới hạn trong vùng khí hậu nhiệt đới với lượng mưa trung bình hàng năm trên dưới 1.000 mm, có một mùa mưa úng nước và một mùa khô khắc nghiệt; độ cao phân bố từ 450 - 600m trên đất ferrallitic pha cát sỏi (Maury - Lechon và ctv, 1998)

Theo Thái Văn Trùng (1978) cho thấy rừng khộp ở Việt Nam hình thành do chế độ nhiệt ẩm, với mùa khô kéo dài và khắc nghiệt (4 - 6 tháng khô, 1 - 2 tháng hạn và 1 tháng kiệt). Kiểu rừng thưa có quan hệ với lượng nước thấp mà đất còn giữ lại. Mật độ cây trong quần thể phụ thuộc vào lý tính đất như thành phần cơ giới, cấu tượng, độ sâu mực nước ngầm. Ở rừng khộp, cây rừng phát triển mạnh vào mùa mưa và rụng lá vào mùa khô (Erskine và Huy, 2003). Rừng khộp có tầng cây to ở trên và bên dưới là các loài lá cứng dòn và rụng lá vào mùa khô hạn, hoặc thảm cỏ tranh, le tre và bị lửa rừng đốt cháy hàng năm. Tất cả các loài cây trong hệ sinh thái rừng khộp đều thích nghi với môi trường lửa rừng hằng năm. Để bảo tồn loài, chúng có khả năng đâm chồi gốc và chồi rễ rất mạnh.

Rừng khộp gồm các kiểu ưu hợp với ưu thế dầu trà beng (*Dipterocarpus obtusifolius*) và dầu đồng (*Dipterocarpus tuberculatus*); cẩm liên (*Pentacme siamensis*) và cà chít (*Shorea obtusa*). Các loài cây họ dầu ưu thế gồm bảy loài chính: dầu trà beng (*Dipterocarpus obtusifolius*), dầu đồng (*Dipterocarpus tuberculatus*), dầu lông (*Dipterocarpus intricatus*), cà chít (*Shorea obtusa*), sên đỏ (*Shorea cochinchinensis*), cẩm liên (*Pentacme siamensis*) và chiêu liêu đen (*Terminalia tomentosa*) (Thái Văn Trùng, 1978).

Rừng thưa cây họ dầu xuất hiện trên “đất xám xương xẩu bazalt” (Thái Văn Trùng, 1978). Đỗ Đình Sâm (1986), Trần Văn Con (1991, 2000), Erskine và Bảo Huy (2003), Phạm Công Trí (2018) cho biết rừng khộp phân bố trên nhiều loại đất khác nhau với đặc điểm chung là tầng đất khá mỏng, trên dưới 50 cm, có nhiều đá sỏi sạn lẫn trong phần diện, đá nổi và kết von là phổ biến.

Rừng khộp phân bố ở vùng có lượng mưa thấp, có một mùa khô kéo dài và khắc nghiệt. Lửa rừng xảy ra hàng năm vào mùa khô và ngập úng cục bộ ở vùng trũng vào mùa mưa. Lửa rừng là một nhân tố sinh thái, quyết định sự hình thành và bền vững của rừng khộp như giúp cho cây tái sinh, diệt sâu

bệnh, kích thích sinh trưởng. Rừng khộp tuy có trữ lượng gỗ thấp nhưng lại chứa đựng đa dạng sinh học cao, ngoài nhóm loài cây gỗ, thì nó là môi trường sống của nhóm thú lớn như voi, nai, bò, trâu, ... và khỉ, vượn, cộc, các loài bò sát ếch nhái, cá, chim, ... về mặt môi trường thì năng lực tích lũy carbon của rừng khộp cao hơn các kiểu rừng khác. Đây là kiểu rừng rụng lá với các loài cây ưu thế chủ yếu là cây họ dầu, tùy theo lập địa mà hình thành nên các ưu hợp với 2-3 loài cây ưu thế như: Cà chít - cẩm liên, cẩm liên - chiêu liên đen, dầu đồng - cà chít, ... đây là các loài cây chịu lửa vì vậy có vỏ dày, tái sinh hạt và chồi, cây tái sinh chết đi sống lại khi bị cháy. Rừng khộp là kiểu rừng khác tuổi, có 2 tầng cây gỗ (tầng ưu thế và tầng dưới tán), tầng le tre, cây bụi, thường không có thảm tươi, vật liệu rơi rụng thường bị cháy hết vào mùa khô (Phạm công Trí, 2018).

Rừng khộp tại Việt Nam là rừng khác tuổi, có cấu trúc tầng tán đơn giản chỉ gồm 2 tầng tán, tầng ưu thế sinh thái gồm các cây gỗ, tầng dưới tán là các cây bụi, le tre và cây cỏ, cây gỗ cao tới 20 m, đường kính tối đa 50 cm (Erskine và Huy, 2003). Phân bố số cây theo cấp kính dạng giảm, loài cây gỗ lớn đồng nhất với loài cây tái sinh, cho thấy sự ổn định tổ thành của kiểu rừng này. Mật độ cây thưa, biến động từ 100-500 cây/ha đối với cây có đường kính ngang ngực trên 10 cm. Tăng trưởng thường chậm, do đó gỗ có khối lượng thể tích (Wood Density - WD) cao, thường WD từ 0,6 đến trên 1,0. Trữ lượng gỗ thấp, trung bình 100-150 m³/ha. Có khả năng tái sinh chồi và hạt mạnh Appanah và Turnbull (1998), vật liệu rơi rụng thường bị cháy hết vào mùa khô, có khả năng tái sinh chồi và hạt mạnh (Huy và ctv, 2018; Phạm Công Trí, 2018).

Ở rừng khộp, cây rừng phát triển mạnh vào mùa mưa và rụng lá, ngừng sinh trưởng vào mùa khô. Vào mùa khô cây lá rụng nhiều, ở mặt đất lại thường là các loại cỏ, le và cây con mọc dày đặc nên cháy rừng hằng năm.

Tuy nhiên, chính lửa rừng lại là yếu tố tích cực làm quả cây có đủ điều kiện để nảy mầm và tạo nên sức tái sinh của rừng khộp.

Omar và ctv (2015) cho thấy rừng khộp là một kiểu rừng đa chức năng như bảo tồn và sản xuất thông qua cung cấp các loại gỗ có chất lượng và lâm sản ngoài gỗ đa dạng như dược liệu, lương thực và một lượng lớn nhựa từ các loài thuộc họ Dầu. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, loại rừng này đang bị suy thoái do khai thác quá mức và chuyển đổi mục đích sang trồng cây công nghiệp như cao su, gây ra tác động không mong muốn đến môi trường (Huy và ctv, 2018). Các khu vực khộp thường có điều kiện môi trường khắc nghiệt như hạn hán, cháy rừng vào mùa khô và lũ lụt trong mùa mưa. Chỉ các loài họ Dầu mới có thể thích nghi, tồn tại trong điều kiện sống khắc nghiệt này. Do đó, rừng khộp có ý nghĩa cao trong bảo vệ môi trường (Huy và ctv, 2018), đặc biệt là cô lập carbon để giảm thiểu biến đổi khí hậu.

1.5.2 Các mô hình sinh khối rừng khộp

Trong khi rừng khộp có số loài, chi và họ thực vật là thân gỗ ưu thế không nhiều, xu thế đối với kiểu rừng này là lập mô hình có độ chính xác cao đến loài, chi và họ thực vật ưu thế (Basuki và ctv, 2009; Huy và ctv, 2016c) đồng thời cần bổ sung các nhân tố lâm phần, sinh thái môi trường ảnh hưởng đến các tham số vào trong các mô hình để tăng cường độ chính xác các mô hình trong các điều kiện lâm phần khác nhau.

Hiện tại không có nhiều thông tin về khả năng lưu trữ carbon của rừng khộp. Một số nghiên cứu như Matthew và ctv, (2018) cho thấy trữ lượng carbon của rừng khộp (DF) bao gồm hàm lượng carbon trong cây rừng trên mặt đất (AGC) là 222 tấn/ha và carbon trong cây rừng dưới mặt đất (BGC) là 53 tấn/ ha; Laumonier và ctv,(2010) chỉ ra trong rừng khộp Sumatra, Indonesia sinh khối trung bình trên mặt đất là 361 tấn/ ha, trong khi đó lượng sinh khối của cây rừng khộp biến động từ 297 – 386 tấn /ha ở Ấn độ (Panda

và ctv, 2020), các số liệu về khả năng tích lũy sinh khối và carbon của rừng khộp được công bố này bố cao hơn giá trị mặc định trong hướng dẫn của IPCC (2006).

Mặc dù DF là một bể chứa carbon quan trọng ở khu vực châu Á và để thực thi chương trình UN-REDD, nhưng có rất ít mô hình ước tính sinh khối được phát triển cho loại rừng này (Basuki và ctv, 2009; Rutishauser và ctv, 2013; Huy và ctv, 2016c). Cho đến nay, chỉ có một vài mô hình sinh khối cho DF. Cairns và ctv (2003) đã phát triển các mô hình sinh khối đặc trưng cho sáu loài phổ biến nhất thuộc họ dầu ở Mexico. Chave và ctv (2005) thiết lập mô hình ước tính AGB dành riêng cho rừng khộp vùng nhiệt đới. Basuki và ctv (2009) đã xây dựng mô hình AGB cho các loài hỗn hợp và một số chi trội như *Dipterocarpus*, *Hopea*, *Palaquium*, *Shorea* ở Indonesia. Niiyama và ctv (2010) đã phát triển mô hình sinh khối dưới mặt đất (BGB) trên bán đảo Malaysia và Kralicek và ctv (2017) thành lập các mô hình BGB cho rừng khộp ở Việt Nam. Đây là những tác phẩm hiếm hoi đề cập đến BGB - một biến số khó khăn và tốn kém để đo lường. Các mô hình sinh khối cho các thành phần của cây rừng khộp cũng được tìm thấy trong một nghiên cứu của Hanpattanakit và ctv (2016). Các tác giả đã tạo ra ba mô hình để ước tính sinh khối thân cùng với cành, lá và rễ cho 5 loài của DF chiếm ưu thế ở Thái Lan. Basuki và ctv (2009) và Huy và ctv (2016c) đã thiết lập một số mô hình sinh khối cho rừng khộp ở Indonesia và Việt Nam. Cả hai tác giả đều cho thấy phương trình sinh khối lập theo chi đã cải thiện độ chính xác trong ước tính AGB. Ngoài ra, các phương trình theo chi cho thấy không có sự khác biệt đáng kể nào ở các khu vực khác nhau (ví dụ: Indonesia, Việt Nam) của Đông Nam Á.

Huy và ctv (2016c) đã thiết lập các mô hình AGB cho các loài hỗn hợp và hai chi lớn của rừng khộp là *Dipterocarpus* và *Shorea* tại Việt Nam. Kết

quả chỉ ra rằng các mô hình cụ thể theo vùng sinh thái và các mô hình dành riêng cho chi đã cải thiện sai số trong ước tính AGB của DF. Tuy nhiên, do dung lượng mẫu được sử dụng để phát triển các mô hình theo từng chi, loài ưu thế rừng khộp còn nhỏ, vì vậy các tác giả cũng cho rằng cần bổ sung thêm dữ liệu để thiết lập một cách có hệ thống các mô hình sinh khối theo hệ thống phân loại thực vật bao gồm họ, chi loài ưu thế cho rừng khộp Việt Nam.

1.6 Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối cây rừng để ước tính carbon tích lũy trong bể chứa trong cây rừng trên 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 (Emission Factor) 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, 2013).

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

- i) 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.
- ii) Thu thập số liệu trên ô mẫu theo các biến số đầu vào của các mô hình sinh trắc lựa chọn sử dụng.

iii) Sử dụng các hàm sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon của cây rừng và suy ra cho lâm phần. Quy đổi từ sinh khối ra carbon và lượng CO₂ tương đương cây rừng hấp thụ hoặc phát thải nếu rừng bị mất.

Lượng carbon tích lũy và CO₂ tương đương cây rừng hấp thụ được tính toán thông qua hệ số chuyển đổi như sau:

$$\text{Carbon} = 0,47 \times \text{Sinh khối (IPCC, 2006, Bảo Huy, 2013)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ tương đương} = 3,67 \times \text{Carbon}$$

Trên cơ sở mô hình sinh khối cây rừng, ước tính được lượng C và CO₂ rừng tích lũy tại từng thời điểm trên một đơn vị diện tích trong bể chứa cây rừng trên và dưới mặt đất, kết với với biến động diện tích rừng theo thời gian xác định được lượng CO₂ rừng hấp thụ (removal) hay phát thải (emission).

1.7 Thảo luận

Từ tổng quan nói trên cho thấy:

Phương pháp thiết lập và đánh giá sai số mô hình sinh khối đã được phát triển có tính hệ thống làm cơ sở cho việc lập và thẩm định chéo các mô hình sinh khối phục vụ cho ứng dụng trong các chương trình UN-REDD⁺.

Trong 5 bể chứa carbon rừng, thì bể chứa trong cây rừng phần trên mặt đất là quan trọng nhất vì chiếm trữ lượng cao nhất và chỉ thị cho sự hấp thụ hoặc phát thải carbon. Vì vậy mô hình sinh khối cho cây rừng là quan trọng nhất trong ước tính tích lũy carbon trong hệ sinh thái rừng.

Mô hình sinh khối chung cho rừng nhiệt đới của thế giới đã được thiết lập, tuy nhiên các kết quả thẩm định cho thấy có sai số lớn khi áp dụng vào khu vực không có dữ liệu tham gia lập mô hình như ở Việt Nam. Vì vậy Việt Nam khi thực hiện MRV trong khuôn khổ REDD⁺ cần có đầy đủ hệ thống mô hình sinh khối có độ tin cậy theo IPCC (2003, 2006).

Rừng khộp là một kiểu rừng đặc thù phân bố trên điều kiện lập địa đặc biệt, các loài cây ở đây có khả năng tích lũy carbon khác biệt so với các loài

cây của rừng ẩm thường xanh. Việc sử dụng các mô hình sinh khối của rừng ẩm thường xanh và rừng khô rụng lá khớp sẽ cho sai số cao. Vì vậy cần có một hệ thống mô hình ước tính sinh khối riêng cho kiểu rừng này ở Việt Nam nói riêng và Châu Á nói chung.

Ở Việt Nam, tuy đã có một số mô hình ước tính sinh khối cho cây rừng khớp được thiết lập (Huy và ctv, 2016c; Kralicek và ctv, 2017); tuy nhiên các tác giả cũng chỉ ra sự cần thiết bổ sung dữ liệu theo loài, chi, họ thực vật ưu thế trong rừng khớp để thiết lập đầy đủ và có hệ thống các mô hình có độ tin cậy cao và được thẩm định chéo sai số so với các mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới.

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

2.1.1 Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Kiểu rừng nghiên cứu là rừng khộp, là tên gọi địa phương của kiểu rừng khô cây lá rộng rụng lá theo mùa, ưu thế là các loài cây họ dầu (*Dipterocarpaceae*). Tên tiếng Anh là Dry Deciduous Dipterocarp Forest (DF).

Theo phân loại rừng ưu thế cây họ dầu ở châu Á, rừng khộp thuộc kiểu rừng nhiệt đới khô rụng lá (Appanah, 1998). Theo Thái Văn Trùng (1978), ở Việt Nam rừng khộp thuộc kiểu rừng thưa cây lá rộng hơi khô nhiệt đới. Rừng khộp nghiên cứu nằm ở hai vùng sinh thái là Tây Nguyên (CH) và Đông Nam bộ (SE) (Hình 2.1).

Nghiên cứu tập trung cho các họ, chi, và loài ưu thế của rừng khộp (Thái Văn Trùng, 1978 và Huy và ctv, 2016c), bao gồm:

Họ: Dầu (*Dipterocarpaceae*)

Chi: 2 chi ưu thế: Dầu (*Dipterocarpus*) và Cà chít (*Shorea*). Hai chi này hầu như chiếm chủ yếu trong họ Dầu của rừng khộp.

Nghiên cứu 4 loài ưu thế: Dầu đồng (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.), dầu trà beng (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. e. Miq.), cà chít (*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume), cẩm liên (*Shorea siamensis* Miq.). Đây là bốn loài chủ yếu trong rừng khộp nằm trong hai chi nghiên cứu nói trên.

Mô hình sinh khối được lập cho các bộ phận cây rừng (thân (*Bst*), cành (*Bbr*), lá (*Ble*), và vỏ (*Bba*)) và tổng của cây rừng phần trên mặt đất (Above Ground Biomass – AGB).

2.1.2 Đặc điểm khu vực và rừng khộp nghiên cứu

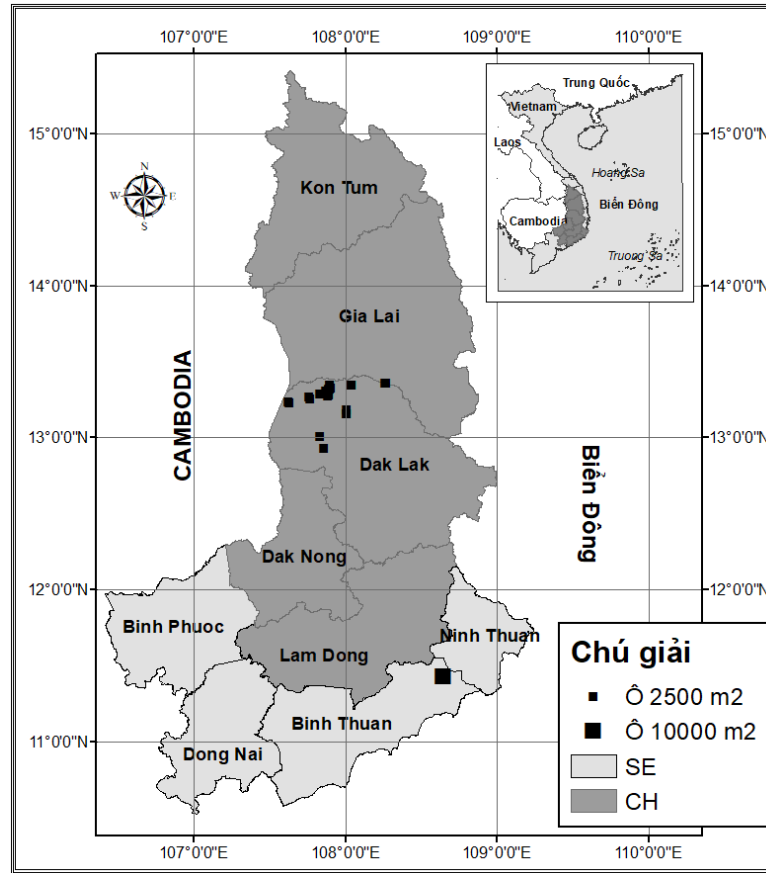
Dữ liệu được thu thập ở hai vùng sinh thái đó là vùng Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE). Các địa điểm nghiên cứu nằm ở vĩ độ Bắc: 11°20'N - 13°30'N và kinh độ Đông: 107°35'E - 108°45'E (Hình 2.1).

Lượng mưa trung bình hàng năm ở CH là 1600 mm và ở SE là 1.003 mm, với nhiệt độ trung bình hàng năm là 25,3 – 25,5°C, mùa khô kéo dài 3 - 4 tháng. Độ cao so với mặt biển trong các vùng nghiên cứu nằm trong khoảng từ 171 đến 417 m, địa hình của khu vực nghiên cứu tương đối bằng phẳng và đất chủ yếu có nguồn gốc núi đá lửa. (Nguồn: Từ nghiên cứu; Hijmans và ctv, 2005; Fischer và ctv, 2008).

2.2 Nội dung nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, đề tài có các nội dung chính sau:

- i) Đánh giá để lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối
- ii) Thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập
- iii) Thiết lập hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập
- iv) Thẩm định chéo ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng và lâm phần lên mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp
- v) So sánh độ tin cậy mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới với mô hình cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp.
- vi) Đề xuất từ kết quả nghiên cứu để ứng dụng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng



Hình 2.1. Bản đồ phân bố các ô mẫu nghiên cứu trong rừng khộp ở Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE)

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Tiếp cận lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp

Mô hình sinh khối trong nghiên cứu này hướng đến đạt độ tin cậy cao theo yêu cầu của IPCC (2003, 2006), do vậy dữ liệu sinh khối đầu vào để lập mô hình hình sinh khối cây rừng được thu thập trực tiếp theo phương pháp rút mẫu chặt hạ (destructive sampling).

Phương pháp thiết lập mô hình sinh khối cũng rất đa dạng, do vậy nghiên cứu thử nghiệm và đánh giá để lựa chọn biến số đầu vào thích hợp, chọn dạng mô hình, chọn phương pháp ước lượng mô hình tuyến tính hóa hoặc phi tuyến theo các phương pháp ước lượng khác nhau như bình phương tối thiểu (Least

Squared), Marquardt, Maximum Likelihood có trọng số, có hay không có xét ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần. Sử dụng phương pháp ước lượng mô hình sinh khối cây rừng tiên tiến là “Phi tuyến tính có định/tổng hợp có hay không xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố môi trường theo Maximum Likelihood” (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed Models with/without Random Effects fit by Maximum Likelihood) thực hiện trong phần mềm mã nguồn mở R (Huy và ctv, 2016a,b,c), đồng thời áp dụng phương pháp mới và hiện đại là “Thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và tổng của cây rừng dạng phi tuyến tính có trọng số theo SUR” (Weighted Nonlinear Models fit by Seemingly Unrelated Regression - SUR) thực hiện trong phần mềm SAS để nâng cao độ tin cậy ước tính sinh khối thông qua tăng cường mối quan hệ giữa các bộ phận sinh khối trong hệ thống mô hình (Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2019).

Để đánh giá độ tin cậy, sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khớp, các phương pháp thẩm định chéo (Cross Validation) được thử nghiệm và lựa chọn trong phần mềm mã nguồn mở R (Huy và ctv, 2016a,b,c). Thẩm định chéo là phương pháp đánh giá sai số mô hình sinh trắc hiện đại, khách quan, trong đó việc phân chia dữ liệu để lập và thẩm định sai số của mô hình được chọn ngẫu nhiên trên máy tính và lặp lại đủ lớn để cung cấp sai số ổn định, khách quan, toàn diện và bảo đảm được yêu cầu của IPCC (2003, 2006); phương pháp này khắc phục nhược điểm của phương pháp đánh giá sai số truyền thống là sử dụng dữ liệu độc lập chỉ cho sai số đúng với dữ liệu độc lập ở vùng thu thập mà không phù hợp với dữ liệu ở vùng khác.

Đối với rừng nhiệt đới nói chung, hầu hết đều có sự đa dạng của các loài cây gỗ, với sự ưu thế của các loài, chi và họ thực vật thường không rõ ràng. Ngược lại, trong rừng khớp (DF), các loài chủ yếu nằm trong họ Dầu (Dipterocarpaceae) với một số chi trội và loài chiếm ưu thế rõ rệt. Do đó, để

nâng cao độ tin cậy ước tính sinh khối cây rừng khộp, xem xét cách tiếp cận thiết lập mô hình sinh khối theo họ, chi và loài cây gỗ chiếm ưu thế theo hệ thống phân loại thực vật (Basuki và ctv, 2009; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2016c).

2.3.2 Thu thập số liệu sinh khối trên cây mẫu chặt hạ và dữ liệu sinh thái môi trường và lâm phần nghiên cứu

Hai mươi tám ô mẫu 0,25 ha (50 x 50 m) tại Tây Nguyên (CH), vùng phân bố chủ yếu của rừng khộp ở Việt Nam và một ô mẫu 1 ha (100 x 100 m) trong vùng sinh thái Đông Nam Bộ (SE) đã được thiết lập (Hình 2.1). Trong ô mẫu, loài cây gỗ rừng được xác định, đo cây có đường kính ngang ngực (D , cm) ≥ 5 cm và chiều cao của cây (H , m). Rừng khộp nghiên cứu có mật độ (N , cây/ha) từ 228 - 1291 cây/ha (với $D \geq 5$ cm), tổng tiết diện ngang (BA , m²/ha) dao động từ 3,8 đến 23,4 m²/ha (Bảng 2.1).

Trong mỗi ô mẫu, khu vực nghiên cứu thu thập các dữ liệu sinh thái môi trường như độ cao so với mặt biển (Altitude, m), độ dốc (Slope, độ), lượng mưa trung bình năm (P , mm/năm), nhiệt độ trung bình năm (T , °C/năm), loại đất (Nguồn: Từ nghiên cứu, Hijmans và ctv, 2005; Fischer và ctv, 2008) trình bày trong Bảng 2.1. Trong đó các nhân tố có sự biến động được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên đến mô hình sinh khối như khác nhau hai vùng sinh thái, Altitude, P , BA và N .

Bảng 2.1. Biến động dữ liệu các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần rừng khộp nghiên cứu

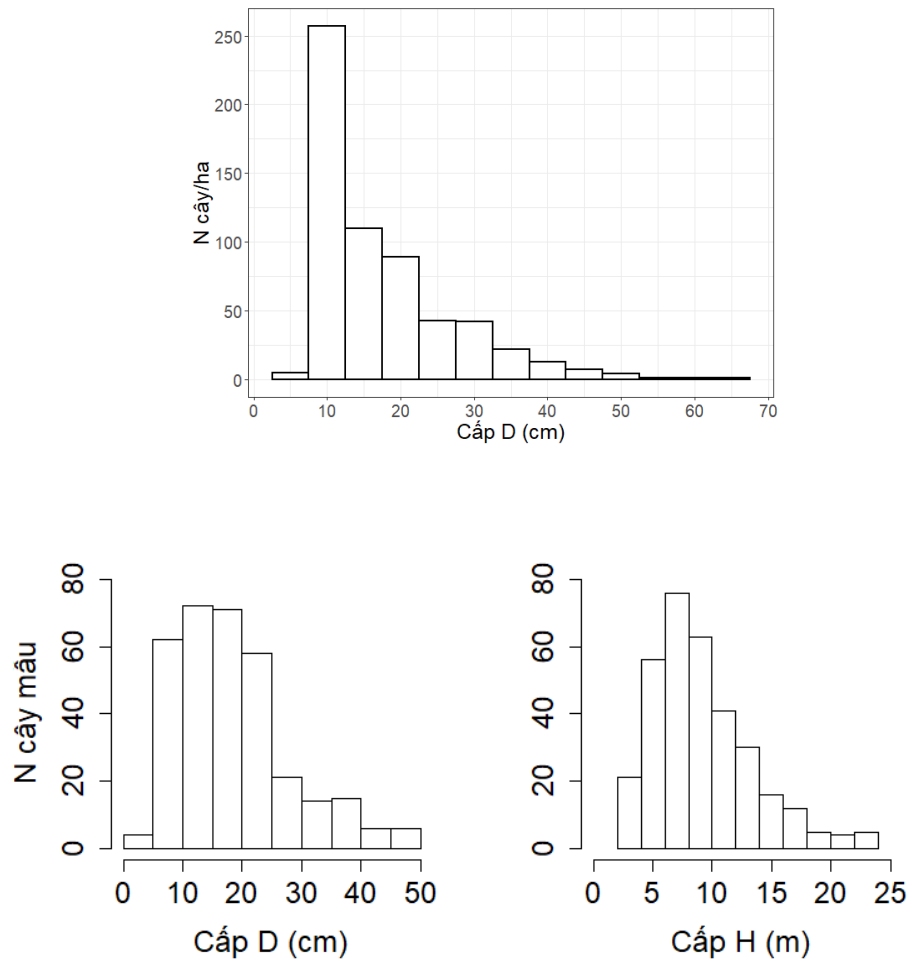
Nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn Sd
Độ cao so với mặt biển (Altitude, m)	171	246	417	64,6
Độ dốc (Slope, °)	0	2,0	8,0	2,2

Nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn Sd
Lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm)	1.003	1.502	1.600	221,5
Nhiệt độ trung bình năm (T, 0 ^C)	25,3	25,4	25,5	0,07
Loại đất	Phát triển trên núi đá lửa (Igneous Rocks)			
Tiết diện ngang rừng khộp (BA, m ² /ha với D ≥ 5 cm)	3,78	12,62	23,41	5,61
Mật độ rừng khộp (N, cây/ha với D ≥ 5 cm)	228	534	1.292	256,4

Nguồn: Từ nghiên cứu, Hijmans et al., 2005; Fischer et al., 2008

Áp dụng phương pháp chặt hạ cây mẫu (destructive sampling) để thu thập trực tiếp số liệu sinh khối cây rừng để lập mô hình. Rừng khộp hỗn loài, khác tuổi, nên lựa chọn cây lấy mẫu tỷ lệ thuận với phân bố đường kính của lâm phần (Hình 2.2) và mật độ của các loài chiếm ưu thế (Basuki và ctv, 2009).

Dựa vào Picard và ctv (2012) và Dutcă và ctv (2020) để xác định số cây mẫu phù hợp, đạt độ tin cậy để lập mô hình (từ 100 – 166 cây mẫu), vì vậy trong nghiên cứu này có tổng cộng có 329 cây mẫu được chặt để thu thập dữ liệu sinh khối tươi và lấy mẫu để xác định tỷ lệ sinh khối khô/tươi các bộ phận cây rừng; trong đó bao gồm 222 cây mẫu từ bộ dữ liệu của Huy và ctv (2016c) và 107 cây được lấy mẫu từ nghiên cứu này, nhằm tập trung thu thập số liệu theo hệ thống phân loại thực vật của rừng khộp bao gồm các thứ bậc là họ, chi và loài ưu thế; đồng thời trong đó tập trung cho 4 loài và hai chi nghiên cứu đang thiếu dữ liệu.



Hình 2.2. Phân bố đường kính (D , cm) (bên trái dưới) và chiều cao (H , m) (bên phải dưới) của các cây được lấy mẫu chặt hạ tỷ lệ theo phân bố N/D (bên trên) của rừng khộp.

Trước khi chặt hạ cây mẫu, tiến hành đo D , H và xác định loài của mỗi cây mẫu. Chiều cao cây được đo lại sau khi cây mẫu đã được chặt. Khối lượng sinh khối tươi của các bộ phận cây như lá, cành và thân cây có vỏ được cân và ghi chép. Thân cây mẫu được phân thành năm đoạn có chiều dài bằng nhau và đo đường kính có và không có vỏ của cây tại vị trí 5 đoạn. Mẫu của bộ phận gỗ và vỏ cây mẫu là 500 g và 300 g và được lấy 5 mẫu ở 5 đoạn trên thân cây. Mẫu của cành là 500 g và thu thập 3 mẫu ở ba vị trí trên cành (lớn, trung bình và nhỏ). Mẫu lá là 300 g bao gồm hai mẫu lá già và non. Các

mẫu của bốn thành phần sinh khối của cây đã được đưa đến phòng thí nghiệm để tính tỷ lệ khối lượng khô/tươi, và khối lượng thể tích gỗ (WD , g/cm³).

Sinh khối tươi vỏ cây được xác định gián tiếp qua thể tích vỏ cây V_{ba} (m³) và khối lượng thể tích vỏ cây tươi (df_{ba} , g/cm³) như sau.

Thể tích của thân cây có vỏ và không vỏ tính từ 5 đoạn bằng nhau và theo công thức của Huber (Chapman, 1921).

$$V_{log} = A_{middle} \times L \quad (2.1)$$

$$V_{top} = \frac{A_{bottom}}{3} \times L \quad (2.2)$$

Trong đó: V_{log} là thể tích mỗi phân đoạn thân cây; V_{top} là thể tích phần ngọn cây hình nón; A_{bottom} và A_{middle} là tiết diện ngang ở phần cuối và giữa phân đoạn, L là chiều dài mỗi phân đoạn. Thể tích cây gồm thể tích 4 phân đoạn và thể tích đoạn ngọn.

Sinh khối tươi của vỏ cây trong mỗi cây (Bf_{ba} , kg / cây) được tính trên cơ sở df_{ba} và V_{ba} theo công thức sau:

$$Bf_{ba} = df_{ba} \times V_{ba} \times 10^3 \quad (2.3)$$

Trong đó V_{ba} tính được trên cơ sở thể tích thân cây có vỏ trừ đi thể tích cây không vỏ theo công thức Huber nói trên, trong khi đó df_{ba} thu được từ tính trung bình 5 mẫu vỏ cây.

Sinh khối tươi của thân cây gỗ không vỏ được tính bằng cách lấy sinh khối tươi của thân cây cả vỏ được cân trên hiện trường trừ sinh khối vỏ cây tươi (Bf_{ba}).

Khi ở 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 chế nhỏ và sấy khô ở 105°C cho đến khi trọng lượng không đổi. Khối lượng thể tích (WD , g/cm³) của mẫu được lấy bằng tỷ số giữa khối lượng khô và thể tích tươi của mỗi mẫu. WD của mỗi cây mẫu gỗ được tính

trung bình lấy từ năm phân đoạn. Khối lượng thể tích của vỏ cây cũng được tính tương tự (Huy và ctv, 2016a).

Sinh khối khô của mỗi thành phần cây đã được tính toán theo khối lượng tươi của nó nhân với tỷ lệ tươi/khô. Sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB , kg) của mỗi cây là tổng sinh khối của thân cây (B_{st}), sinh khối của cành nhánh (B_{br}), sinh khối lá (B_l) và sinh khối của vỏ cây (B_{ba}) (Huy và ctv, 2016a).

Bảng 2.2 cho thấy số liệu thống kê tóm tắt cho từng biến số đầu vào và dự đoán của cây mẫu chặt hạ lấy mẫu trong trường hợp chung các loài, cho riêng họ Dầu (*Dipterocarpaceae*), hai chi trội (*Dipterocarpus* và *Shorea*) và bốn loài chiếm ưu thế (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall. Ex Blume, và *Shorea siamensis* Miq.). Bộ dữ liệu sinh khối của 329 cây mẫu và các nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần được trình bày trong Phụ lục 8.

Bảng 2.2. Thống kê tóm tắt các biến số sinh khối dự đoán và biến số đầu vào cây mẫu theo hệ thống loại thực vật cây gỗ ưu thế rừng khộp

Phân loại thực vật	Biến số	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn (Sd)
Chung loài N = 329	D (cm)	3,4	18,1	48,8	9,751
	H (m)	2,5	9,2	23,5	4,238
	WD (g/cm ³)	0,379	0,662	0,953	0,096
	B_{st} (kg)	0,5	95,1	885,3	148,704
	B_{br} (kg)	0,2	49,8	607,5	86,939
	B_l (kg)	0,1	5,3	42,4	6,238
	B_{ba} (kg)	0,1	27,7	311,0	45,638
	AGB (kg)	1,3	177,9	1.719,8	277,770
Họ thực vật chiếm ưu thế					
N = 228	<i>Họ Dầu (Dipterocarpaceae)</i>				
	D (cm)	4,9	19,1	48,8	10,058

Phân loại thực vật	Biến số	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn (Sd)
	<i>H</i> (m)	2,7	9,1	23,5	4,308
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,379	0,664	0,917	0,091
	<i>Bst</i> (kg)	0,6	106,0	885,3	165,106
	<i>Bbr</i> (kg)	0,2	57,9	607,5	98,704
	<i>Ble</i> (kg)	0,2	5,9	42,4	6,751
	<i>Bba</i> (kg)	0,3	31,9	311,0	51,222
	<i>AGB</i> (kg)	1,5	201,7	1.710,8	311,298
Chi thực vật chiếm ưu thế					
N = 150	<i>Chi Dầu (Dipterocarpus)</i>				
	<i>D</i> (cm)	4,9	20,0	48,8	11,058
	<i>H</i> (m)	2,7	9,7	23,5	4,825
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,379	0,633	0,858	0,079
	<i>Bst</i> (kg)	0,6	128,0	885,3	188,052
	<i>Bbr</i> (kg)	0,2	69,1	607,5	114,190
	<i>Ble</i> (kg)	0,2	6,6	42,4	7,825
	<i>Bba</i> (kg)	0,3	36,7	311,0	61,527
	<i>AGB</i> (kg)	1,5	240,4	1.710,8	359,983
N = 78	<i>Chi Cà Chít (Shorea)</i>				
	<i>D</i> (cm)	5,6	17,3	48,2	7,512
	<i>H</i> (m)	3,1	7,9	14,1	2,709
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,507	0,724	0,917	0,083
	<i>Bst</i> (kg)	1,2	63,8	752,1	95,834
	<i>Bbr</i> (kg)	0,2	36,4	377,7	52,694
	<i>Ble</i> (kg)	0,3	4,4	19,3	3,540
	<i>Bba</i> (kg)	1,2	22,7	101,7	16,697
	<i>AGB</i> (kg)	2,9	127,3	1.250,8	162,445
Loài ưu thế					

Phân loại thực vật	Biến số	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn (Sd)
N = 75	<i>Dầu đồng (Dipterocarpus tuberculatus Roxb.)</i>				
	<i>D</i> (cm)	4,9	16,1	40,5	9,357
	<i>H</i> (m)	2,7	8,5	19,0	3,922
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,379	0,624	0,858	0,090
	<i>Bst</i> (kg)	0,6	69,1	548,5	104,9
	<i>Bbr</i> (kg)	0,2	42,9	377,7	76,666
	<i>Ble</i> (kg)	0,2	5,0	42,4	6,977
	<i>Bba</i> (kg)	0,3	13,1	67,5	14,434
	<i>AGB</i> (kg)	1,5	130,1	993,5	196,348
N = 54	<i>Dầu trà beng (Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.)</i>				
	<i>D</i> (cm)	5,6	20,3	41,2	8,019
	<i>H</i> (m)	3,4	8,3	16,4	2,774
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,495	0,663	0,826	0,060
	<i>Bst</i> (kg)	1,6	97,6	446,2	98,317
	<i>Bbr</i> (kg)	0,7	47,6	236,7	52,673
	<i>Ble</i> (kg)	0,5	5,4	16,6	3,942
	<i>Bba</i> (kg)	1,2	26,9	87,4	17,724
	<i>AGB</i> (kg)	4,0	177,5	736,9	166,810
N = 42	<i>Cà chít (Shorea obtusa Wall. Ex Blume)</i>				
	<i>D</i> (cm)	7,5	16,1	28,5	4,718
	<i>H</i> (m)	3,3	8,4	13,8	2,939
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,555	0,744	0,917	0,085
	<i>Bst</i> (kg)	5,1	54,3	262,1	45,702
	<i>Bbr</i> (kg)	0,5	27,7	151,6	28,469
	<i>Ble</i> (kg)	0,4	4,2	11,8	2,856
	<i>Bba</i> (kg)	2,7	18,6	55,1	11,110
	<i>AGB</i> (kg)	9,1	104,8	470,5	82,634

Phân loại thực vật	Biến số	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn (Sd)
N = 36	<i>Shorea siamensis</i> Miq.				
	<i>D</i> (cm)	5,6	18,6	48,2	9,726
	<i>H</i> (m)	3,1	7,3	14,1	2,317
	<i>WD</i> (g/cm ³)	0,507	0,700	0,818	0,074
	<i>Bst</i> (kg)	1,2	74,9	752,1	132,4
	<i>Bbr</i> (kg)	0,2	46,6	377,7	70,452
	<i>Ble</i> (kg)	0,3	4,6	19,3	4,234
	<i>Bba</i> (kg)	1,2	27,5	101,7	20,625
	<i>AGB</i> (kg)	2,9	153,5	1.250,8	220,776

Ghi chú: Các biến sinh khối dự đoán bao gồm *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB* lần lượt là sinh khối của thân cây, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất. Các biến đầu vào cây rừng bao gồm *D*, *H* và *WD* lần lượt là đường kính ngang ngực, chiều cao cây và khối lượng thể tích gỗ. *N*: Số lượng cây được lấy mẫu theo phương pháp chặt hạ.

2.3.3 Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối

2.3.3.1 Lựa chọn phương pháp ước lượng mô hình sinh khối dạng Power

Kiểm tra để lựa chọn một trong hai phương pháp lập mô hình Power là logarit tuyến tính theo phương pháp bình phương tối thiểu (Log linear fit by Least Squared) và phi tuyến tính theo phương pháp “Hợp lý cực đại” (Non-Linear fit by Maximum Likelihood).

Sử dụng chỉ số Furnival’s Index (FI) (Jayaraman, 1999; Huy và ctv, 2016b) để so sánh độ tin cậy của các mô hình theo hai phương pháp ước lượng khác nhau. Các mô hình theo phương pháp ước lượng có chỉ số Furnival (FI) thấp hơn là tốt hơn.

Công thức tính Furnival’s Index (FI) như sau (Bảo Huy, 2016b):

$$FI = RMSE * \frac{1}{\text{Geometric mean } (y')} \quad (2.4)$$

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 biến phụ thuộc được đổi biến số là $\ln(y)$ thì sẽ bằng $1/y$.

Công thức tính trung bình hình học (Geometric mean):

$$\text{Geometric Mean} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}. \quad (2.5)$$

2.3.3.2 Phương pháp thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng (Cross Validation) để xác định sai số và lựa chọn mô hình

Nghiên cứu này thử nghiệm ba phương pháp thẩm định chéo mô hình sinh khối

Phương pháp thẩm 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. Mỗi lần như vậy tính toán các chỉ tiêu thống kê đánh giá, so sánh các mô hình như AIC (Akaike information criterion), hệ số xác định R^2 và các sai số như Bias%, RMSE%, MAPE%. 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 (Bảo Huy, 2017):

$$\text{Bias} (\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^L \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (2.6)$$

$$\text{RMSE} (\%) = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (2.7)$$

$$MAPE (\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^L \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (2.8)$$

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.

Phương pháp thẩm định chéo - K-Fold

Phương pháp này phân chia dữ liệu thành K phần bằng nhau (K-Fold) (Kohavi, 1995; Picard và ctv, 2012), phổ biến với $K = 10$ thì một phần dữ liệu (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số, trong khi đó K-1 phần dữ liệu (9/10 dữ liệu) dùng lập mô hình. 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 $K = 10$ lần, 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 (Bảo Huy 2017):

$$Bias (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (2.9)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (2.10)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (2.11)$$

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

Phương pháp thẩm định chéo - 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 $R = 200$ 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 200 lần thẩm định chéo (Temesgen và ctv, 2014 và Huy và ctv, 2016a,b).

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

$$Bias (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (2.12)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (2.13)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (2.14)$$

Trong đó, $R = 200$ 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.

Công thức tính toán AIC như sau:

$$AIC = -2 \ln(L) + 2p \quad (2.15)$$

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

Để lựa chọn mô hình tối ưu qua thẩm định chéo sai số, chỉ tiêu AIC là ưu tiên, mô hình có AIC bé nhất là tốt nhất, kết hợp với R^2 càng cao càng tốt. Trong trường hợp các mô hình có AIC xấp xỉ nhau thì mô hình có các sai số bé hơn là có độ tin cậy hơn và được lựa chọn.

Trong xử lý số liệu theo các phương pháp thẩm định chéo, các phương pháp tính toán thông thường trên các phần mềm thống kê phổ biến như Excel, Statgraphics, SPSS, ... không thể thực hiện được vì sự phức tạp của phân chia dữ liệu ngẫu nhiên, chạy mô hình và tính các chỉ tiêu thống kê, sai số được lặp lại nhiều lần, do đó công việc này cần được lập Code để thực hiện trong phần mềm mã nguồn mở R hoặc SAS.

Cuối cùng, sau khi lựa chọn dạng mô hình nhờ thẩm định chéo và xác định được các sai số của mô hình lựa chọn, mô hình lựa chọn được thiết lập lại dựa vào toàn bộ dữ liệu.

2.3.4 Phương pháp thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập

2.3.4.1 Lựa chọn biến số đầu vào, độc lập (Predictor(s)) cho mô hình sinh khối cây rừng khớp

Nghiên cứu này sử dụng biến đầu vào quan trọng cho mô hình sinh khối là đường kính ngang ngực (ở độ cao 1,3 m so với mặt đất (D , cm) trong tất cả hệ thống mô hình sinh khối, vì D luôn có quan hệ với sinh khối toàn bộ và thành phần, đồng thời đây là biến cơ bản và dễ đo đạc trong điều tra rừng (Brown và ctv, 1989, 1997, 2001; Brown và Iverson, 1992).

Ngoài ra nghiên cứu này được tiến hành trên các vùng sinh thái khác nhau của rừng khớp, vì vậy biến đầu vào chiều cao cây rừng (H , m) cũng

được nghiên cứu, đánh giá để phản ánh sự khác nhau của lập địa ảnh hưởng đến tích lũy sinh khối cây rừng (Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017).

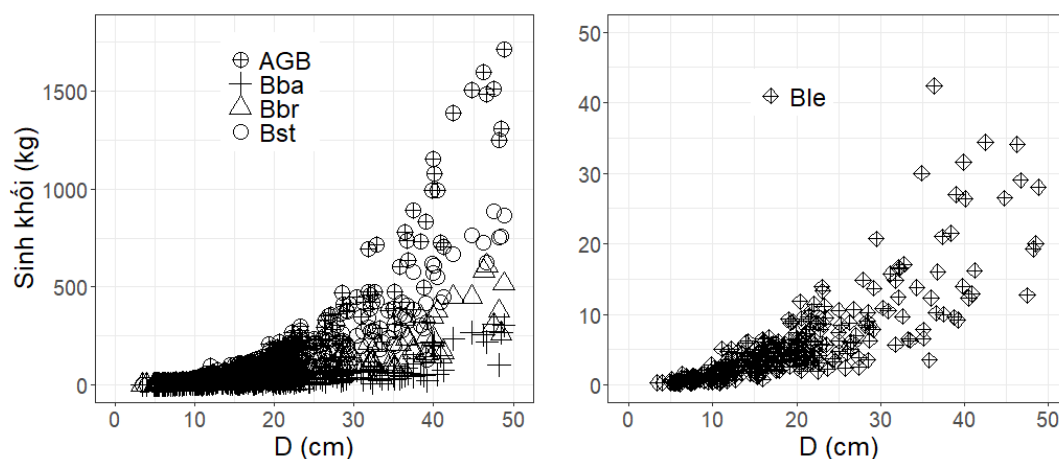
Đồng thời rừng khộp là kiểu rừng hỗn loài khác tuổi, vì vậy biến đầu vào khối lượng thể tích gỗ (WD (g/cm³) cũng được sử dụng để phản ánh khả năng tích lũy sinh khối/carbon khác nhau theo loài (Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017)

Như vậy nghiên cứu này thử nghiệm ba biến số đầu vào cho mô hình ước tính AGB và sinh khối các bộ phận (bao gồm sinh khối thân Bst (kg), sinh khối cành Bbr (kg), sinh khối lá Ble (kg) và sinh khối vỏ cây Bba (kg): Đó là D (cm), H (m) và WD (g/cm³), đồng thời sử dụng tổ hợp các biến, bao gồm: D^2H (m³) = $\left(\frac{D}{100}\right)^2 \times H$ là đại diện cho thể tích cây gỗ, và tổ hợp D^2HWD (kg) = $D^2H \times WD \times 1000$) là đại diện cho sinh khối thân cây gỗ.

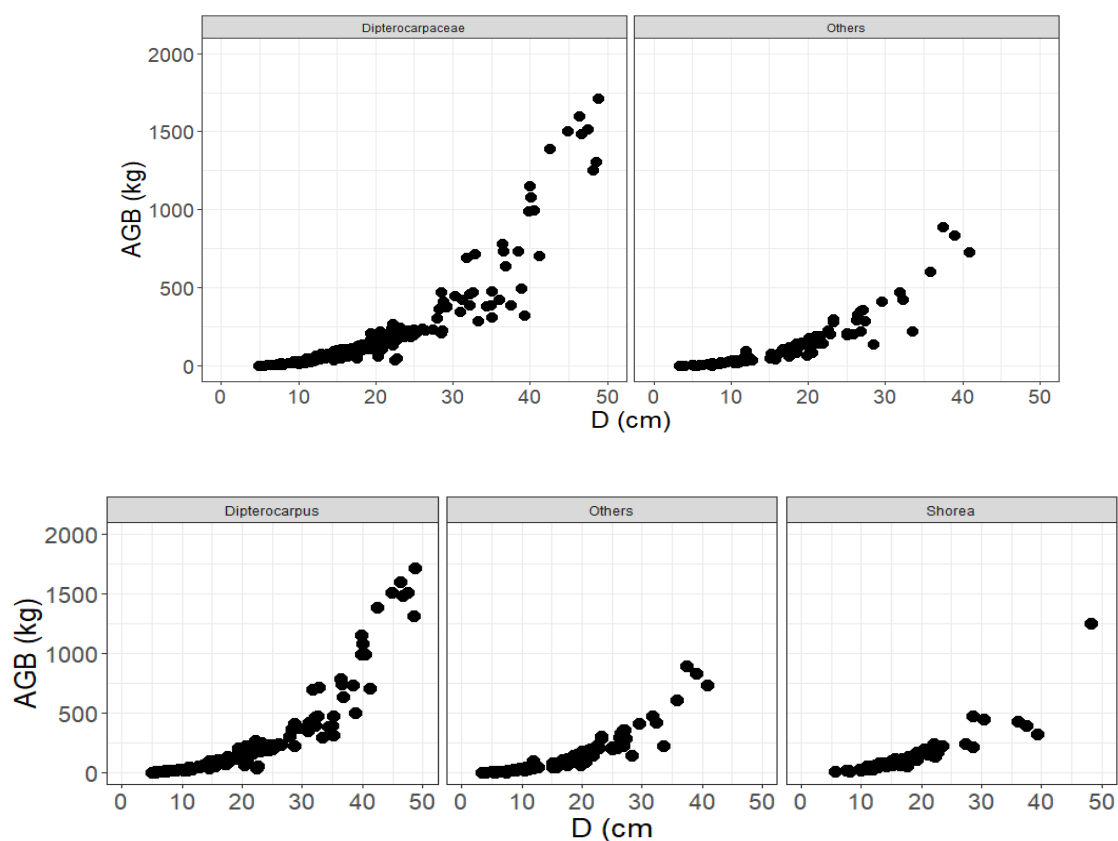
2.3.4.2 Chọn dạng phương trình sinh khối cây rừng

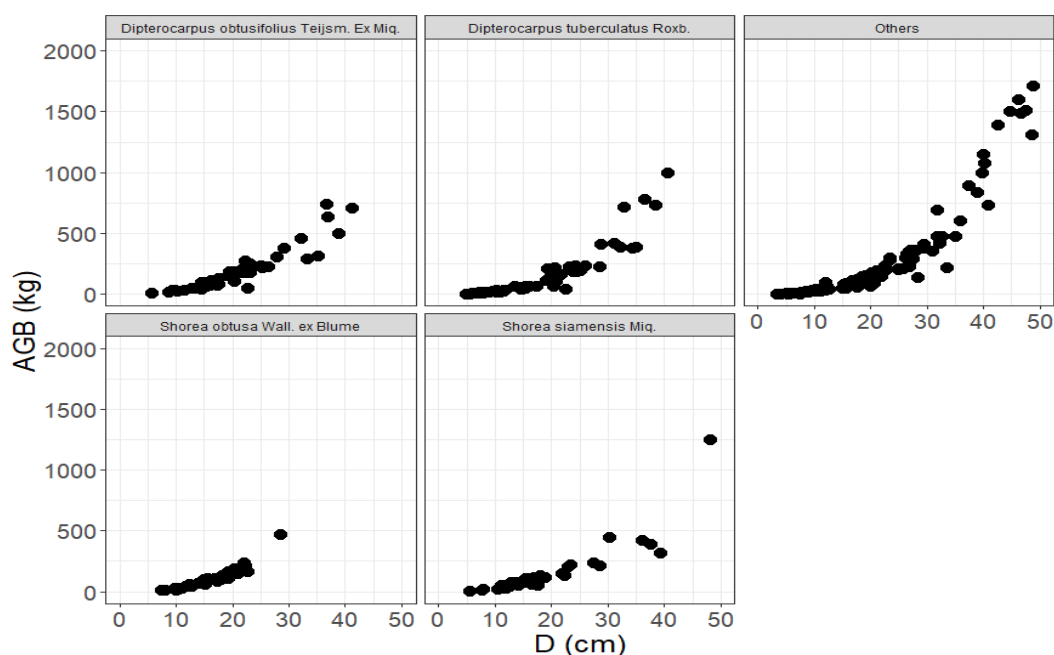
Dựa trên đã công bố trong và ngoài nước (Brown, 1997; Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Picard và ctv, 2015; Huy và ctv, 2016 a,b,c), luận án sử dụng dạng hàm Power như là dạng phương trình sinh khối trong nghiên cứu này.

Ngoài ra Hình 2.3 và Hình 2.4 cũng cho thấy AGB và các thành phần sinh khối của cây rừng khộp theo hệ thống phân loại thực vật cũng quan hệ với D theo hàm Power, trong đó sinh khối có xu hướng tăng mạnh khi D tăng. Do đó, nghiên cứu này áp dụng hàm Power để lập và thẩm định hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp với các biến số đầu vào khác nhau.



Hình 2.3. Phân bố sinh khối thân cây (*Bst*, kg), cành (*Bbr*, kg), lá (*Ble*, kg), vỏ cây (*Bba*, kg) và tổng sinh khối cây rừng khộp trên mặt đất (*AGB*, kg) theo đường kính ngang ngực (*D*, cm) trong trường hợp chung loài.

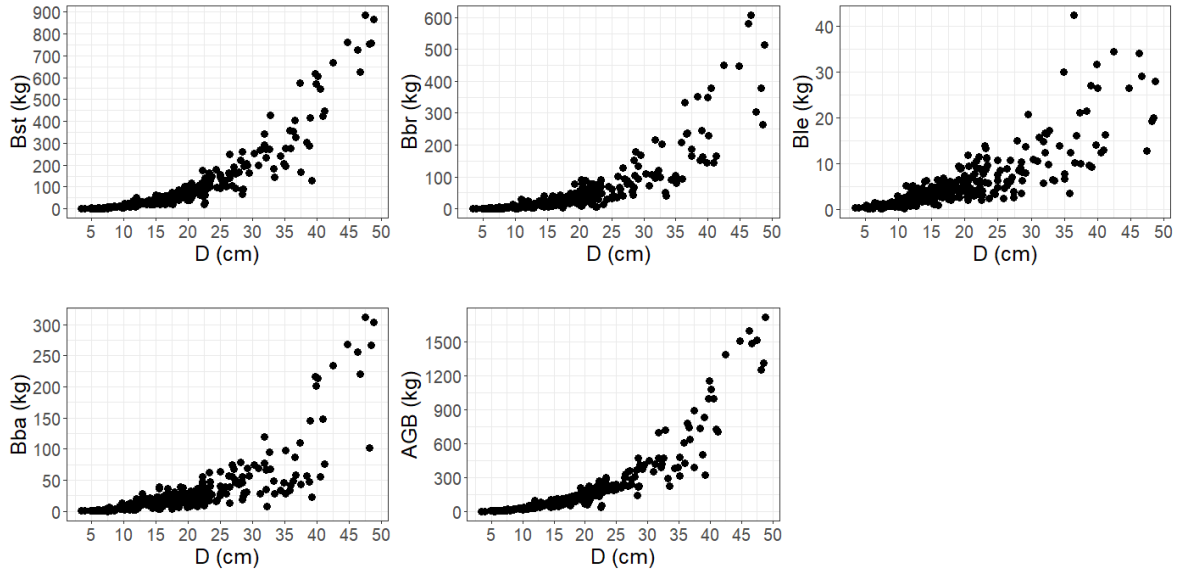




Hình 2.4. Quan hệ AGB theo D theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

2.3.4.3 Ước lượng mô hình sinh khối có trọng số

Các mô hình phi tuyến tính dạng Power được áp dụng trọng số để điều chỉnh độ không đồng nhất trong sai số ở các cây có kích thước khác nhau do hiện tượng phân hóa biến sinh khối mạnh khi kích thước cây tăng lên (heteroscedasticity) (Hình 2.5) (Davidian và Giltinan, 1995; Picard và ctv, 2012; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017).



Hình 2.5. Phân hóa mạnh dữ liệu sinh khối khi kích thước cây tăng lên theo hiện tượng heteroscedasticity

2.3.4.4 Phương pháp lập mô hình phi tuyến tính có trọng số theo phương pháp “Hợp lý cực đại” (Weighted Non-Linear Fixed by Maximum Likelihood)

Sử dụng phương pháp Maximum Likelihood có trọng số để thiết lập mô hình phi tuyến (Weighted Nonlinear Fixed Models fit by Maximum Likelihood) với kiểu dạng mô hình power tổng quát như sau (Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017):

$$Y_j = \alpha \times X_j^\beta + \varepsilon_j \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_j \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (2.17)$$

Trong đó Y_j là Bst , Bba , Bbr , Bl , AGB (kg) ứng với cây thứ j ; α và β là tham số của mô hình; X_j là các biến số D (cm), H (m), WD (g/cm³), hoặc tổ hợp biến đại diện cho thể tích cây: D^2H hoặc tổ hợp biến đại diện cho sinh khối: D^2HWD ứng với cây thứ j và ε_j là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j .

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 và ctv, 2016a,b,c; 2019):

$$Var(\varepsilon_j) = \widehat{\sigma^2}(v_j)^{2\delta} \quad (2.18)$$

Trong đó ε_j là sai số ngẫu nhiên; $\widehat{\sigma^2}$ là sai số bình phương; v_j là biến trọng số (D , D^2H hoặc D^2HWD) tương ứng với cây thứ j và δ là hệ số của hàm phương sai.

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R theo chương trình nlme để thiết lập mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood (Bates, 2010; Pinheiro và ctv, 2014; Huy và ctv, 2016a) và chẩn đoán độ tin cậy, sai số của mô hình qua các đồ thị được thực hiện theo chương trình ggplot2 chạy trong R (Wickham và ctv, 2013).

2.3.5 Phương pháp thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối (Seemingly Unrelated Regression – SUR) và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập

Để cải thiện sai lệch giữa kết quả ước tính sinh khối thành phần và tổng theo các mô hình được thiết lập độc lập nhau, luận án thử nghiệm thiết lập đồng thời hệ thống các mô hình sinh khối thành phần và chung theo phương pháp SUR (Parresol, 2001; Picard và ctv, 2012; Poudel và Temesgen, 2016; Huy và ctv, 2019).

Mô hình phi tuyến có trọng số SUR (Weighted Non-Linear Seemingly Unrelated Regression) (Parresol, 2001; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017) theo phương pháp bình phương tối thiểu (GLS) được thiết lập theo chương trình Proc trong phần mềm SAS (SAS Institute Inc. 2014; Affleck và Dieguez- Aranda, 2016). Thiết lập đồng thời hệ thống mô hình

sinh khối thành phần và chung theo SUR có dạng tổng quát như sau (Sanquetta và ctv, 2015; Huy và ctv, 2019):

$$\text{Thân cây: } Bst = a_1 \times X_{1j}^{b_{1j}} + \varepsilon_1 \quad (2.19)$$

$$\text{Cành cây: } Bbr = a_2 \times X_{2j}^{b_{2j}} + \varepsilon_2 \quad (2.20)$$

$$\text{Lá cây: } Ble = a_3 \times X_{3j}^{b_{3j}} + \varepsilon_3 \quad (2.21)$$

$$\text{Vỏ cây: } Bba = a_4 \times X_{4j}^{b_{4j}} + \varepsilon_4 \quad (2.22)$$

Sinh khối cây rừng trên mặt đất:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a \times X_{1j}^{b_{1j}} + a_2 \times X_{2j}^{b_{2j}} + a_3 \times X_{3j}^{b_{3j}} + a_4 \times X_{4j}^{b_{4j}} + \varepsilon_5 \quad (2.23)$$

Trong đó Bst , Bbr , Ble , Bba và AGB là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất; a_i và b_i là các tham số của mô hình power thứ i ($i = 1, 2, 3, 4$ tương ứng với thân, cành, lá và vỏ cây); X_{ij} là các biến độc lập (D , H , D^2H hoặc D^2HWD) cho phương trình thứ i và thành phần sinh khối dự đoán thứ j ; và ε_i là sai số của phương trình thứ i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$). Hàm trọng số là $1/X_{ij}^{2\delta}$ (Picard và ctv, 2012) với δ là hệ số hàm phương sai được ước tính.

Thẩm định chéo (Cross validation) được áp dụng để so sánh sai số của hai phương pháp lập mô hình sinh khối đồng thời theo SUR và phương pháp thiết lập độc lập.

Ngoài ra còn sử dụng đồ thị Bland-Altman để so sánh có hay không sự khác biệt trong ước tính sinh khối của hai hệ thống mô hình theo SUR và độc lập với độ tin cậy 95%.

2.3.6 Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng và lâm phần.

2.3.6.1 Phương pháp xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần đến mô hình sinh khối

Sử dụng phương pháp “Hợp lý cực đại” (Maximum Likelihood) có trọng số và có xét đến ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần lên mô hình phi tuyến (Weighted Nonlinear Mixed Models with Random Effects fit by Maximum Likelihood).

Các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần có sự biến động ở các ô mẫu khác nhau được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) như vùng sinh thái (gồm 2 vùng: Tây Nguyên (CH) và Đông Nam bộ (SE)), độ cao so với mặt biển (gồm 3 cấp: Altitude1: ≤ 200 m. Altitude2: 201 - 350 m; Altitude3: > 350 m), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm; gồm 2 cấp: P1 = 1.003 ; P2 = 1.600), tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m²/ha; gồm 3 cấp: BA1: ≤ 10 ; BA2: 11 – 20; BA3: > 20), mật độ cây rừng (N, cây/ha; gồm 3 cấp: N1: ≤ 300 ; N2: 301 – 700; N3: > 700) được xem xét sự tác động của chúng lên các tham số của mô hình sinh khối.

Áp dụng kiểu dạng mô hình power tổng quát như sau (Huy và ctv, 2016a, b, c; Kralicek và ctv, 2017):

$$Y_{ij} = (\alpha + a_i) \times X_{ij}^{(\beta + b_i)} + \varepsilon_{ij} \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (2.25)$$

Trong đó Y_{ij} là Bst , Bba , Bbr , Bl , AGB (kg) ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i của các yếu tố sinh thái môi trường ảnh hưởng ngẫu nhiên; 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 D (cm), H (m), WD (g/cm³), hoặc tổ hợp biến đại diện cho thể tích cây: D^2H hoặc tổ hợp biến đại diện cho sinh khối: D^2HWD ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i ; và ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j và cấp nhân tố 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 và ctv, 2016a,b,c; 2019):

$$Var(\varepsilon_{ij}) = \widehat{\sigma^2}(v_{ij})^{2\delta} \quad (2.26)$$

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

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R theo chương trình nlme để thiết lập mô hình phi tuyến có trọng số có xét ảnh hưởng ngẫu nhiên theo phương pháp Maximum Likelihood (Bates, 2010; Pinheiro và ctv, 2014; Huy và ctv, 2016a) và chẩn đoán độ tin cậy, sai số của mô hình qua các đồ thị được thực hiện theo chương trình ggplot2 chạy trong R (Wickham và ctv, 2013).

2.3.6.2 Phương pháp xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần lên mô hình sinh khối

Mô hình sinh khối thường không chỉ chịu ảnh hưởng riêng lẻ của từng biến môi trường, lâm phần; trong khi đó, các yếu tố sinh thái môi trường và lâm phần tương tác với nhau và có tác dụng tổng hợp lên tích lũy sinh khối, carbon cây rừng. Do đó, nghiên cứu này ngoài đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ các nhân tố sinh thái môi trường như nói trên, còn kiểm tra hiệu ứng kết hợp của các yếu tố sinh thái môi trường lên mô hình sinh khối.

Trong trường hợp này, dạng mô hình sinh khối bao gồm hai thành phần, đó là mô hình sinh khối trung bình và mô hình điều chỉnh theo sự thay đổi của tổ hợp các biến số sinh thái, lâm phần (Lessard và ctv, 2001) như sau:

$$\text{BIOMASS MODEL} = \text{AVERAGE} \times \text{MODIFIER} \quad (2.27)$$

Trong đó:

- BIOMASS MODEL: Mô hình sinh khối

- AVERAGE = $Y_j = \alpha \times X_j^\beta + \varepsilon_j$, mô hình sinh khối trung bình được lựa

chọn qua thẩm định chéo K-Fold

- MODIFIER = $\exp(\text{nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần } i - \text{giá trị trung bình của từng nhân tố } i)$, mô hình điều chỉnh giá trị dự đoán sinh khối khi các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần thay đổi so với trung bình của nó.

Mô hình điều chỉnh (MODIFIER) là một phương trình hàm mũ exp bao gồm các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần khí hậu như các hiệp phương sai bổ sung. Hàm điều chỉnh sẽ sửa đổi giá trị sinh khối dựa trên các tác động kết hợp của các yếu tố này. Trong nghiên cứu này, bốn nhân tố bao gồm độ cao so với mặt biển (*Altitude*, m), lượng mưa trung bình năm (*P*, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (*BA*, m²/ha) và mật độ cây rừng (*N*, cây/ha) được trình bày trong Bảng 2.1. Giá trị trung bình của các nhân tố được kết hợp vào mô hình MODIFIER lấy từ Bảng 2.1, do đó giá trị nhân tố thực tế quan sát được càng cao so với giá trị trung bình, thì ảnh hưởng đến dự đoán sinh khối càng lớn.

Dạng mô hình chung là:

$$Y_j = \alpha \times X_j^\beta \times \exp(b_1 \times (\text{Altitude} - 246) + b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62) + b_4 \times (N - 534)) + \varepsilon \quad (2.28)$$

Trong đó Y_j là vector giá trị sinh khối cây rừng thứ j , x_j là các biến số D (cm), H (m), WD (g/cm³) ứng với cây thứ j , α và β là vector tham số cố định của mô hình sinh khối trung bình đã lựa chọn, b_{1-4} là các vector của các tham số của phương trình MODIFIER, giá trị i trong hàm MODIFIER là giá trị trung bình của các nhân tố i (được trình bày trong Bảng 2.1) và ε là sai số ngẫu nhiên của mô hình.

Để thiết lập mô hình này, ước lượng mô hình phi tuyến tính có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood được áp dụng, chạy trong theo chương trình nlme trong phần mềm R (Lessard và ctv, 2001; Pinheiro và ctv, 2014) (R Core Team, 2019).

2.3.7 Phương pháp so sánh độ tin cậy mô hình chung cho vùng nhiệt đới với mô hình cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

Sử dụng phương pháp thẩm định chéo để so sánh sai số, độ tin cậy của các mô hình được lập theo vùng nhiệt đới (pantropics) và theo vùng sinh thái.

Ngoài ra, chỉ số phù hợp của mô hình (Index of Fit, IF) (Parresol, 1999; Subedi và ctv, 2010) cũng được sử dụng để thẩm định sự phù hợp giữa các mô hình được lựa chọn trong nghiên cứu này và so sánh với các mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropics), trong đó giá trị IF càng lớn (~ 1) thì mô hình càng tốt.

$$IF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.29)$$

Trong đó, y_i và $\hat{y}_i$ là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình, N số mẫu dùng đánh giá.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối

3.1.1 Lựa chọn phương pháp thiết lập mô hình sinh khối dạng power theo logarit tuyến tính hay phi tuyến

Cho đến nay nhiều tác giả vẫn sử dụng phương pháp ước lượng mô hình sinh khối dạng hàm mũ (Power) bằng cách tuyến hóa thông qua logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số. Do vậy cần có so sánh với mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp hợp lý cực đại (Maximum Likelihood) để so sánh và lựa chọn phương pháp tốt nhất.

Để so sánh các mô hình khác nhau về biến y (y và $\log(y)$) được ước lượng theo phương pháp khác nhau như là tuyến tính hoặc phi tuyến tính, lúc này cần sử dụng chỉ số Furnival's Index (FI) (Jayaraman, 1999)), 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 tuyệt đối của biến phụ thuộc. Mô hình nào có chỉ số Furnival Index (FI) thấp hơn là tốt hơn.

Đã thiết lập mô hình ước tính AGB theo ba nhóm biến số phổ biến của mô hình sinh khối cây rừng là D , D^2H và D^2HWD (Huy và ctv, 2016a,b) chung cho các loài theo hai phương pháp để so sánh. Kết quả ở Bảng 3.1 đã chỉ ra lập mô hình theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số có chỉ số FI bé hơn rất nhiều và như vậy là tốt hơn nhiều so với phương pháp tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu, kết quả này phù hợp với Huy và ctv (2016b). Vì vậy trong luận án này áp dụng phương pháp phi tuyến có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed Models fit by Maximum Likelihood) để lập hệ thống các mô hình sinh khối dạng hàm power với một đến nhiều biến số đầu, hoặc/và tổ hợp biến.

Từ kết quả so sánh này cũng cho thấy R^2 không thể sử dụng để chọn mô hình có độ tin cậy tốt như thường được áp dụng, vì R^2 của các mô hình theo dạng logarit bình phương tối thiểu thường có R^2 cao hơn mô hình theo Maximum Likelihood nhưng FI lại lớn hơn rất nhiều. 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 mô hình được ước lượng theo hai phương pháp khác nhau là tuyến tính và phi tuyến.

Bảng 3.1. Chỉ số Furnival (FI) dùng so sánh hai phương pháp lập mô hình sinh khối AGB theo logarit tuyến tính và phi tuyến tính Maximum Likelihood có trọng số

Mô hình sinh khối	Theo phương pháp tuyến tính 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
$AGB = a \times D^b$	0,950	23,6	$1/D^\delta$	0,914	0,026
$AGB = a \times (D^2H)^b$	0,915	30,9	$1/D^2H^\delta$	0,936	0,048
$AGB = a \times (D^2HWD)^b$	0,928	28,4	$1/D^2HWD^\delta$	0,918	0,032

Ghi chú: FI: Chỉ số Furnival's Index. δ là hệ số của hàm phương sai.

3.1.2 Lựa chọn phương pháp thẩm định chéo (Cross-Validation) các mô hình sinh khối cây rừng

Cung cấp sai số của mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng một cách khách quan là yêu cầu quan trọng của IPCC (2003, 2006) trong báo cáo phát thải, hấp thu CO_2 của rừng trong thực thi các chương trình REDD⁺. Vì vậy trong nghiên cứu này thử nghiệm để lựa chọn các phương pháp thẩm định và

cung cấp sai số của mô hình sinh khối bảo đảm yêu cầu, bao gồm phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập và ba phương pháp thẩm định chéo là Leave-one-out, K-fold và Monte Carlo.

Thực hiện so sánh các phương pháp thẩm định sai số trên mô hình AGB có theo tổ hợp ba biến số D^2HWD thường được sử dụng là $AGB = a \times (D^2HWD)^b$ (Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2016b).

i) *Thẩm định sai số theo phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập*

Phân chia dữ liệu làm hai phần một cách ngẫu nhiên, trong đó sử dụng 80% cho lập mô hình và 20% dữ liệu cho đánh giá sai số của các mô hình.

Mô hình được thiết lập là:

$$AGB = 0,86140 \times (D^2HWD)^{0,91779} \quad (3.1)$$

Dem mô hình vừa thiết lập áp dụng với 20% dữ liệu độc lập để tính các sai số của mô hình trình bày trong Bảng 3.2.

ii) *Thẩm định chéo sai số theo phương pháp Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)*

Với 329 dữ liệu tiến hành 329 lần lập mô hình và đánh giá sai số, mỗi lần sử dụng 328 dữ liệu lập mô hình và một dữ liệu đánh giá sai số. Sai số cuối cùng được tính trung bình từ 329 lần lặp lại. Công việc này được tiến hành trong R với Code được trình bày trong Phụ lục 1 và kết quả trong Bảng 3.2.

iii) *Thẩm định chéo sai số theo phương pháp K-Fold*

Dữ liệu được phân chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$), mỗi lần sử dụng K-1 dữ liệu (9/10 dữ liệu) để lập mô hình và K dữ liệu (1/10 dữ liệu) để đánh giá sai số mô hình, lặp lại như vậy 10 lần, sai số cuối cùng được tính trung bình từ $K = 10$ lần lặp lại. Công việc này được tiến hành trong R với Code được trình bày trong Phụ lục 2 và kết quả trong Bảng 3.2.

iv) *Thẩm định chéo sai số theo phương pháp Monte Carlo*

Phân chia ngẫu nhiên thành 80% dữ liệu để lập mô hình và 20% để đánh giá sai số, lặp lại như vậy $R = 200$ lần và sai số trung bình được tính từ 200 lần lặp lại. Công việc này được tiến hành trong R với Code được trình bày trong Phụ lục 3 và kết quả trong Bảng 3.2.

Tiến hành tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình $AGB = a \times (D^2HWD)^b$ theo bốn phương pháp khác nhau ở Bảng 3.2.

Bảng 3.2. Tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình $AGB = a \times (D^2HWD)^b$ theo các phương pháp khác nhau

Các loại sai số	Phương pháp thẩm định chéo mô hình			
	Dữ liệu độc lập	LOOCV	K-Fold	Monte Carlo
Bias (%)	-28,49	-19,11	-19,06	-19,49
RMSE (%)	73,57	36,99	54,62	54,68
MAPE (%)	47,47	36,99	36,95	36,88

Để so sánh và lựa chọn phương pháp thẩm định sai số, lấy kết quả của phương pháp Monte Carlo làm chuẩn, vì phương pháp này có lần lặp lại lớn ($R = 200$ lần) để cho các sai số có phân bố chuẩn và ổn định. Các nghiên cứu cho thấy với $R \geq 200$ lần thì sai số không còn thay đổi (Temesgen và ctv, 2014, Huy và ctv, 2016 a,b,c; Bảo Huy, 2017a,b).

Kết quả ở Bảng 3.2 cho thấy phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập có sai số sai lệch lớn nhất so với phương pháp Monte Carlo, do đó kém tin cậy. Trong thực tế, với phương pháp này thì sai số chỉ đúng với dữ liệu độc lập, nếu sử dụng dữ liệu lập mô hình hoặc dữ liệu khác thì sẽ cho sai số khác đi. Có nghĩa là nó cung cấp sai số không thống nhất. Phương pháp này chỉ nên dùng để thẩm định sai số khi áp dụng mô hình vào một vùng khác.

Phương pháp LOOCV tiếp cận hơn với sai số chuẩn, với Bias và MAPE gần với phương pháp Monte Carlo, tuy nhiên sai số quan trọng là RMSE có sai lệch khá lớn. Do vậy cũng cung cấp sai số chưa thực sự ổn định vì thực tế mỗi lần chỉ dùng một dữ liệu để tính sai số.

Phương pháp thẩm định chéo K-Fold với $K = 10$ cung cấp ba loại sai số tiếp cận hoàn toàn với các sai số của phương pháp Monte Carlo (Bảng 3.2). Phương pháp K-Fold chỉ cần lặp lại thẩm định chéo sai số 10 lần nên việc xử lý số liệu nhanh chóng, và số lần lặp lại được thực hiện đầy đủ. Trong khi đó phương pháp Monte Carlo với số lần lặp lớn, nên ngay khi chạy trên phần mềm R thì thời gian chờ đợi cũng rất lâu và đôi khi vòng lặp bị dừng lại, máy tính không thể thực hiện đủ 200 lần do có thể có một lần nào đó dữ liệu ngẫu nhiên của sinh khối dùng đánh giá sai số trở thành hằng số (Kralicek và ctv, 2017).

Với kết quả so sánh như vậy, nghiên cứu này chọn phương pháp thẩm định chéo K-Fold để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp. Với phương pháp này có ưu điểm là tất cả dữ liệu đều được tham gia lập mô hình và tất cả đều tham gia tính sai số, khắc phục được nhược điểm của phương pháp sử dụng dữ liệu độc lập là chỉ một bộ phần dữ liệu hoặc của một khu vực được đánh giá sai số. Vì vậy sai số là đúng cho mọi dữ liệu ở mọi khu vực nghiên cứu, thu thập dữ liệu. Đồng thời trong ba phương pháp thẩm định chéo thì phương pháp K-Fold với lần lặp $K=10$ đã cho sai số ổn định, thuận tiện cho xử lý số liệu trong R.

3.2 Hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập

Ước lượng mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood được sử dụng để phát triển và lựa chọn các mô hình ước tính AGB với ba biến số đầu vào là D , H và WD lập chung cho các loài, theo họ ưu thế

là Dipterocarpaceae, theo hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* và *Shorea*, và theo bốn loài ưu thế chính là *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb, *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall., *Shorea siamensis* Miq. và sử dụng thẩm định chéo K-fold với $K = 10$ để lựa chọn các mô hình tốt nhất (Bảng 3.3). Ba biến số bao gồm D , H và WD đã được sử dụng để lựa chọn thông qua đánh giá sai số của mô hình ước tính AGB , ngoại trừ trường hợp mô hình theo loài không sử dụng biến đầu vào WD , vì biến này có cùng giá trị khi cùng loài.

Bảng 3.3. Thẩm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB) theo hệ thống phân loại thực vật rừng khộp

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R^2	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
Mô hình chung loài						
$AGB = a \times D^b$	$1/D^\delta$	2.675	0,914	-12,5	50,4	29,2
$AGB = a \times D^b \times H^c$	$1/D^d$	2.678	0,927	-12,4	46,8	28,9
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	2.957	0,935	-24,0	63,5	43,3
$AGB = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	2.662	0,890	-11,4	46,9	27,6
$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	2.664	0,910	-11,1	44,6	27,1
$AGB = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	2.938	0,922	-19,2	54,8	37,2
Mô hình họ thực vật ưu thế						
Dipterocarpaceae						
$AGB = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.902	0,915	-11,6	48,4	28,5

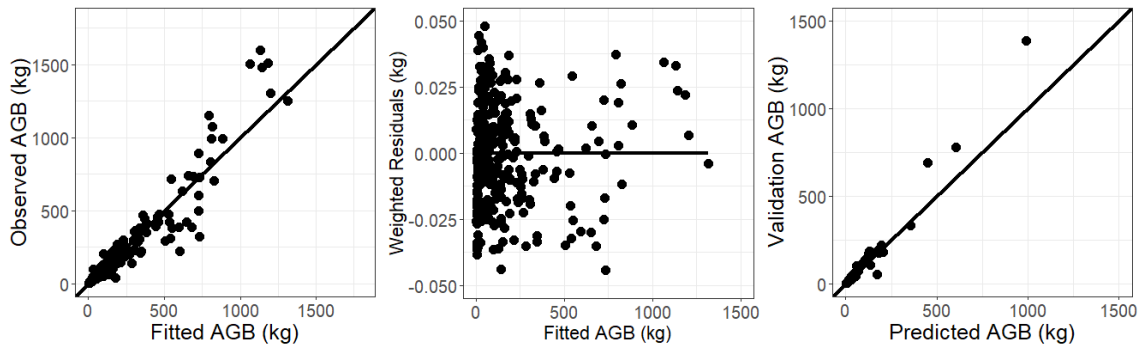
Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$AGB = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	1.906	0,930	-11,3	46,3	28,0
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	2.089	0,945	-24,3	66,4	43,9
$AGB = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	1.891	0,884	-10,4	43,3	27,0
$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	1.893	0,910	-9,9	41,7	26,4
$AGB = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	2.070	0,945	-18,5	53,7	37,4
Mô hình chỉ thực vật ưu thế						
<i>Dipterocarpus</i>						
$AGB = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.262	0,936	-12,2	46,3	29,2
$AGB = a \times D^b \times H^{c*}$	$1/D^\delta$	1.268	0,944	-12,2	46,6	29,3
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	1.404	0,952	-26,7	69,0	46,5
$AGB = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	1.265	0,923	-11,7	45,2	28,6
$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	1.271	0,937	-11,3	45,6	28,2
$AGB = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	1.392	0,952	-21,8	56,9	40,4
<i>Shorea</i>						
$AGB = a \times D^b$	$1/D^\delta$	639	0,816	-8,8	33,2	24,6
$AGB = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	643	0,840	-8,7	34,4	24,5
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	691	0,869	-14,9	45,3	33,8

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$AGB = a \times D^b$	$1/D^\delta$	314	0,862	-13,3	41,5	33,8
$AGB = a \times D^b \times H^{c*}$	$1/D^\delta$	322	0,850	-12,6	41,6	33,9
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	329	0,895	-21,3	55,8	43,6

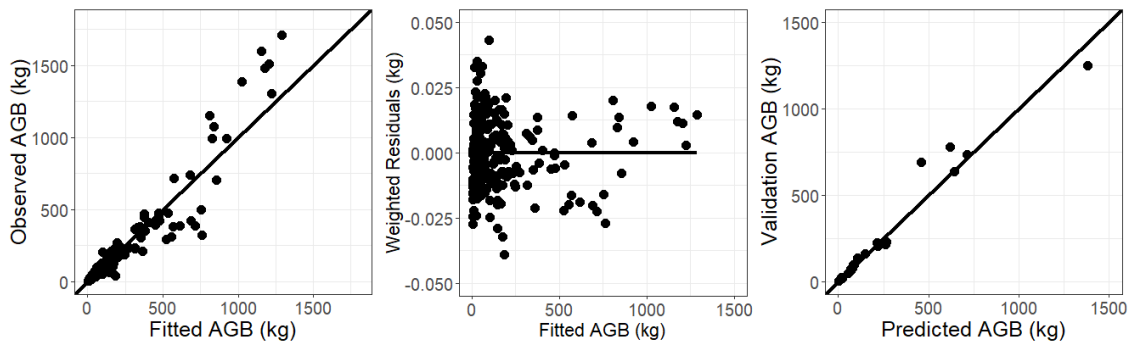
Ghi chú: Trong thẩm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$ lần), trong đó $K - 1$ dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2 .Adj; và một phần dữ liệu K (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 lần. *: Tham số có giá trị với $P_{value} > 0,05$. δ : hệ số hàm phương sai. Tổ hợp biến D^2H (m^3) = $(D$ (cm) / 100)² $\times$ H (m); $D^2H \times WD$ (kg) = D^2H (m^3) $\times$ WD (g / cm^3) $\times$ 1000. Đối với các mô hình cho loài, biến WD không sử dụng. In đậm: Mô hình được chọn dựa trên thẩm định chéo K-Fold.

Kết quả thẩm định chéo K-Fold ở Bảng 3.3 cho thấy mô hình AGB tốt nhất cho chung các loài và họ ưu thế Dipterocarpaceae bao gồm cả ba biến số D , H và WD . Trong khi đó các mô hình AGB ước tính cho từng chi ưu thế và bốn loài chiếm ưu thế rất tương đồng về các giá trị thống kê như AIC, R^2 và các sai số qua thẩm định chéo, và các mô hình tốt nhất chỉ cần có biến đầu vào là D . Như vậy tiếp cận mô hình đến chi thực vật hoặc loài sẽ đơn giản được biến số đầu vào và tăng độ tin cậy so với sử dụng mô hình chung loài hoặc theo họ thực vật.

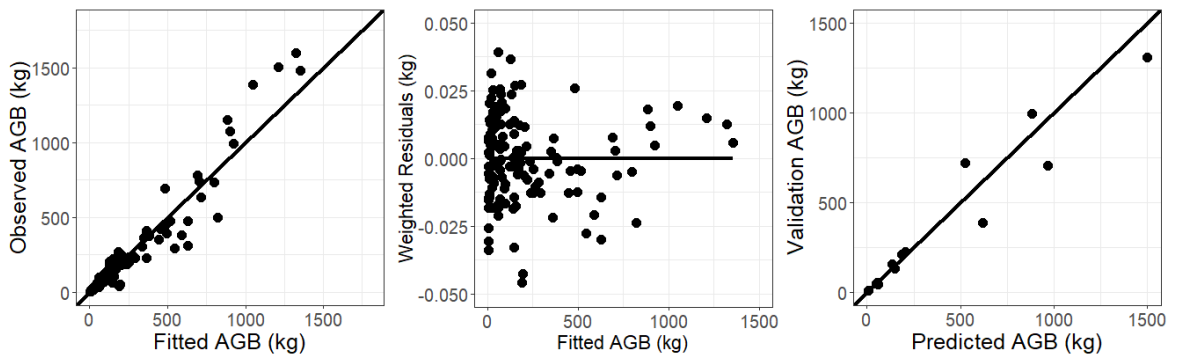
Hình 3.1 và Hình 3.2 minh họa kết quả thẩm định chéo các mô hình AGB được lựa chọn theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế của rừng khộp gồm chung loài, theo họ, chi và loài ưu thế. Từ các hình này cho thấy khi mô hình đi từ chung loài, đến họ ưu thế, đến chi ưu thế và cuối cùng là các loài ưu thế thì mô hình tăng độ tin cậy, giảm sai số biểu hiện qua biến động giữa giá trị AGB quan sát và dự đoán bám sát hơn, qua giảm biến động sai số có trọng số theo AGB dự đoán qua mô hình.



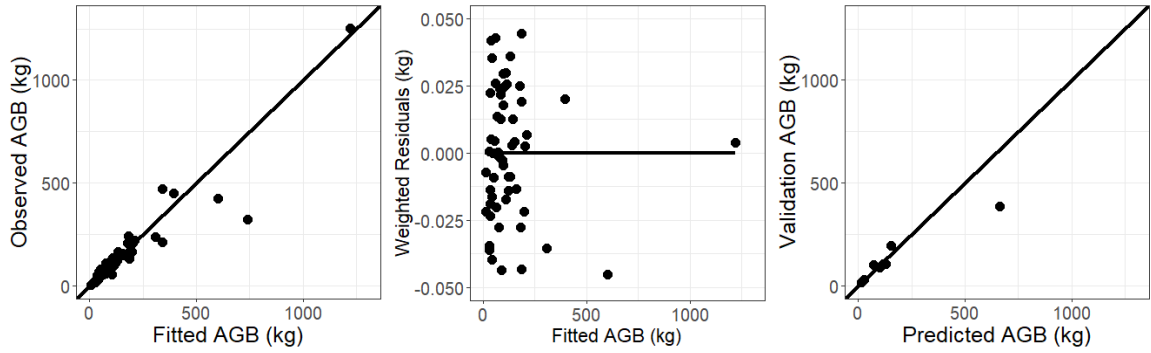
Chung loài: $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$



Dipterocarpaceae: $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$



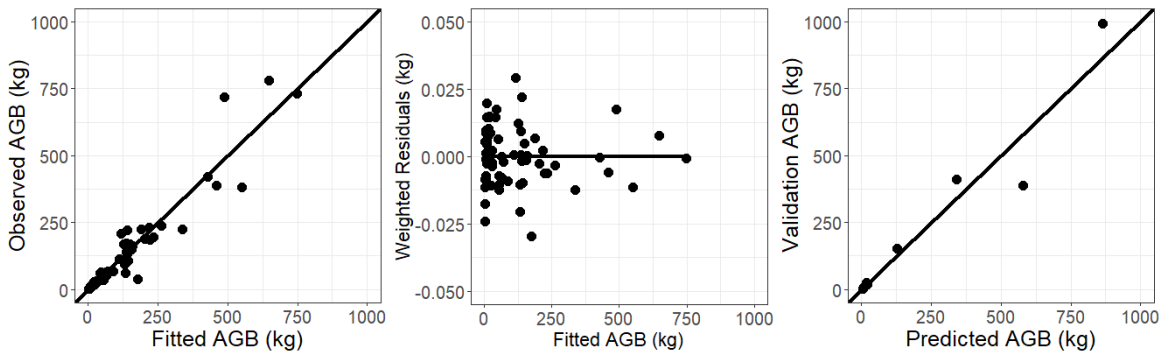
Dipterocarpus : $AGB = a \times D^b$



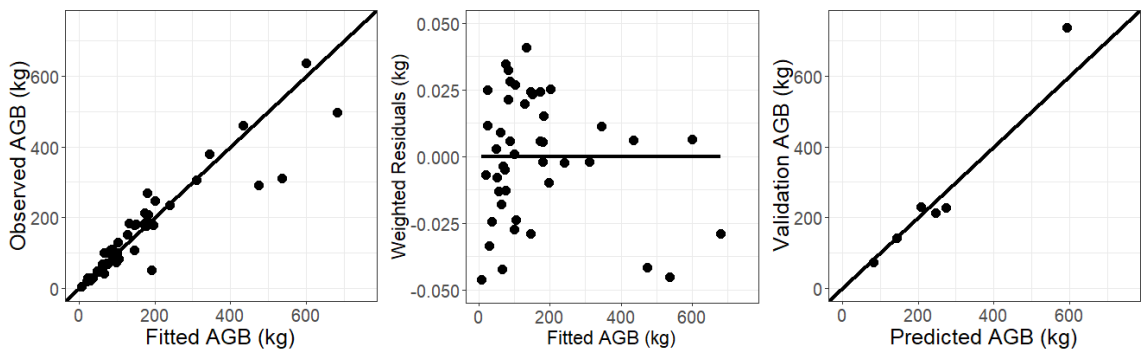
$$\text{Shorea : } AGB = a \times D^b$$

Hình 3.1. Đồ thị đánh giá biến động và sai số của mô hình AGB được lựa chọn cho trường hợp chung các loài, theo họ và chi ưu thế.

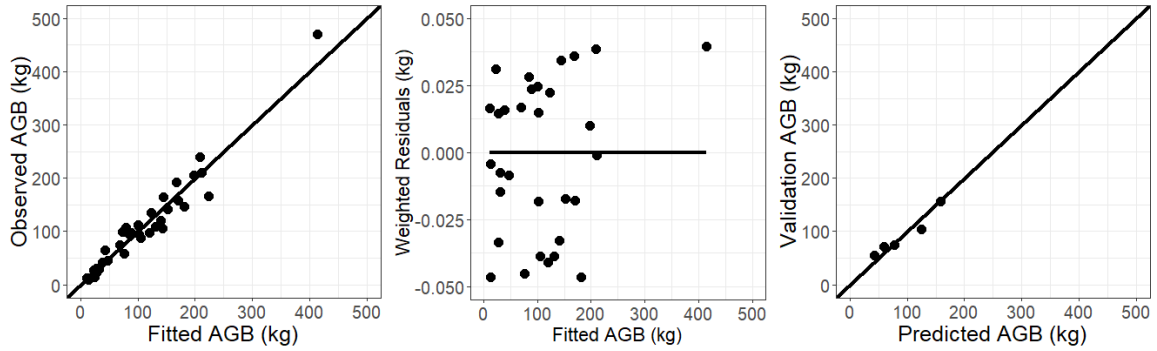
Ghi chú: Kết quả thẩm định chéo K-fold với $K = 10$. Hình trái: Giá trị quan sát (Observed AGB) được phân chia ngẫu nhiên từ 9/10 bộ dữ liệu so với giá trị nắm chỉnh qua mô hình (Fitted AGB). Hình giữa: Sai số có trọng số (Weighted Residuals) theo giá trị nắm chỉnh AGB (Fitted AGB); và hình bên phải: Dữ liệu thẩm định chéo (Validation AGB) được chia ngẫu nhiên từ 1/10 dữ liệu so với AGB dự đoán (Predicted AGB).



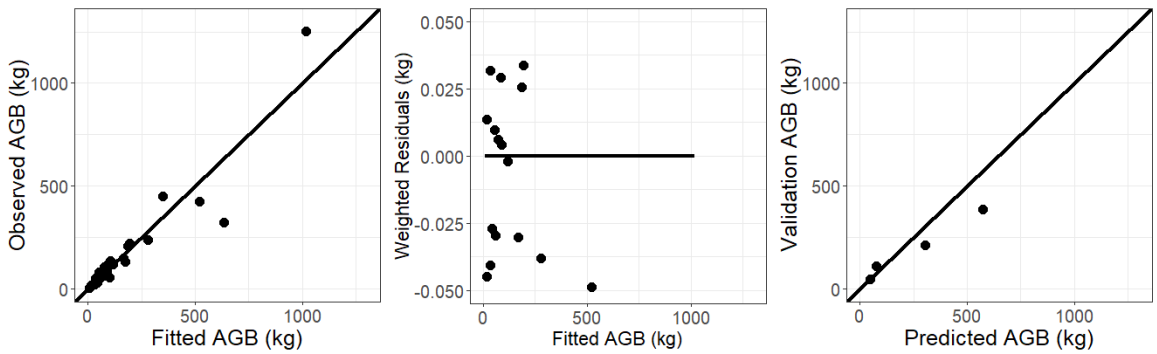
$$\text{Dipterocarpus tuberculatus Roxb.: } AGB = a \times D^b$$



$$\text{Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.: } AGB = a \times D^b$$



$$\text{Shorea obtusa Wall.: AGB} = a \times D^b$$



$$\text{Shorea siamensis Miq.: AGB} = a \times D^b$$

Hình 3.2. Đồ thị đánh giá biến động và sai số của mô hình AGB được lựa chọn cho bốn loài ưu thế

Ghi chú: Kết quả thẩm định chéo K-fold với $K = 10$. Hình trái: Giá trị quan sát (Observed AGB) được phân chia ngẫu nhiên từ 9/10 bộ dữ liệu so với giá trị nắm chỉnh qua mô hình (Fitted AGB). Hình giữa: Sai số có trọng số (Weighted Residuals) theo giá trị nắm chỉnh AGB (Fitted AGB); và hình bên phải: Dữ liệu thẩm định chéo (Validation AGB) được chia ngẫu nhiên từ 1/10 dữ liệu so với AGB dự đoán (Predicted AGB).

Trong hệ thống mô hình sinh khối theo hệ thống phân loại thực vật, do các mô hình AGB độc lập đã được thẩm định chéo và lựa chọn ở kết quả trên theo từng loài và chi ưu thế chỉ có một biến D (Bảng 3.3), nên các mô hình thành phần của nó như Bst , Bbr , Ble và Bba cũng chỉ có một biến đầu vào là D . Trong khi đó, các mô hình AGB được lựa chọn chung các loài và cho họ ưu thế Dipterocarpaceae bao gồm cả ba biến đầu vào là D , H và WD (Bảng

3.3), do đó, việc cần thiết lập và thẩm định chéo để lựa chọn dạng mô hình theo các biến số thích hợp cho từng thành phần sinh khối *Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*.

Kết quả thẩm định chéo K-Fold để lựa chọn mô hình và biến số cho các thành phần sinh khối chung các loài và họ ưu thế *Dipterocarpaceae* trình bày trong các Bảng 3.4 và Bảng 3.5

Kết quả cho thấy với trường hợp chung loài và theo họ ưu thế *Dipterocarpaceae*, mô hình *Bst* được chọn bao gồm ba biến của *D*, *H* và *WD*, trong khi đó các mô hình được lựa chọn cho *Bbr*, *Ble* và *Bba* chỉ bao gồm *D* (Bảng 3.4 và Bảng 3.5).

Bảng 3.4. Thẩm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình cho các thành phần sinh khối bao gồm *Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba* (sinh khối của thân, cành, lá và vỏ cây tương ứng) trong trường hợp mô hình lập chung các loài cây rừng khộp.

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$Bst = a \times D^b$	$1/D^\delta$	2.355	0,916	-15,8	56,4	34,2
$Bst = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	2.311	0,945	-13,8	51,0	30,8
$Bst = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	2.499	0,938	-20,9	60,8	38,6
$Bst = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	2.347	0,901	-14,6	53,5	32,8
$Bst = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	2.282	0,945	-11,3	43,8	28,1
$Bst = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	2.471	0,941	-16,3	48,6	32,4
$Bbr = a \times D^b$	$1/D^\delta$	2.222	0,822	-51,2	133,9	75,6
$Bbr = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	2.213	0,781	-50,3	142,6	74,9

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$Bbr = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	2.512	0,792	-93,2	206,6	117,4
$Bbr = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	2.224	0,814	-50,2	142,0	73,9
$Bbr = a \times D^b \times H^c \times WD^{d*}$	$1/D^\delta$	2.219	0,771	-50,2	137,7	75,2
$Bbr = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	2.498	0,794	-83,4	190,9	106,4
$Ble = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.127	0,690	-31,0	86,2	54,4
$Ble = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	1.132	0,702	-30,6	86,1	54,0
$Ble = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	1.184	0,708	-34,9	92,2	57,9
$Ble = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	1.129	0,682	-30,8	88,3	54,1
$Ble = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	1.134	0,699	-30,2	83,8	53,1
$Ble = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	1.167	0,711	-33,2	92,1	55,8
$Bba = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.991	0,724	-40,7	128,6	64,2
$Bba = a \times D^b \times H^{c*}$	$1/D^\delta$	1.999	0,720	-40,8	129,6	64,6
$Bba = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	2.104	0,790	-51,6	137,1	76,0
$Bba = a \times D^b \times WD^c$	$1/D^\delta$	1.994	0,676	-39,9	126,8	63,9
$Bba = a \times D^b \times H^{c*} \times WD^d$	$1/D^\delta$	2.004	0,674	-41,0	128,8	65,4
$Bba = a \times (D^2H \times WD)^b$	$1/(D^2H \times WD)^\delta$	2.083	0,735	-48,4	141,6	72,6

Ghi chú: Thăm định chéo K-Fold, trong đó dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau (K = 10 lần), trong khi đó K - 1 dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R².Adj; và một phần K dữ liệu (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 được lập lại. *: Tham số có giá trị $P_{value} > 0,05$. δ : hệ số hàm phương sai. Biến số: $D^2H (m^3) = (D (cm) / 100)^2 \times H (m)$; $D^2H \times WD (kg) = D^2H (m^3) \times WD (g / cm^3) \times 1000$. In đậm: Mô hình được chọn dựa trên cơ sở thăm định chéo K-fold.

Bảng 3.5. Thăm định chéo K-fold để lựa chọn mô hình cho các thành phần sinh khối cây rừng bao gồm *Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba* (sinh khối của thân, cành, lá và vỏ cây tương ứng) cho họ ưu thế Dipterocarpaceae.

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$Bst = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.663	0,919	-14,3	52,8	33,1
$Bst = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	1.638	0,947	-13,1	46,4	30,4
$Bst = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	1.769	0,935	-21,3	64,4	40,1
$Bst = a \times D^b \times 1/D^\delta$ WD^c		1.657	0,901	-13,3	48,6	31,7
$Bst = a \times D^b \times H^c \times 1/D^\delta$ WD^d		1.615	0,952	-10,2	41,3	27,0
$Bst = a \times 1/(D^2H \times WD)^\delta$ $(D^2H \times WD)^b$		1.742	0,956	-16,3	49,1	33,4
$Bbr = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.618	0,825	-50,1	125,8	74,1
$Bbr = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	1.615	0,780	-48,2	135,2	72,9
$Bbr = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	1.802	0,805	-93,1	202,4	118,2
$Bbr = a \times D^b \times 1/D^\delta$ WD^{c*}		1.612	0,817	-47,9	132,0	71,4
$Bbr = a \times D^b \times H^c$ $\times WD^{d*}$	$1/D^\delta$	1.623	0,764	-48,0	138,0	72,4

Dạng mô hình	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
$Bbr = a \times \frac{1}{(D^2H \times WD)^\delta}$		1.792	0,820	-81,5	180,4	105,5
$Ble = a \times D^b$	$1/D^\delta$	808	0,691	-25,0	66,8	48,2
$Ble = a \times D^b \times H^c$	$1/D^\delta$	811	0,707	-24,5	67,8	47,5
$Ble = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	842	0,715	-27,3	72,6	50,3
$Ble = a \times D^b \times \frac{1}{WD^c}$		811	0,683	-24,4	68,6	47,2
$Ble = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	812	0,716	-23,6	67,5	46,2
$Ble = a \times \frac{1}{(D^2H \times WD)^\delta}$		829	0,733	-24,9	68,9	46,8
$Bba = a \times D^b$	$1/D^\delta$	1.433	0,710	-27,1	76,4	49,7
$Bba = a \times D^b \times \frac{1}{H^{c*}}$		1.439	0,737	-27,3	73,1	49,5
$Bba = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^\delta$	1.477	0,808	-34,3	90,9	58,2
$Bba = a \times D^b \times \frac{1}{WD^c}$		1.430	0,613	-24,9	68,8	48,0
$Bba = a \times D^b \times \frac{1}{H^{c*} \times WD^d}$		1.438	0,643	-25,2	72,8	48,4
$Bba = a \times \frac{1}{(D^2H \times WD)^\delta}$		1.460	0,763	-31,1	79,4	55,3

Ghi chú: Thăm định chéo K-Fold, trong đó dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$ lần), trong khi đó $K - 1$ dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2 .Adj; và một phần K dữ liệu (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 được lập lại. *: Tham số có giá trị $P_{value} > 0,05$. δ : hệ số hàm phương sai. Biến số: $D^2H \text{ (m}^3\text{)} = (D \text{ (cm)} / 100)^2 \times H \text{ (m)}$; $D^2H \times WD \text{ (kg)} = D^2H \text{ (m}^3\text{)} \times WD \text{ (g / cm}^3\text{)} \times 1.000$. In đậm: Mô hình được chọn dựa trên cơ sở thăm định chéo K-fold.

Như vậy dạng mô hình AGB và các thành phần của nó là *Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba* được lựa chọn qua thăm định chéo K-Fold theo phương pháp thiết lập độc lập như sau:

Đối với mô hình chung các loài rừng khộp và họ ưu thế Dipterocarpaceae, thì hệ thống mô hình có dạng power với đầy đủ ba biến số:

$$Bst = a \times D^b \times H^c \times WD^d \quad (3.2)$$

$$Bbr = a \times D^b \quad (3.3)$$

$$Ble = a \times D^b \quad (3.4)$$

$$Bba = a \times D^b \quad (3.5)$$

$$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d \quad (3.6)$$

Đối với hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* và *Shorea* và bốn loài ưu thế là *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall., *Shorea siamensis* Miq. thì hệ thống mô hình có dạng power với chỉ một biến *D*:

$$Bst = a \times D^b \quad (3.7)$$

$$Bbr = a \times D^b \quad (3.8)$$

$$Ble = a \times D^b \quad (3.9)$$

$$Bba = a \times D^b \quad (3.10)$$

$$AGB = a \times D^b \quad (3.11)$$

3.3 Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập

3.3.1 Hệ thống mô hình ước tính đồng thời các bộ phận sinh khối cây rừng và toàn bộ theo SUR

Để ước tính sinh khối cây rừng trên mặt (AGB) thì có các giải pháp khác nhau:

- Thiết lập các mô hình sinh khối bộ phận cây rừng một cách độc lập gồm *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB*. Lúc này tổng sinh khối cây rừng có thể ước lượng hai cách: i) $AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba$, tức là cộng kết quả ước tính sinh khối của 4 phương trình bộ phận; ii) Ước tính *AGB* theo một mô hình độc lập riêng. Như vậy có hai cách ước tính *AGB* từ các mô hình sinh khối độc lập, và hai kết quả sẽ không trùng khớp nhau, có sai số. Ngoài ra cách làm này không xét đến ảnh hưởng qua lại giữa các bộ phận sinh khối với nhau và đến *AGB* do đó dẫn đến sai lệch.

- Vì vậy Parresol (2001) đã phát triển một phương pháp để khắc phục cho nhược điểm lập và ước tính sinh khối từ các mô hình thành phần độc lập, đó là thiết lập hệ thống đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB* (Seemingly Unrelated Regression – SUR), trong đó mối quan hệ qua lại giữa các thành phần sinh khối cây rừng được xem xét nhằm cải thiện độ tin cậy của ước lượng tổng sinh khối cây trên mặt đất *AGB* (Parresol, 2001; Picard và ctv, 2012; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2019).

Nghiên cứu này cũng tiến hành thử nghiệm thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khớp theo SUR cho hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khớp và so sánh đánh giá với phương pháp truyền thống là thiết lập các mô hình sinh khối bộ phận và tổng chung một cách độc lập.

Dựa trên các mô hình sinh khối thành phần và chung với biến số đầu vào thích hợp được xác định, hệ thống mô hình SUR được thiết lập để dự đoán đồng thời *AGB* và bốn thành phần của nó là *Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*, thông qua sử dụng thẩm định chéo K-Fold theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp. Kết quả được trình bày ở Bảng 3.6. Chương trình codes được lập để thực hiện lập và thẩm định chéo K-Fold đồng thời hệ thống mô hình sinh khối theo SUR chạy trong phần mềm SAS trình bày trong Phụ lục 4.

Bảng 3.6. Thẩm định chéo K-Fold cho hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối các bộ phận cây rừng (*Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*) và *AGB* theo phương pháp SUR theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

Hệ thống phân loại thực vật	Hệ thống mô hình	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
Chung loài	$Bst = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13}$	1,0	45,6	26,2
	$Bbr = a_2 \times D^{b21}$	-33,0	127,3	59,9
	$Ble = a_3 \times D^{b31}$	-44,6	96,7	62,9
	$Bba = a_4 \times D^{b41}$	-14,3	66,6	46,6
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-1,8	51,4	25,4
Họ thực vật ưu thế Dipterocarpaceae	$Bst = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13}$	-0,5	38,0	31,0
	$Bbr = a_2 \times D^{b21}$	-75,1	151,5	91,6
	$Ble = a_3 \times D^{b31}$	-74,0	129,4	86,0
	$Bba = a_4 \times D^{b41}$	4,1	58,2	48,6

Hệ thống phân loại thực vật	Hệ thống mô hình	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-5,9	36,2	27,7
Chi thực vật ưu thế	<i>Dipterocarpus</i>			
	$Bst = a_1 \times D^{b11}$	-20,3	45,3	29,3
	$Bbr = a_2 \times D^{b21}$	-2,2	31,4	26,1
	$Ble = a_3 \times D^{b31}$	-55,0	121,1	65,1
	$Bba = a_4 \times D^{b41}$	-30,9	90,3	74,0
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-8,5	27,2	20,4
	<i>Shorea</i>			
	$Bst = a_1 \times D^{b11}$	-6,4	36,5	30,5
	$Bbr = a_2 \times D^{b21}$	-12,9	44,5	36,8
	$Ble = a_3 \times D^{b31}$	-43,8	83,2	63,8
	$Bba = a_4 \times D^{b41}$	-11,7	39,1	31,9
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-3,4	23,8	20,9
Loài ưu thế	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.			
	$Bst = a_1 \times D^{b11}$	-26,6	42,4	34,6
	$Bbr = a_2 \times D^{b21}$	-28,9	51,1	43,0
	$Ble = a_3 \times D^{b31}$	5,7	25,7	18,9

Hệ thống phân loại thực vật	Hệ thống mô hình	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	-25,4	62,0	43,1
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-15,1	26,6	20,9
	$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	-22,4	64,9	40,0
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	-112,8	217,1	134,6
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	-17,5	39,0	32,9
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	-14,4	41,6	33,5
<i>Shorea obtusa</i> Wall. Ex Blume.	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-25,8	65,6	36,1
	$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	-8,5	50,4	37,6
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	-22,1	67,4	58,9
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	-92,9	177,5	94,5
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	-16,6	32,7	31,6
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	-7,7	37,0	26,7
<i>Shorea siamensis</i> Miq.				
	$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	-6,2	28,5	24,4
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	1,9	44,5	35,9

Hệ thống phân loại thực vật	Hệ thống mô hình	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	-47,5	78,0	63,3
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	17,9	24,1	20,3
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$	7,0	20,9	18,5

Ghi chú: Thử nghiệm chéo K-Fold, trong đó dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau (K = 10 lần), trong khi đó K - 1 dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình; và một phần K dữ liệu (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng các sai số được tính trung bình trên 10 được lặp lại. Bst, Bbr, Ble, Bba và AGB lần lượt là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất

Kết quả cho thấy các hệ thống mô hình ước tính đồng thời theo SUR chung các loài hoặc cho họ thực vật Dipterocarpaceae cần cả ba biến số đầu vào là D , H và WD), trong khi đó hệ thống mô hình theo chi và loài ưu thế chỉ có biến số D được chọn. Điều này cho thấy rằng biến số WD cần thiết cho mô hình chung loài, theo họ bao gồm với nhiều chi và loài khác nhau và không cần thiết cho mô hình ở cấp chi và loài ưu thế của rừng khộp, kết quả này phù hợp với Basuki và ctv (2009) và Huy và ctv (2016c).

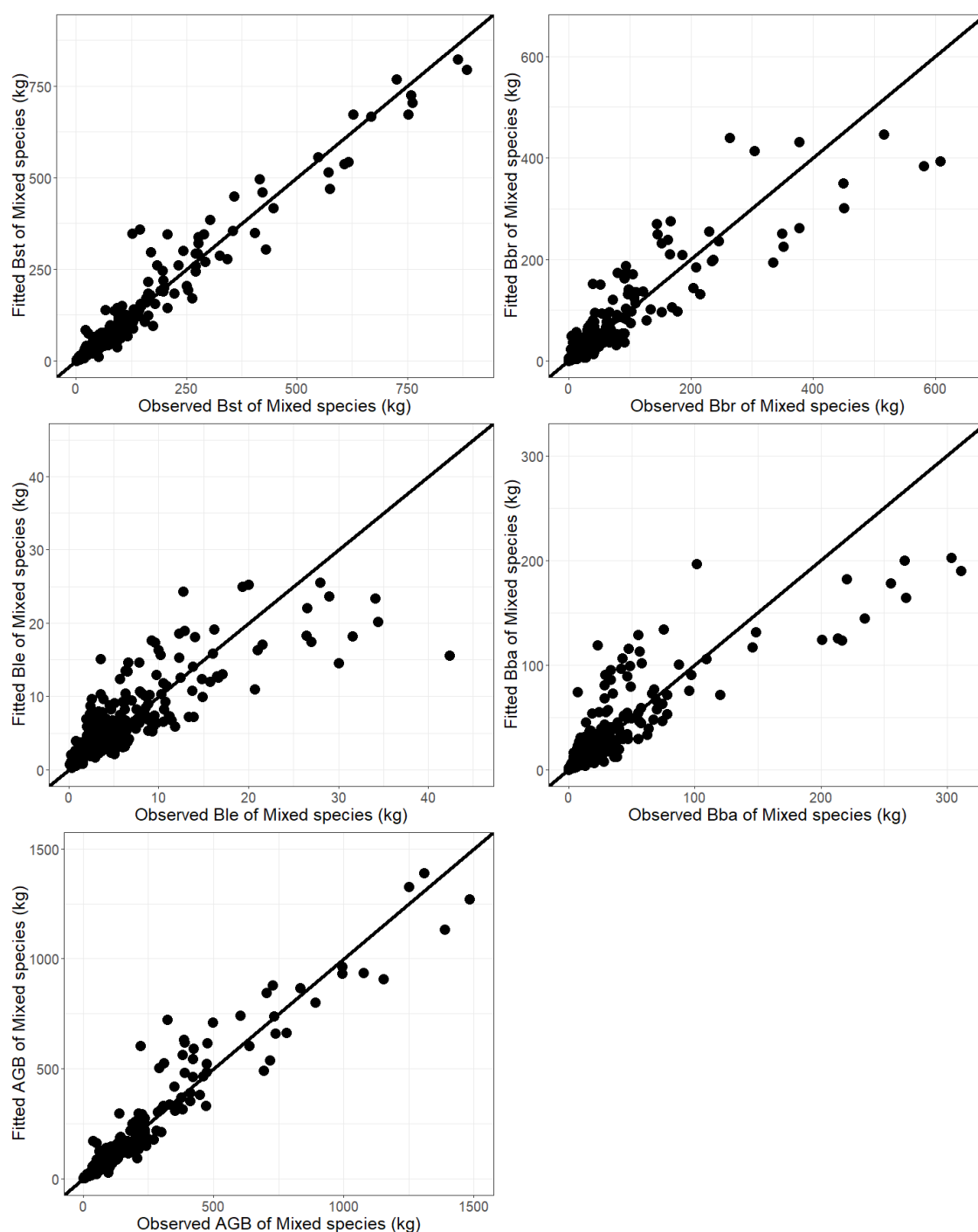
Hệ thống mô hình theo SUR đã xét đến ảnh hưởng qua lại giữa các thành phần sinh khối cây rừng và mô hình sinh khối toàn bộ cây rừng trên mặt đất AGB lúc này là một hàm số của bốn hàm sinh khối bộ phận của cây rừng: $AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba)$ (Bảng 3.6), như vậy đã khắc phục được nhược điểm của hệ thống mô hình được thiết lập một cách rời rạc, độc lập như truyền thống.

Kết quả cho thấy sinh khối lá (Ble) và sinh khối vỏ cây (Bba) có độ biến động cao (Hình 3.3, Hình 3.4, Hình 3.5), dẫn đến các mô hình có R^2_{adj} không cao từ 0,6 - 0,7 và các sai số RMSE và MAPE có xu hướng lớn hơn các sai số

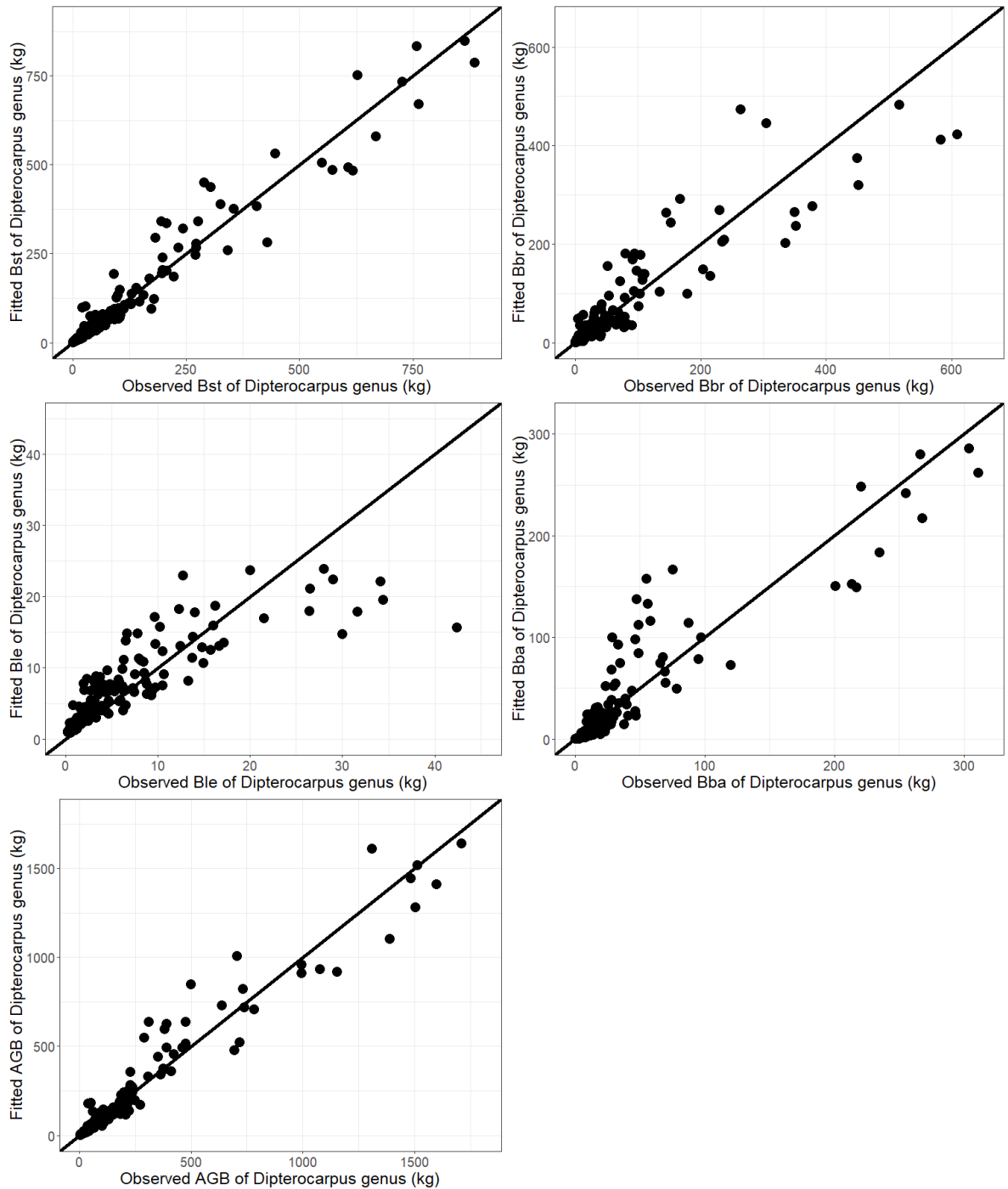
của mô hình sinh khối thân cây (*Bst*) và sinh khối toàn bộ cây trên mặt đất (*AGB*) (Bảng 3.6). Điều này phản ánh sự khác biệt về tán lá và độ dày của vỏ cây giữa các loài khác nhau trong rừng khộp. Ví dụ, loài dầu đồng *Dipterocarpus tuberculatus* và Cẩm liên *Shorea siamensis* có tán lá lớn và lá rất rộng, dày, trong khi loài dầu trà beng *Dipterocarpus obtusifolious* có tán lá và lá cỡ trung bình, còn loài cà chít *Shorea obtusa* cho thấy có tán lá và lá nhỏ nhất. Bên cạnh đó, các loài cây rừng khộp còn thích nghi với lửa rừng. Sự thích nghi này được phản ánh đặc điểm hình thái của các loài trong họ dầu Dipterocarpaceae, với vỏ dày hơn và cứng hơn so với các loài khác. Điều đó dẫn đến sự biến động, khác biệt của sinh khối vỏ cây cao trong các loài, chi và họ thực vật khác nhau ở rừng khộp.

Hệ thống mô hình sinh khối đồng thời đến chi thực vật làm giảm đáng kể sai số so với các mô hình chung các loài, theo họ và cũng tốt hơn ngay cả cho loài cụ thể (Bảng 3.6, Bảng 3.7). Trong khi đó hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo chi thực vật chỉ yêu cầu một biến đầu vào đơn giản là *D*. Điều đáng chú ý nữa là số lượng chi thực vật thân gỗ trong rừng khộp không quá nhiều, do đó nên sử dụng các hệ thống mô hình theo chi thực vật cho rừng khộp nhiệt đới để cải thiện độ tin cậy và giảm chi phí đo đếm ở hiện trường so với các mô hình theo loài cụ thể. Điều này đã góp phần khẳng định thêm nghiên cứu của Huy và ctv (2016c) và Basuki và ctv (2009) cho rừng khộp ở Việt Nam và Indonessia.

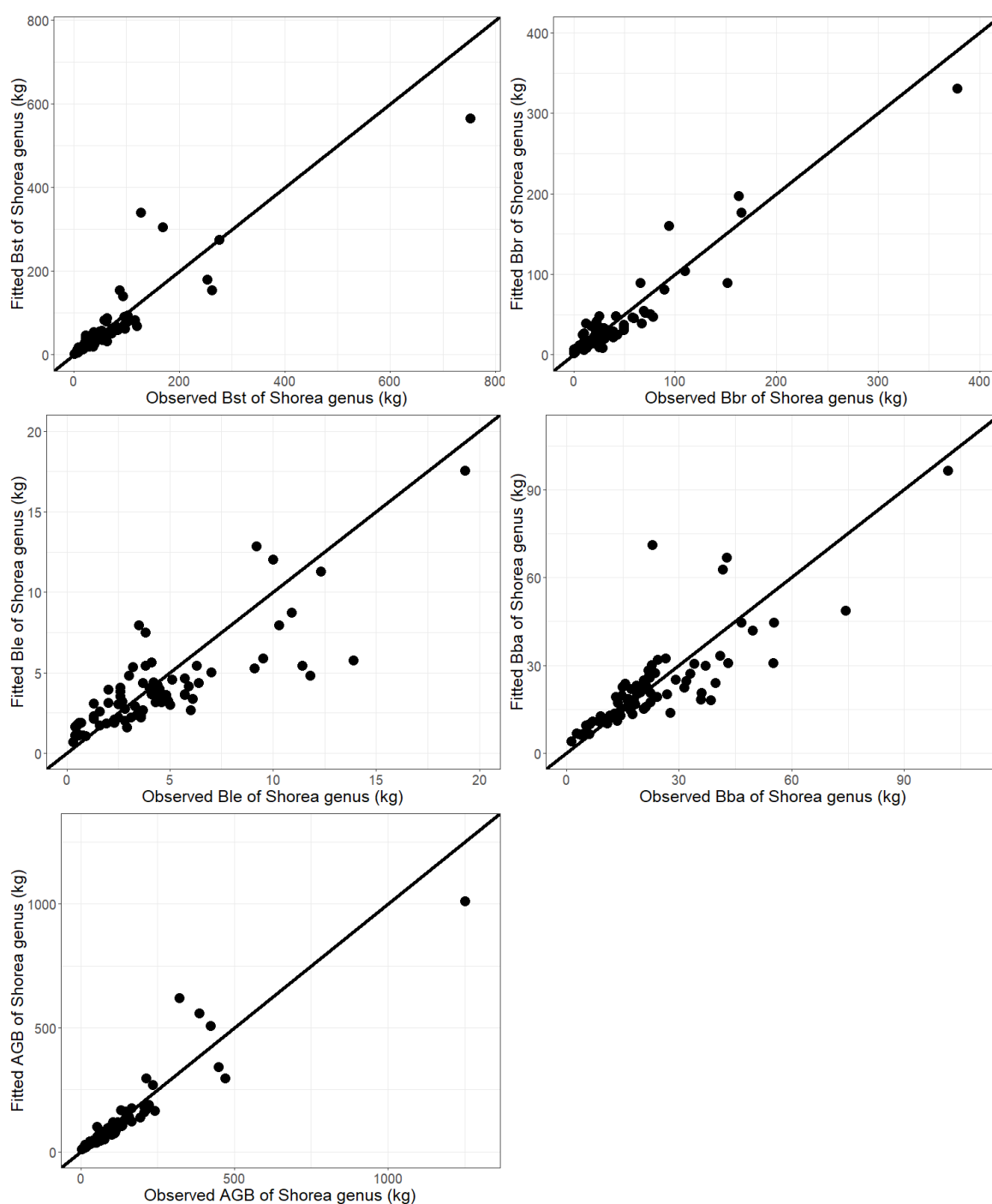
Từ kết quả thẩm định chéo sai số theo K-Fold đã lựa chọn được hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối cây rừng khộp theo SUR và theo hệ thống phân loại thực vật như sau:



Hình 3.3. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (*Bst*), cành (*Bbr*), lá (*Ble*), vỏ cây (*Bba*) và tổng sinh khối trên mặt đất (*AGB*), trường hợp sử dụng phương pháp SUR chung cho các loài (Mixed species) sử dụng toàn bộ dữ liệu.



Hình 3.4. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (*Bst*), cành (*Bbr*), lá (*Ble*), vỏ cây (*Bba*) và tổng sinh khối trên mặt đất (*AGB*), trường hợp sử dụng phương pháp SUR cho chi thực vật *Dipterocarpus* sử dụng toàn bộ bộ dữ liệu.



Hình 3.5. Biến động giữa sinh khối ước tính qua mô hình (Fitted) so với quan sát (Observed) của hệ thống mô hình ước tính sinh khối đồng thời của thân cây (*Bst*), cành (*Bbr*), lá (*Ble*), vỏ cây (*Bba*) và tổng sinh khối trên mặt đất (*AGB*), trường hợp sử dụng phương pháp SUR cho chi thực vật *Shorea* sử dụng toàn bộ bộ dữ liệu.

Đối với chung các loài và họ dầu chiếm ưu thế Dipterocarpaceae:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.12)$$

Đối với chi thực vật ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea*:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.13)$$

Kết quả thiết lập hệ thống mô hình sinh khối đồng thời này đã góp phần cho thấy ưu điểm của phương pháp SUR đã cải thiện đáng kể độ tin cậy vì đã xét các mối quan hệ sinh khối thành phần với nhau và bảo đảm kết quả ước tính tổng sinh khối các bộ phận cây sẽ bằng AGB (Parresol, 2001; Picard và ctv, 2012; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2019).

Sử dụng toàn bộ dữ liệu để ước tính các tham số của hệ thống mô hình này theo SUR thực hiện trong phần mềm SAS với chương trình Codes được viết và trình bày trong Phụ lục 4. Kết quả ở Bảng 3.7.

Bảng 3.7. Các tham số được ước lượng theo phương pháp SUR của hệ thống mô hình ước tính đồng thời AGB và các thành phần của nó (*Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*) theo hệ thống phân loại thực vật rừng khộp

Hệ thống phân loại thực vật	Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R ²
Chung các loài	Bst $a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13}$	= a ₁	0,02055 $\pm$ 0,00215	32,7	0,952
		b ₁₁	2,35241 $\pm$ 0,03490		
		b ₁₂	0,59142 $\pm$ 0,03210		
		b ₁₃	0,69609 $\pm$ 0,07980		

Hệ thống phân loại thực vật	Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R ²
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	a ₂	0,00669 $\pm$ 0,00190	36,4	0,824
		b ₂₁	2,85742 $\pm$ 0,07880		
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	a ₃	0,03701 $\pm$ 0,01310	3,5	0,694
		b ₃₁	1,68095 $\pm$ 0,09680		
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	a ₄	0,01541 $\pm$ 0,00445	23,1	0,744
		b ₄₁	2,43959 $\pm$ 0,08360		
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$			68,5	0,939
	Họ Dipterocarpaceae	$Bst = a_1$	0,02548 $\pm$ 0,00390	32,7	0,961
		$a_1 \times D^{b_{11}} \times H^{b_{12}} \times WD^{b_{13}}$	2,25377 $\pm$ 0,04780		
		b ₁₁	2,25377 $\pm$ 0,04780		
		b ₁₂	0,69531 $\pm$ 0,03900		
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	a ₂	0,01097 $\pm$ 0,00356	41,1	0,827
		b ₂₁	2,73663 $\pm$ 0,08850		
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	a ₃	0,04559 $\pm$ 0,01490	3,7	0,696
		b ₃₁	1,63322 $\pm$ 0,09000		
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	a ₄	0,00399 $\pm$ 0,00174	25,2	0,758
		b ₄₁	2,83670 $\pm$ 0,11690		
	$AGB = f(Bst + Bbr +$			72,1	0,946

Hệ thống phân loại thực vật	Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R ²
<i>Ble + Bba)</i>					
<i>Chi Dipterocarpus</i>	$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	a ₁	0,01831 $\pm$ 0,00348	43,9	0,945
		b ₁₁	2,76361 $\pm$ 0,05260		
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	a ₂	0,00481 $\pm$ 0,00220	47,6	0,827
		b ₂₁	2,96217 $\pm$ 0,12500		
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	a ₃	0,08921 $\pm$ 0,02840	4,3	0,691
		b ₃₁	1,43840 $\pm$ 0,09600		
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	a ₄	0,00116 $\pm$ 0,00040	24,4	0,843
		b ₄₁	3,19340 $\pm$ 0,09160		
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$			88,1	0,940
<i>Chi Shorea</i>	$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	a ₁	0,03925 $\pm$ 0,01190	42,1	0,807
		b ₁₁	2,47118 $\pm$ 0,09070		
	$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	a ₂	0,02130 $\pm$ 0,00631	16,7	0,900
		b ₂₁	2,49004 $\pm$ 0,08800		
	$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	a ₃	0,05119 $\pm$ 0,01070	2,1	0,634
		b ₃₁	1,50629 $\pm$ 0,05890		
	$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	a ₄	0,31967 $\pm$ 0,09090	9,9	0,649
		b ₄₁	1,47380 $\pm$ 0,09610		

Hệ thống phân loại thực vật	Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R ²
	$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$			60,2	0,863

Ghi chú: *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB* lần lượt là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất của cây rừng. Tất cả các tham số có giá trị *Pvalue* < 0.05. Dựa trên toàn bộ dữ liệu.

Kết quả ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng (*Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*) và *AGB* cho hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea* của rừng khộp từ hệ thống mô hình sinh khối lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D* trình bày trong các Bảng 3.8 và Bảng 3.9.

Bảng 3.8. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và *AGB* cho chi Dầu *Dipterocarpus* rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D*

<i>D</i> (cm)	<i>Bst</i> (kg)	<i>Bbr</i> (kg)	<i>Ble</i> (kg)	<i>Bba</i> (kg)	<i>AGB</i> (kg)
5	1,6	0,6	0,9	0,2	3,2
10	10,6	4,4	2,4	1,8	19,3
15	32,6	14,7	4,4	6,6	58,2
20	72,1	34,4	6,6	16,6	129,7
25	133,7	66,5	9,1	33,8	243,1
30	221,2	114,2	11,9	60,5	407,8
35	338,8	180,3	14,8	98,9	632,8

<i>D (cm)</i>	<i>Bst (kg)</i>	<i>Bbr (kg)</i>	<i>Ble (kg)</i>	<i>Bba (kg)</i>	<i>AGB (kg)</i>
40	490,0	267,7	18,0	151,5	927,2
45	678,5	379,5	21,3	220,7	1.300,0
50	907,8	518,5	24,8	309,0	1.760,1

Bảng 3.9. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và *AGB* cho chi Cà Chít *Shorea* rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D*

<i>D (cm)</i>	<i>Bst (kg)</i>	<i>Bbr (kg)</i>	<i>Ble (kg)</i>	<i>Bba (kg)</i>	<i>AGB (kg)</i>
5	2,1	1,2	0,6	3,4	7,3
10	11,6	6,6	1,6	9,5	29,4
15	31,6	18,1	3,0	17,3	70,0
20	64,4	37,0	4,7	26,4	132,5
25	111,8	64,5	6,5	36,7	219,5
30	175,4	101,5	8,6	48,0	333,6
35	256,7	149,0	10,8	60,3	476,9
40	357,1	207,8	13,3	73,4	651,6
45	477,8	278,6	15,8	87,3	859,5
50	619,9	362,1	18,5	102,0	1.102,6

Kết quả thẩm định chéo sai số đã lựa chọn được hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối cây rừng khộp theo SUR, với hệ thống mô hình chung các loài và theo họ ưu thế sử dụng cả ba biến số đầu vào là D , H và WD , trong khi đó trong thực tế đo H khá tốn kém và thường có độ tin cậy không cao nếu không có dụng cụ và nhân viên kỹ thuật có kinh nghiệm, ngoài ra WD không có sẵn cho tất cả các loài cây rừng khộp. Vì vậy để đơn giản trong áp dụng, thiết lập hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối chung cho các loài theo SUR với chỉ một biến số đầu vào là D (Bảng 3.10)

Bảng 3.10. Các tham số được ước lượng theo phương pháp SUR của hệ thống mô hình ước tính đồng thời AGB và các thành phần của nó (Bst , Bbr , Ble và Bba) chung cho tất cả các loài cây rừng khộp theo một biến số đường kính ngang ngực (D)

Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R^2
$Bst = a_1 \times D^{b_{11}}$	a_1	$0,02384 \pm 0,00262$	42,8	0,917
	b_{11}	$2,67666 \pm 0,03020$		
$Bbr = a_2 \times D^{b_{21}}$	a_2	$0,00748 \pm 0,00207$	36,5	0,824
	b_{21}	$2,82670 \pm 0,07660$		
$Ble = a_3 \times D^{b_{31}}$	a_3	$0,03874 \pm 0,01290$	3,5	0,693
	b_{31}	$1,66726 \pm 0,09140$		
$Bba = a_4 \times D^{b_{41}}$	a_4	$0,01827 \pm 0,00521$	23,4	0,738
	b_{41}	$2,38654 \pm 0,08340$		

Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE	RMSE (kg)	Adj. R ²
$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba)$			80,6	0,916

Ghi chú: Bst, Bbr, Ble, Bba và AGB lần lượt là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất của cây rừng. Tất cả các tham số có giá trị Pvalue < 0.05. Dựa trên toàn bộ dữ liệu

Kết quả ước tính sinh khối các bộ phận (*Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*) và *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp dựa vào hệ thống mô hình được thiết lập đồng thời theo SUR được trình bày trong Bảng 3.11.

Bảng 3.11. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D*

<i>D (cm)</i>	<i>Bst (kg)</i>	<i>Bbr (kg)</i>	<i>Ble (kg)</i>	<i>Bba (kg)</i>	<i>AGB (kg)</i>
5	1,8	0,7	0,6	0,9	3,9
10	11,3	5,0	1,8	4,4	22,6
15	33,5	15,8	3,5	11,7	64,6
20	72,4	35,6	5,7	23,3	137,0
25	131,6	66,9	8,3	39,6	246,4
30	214,3	112,0	11,2	61,2	398,8
35	323,8	173,2	14,5	88,5	600,0
40	462,9	252,6	18,2	121,7	855,3

<i>D (cm)</i>	<i>Bst (kg)</i>	<i>Bbr (kg)</i>	<i>Ble (kg)</i>	<i>Bba (kg)</i>	<i>AGB (kg)</i>
45	634,4	352,4	22,1	161,1	1.170,1
50	841,1	474,7	26,4	207,2	1.549,4

3.3.2 So sánh độ tin cậy của hai hệ thống mô hình thiết lập theo hai phương pháp độc lập và SUR

Kết quả thẩm định chéo K-Fold để so sánh cho thấy hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo phương pháp SUR có các sai số (Bias, RMSE và MAPE) thấp hơn đáng kể so với các mô hình độc lập ở cấp độ chung loài, họ và chi ưu thế (Bảng 3.12). Ngoài ra Hình 3.3, Hình 3.4 và Hình 3.5 cho thấy các giá trị sinh khối các thành phần và AGB ước tính đồng thời theo SUR bám sát giá trị AGB quan sát cho trường hợp chung loài và hai chi thực vật ưu thế.

Bảng 3.12. So sánh kết quả thẩm định chéo K-Fold giữa hai phương pháp thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng (độc lập và SUR)

Hệ thống phân loại thực vật	Phương pháp thiết lập mô hình	Dạng mô hình lựa chọn	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
Chung loài	Độc lập	$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	-11,1	44,6	27,1
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-1,8	51,4	25,4
Họ thực vật	Độc lập	$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	-9,9	41,7	26,4

Hệ thống phân loại thực vật	Phương pháp thiết lập mô hình	Dạng mô hình lựa chọn	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
Dipterocarpaceae	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-5,9	36,2	27,7
<i>Chi thực vật</i> <i>Dipterocarpus</i>	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-12,2	46,3	29,2
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-8,5	27,2	20,4
<i>Chi thực vật Shorea</i>	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-8,8	33,2	24,6
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-3,4	23,8	20,9
<i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-13,4	47,2	31,5
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-15,1	26,6	20,9
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-10,5	36,8	25,8
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-25,8	65,6	36,1
<i>Shorea obtusa</i> Wall.	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-4,4	22,3	18,0

Hệ thống phân loại thực vật	Phương pháp thiết lập mô hình	Dạng mô hình lựa chọn	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	-7,7	37,0	26,7
Shorea Miq.	Độc lập	$AGB = a \times D^b$	-13,3	41,5	33,8
	SUR	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$	7,0	20,9	18,5

Ghi chú: Các sai số từ thẩm định chéo K-Fold với $K = 10$. *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB* lần lượt là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất.

Ngoài ra, kết quả cho thấy rằng hệ thống mô hình theo thứ bậc của hệ thống phân loại thực vật đã cải thiện độ tin cậy của các dự đoán sinh khối. Độ tin cậy tăng dần khi đi từ chung loài đến họ thực vật, sau đó đến chi thực vật. Các mô hình cụ thể cho loài chưa thấy có sự cải thiện so với các mô hình theo chi thực vật (Bảng 3.12).

Do đó, đã sử dụng toàn bộ dữ liệu để tính tham số cho hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối *AGB* và các thành phần của nó ở các cấp độ chung loài, họ thực vật và chi thực vật ưu thế (Bảng 3.7). Đôi khi chỉ có biến số *D* được đo đạc trong các cuộc điều tra rừng, vì vậy hệ thống mô hình chỉ có biến *D* được thiết lập và kết quả được trình bày trong Bảng 3.10.

Đồng thời sử dụng đánh giá qua đồ thị Bland-Altman để xem xét có hay không sự khác biệt giữa *AGB* dự đoán qua mô hình thiết lập độc lập và theo SUR với độ tin cậy $P = 95\%$ (Codes thực hiện đồ thị Bland-Altman trong Phụ lục 5)

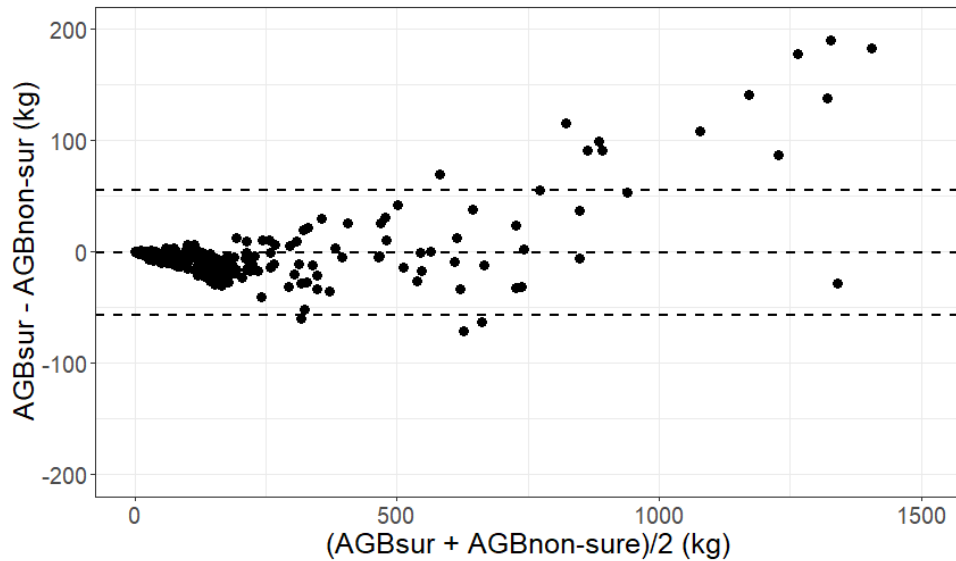
Đồ thị Bland- Altman so sánh sai lệch ước tính *AGB* của hai mô hình:

Mô hình *AGB* thiết lập độc lập:

$$AGB = 0,0801995 \times D^{2,458405} \times H^{0,157626} \times WD^{0,643418}$$

Mô hình *AGB* thiết lập theo SUR:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = 0,02055 \times D^{2,35241} \times H^{0,59142} \times WD^{0,69609} + 0,00669 \times D^{2,85742} + 0,03701 \times D^{1,68095} + 0,01541 \times D^{2,43959}$$



Hình 3.6. Đồ thị Bland- Altman so sánh sai lệch ước tính *AGB* của hai mô hình thiết lập theo SUR và độc lập (Non-SUR) với độ tin cậy 95%

Từ đồ thị Bland – Altman (Hình 3.6) cho thấy sai lệch của ước tính *AGB* theo hai mô hình theo SUR và độc lập (Non-SUR) có sự khác biệt rõ rệt, nhiều giá trị sai lệch nằm ngoài sai số cho phép 5% ở các giá trị *AGB* cao (ngoài hai đường đứt nét song song). Như vậy hai phương pháp lập mô hình có sự khác biệt rõ rệt và SUR với sai số bé hơn (Bảng 3.12), do đó đạt độ tin cậy cao hơn, đặc biệt là ở các cây có kích thước lớn với giá trị ước tính *AGB* cao. Tóm lại sử dụng SUR không chỉ bảo đảm sự tương tác giữa các mô hình sinh khối bộ phận khi ước tính *AGB* mà còn tăng độ cậy, giảm sai số của ước tính *AGB*.

Cấu trúc của hệ phương trình theo SUR bảo đảm tính phụ thuộc nhau, trong khi nắn chỉnh mô hình đã giải quyết được mối tương quan giữa các phương trình thành phần để có thể đạt được các ước tính hiệu quả hơn khi so sánh với các mô hình thành phần được thiết lập riêng biệt. Phát hiện này phù hợp với kết quả của Parresol (2001), Poudel và Temesgen (2016) khi sử dụng SUR để dự đoán các thành phần sinh khối. Những cải thiện này lớn nhất ở cấp độ chi thực vật ưu thế từng khớp, thể hiện ở các sai số qua thẩm định chéo K-Fold (Bảng 3.12).

Do đó, khuyến khích sử dụng phương pháp phi tuyến có trọng số SUR để phát triển các mô hình đồng thời AGB và các thành phần của nó ở các khu rừng nhiệt đới.

3.4 Ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần đến mô hình ước tính AGB cây rừng khớp

3.4.1 Ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần lên mô hình sinh khối cây rừng khớp AGB

Nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của từng nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần lên mô hình ước tính sinh khối đã lựa chọn qua thẩm định chéo K-Fold: $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$

Các nhân tố sinh thái, lâm phần được nghiên cứu là vùng sinh thái khác nhau (*CH* và *SE*), cấp độ cao so với biển (*Altitude*, m)), lượng mưa khác nhau (*P*, mm/năm), cấp mật độ lâm phần (*N*, cây/ha), cấp tổng tiết diện ngang (*BA*, m²/ha).

Sử dụng phương pháp phi tuyến có trọng số và xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố (random effects) đến mô hình theo phương pháp Maximum Likelihood và thẩm định chéo K-Fold để đánh giá có hay không sự ảnh hưởng của từng nhân tố lên mô hình ước tính AGB chung cho các loài

cây rừng khộp. Code chạy trong R để thực hiện mô hình phi tuyến có xét ảnh hưởng các nhân tố trình bày ở Phụ lục 6.

Bảng 3.13. Thẩm định chéo K-Fold mô hình $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$ chung cho các loài cây rừng khộp dưới ảnh hưởng các nhân tố sinh thái, lâm phần.

Nhân tố ảnh hưởng	Biến trọng số	AIC	$R^2_{adj.}$	RMSE %	Bias %	MAPE %
Random effects	Weight variable					
Không xét	$1/D^\delta$	2.664	0,910	-11,1	44,6	27,1
Vùng sinh thái	$1/D^\delta$	2.659	0,913	-11,1	44,3	27,4
Cấp độ cao so với mặt biển (Altitude, m)	$1/D^\delta$	2.663	0,910	-11,0	46,0	27,1
Lượng mưa năm (P, mm/năm)	$1/D^\delta$	2.663	0,910	-11,1	45,5	27,2
Cấp tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m ² /ha)	$1/D^\delta$	2.645	0,910	-11,0	45,7	27,3
Cấp mật độ lâm phần (N, cây/ha)	$1/D^\delta$	2.646	0,910	-11,1	43,7	27,1

Ghi chú: Trong thẩm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$ lần), trong đó $K - 1$ dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2_{Adj} ; và một phần dữ liệu K (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 lần. δ : hệ số hàm phương sai.

Kết quả ở Bảng 3.13 cho thấy với nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần được thẩm định sự ảnh hưởng qua thẩm định chéo K-Fold đều cho thấy với từng nhân tố riêng lẻ không cho thấy sự ảnh hưởng của nó lên mô hình sinh khối AGB chung các loài rừng khộp. Các mô hình bao gồm từng nhân tố có các giá trị thống kê AIC, R^2_{adj} và các sai số như Bias, MAPE và RMSE không có sự khác biệt so với mô hình không xét ảnh hưởng của các nhân tố này.

Ở đây không phải là các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần không có tác động lên quá trình tích lũy sinh khối, carbon cây rừng, mà nó không ảnh hưởng một cách riêng lẻ từng nhân tố như đã thẩm định. Do vậy đánh giá ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố để đưa vào các mô hình để nâng cao độ tin cậy, giảm sai số ước tính sinh khối cây rừng là cần thiết.

3.4.2 Ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần đến mô hình sinh khối AGB

Tiến hành thẩm định chéo ảnh hưởng tổng hợp của bốn nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần (độ cao so với mặt biển (*Altitude*, m), lượng mưa trung bình năm (*P*, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (*BA*, m²/ha) và mật độ cây rừng (*N*, cây/ha) lên mô hình ước tính AGB đã lựa chọn chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của hàm điều chỉnh MODIFIER.

Dạng mô hình tổng quát: $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$

Trong đó:

- AVERAGE = $a \times D^b \times H^c \times WD^d$, mô hình sinh khối AGB trung bình được lựa chọn qua thẩm định chéo K-Fold

- MODIFIER = $\exp(b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62) + b_4 \times (N - 534))$, mô hình điều chỉnh giá trị dự đoán sinh khối AGB khi các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần thay đổi so với trung bình của nó.

Mô hình được thiết lập theo phương pháp phi tuyến cố định có trọng số theo Maximum Likelihood (Weighted Non-Linear Fixed Model fit by Maximum Likelihood). Codes để thực hiện trong R trình bày trong Phụ lục 7. Kết quả trình bày trong Bảng 3.14.

Bảng 3.14. Thăm định chéo K-Fold để so sánh và lựa chọn phương trình sinh khối AGB chung cho các loài cây rừng khộp dựa trên ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần qua hàm MODIFIER

Id	Mô hình	Trọng số	AIC	R ² _{adj.}	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
1.	$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	2.664	0,910	-11,1	44,6	27,1
2.	$AGB = a \times D^b \times H^{c*} \times WD^d \times \exp(b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62) + b_4^* \times (N - 534))$	$1/D^\delta$	2.681	0,930	-9,5	41,7	25,0
3.	$AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(b_1^* \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$	$1/D^\delta$	2.650	0,927	-10,0	41,2	25,5
4.	$AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$	$1/D^\delta$	2.640	0,926	-9,9	41,5	25,3

Ghi chú: Độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m²/ha) và mật độ cây rừng (N, cây/ha). Thăm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu

*nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$ lần), trong đó $K - 1$ dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2_{Adj} ; và một phần dữ liệu K (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 lần. δ : hệ số hàm phương sai. *: Tham số có Pvalue > 0,05. In đậm là mô hình được lựa chọn*

Kết quả cho thấy với sự tham gia của bốn nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần vào mô hình sinh khối thì biến số H có tham số không tồn tại (Pvalue > 0,05) (ở hàm thứ 2 trong Bảng 3.14). Điều này có thể giải thích là biến H đại diện cho sự thay đổi của lập địa, và khi đã bao gồm một số nhân tố sinh thái phản ánh cho lập địa rừng khộp như lượng mưa, độ cao so với mặt biển thì ảnh hưởng H không còn có ý nghĩa. Ngoài ra mô hình này cũng có biến số N có tham số không tồn tại với Pvalue > 0,05. Do vậy thiết lập và thẩm định chéo mô hình loại bỏ biến H và N (hàm thứ 3 trong Bảng 3.14), lúc này biến số độ cao (Altitude) có tham số không tồn tại (Pvalue > 0,05). Vì vậy cuối cùng thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối bao gồm hai nhân tố P và BA (hàm thứ 4 trong Bảng 3.14) và đây cũng là hàm được lựa chọn vì có tất cả các tham số gắn biến số tồn tại, đồng thời qua thẩm định chéo K-Fold thì các chỉ tiêu thống kê như AIC, R^2_{adj} và các sai số Bias, RMSE và MAPE được cải thiện rõ rệt so với mô hình AGB không có sự tham gia của các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần (hàm 1 trong Bảng 3.14). Bảng 3.15 trình bày kết quả ước tính các tham số của mô hình lựa chọn để ước AGB tính chung cho các loài cây rừng khộp với sự điều chỉnh của hai nhân tố P và BA .

Với dạng mô hình $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$, trong đó AGB được điều chỉnh theo các nhân tố ảnh hưởng. Khi mà giá trị của các nhân tố sinh thái bằng giá trị trung bình của nó thì hàm $MODIFIER = 1$, các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần chỉ ảnh hưởng lên AGB khi mà giá trị của nhân tố đó khác với trung bình của nó.

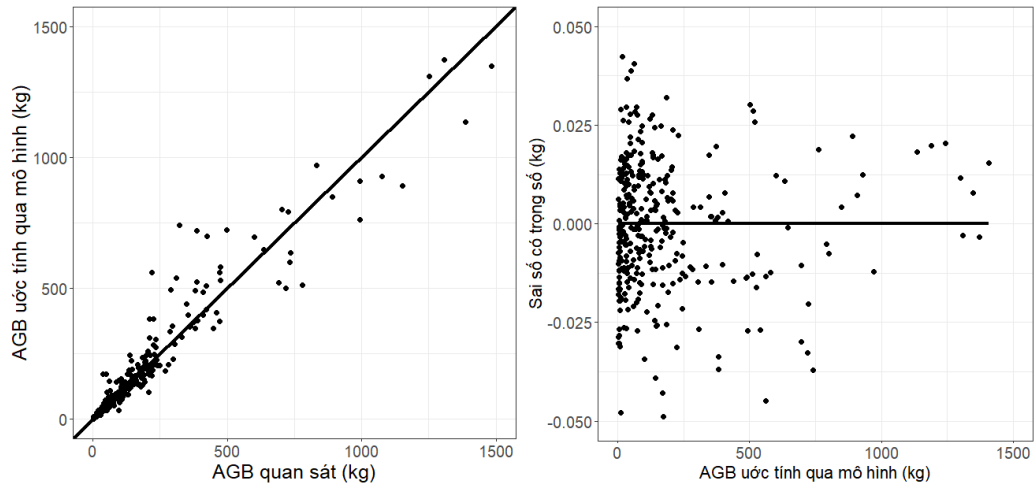
Bảng 3.15. Các tham số của mô hình *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của các biến sinh thái môi trường và lâm phần, ước lượng theo phương pháp phi tuyến cố định có trọng số theo Maximum Likelihood

Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE
$AGB = a \times D^b \times WD^d \times$	a	0,127751 $\pm$ 0,015243
$exp(+ b_2 \times (P - 1.502)$	b	2,460833 $\pm$ 0,031600
$+ b_3 \times (BA - 12,62))$	d	0,978793 $\pm$ 0,122928
	b ₂	-0,000645 $\pm$ 0,000095
	b ₃	-0,008556 $\pm$ 0,003552

Ghi chú: Lượng mưa trung bình năm (*P*, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (*BA*, m²/ha)

Từ mô hình lựa chọn cho thấy hai nhân tố *P* và *BA* có tham số âm (< 0), có nghĩa khi lượng mưa *P* vượt trên trung bình là 1.502 mm/năm hoặc tổng tiết diện ngang *BA* của lâm phần vượt trên 12,62 m²/ha thì sẽ là giảm tích lũy sinh khối cây rừng khộp. Nói khác tích lũy sinh khối cây rừng khộp sẽ gia tăng nơi có lượng mưa thấp hơn 1.502 mm/năm và lâm phần chưa thành thực và trữ lượng chưa cao, với $BA < 12,62 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Kết quả ở các đồ thị ở Hình 3.7 cho thấy mô hình dạng $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$ đạt độ tin cậy cao với giá trị *AGB* ước tính quan mô hình bám sát *AGB* quan sát theo đường chéo 1:1 và đặc biệt là sai số có trọng số rất thấp, biến động $\pm 0,05 \text{ kg/cây}$ và rải đều theo *AGB* ước tính qua mô hình.



Hình 3.7. Mô hình $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$ điều chỉnh mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần. Quan hệ giữa AGB ước tính qua mô hình với AGB quan sát (trái). Biên độ sai số có trọng số theo AGB ước tính qua mô hình (phải)

Sử dụng mô hình lựa chọn $AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$ để ước tính AGB chung cho các loài cây rừng khộp với biến đầu vào WD được chia làm 4 cấp và hai nhân tố P và BA được lấy giá trị trung bình ứng với hàm $MODIFIER = 1$ (Bảng 3.16).

Bảng 3.16. Ước tính AGB chung cho các loài cây rừng khộp dựa vào mô hình

$$AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$$

$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$	$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$
0,3	5	2,1	0,5	5	3,4
	10	11,4		10	18,7
	15	30,8		15	50,8
	20	62,5		20	103,1
	25	108,3		25	178,6
	30	169,6		30	279,7
	35	247,9		35	408,7

$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$	$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$
	40	344,3		40	567,7
	45	460,1		45	758,6
	50	596,3		50	983,1
$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$	$WD (g/cm^3)$	$D (cm)$	$AGB (kg)$
0,7	5	4,7	0,9	5	6,0
	10	26,0		10	33,3
	15	70,6		15	90,3
	20	143,3		20	183,3
	25	248,2		25	317,4
	30	388,8		30	497,2
	35	568,1		35	726,6
	40	789,1		40	1.009,2
	45	1.054,5		45	1.348,5
	50	1.366,6		50	1.747,7

Ghi chú: Lấy các giá trị lượng mưa năm P (mm/năm) và tổng tiết diện ngang BA (m^2/ha) trung bình và như vậy hàm $MODIFIER = 1$. Khối lượng thể tích gỗ WD được chia thành 4 cấp và lấy giá trị trung bình.

3.5 Mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới hay cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

Trong nghiên cứu này, thăm định chéo K-Fold với $K = 10$ đã được thực hiện để so sánh sai số, độ tin cậy của phương trình ước tính đồng thời AGB theo phương pháp SUR, với các phương trình dự đoán sinh khối AGB khác được thiết lập cho vùng nhiệt đới (Chave và ctv, 2005, 2014) và rừng khộp của Đông Nam Á (Basuki và ctv, 2009). Tiến hành cho các mô hình ước tính chung AGB cho chung cho các loài và các chi thực vật ưu thế, kết quả thể hiện ở Bảng 3.17.

Bảng 3.17. Kết quả thẩm định chéo K-fold mô hình ước tính đồng thời *AGB* theo phương pháp SUR trong nghiên cứu này và so sánh với các mô hình *AGB* khác cho rừng khộp vùng nhiệt đới ở các cấp độ chung loài và chi thực vật

Hệ thống phân loại thực vật	Nguồn nghiên cứu	Mô hình lựa chọn	Chỉ số phù hợp (IF)	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
<i>Chung loài</i>	Nghiên cứu này, (2020), cho rừng khộp Việt Nam	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = 0,02055 \times D^{2,35241} \times H^{0,59142} \times WD^{0,69609} + 0,00669 \times D^{2,85742} + 0,03701 \times D^{1,68095} + 0,01541 \times D^{2,43959}$	0,940	-1,8	51,4	25,4
	Chave et al. (2005), cho rừng khộp vùng nhiệt đới)	Mô hình I: $AGB = WD \times \exp(-0,667 + 1,784 \times \log(D) + 0,207 \times (\log(D))^2 - 0,0281 \times (\log(D))^3)$	0,764	-84,0	123,9	84,1
		Mô hình II: $AGB = 0,112 \times (D^2 \times H \times WD)^{0,916}$	0,926	-23,1	65,4	40,9
	Chave et al. (2014), chung tất cả các kiểu rừng vùng nhiệt đới	Mô hình III: $AGB = 0,0673 \times (D^2 \times H \times WD)^{0,976}$	0,923	-12,1	58,5	37,1
	Basuki et al. (2009), cho	Mô hình I: $AGB = \exp(-1,201 + 2,196 \times \log(D))$	0,833	-100,3	139,6	100,3

Hệ thống phân loại thực vật	Nguồn nghiên cứu	Mô hình lựa chọn	Chỉ số phù hợp (IF)	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
	rừng Indonesia	khộp Mô hình II: $AGB = \exp(-0,744 + 2,188 \times \log(D) + 0,832 \times \log(WD))$	0,704	-112,5	152,5	112,5

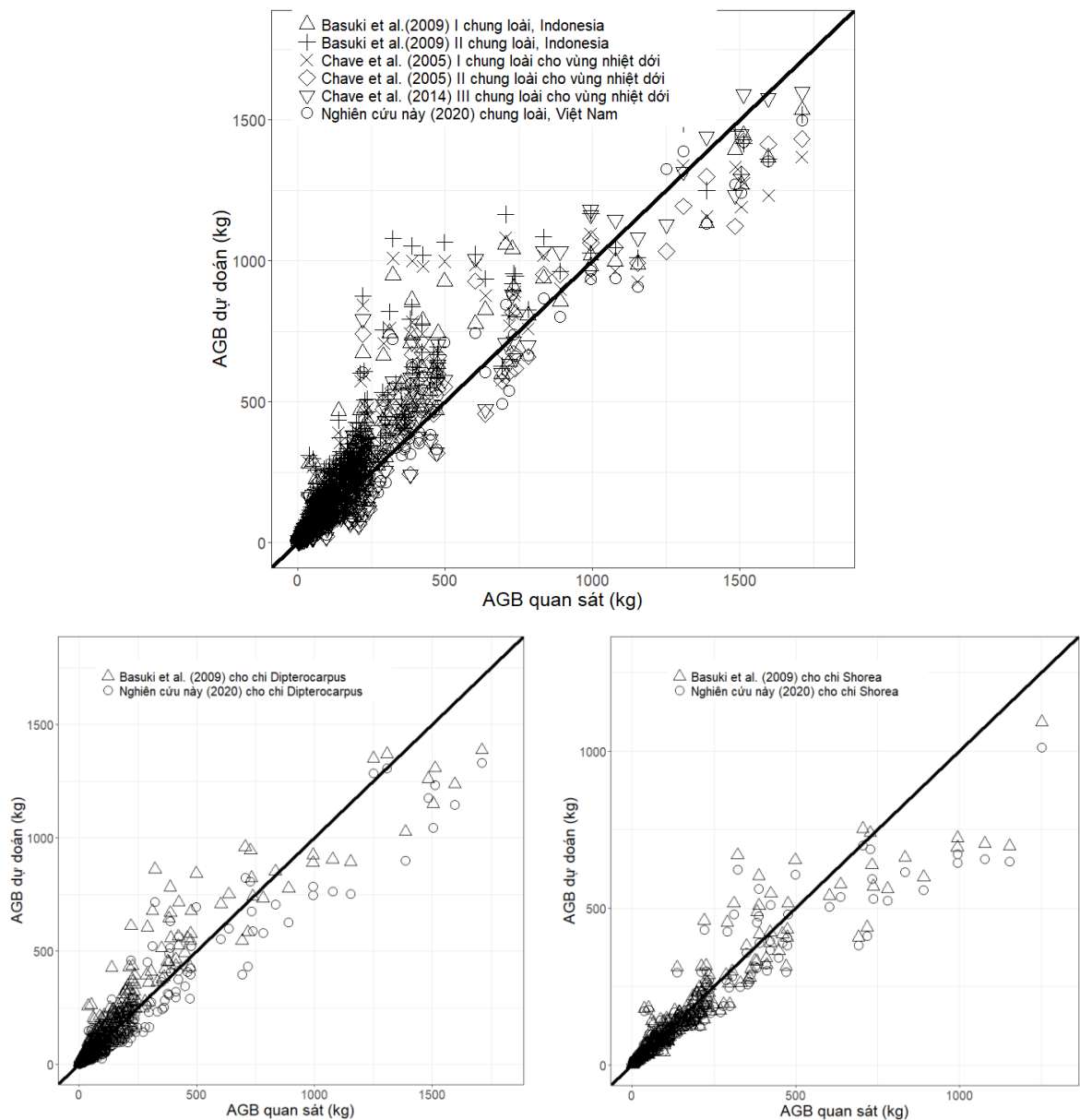
Chi thực vật:

<i>Dipterocarpus</i> genus	Nghiên cứu này, (2020), Việt Nam	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = 0,01831 \times D^{2,76361} + 0,00481 \times D^{2,96217} + 0,08921 \times D^{1,43840} + 0,00116 \times D^{3,19340}$	0,941	-8,5	27,2	20,4
	Basuki et al. (2009), Indonesia	$AGB = \exp(-1,232 + 2,178 \times \log(D))$	0,901	-70,9	95,2	70,9
<i>Shorea</i> genus	Nghiên cứu này, (2020), Việt Nam	$AGB = Bst + Bbr + Ble + Bba = 0,03925 \times D^{2,47118} + 0,02130 \times D^{2,49004} + 0,05119 \times D^{1,50629} + 0,31967 \times D^{1,47380}$	0,868	-3,4	23,8	20,9
	Basuki et al. (2009), Indonesia	$AGB = \exp(-2,193 + 2,371 \times \log(D))$	0,861	-1,2	23,7	20,7

Ghi chú: Thăm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau ($K = 10$ lần), trong khi đó $K - 1$ dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình và một phần K dữ liệu (1/10 dữ liệu) dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE trung bình cho hệ thống mô hình trong nghiên cứu này và các mô hình được so sánh khác; Tất cả các chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình từ 10 lần thực hiện; Bst, Bbr, Ble, Bba và AGB lần lượt là sinh khối của thân, cành, lá, vỏ cây và tổng sinh khối trên mặt đất. IF: Chỉ số phù hợp của mô hình (Index of Fit)

Các kết quả thẩm định chéo K-Fold cho thấy mô hình *AGB* chung các loài vùng nhiệt đới được thiết lập bởi Chave và ctv (2005) với hai biến số đầu vào là *D* và *WD* có sai số và dự đoán giá trị *AGB* cao hơn so với dữ liệu *AGB* thực tế (Hình 3.8), trong khi các mô hình có cả ba biến đầu vào *D*, *H* và *WD* (Chave và ctv, 2005, 2014) có chỉ số phù hợp tốt ($IF = 0,923-0,926$) và cho các sai số tương đồng với mô hình *AGB* theo phương pháp SUR của nghiên cứu này ở Việt Nam với $IF = 0,940$ (Bảng 3.17). Phát hiện này cũng phù hợp với nghiên cứu của Rutishauser và ctv (2013) tại Indonesia, tác giả này cũng đã sử dụng mô hình sinh khối chung vùng nhiệt đới được phát triển bởi Chave và ctv (2005) và thấy rằng mô hình này ước tính tốt nhất *AGB* tại vùng nghiên cứu, tuy nhiên, điều này khác với khuyến nghị của Huy và ctv (2016b,c) và Basuki và ctv (2009) cho rằng mô hình theo vùng sinh thái cụ thể thì tốt hơn so với mô hình chung của vùng nhiệt đới. Như vậy mô hình *AGB* chung các loài với ba biến số đầu vào *D*, *H* và *WD* có thể sử dụng chung theo vùng nhiệt đới cho từng kiểu rừng.

Trong khi đó, các mô hình *AGB* chung loài rừng khộp theo từng vùng sinh thái được phát triển bởi Basuki và ctv (2009) ở Indonesia đã cho thấy có sai số cao và dự đoán giá trị *AGB* quá cao so với dữ liệu *AGB* trong nghiên cứu này ở Việt Nam (Bảng 3.17, Hình 3.8). Điều này cho thấy các mô hình *AGB* chung loài theo vùng sinh thái cụ thể không chuyển giao tốt cho các vùng sinh thái khác cho dù cùng kiểu rừng.



Hình 3.8. So sánh các giá trị AGB dự đoán ở các mô hình khác nhau so với giá trị quan sát AGB

Trên cùng: So sánh mô hình được lựa chọn theo SUR trong nghiên cứu này với các mô hình cho rừng khộp vùng nhiệt đới, trong trường hợp chung loài; Dưới từ trái sang phải: So sánh các mô hình được lựa chọn của nghiên cứu này với các mô hình khác được phát triển ở Indonesia trong trường hợp cùng chi *Dipterocarpus* và *Shorea*.

Thậm định chéo sai số cho các mô hình theo chi ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea* được xây dựng bởi Basuki và ctv (2009) ở Indonesia cho thấy các mô

hình đã có các chỉ số phù hợp IF (0,86 – 0,90) và *AGB* dự đoán rất tương đồng với các mô hình theo các chỉ này được phát triển trong nghiên cứu này ở Việt Nam (Bảng 3.17, Hình 3.8). Kết quả này khẳng định thêm phát hiện của Huy và ctv (2016c) cho rằng các mô hình *AGB* theo chỉ thực vật ưu thế rừng khộp có ứng dụng tốt ở các vùng sinh thái khác nhau.

Các mô hình *AGB* lập theo chỉ rừng khộp ở vùng nhiệt đới sẽ cải thiện độ tin cậy so với các mô hình *AGB* chung loài vùng nhiệt đới. Sai số RMSE và MAPE có xu hướng giảm đáng kể khi sử dụng các mô hình theo chỉ được so với mô hình cho chung loài (Bảng 3.17). Ngay cả khi các loài của hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea* sử dụng trong phát triển phương trình *AGB* của Basuki và ctv (2009) ở Indonesia khác với thành phần loài của hai chi này ở Việt Nam nhưng vẫn độ tin cậy đạt như nhau qua thẩm định chéo K-Fold. Giá trị dự đoán *AGB* từ phương trình theo hai chi của Basuki và ctv (2009) và từ nghiên cứu này không khác nhau đáng kể. Điều này có thể là do các loài trong các chi này cũng có sự tương tự về cấu trúc tán lá cây và đặc biệt là *WD*. Kết quả phát hiện này hỗ trợ đề xuất áp dụng phương trình sinh khối *AGB* theo chỉ thực vật của rừng khộp chung cho vùng Đông Nam Á và vùng khu vực nhiệt đới.

3.6 Ứng dụng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng

3.6.1 Hướng dẫn thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng

3.6.1.1 Thu thập số liệu để lập mô hình sinh khối cây rừng

Phương pháp thu thập dữ liệu sinh khối các bộ phận và tổng của cây rừng thông qua chặt hạ cây mẫu (destructive sampling) là có độ tin cậy cao nhất khi lập mô hình, cho dù nó tác động đến đối tượng nghiên cứu; vì vậy phương pháp này được áp dụng rộng rãi trên thế giới để lập các mô hình sinh

khối yêu cầu độ tin cậy cao (Brown, 1997, IPCC, 2003, Chave, 2005, 2014; Basuki và ctv, 2009; Huy và ctv, 2016a,b,c).

Số cây mẫu chặt hạ cho lập các mô hình theo địa phương, lập địa từ 100 166 cây mẫu (Picard và ctv, 2012; Dutcă và ctv, 2020) là phù hợp, đạt độ tin cậy để lập mô hình.

Đối với rừng hỗn loài khác tuổi, số cây mẫu chặt hạ cần tỷ lệ thuận với phân bố đường kính của lâm phần và với mật độ của các loài (Basuki và ctv, 2009).

3.6.1.2 *Lựa chọn phương pháp thẩm định sai số mô hình sinh khối*

Khuyến nghị áp dụng phương pháp thẩm định chéo K-Fold với $K = 10$ vì phương pháp này có ưu điểm là tất cả dữ liệu đều được tham gia lập mô hình và tất cả đều tham gia tính sai số. Vì vậy sai số là đúng cho mọi dữ liệu ở mọi khu vực nghiên cứu, thu thập dữ liệu. Đồng thời trong ba phương pháp thẩm định chéo thì phương pháp K-Fold với lần lặp $K=10$ đã cho sai số ổn định, thuận tiện cho xử lý số liệu trong R.

3.6.1.3 *Chọn biến số đầu vào cho hệ thống mô hình sinh khối*

Có ba biến số phổ biến trong mô hình sinh khối cây rừng, đó là đường kính của cây ngang ngực (D , cm), chiều cao cây rừng (H , m) và khối lượng thể tích gỗ (WD , g/cm³). Trong đó biến D đại diện cho kích thước cây thay đổi, H chỉ thị cho lập địa và WD đại diện cho khả năng tích lũy sinh khối, carbon theo loài.

Từ kết quả nghiên cứu này chỉ ra:

- Đối với mô hình sinh khối chung loài hoặc đến họ thực vật và cho thân cây (Bst) và toàn bộ sinh khối trên mặt đất cây rừng (AGB) thì cần có đủ ba biến số D , H và WD , trong khi đó đối với các bộ phận sinh khối cành (Bbr), lá (Ble) và vỏ (Bba) thì chỉ cần một biến đầu vào là D

- Đối với mô hình sinh khối lập đến chỉ thực vật hoặc loài thì chỉ cần một biến đầu vào là D cho tất cả các bộ phận sinh khối và AGB . Vì lúc này chỉ hoặc loài đã phản ánh được đặc điểm hình thái cây và năng lực tích lũy carbon của nó mà không cần thêm biến H và WD

3.6.1.4 Chọn dạng hàm sinh khối cây rừng

Theo Picard và ctv, 2015 thì mô hình sinh khối dạng hàm Power không phải cho độ tin cậy cao nhất khi so với các dạng hàm phức tạp khác, tuy nhiên do sự đơn giản và độ tin cậy không quá sai khác so với các hàm phức tạp, do vậy trên toàn thế giới, hầu hết dạng hàm Power đều được sử dụng để lập mô hình ước sinh khối cây rừng. Từ kết quả nghiên cứu này cũng cho thấy dạng hàm Power là thích hợp cho các mô hình sinh khối các bộ phận cây rừng và tổng là AGB . Vì vậy khuyến nghị sử dụng dạng hàm Power để lập các mô hình sinh khối, dạng mô hình tổng quát như sau (Huy và ctv, 2016a, b, c; Kralicek và ctv, 2017):

$$Y_j = \alpha \times X_j^\beta + \varepsilon_j \quad (3.12)$$

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

Trong đó Y_j là Bst , Bba , Bbr , Bl , AGB (kg) ứng với cây thứ j ; α và β là tham số của mô hình; X_j là các biến số D (cm), H (m), WD (g/cm³), hoặc tổ hợp biến đại diện cho thể tích cây: D^2H hoặc tổ hợp biến đại diện cho sinh khối: D^2HWD ứng với cây thứ j ; và ε_j là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j .

3.6.1.5 Lựa chọn phương pháp ước lượng hàm Power

Đối với hàm Power thông thường sử dụng phương pháp ước lượng mô hình bằng cách tuyến hóa thông qua logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu. Kết quả nghiên cứu này đã sử dụng chỉ số Furnival's Index (FI) (Jayaraman, 1999) để so sánh và cho thấy mô hình phi tuyến theo phương

pháp hợp lý cực đại (Weighted Non-linear Models fit by Maximum Likelihood) đạt độ tin cậy cao hơn rất nhiều lần phương pháp log tuyến tính hóa. Vì vậy khuyến nghị sử dụng phương pháp này trong ước lượng mô hình sinh khối dạng Power.

3.6.1.6 Kỹ thuật thiết lập mô hình sinh khối độc lập

Sinh khối bộ phận và AGB có hiện tượng phân hóa biến mạnh khi kích thước cây tăng lên (heteroscedasticity) (Davidian và Giltinan, 1995; Picard và ctv, 2012; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017), do vậy khi thiết lập mô hình cần áp dụng trọng số (Weight), trong đó $Weight = 1/X^\delta$ (Picard và ctv, 2012) với X có thể biến D , H , D^2H hoặc D^2HWD tùy theo các biến số nào là quan trọng trong mô hình và δ là hệ số hàm phương sai.

Áp dụng phương pháp phi tuyến có trọng số theo Maximum Likelihood để thiết lập mô hình dạng power (Weighted Non-linear Fixed Models fit by Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold. Sau đây là minh họa Codes chạy trong R.

Codes chạy trong R để lập mô hình sinh khối $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$ theo phương pháp (Weighted Non-linear Fixed Models fit by Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold (K=10), sau đó sử dụng toàn bộ dữ liệu để ước tính các tham số của mô hình

1) Thiết lập và thẩm định chéo mô hình

```
# Erase memory
```

```
rm(list=ls())
```

```
# Clean plot window
```

```
dev.off()
```

```
# Directory path
```

```
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/1 - Article Dip Forest/Data/Data for use")
```

```
# Enter dataset t
```

```
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
```

```
# Install.packages("ggplot2")
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(nlme)
```

```
library(cowplot)
```

```
library(gridExtra)
```

```

# 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:
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, ]
# Develop Model:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D)+log(H)+log(WD), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b","c","d")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*D^b*H^c*WD^d, data=cbind(t_eq,g="a"),
fixed=a+b+c+d~1, start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~D))
# 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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
# Calculation 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$D)-1)/(length(t_eq$D)-5-1)
R2adj[i] <- R2.adjusted
# Prediction of the model for validation
n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
# Calculation of RMSE, Bias, MAPE% each time:
Bias[i] = 100*mean((n_va$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%:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# Output last model:
summary(Max_like)
# Plot of Valiation vs. Prediction
p <- ggplot(n_va)
p <- p + geom_point(aes(x=Pred, y=AGB), cex = 3.5)
p <- p + geom_abline(intercept = 0, slope = 1, col="black", cex=1.5)
p <- p + xlab("Predicted AGB (kg)") + ylab("Validation AGB (kg)") + theme_bw()
p <- p + labs(title = "")
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(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p = p + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p = p + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p = p + ylim(0, 1500)
p = p + xlim(0, 1500)
p
2) Ước lượng các tham số mô hình với toàn bộ dữ liệu
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Directory path
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Enter daaaset t
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Developing model:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D)+log(H)+log(WD), data=t))
names(start) <- c("a", "b", "c", "d")
start[1]<-exp(start[1])

```

```

Max_like <- nlme(AGB~a*D^b*H^c*WD^d, data=cbind(t,g="a"), fixed=a+b+c+d~1,
               start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~D))
# Model summary:
summary(Max_like)
# The end

```

3.6.1.7 Kỹ thuật thiết lập hệ thống mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng

Tích lũy sinh khối cây rừng chịu ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, vì vậy ngoài việc lập quan hệ sinh khối với các biến số cây rừng thì cần xem xét ảnh hưởng của các nhân tố môi trường lên mô hình để tăng độ chính xác của ước tính sinh khối, carbon của mô hình.

Có hai tiếp cận để thiết lập các mô hình sinh khối bao gồm các nhân tố sinh thái môi trường

i) Phương pháp xem xét ảnh hưởng từng nhân tố sinh thái môi trường rừng lên mô hình sinh khối

Các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần bao gồm các chỉ tiêu khí hậu, đất đai, địa hình, đặc điểm lâm phần có sự biến động ở các ô mẫu khác nhau được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) đến mô hình sinh khối

Áp dụng kiểu dạng mô hình Power tổng quát như sau (Huy và ctv, 2016a, b, c; Kralicek và ctv, 2017):

$$Y_{ij} = (\alpha + a_i) \times X_{ij}^{(\beta + b_i)} + \varepsilon_{ij} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (3.15)$$

Trong đó Y_{ij} là Bst , Bba , Bbr , Bl , AGB (kg) ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i của các yếu tố sinh thái môi trường ảnh hưởng ngẫu nhiên; 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 D (cm), H (m), WD (g/cm³), hoặc tổ hợp biến đại diện cho thể tích cây: D^2H hoặc tổ hợp biến đại diện cho sinh khối: D^2HWD ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i ; và ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j và cấp nhân tố i ; biến trọng số là $1/X^\delta$, với $X=D$ hoặc D^2H hoặc D^2HWD) và δ là hệ số của hàm phương sai.

Sử dụng phương pháp phi tuyến có trọng số và xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố (random effects) đến mô hình theo phương pháp Maximum Likelihood (Weighted Non-Linear Mixed Models with random effects fit bay Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold để đánh giá có hay không sự ảnh hưởng của từng nhân tố lên mô hình sinh khối. Sau đây là minh họa Codes chạy trong R

```
Codes chạy trong R để lập mô hình sinh khối  $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$  theo
phương pháp (Weighted Non-linear Mixed Effects with random effect fit by
Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold (K=10), sau đó sử dụng toàn
bộ dữ liệu để ước tính các tham số của mô hình
1) Thiết lập và thẩm định chéo K-Fold
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Import data
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# K-Fold Cross validation
# Create 10 equally size folds
t <- t[sample(nrow(t)),]
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:
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, ]
  # Random Effects Modeling:
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D)+log(H)+log(WD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a","b","c","d")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*D^b*H^c*WD^d, data=t_eq, fixed=a+b+c+d~1,
random=a~1, start, groups=~Region_simple, weights=varPower(form=~D))
  # 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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
  # Calculation 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$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-5-1)
  R2adj[i] <- R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=n_va)
  # Calculation of RMSE, Bias, MAPE% each time:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$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
# Parameters and rank of parameters
fixef( Max_like )
ranef( Max_like )
coef(( Max_like ))
coef(summary( Max_like ))

```

```

# Output last model:
summary(Max_like)
# Mean of AIC, R2adj
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE%:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# The end
2) Ước lượng tham số của mô hình theo các nhân tố sinh thái ảnh hưởng
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tỉnh/1. Hướng dẫn Tỉnh sau
cung/Data")
# Import data
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Random Effect Modeling
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D)+log(H)+log(WD), data=t))
names(start) <- c("a", "b", "c", "d")
start[1]<-exp(start[1])
Max_like <- nlme(AGB~a*D^b*H^c*WD^d, data=t, fixed=a+b+c+d~1, random=a~1,
                start=start, groups=~Region_simple, weights=varPower(form=~D))
# Output of Model
summary( Max_like )
k <- summary(Max_like)$modelStruct$varStruct
# Parameters and random parameters
fixef( Max_like )
ranef( Max_like )
coef( Max_like )
coef(summary( Max_like ))
# Standardized Sdi = ai / Si > Si = ai / Sdi > SEi = Si/sqrt(ni)
# Sdi for ai, bi: Sdi = ai, bi / Si

```

```

Sdi = ranef( Max_like , standard= TRUE)
Sdi
# Standard Deviation: Si = ai, bi / Sdi:
Si = ranef( Max_like )/Sdi
Si
# SE for ai, bi: SEi = Si / sqrt(ni)
SEi = Si/sqrt(table(t$ Region_simple ))
SEi
table(t$Region_simple )
# Fitted values of the model
t$ Max_like.fit <- fitted.values( Max_like )
t$ Max_like.res <- residuals( Max_like )
t$ Max_like.res.weigh <- residuals( Max_like )/t$D^k
# Plot: Observed/Fitted for Classes
p <- ggplot(t)
p <- ggplot(t, aes(y=Max_like.fit, x=AGB , pch= Region_simple, cex = 0.2))
p <- p + geom_abline(intercept = 0, slope = 1, col="black", cex=1.5)
p <- p + geom_point(pch=19,cex=0.2)
p <- p + facet_wrap(~ Region_simple )
p <- p + ylab("AGB ước tính qua mô hình (kg)") + xlab("AGB quan sát (kg)") +
theme_bw()
p <- p + labs(title = "")
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(plot.title = element_text(size = rel(1.7)))
p = p + theme(axis.text.x = element_text(size=15))
p = p + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p = p + ylim(0,1700)
p = p + xlim(0,1700)
p <- p + theme(legend.position="none") # Delete Legend #
p
# The end

```

ii) Phương pháp xem xét ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường rừng lên mô hình sinh khối

Các yếu tố sinh thái môi trường rừng tương tác với nhau và có ảnh hưởng tổng lên quá trình tích lũy sinh khối, carbon cây rừng. Trong trường

hợp này, dạng mô hình sinh khối bao gồm hai thành phần như sau (Lessard và ctv, 2001):

$$\text{BIOMASS MODEL} = \text{AVERAGE} \times \text{MODIFIER} \quad (3.16)$$

Trong đó:

- BIOMASS MODEL: Mô hình sinh khối

- AVERAGE = $Y_j = \alpha \times X_j^\beta + \varepsilon_j$, mô hình sinh khối trung bình được lựa

chọn qua thẩm định chéo K-Fold

- MODIFIER = *exp(nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần i – giá trị trung bình của từng nhân tố i)*, mô hình điều chỉnh giá trị dự đoán sinh khối khi các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần thay đổi so với trung bình của nó.

Để thiết lập mô hình này, ước lượng mô hình phi tuyến tính có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood (Weighted Non-Linear Fixed Models fit by Maximum Likelihood). Codes chạy R minh họa dưới đây.

Codes chạy trong R để lập mô hình sinh khối xét ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường rừng:

$AGB = Y_j = \alpha \times X_j^\beta \times \exp(\text{nhân tố sinh thái môi trường rừng } i - \text{giá trị trung bình của từng nhân tố } i)$

theo phương pháp (Weighted Non-linear Fixed Effects fit by Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold (K=10), sau đó sử dụng toàn bộ dữ liệu để ước tính các tham số của mô hình

1) Thiết lập và thẩm định chéo mô hình

```
# Erase memory
```

```
rm(list=ls())
```

```
# Clean plot window
```

```
dev.off()
```

```
# Define the working directory
```

```
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau cung/Data")
```

```
# Import data
```

```
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
```

```

# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# K-Fold Cross validation
# Create 10 equally size folds
t <- t[sample(nrow(t)),]
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:
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, ]
  # Model = Average * Modifier:
  start = c(-2.12, 2.39, 1.10,-0.008, -0.023)
  names(start) <- c("a","b","d","b2","b3")
  Max_like <- nlme(AGB ~ a*D^b*WD^d* exp( b2* (Rain_annual - 1502) + b3*(BA -
12.62) ), data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b+d+b2+b3~1, start=start, groups=~g,
weights=varPower(form=~D))
  # Estimated and Predicted values:
  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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
  # Calculation 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$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-6-1)
  R2adj[i] <- R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  # Calculation of RMSE, Bias, MAPE% each time:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$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%:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# Output of model:
summary(Max_like)
2) Ước lượng các tham số mô hình với toàn bộ dữ liệu, vẽ đồ thị
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Import data
t_eq <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Modeling
start = c(-2.12, 2.39, 1.10, -0.008, -0.023)
names(start) <- c("a", "b", "d", "b2", "b3")
Max_like <- nlme(AGB ~ a*D^b*WD^d* exp( b2* (Rain_annual - 1502) + b3*(BA -
12.62) ), data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b+d+b2+b3~1, start=start, groups=~g,
weights=varPower(form=~D))
# Estimated and Predicted values:
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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
# Output of model:
summary(Max_like)

```

```

# Plot of Observed/Fitted
p1 <- ggplot(t_eq)
p1 <- p1 + geom_point(aes(y=Max_like.fit, x=AGB), cex = 2)
p1 <- p1 + geom_abline(intercept = 0, slope = 1, col="black", cex=1.5)
p1 <- p1 + xlab("AGB quan sát (kg)") + ylab("AGB ước tính qua mô hình (kg)") +
  theme_bw()
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(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 = p1 + ylim(0,1500)
p1 = p1 + xlim(0,1500)
p1
# Plot of Weighted Residuals / Fitted
p2 <- ggplot(t_eq)
p2 <- p2 + geom_point(aes(x=Max_like.fit, y=Max_like.res.weigh), cex = 2)
p2 <- p2 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=Max_like.fit, y=0))
p2 <- p2 + xlab("AGB ước tính qua mô hình (kg)") + ylab("Sai số cso trọng số (kg)") +
  theme_bw()
p2 <- p2 + labs(title = "")
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 + ylim(-0.05, 0.05)
p2 = p2 + xlim(0,1500)
p2
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)
# The end

```

Sử dụng mô hình dưới đây để ước tính *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp trong đó có sự tham gia điều chỉnh để tăng độ tin cậy ước tính *AGB* của hai nhân tố sinh thái môi trường rừng là lượng mưa trung bình năm (P , mm/năm) và tổng tiết diện ngang lâm phần (BA , m²/ha)

$$AGB = 0,127751 \times D^{2,460833} \times WD^{0,978793} \times \exp(-0,000645 \times (P - 1.502) - 0,008556 \times (BA - 12,62)) \quad (3.17)$$

3.6.1.8 Kỹ thuật thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo SUR

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy thiết lập hệ thống đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và *AGB* theo phương pháp Seemingly Unrelated Regression – SUR đã xem xét mối quan hệ qua lại giữa các thành phần sinh khối cây rừng, do đó đã cải thiện độ tin cậy của ước lượng tổng sinh khối cây trên mặt đất *AGB* so với phương pháp thiết lập rời rạc, độc lập các mô hình sinh khối bộ phận và tổng *AGB*.

Sử dụng hệ thống mô hình sau đây để ước tính đồng thời sinh khối cây rừng khớp theo SUR và theo hệ thống phân loại thực vật:

Đối với chung các loài và họ dầu chiếm ưu thế Dipterocarpaceae:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.18)$$

Đối với chi thực vật ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea*:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.19)$$

Các tham số của hệ thống các mô hình này được trình bày trong Bảng 3.7

Sau đây là codes để lập để thực hiện hệ thống mô hình này trong SAS

Codes để thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối theo SUR và thẩm định chéo K-Fold chạy trong phần mềm SAS

Hệ thống mô hình chung các loài rừng khớp:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$$

1) Thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình theo SUR

```
dm'log;clear;output;clear';
```

```
options pageno=1 nodate nocenter;
```

```
/* Create a path to the folder to get input file and write the output to */
```

```
%let infile_path = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts for SUR\;
```

```

%let outfile_path = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts for
SUR\;
/* Ensure no dataset exists globally with name we will append TBwts results to */
proc datasets library = work nodetails nolist;
  delete B_AGB;
run;
quit;
/* Code to load 10 random datasets for DF and EBLF -- datasets generated from script
Generate_Random_200_datasets */
data B;
  infile "&infile_path.Mix2.csv" dlm=',' firstobs=2 dsd trunccover;
  input Selected Plot_ID$ ID$ Tree_ID$ FT$ D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB D2H
D2HWD simNum;
  keep Selected D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB D2H D2HWD simNum;
run;
/* Repeat model fitting and validation statistic calculation 200 times */
%macro runit_var1(eq_num=);
/* Step 1: Subset testing (validation) and training data (model fitting) */
data B_train; set B;
  if Selected = 1;
run;
data B_test; set B;
  if Selected = 0;
run;
/* Step 2: Fit sur weighted nls models:
proc model data=B_train NOPRINT;
  by simNum;
  parms a1=0.032 b11=2.305 b12=0.506 b13=0.796
        a2=0.007 b21=2.846
        a3=0.019 b31=1.884
        a4=0.039 b41=2.216;
  Bst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  h.Bst = 1/D;
  Bbr = a2*(D**b21);
  h.Bbr = 1/D**-1;
  Ble = a3*(D**b31);
  h.Ble = 1/D**2;
  Bba = a4*(D**b41);
  h.Bba = 1/D**-2;
  AGB = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21) + a3*(D**b31) +
a4*(D**b41);

```

```

h.AGB = 1/D**-1;
fit Bst Bbr Ble Bba AGB / sur outest = B_est
run;
/* Step 3.1: Calculate summary statistics for each for each estimate */
data B_Pred; merge B_test B_est;
  by simNum;
  pBst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  pBbr = a2*(D**b21);
  pBle = a3*(D**b31);
  pBba = a4*(D**b41);
  pAGB = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21)+ a3*(D**b31) +
a4*(D**b41);
  RelDif_Bst = (Bst - pBst)/Bst;
  RelDif_Bbr = (Bbr - pBbr)/Bbr;
  RelDif_Ble = (Ble - pBle)/Ble;
  RelDif_Bba = (Bba - pBba)/Bba;
  RelDif_AGB = (AGB - pAGB)/AGB;
  AbsRelDif_Bst = abs(Bst - pBst)/Bst;
  AbsRelDif_Bbr = abs(Bbr - pBbr)/Bbr;
  AbsRelDif_Ble = abs(Ble - pBle)/Ble;
  AbsRelDif_Bba = abs(Bba - pBba)/Bba;
  AbsRelDif_AGB = abs(AGB - pAGB)/AGB;
  RelDif2_Bst = RelDif_Bst**2;
  RelDif2_Bbr = RelDif_Bbr**2;
  RelDif2_Ble = RelDif_Ble**2;
  RelDif2_Bba = RelDif_Bba**2;
  RelDif2_AGB = RelDif_AGB**2;
run;
/* Step 3.2: aggregate summary statistics to a per simulation level */
proc summary data = B_Pred mean NOPRINT;
  by simNum;
  var RelDif_Bst RelDif_Bbr RelDif_Ble RelDif_Bba RelDif_AGB
      AbsRelDif_Bst AbsRelDif_Bbr AbsRelDif_Ble AbsRelDif_Bba AbsRelDif_AGB
      RelDif2_Bst RelDif2_Bbr RelDif2_Ble RelDif2_Bba RelDif2_AGB;
  output out = B_Results
      mean = pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
      mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
      mspe_Bst mspe_Bbr mspe_Ble mspe_Bba mspe_AGB;
run;
/* Step 3.3: get rmspe -- couldn't figure out how to get it in the proc summary/ proc
means step */

```

```

data B_Results; set B_Results;
  by simNum;
  rmspe_Bst = sqrt(mspe_Bst);
  rmspe_Bbr = sqrt(mspe_Bbr);
  rmspe_Ble = sqrt(mspe_Ble);
  rmspe_Bba = sqrt(mspe_Bba);
  rmspe_AGB = sqrt(mspe_AGB);
run;
/* Step 3.4: take mean of Pbias/MAPE/RMSPE across 10 simulations */
proc summary data = B_Results mean NOPRINT;
  var pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
      mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
      rmspe_Bst rmspe_Bbr rmspe_Ble rmspe_Bba rmspe_AGB;
  output out = B_Results
      mean = pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
            mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
            rmspe_Bst rmspe_Bbr rmspe_Ble rmspe_Bba rmspe_AGB
      nmiss(pbias_AGB) = N_conv;
run;
/* Step 3.5: multiply results by 100 for percentage */
data B_Results; set B_Results;
  pbias_Bst = pbias_Bst *100;
  mape_Bst = mape_Bst *100;
  rmspe_Bst = rmspe_Bst *100;
  pbias_Bbr = pbias_Bbr *100;
  mape_Bbr = mape_Bbr *100;
  rmspe_Bbr = rmspe_Bbr *100;
  pbias_Ble = pbias_Ble *100;
  mape_Ble = mape_Ble *100;
  rmspe_Ble = rmspe_Ble *100;
  pbias_Bba = pbias_Bba *100;
  mape_Bba = mape_Bba *100;
  rmspe_Bba = rmspe_Bba *100;
  pbias_AGB = pbias_AGB *100;
  mape_AGB = mape_AGB *100;
  rmspe_AGB = rmspe_AGB *100;
run;
/* Step 4: create name column in dataset */
data B_Results; set B_Results;
  fname = "&eq_num.";
run;

```

```

/* Step 5: Export results as .csv file */
proc append base= B_AGB data= B_Results FORCE;
run;
%mend runit_var1;
%runit_var1(eq_num=e1);
/* AGB: Export results as .csv file*/
proc export data   = B_AGB
      outfile = "&outfile_path.B_AGB.csv";
run;
2) Ước lượng các tham số theo SUR với toàn bộ dữ liệu
dm'log;clear;output;clear';
options pageno=1 nodate nocenter;
/* Create a path to the folder where *.csv data is stored */
%let infile_path  = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts for
SUR\;
data AllData;
  infile "&infile_path.Mixed.csv" dlm=',' firstobs=2 dsd trunccover;
  input Plot_ID$ ID$ Tree_ID$ FT$ D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB D2H D2HWD;
run;
proc model data=AllData;
  parms a1=0.032 b11=2.305 b12=0.506 b13=0.796
        a2=0.007 b21=2.846
        a3=0.019 b31=1.884
        a4=0.039 b41=2.216;
  Bst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  h.Bst = 1/D;
  Bbr = a2*(D**b21);
  h.Bbr = 1/D**-1;
  Ble = a3*(D**b31);
  h.Ble = 1/D**2;
  Bba = a4*(D**b41);
  h.Bba = 1/D**-2;
  AGB  = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21) + a3*(D**b31) +
a4*(D**b41);
  h.AGB = 1/D**-1;
  fit Bst Bbr Ble Bba AGB / sur outest = AllData_est;
run;
quit;
proc print data = AllData_est;
run;
*/ The end */

```

3.6.2 Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối để ước tính carbon tích lũy và CO₂ tương đương cho lâm phần

Vì bể chứa carbon trong cây gỗ trên mặt đất là quan trọng nhất trong 5 bể chứa carbon rừng (IPCC, 2006), do đó cần tập trung thiết lập các mô hình ước tính sinh khối cho cây rừng. Trên cơ sở hệ thống mô hình sinh khối đã thiết lập, tiến hành điều tra rừng trên hệ thống ô mẫu để xác định lượng carbon và tính toán phát thải/hấp thụ CO₂ tương đương của khu rừng. Gồm các bước sau (Bảo Huy 2017a):

i) *Xác định diện tích rừng vùng khảo sát:* Thu thập bản đồ hiện trạng rừng hiện có, nếu chưa có thì cần tiến hành, tốt nhất là thiết lập từ ảnh viễn thám thích hợp với nguồn lực. Từ đây có được bản đồ và diện tích rừng, diện tích các trạng thái rừng cần thu thập dữ liệu sinh khối, carbon.

ii) *Bố trí hệ thống ô mẫu:* Xác định hình dạng, kích thước, số lượng ô mẫu ứng sai số cho trước trong ước tính sinh khối và carbon rừng là 10% (IPCC, 2006) và bố trí ô mẫu thống nhất bao gồm: Ngẫu nhiên, hệ thống, theo cụm hoặc điển hình; trong đó bố trí ô mẫu ngẫu nhiên là khách quan nhất.

iii) *Thu thập số liệu trên ô mẫu theo các biến số đầu vào của các mô hình sinh khối lựa chọn sử dụng:*

Tùy theo mô hình sinh khối sử dụng có biến số đầu vào nào mà chọn biến số đo tính trong ô mẫu cho phù hợp. Thông thường trong ô mẫu cần đo các biến số phổ biến D , H , 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) 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 trong ứng dụng các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây gỗ ở Việt Nam khi chưa có đầy đủ dữ liệu WD cho tất cả các loài cây gỗ.

Đối với chung các loài rừng khộp, hệ thống mô hình sinh khối theo SUR:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = 0,02055 \times D^{2,35241} \times H^{0,59142} \times WD^{0,69609} + 0,00669 \times D^{2,85742} + 0,03701 \times D^{1,68095} + 0,01541 \times D^{2,43959} \quad (3.20)$$

Trường hợp sử dụng mô hình ước tính đồng thời sinh khối chung cho các loài cây rừng khộp thì trong ô mẫu cần đo D , H và mỗi loài xác định WD theo một trong các nguồn đã dẫn trên.

Đối với chi *Dipterocarpus*, hệ thống mô hình sinh khối theo SUR:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = 0,01831 \times D^{2,76361} + 0,00481 \times D^{2,96217} + 0,08921 \times D^{1,43840} + 0,00116 \times D^{3,19340} \quad (3.21)$$

Đối với chi *Shorea*, hệ thống mô hình sinh khối theo SUR:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = 0,03925 \times D^{2,47118} + 0,02130 \times D^{2,49004} + 0,05119 \times D^{1,50629} + 0,31967 \times D^{1,47380} \quad (3.22)$$

Trường hợp sử dụng hệ thống mô hình sinh khối đồng thời theo SUR cho từng chi ưu thế, thì cần xác định loài thuộc chi nào và chỉ đo D .

Trường hợp muốn tăng độ tin cậy trong ước tính AGB chung các loài rừng khộp, sử dụng mô hình điều chỉnh ước tính sinh khối theo các nhân tố sinh thái môi trường, kết quả ở rừng khộp cho mô hình có hai nhân tố ảnh hưởng là P và BA như sau:

$$AGB = 0,127751 \times D^{2,460833} \times WD^{0,978793} \times \exp(-0,000645 \times (P - 1.502) - 0,008556 \times (BA - 12,62)) \quad (3.23)$$

Lúc này trong ô chỉ đo D , sau đó suy ra BA , chỉ tiêu P được lấy từ một trạm khí tượng thủy văn gần nhất và phù hợp.

iv) *Sử dụng các mô hình để ước tính sinh khối và suy ra carbon cho lâm phần:*

Từ số liệu điều tra trong hệ thống ô mẫu, sử dụng hệ thống các mô hình sinh khối nói trên để 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. 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:

$$\text{Carbon} = 0,47 \times \text{Sinh khối (IPCC, 2006, Bảo Huy, 2013b)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ tương đương} = 3,67 \times \text{Carbon}$$

v) *Tính toán thay đổi trữ lượng carbon theo một trong hai phương pháp của IPCC (2006):*

- Phương pháp thay đổi bể chứa carbon (Stock difference method): Trong trường hợp này dựa vào 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:

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (3.24)$$

- 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:

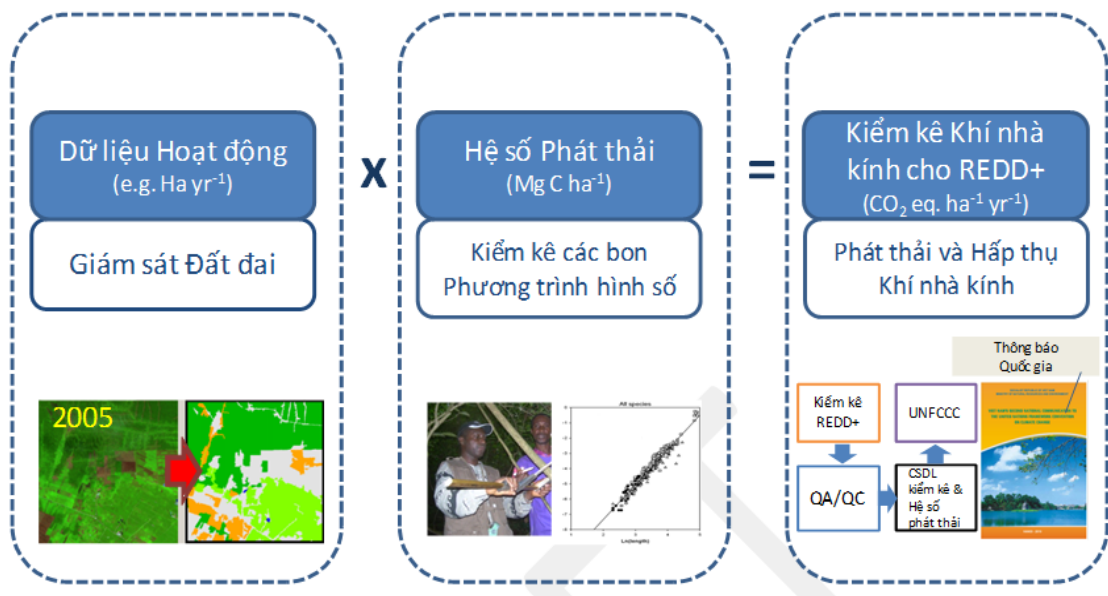
$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (3.25)$$

Trong đó:

- ΔC_B : Thay đổi sinh khối, carbon rừng
- C_{ti} : 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 mặt đất của cây gỗ cho từng loại trạng thái rừng, chúng cần được tính toán qua các hàm sinh khối (allometric equations). 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 (IPCC, 2006) (Hình 3.9).



Hình 3.9. Tiếp cận của IPCC (2006) để tính toán phát thải/hấp thụ khí nhà kính trong lâm nghiệp

CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN, TỒN TẠI VÀ KIẾN NGHỊ

4.1 Kết luận

i) *Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng.*

Đối với hàm sinh khối dạng hàm mũ (Power), ước lượng mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Non-Linear Model fit by Maximum Likelihood) có độ tin cậy tốt hơn phương pháp truyền thống là tuyến hóa thông qua logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số.

Phương pháp thẩm định chéo K-Fold với $K = 10$ cung cấp sai số khách quan và ổn định của các mô hình sinh khối.

ii) *Hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khớp theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập.*

Sử dụng ước lượng mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Non-Linear Fixed Model fit by Maximum Likelihood) đã thiết lập, thẩm định chéo K-Fold và lựa chọn được các dạng hệ thống mô hình sinh khối độc lập theo hệ thống phân loại thực vật rừng khớp:

Đối với mô hình chung các loài rừng khớp và họ ưu thế Dipterocarpaceae, hệ thống mô hình độc lập bao gồm: $Bst = a \times D^b \times H^c \times WD^d$, $Bbr = a \times D^b$, $Ble = a \times D^b$, $Bba = a \times D^b$ và $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$

Đối với hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* và *Shorea* và bốn loài ưu thế là *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall., *Shorea siamensis* Miq. thì hệ thống mô hình độc lập chỉ có một biến D bao gồm: $Bst = a \times D^b$, $Bbr = a \times D^b$, $Ble = a \times D^b$, $Bba = a \times D^b$ và $AGB = a \times D^b$.

iii) Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập.

Hệ thống mô hình ước tính các sinh khối thành phần *Bst*, *Bbr*, *Ble*, *Bba* và AGB đồng thời theo phương pháp SUR trong rừng khộp có độ tin cậy cao hơn đáng kể so với các mô hình được phát triển riêng biệt, độc lập như truyền thống. Các dạng của hệ thống mô hình ước tính đồng thời AGB và các thành phần của nó được thiết lập và lựa chọn theo phân cấp phân loại thực vật rừng khộp và cụ thể như sau:

Đối với chung loài và họ chiếm ưu thế Dipterocarpaceae:

$$AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$$

Đối với chi thực vật ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea*:

$$AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba) = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$$

iv) Ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần đến mô hình ước tính AGB cây rừng khộp

Xét từng nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần riêng lẻ không cho thấy sự ảnh hưởng của nó lên mô hình sinh khối AGB chung các loài rừng khộp.

Với dạng mô hình $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$, trong đó AGB được điều chỉnh theo các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần đã cải thiện rõ rệt so với mô hình AGB không có sự tham gia của các nhân tố này. Lựa chọn được mô hình ước tính AGB với sự tham gia của hai nhân tố là: $AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$

v) Mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới hay cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

Mô hình AGB chung các loài rừng khộp với ba biến số đầu vào *D*, *H* và *WD* có thể sử dụng chung theo vùng nhiệt đới. Trong khi đó mô hình AGB

chung loài theo từng vùng sinh thái cụ thể không chuyển giao tốt cho các vùng sinh thái khác cho dù cùng kiểu rừng.

Các mô hình *AGB* theo chi thực vật ưu thế rừng khộp có ứng dụng tốt ở các vùng sinh thái khác nhau. Các mô hình *AGB* lập theo chi thực vật sẽ cải thiện độ tin cậy so với các mô hình *AGB* chung loài vùng nhiệt đới. Đồng thời các mô hình theo chi thực vật này cũng sẽ giảm chi phí trong ứng dụng vì chỉ cần đo lường một biến *D*.

vi) *Các kết quả nghiên cứu có thể dùng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng ở nơi khác và ứng dụng trong ước tính sinh khối carbon rừng khộp trong các chương trình dự án REDD⁺ khu vực và quốc gia.*

4.2 Tồn tại

Nghiên cứu này có một số tồn tại sau đây:

i) Chỉ mới thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cho một họ đầu *Dipterocarpaceae* và hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea*. Trong khi đó rừng khộp còn có một số họ và chi quan trọng khác

ii) Dữ liệu sinh khối rừng khộp thu thập chỉ mới tập trung ở tỉnh Đắk Lắk và một phần ở Bình Thuận. Trong khi đó rừng khộp còn có phân bố ở tỉnh Gia Lai.

iii) Chưa thẩm định chéo để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp ở Việt Nam được thiết lập trong nghiên cứu này ở các vùng rừng khộp khác trong vùng nhiệt đới.

4.3 Kiến nghị

Từ những tồn tại, có các kiến nghị:

1) Cần có những nghiên cứu tiếp theo để bổ sung dung lượng lấy mẫu sinh khối ở nhiều loài, chi, họ thực vật khác nhau của rừng khộp, và ở các địa

phương khác như ở tỉnh Gia lai, Bình Thuận để tăng độ chính xác của ước tính sinh khối cho rừng khộp Việt Nam.

2) Cần bổ sung kiểm nghiệm và thiết lập các mô hình sinh khối theo nhiều nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần khác để tăng độ tin cậy, giảm sai số.

3) Thẩm định chéo để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp được thiết lập và đề xuất trong nghiên cứu này ở các vùng sinh thái khác ở Việt Nam và trong vùng nhiệt đới

4) Sử dụng cơ sở khoa học của luận án này để lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng cho các đối tượng rừng khác.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Bao Huy, **Nguyễn Thị Tình**, Poudel, K.P., Frank, B.M., Temesgen, H. 2019. Taxon-specific modeling systems for improving reliability of tree aboveground biomass and its components estimates in tropical dry dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 437(2019): 156-174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.038>. ISI (SCI), IF = 3.601
2. **Nguyễn Thị Tình**, Bảo Huy, Triệu Thị Lăng, Trần Đức Thao 2019. Thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất chi *Dipterocarpus* của rừng khộp Việt Nam. *Tạp chí Khoa học, trường Đại học Tây Nguyên*, số 37 (2019): 51-65.
3. **Nguyễn Thị Tình**, Bảo Huy. 2020. Mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp được điều chỉnh theo các nhân tố sinh thái và môi trường rừng. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam*, số 4(2020): 79- 89.

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. Trần Văn Con, 1991. Khả năng ứng dụng mô phỏng toán để nghiên cứu một vài đặc trưng cấu trúc và động thái của hệ sinh thái rừng Khộp Tây Nguyên. Luận án TS. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
3. Trần Văn Con, 2000. Nghiên cứu bổ sung nhằm xác định một số loài cây trồng chính phục vụ trồng rừng sản xuất vùng bắc Tây Nguyên. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
4. Võ Đại Hải, 2009. Nghiên cứu khả năng hấp thụ carbon của rừng trồng Bạch đàn *Urophylla* ở Việt Nam. Tạp chí NN & PTNT, số 1(2009): 102-106.
5. 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 rừng lá ở Tây Nguyên. Báo cáo khoa học đề tài nghiên cứu khoa học Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
6. 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.
7. Bảo Huy, 2013. 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, Hà Nội, 370 pp.
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. Bảo Huy, 2017a. 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, 238 trang.

10. Bảo Huy, 2017b. Tin học thống kê trong lâm nghiệp. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 282 trang.

11. 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).

12. Đỗ Đình Sâm, 1986. Những điều kiện lập địa chủ yếu và sự hình thành phát triển rừng Khộp ở Tây Nguyên. Báo cáo khoa học, Viện KHLN Việt Nam.

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. Phạm Công Trí, 2018. Xác định lập địa, trạng thái thích hợp và kỹ thuật làm giàu rừng khộp bằng cây tểch (*Tectona grandis* L.f.) ở tỉnh Đắk Lắk. Luận án TS Khoa học Lâm nghiệp, trường Đại học Nông Lâm Tp. HCM

15. Thái Văn Trùng, 1978. Thảm thực vật rừng Việt Nam. Nxb. Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 276 trang.

Tiếng Anh

16. Affleck, D.L.R. and Dieguez-Aranda U., 2016. Additive Nonlinear Biomass Equations: A Likelihood-Based Approach. For. Sci. 62(2):129–140.

17. Appanah S., 1998. Management of Natural Forests. In: (eds) Appanah S, Turnbull JM. 1998. A Review of Dipterocarp: Taxonomy, ecology and silviculture. Center for International Forestry Research (CIFOR). ISBN 979-8764-20-X. p130-149.
18. Appanah, S., Turnbull, JM., 1998. A Review of Dipterocarp: Taxonomy, ecology and silviculture. Center for International Forestry Research (CIFOR). ISBN 979-8764-20-X, 220 pp.
19. Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in the tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257, 1684-1694. DOI 10.1016/j.foreco.2009.01.027
20. Bates, D.M., 2010. lme4: Mixed-effects modeling with R. Springer, 131 pp.
21. Brown, S. and Iverson, L. R., 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resources Review* 4:366-384.
22. Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer. FAO Forestry paper. 134 pp. ISBN 92-5-103955-0. Available at: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#Contents>.
23. Brown, S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 3(116): 363–372.
24. Brown, S., Gillespie A.J.R., and Lugo, A.E., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35:881-902.
25. Brown, S., Iverson, L.R., Prasad, A., 2001. Geographical Distribution of Biomass Carbon in Tropical Southeast Asian Forests: A database. ORNL/CDIAC-119, NDP-068. Carbon Dioxide Information

Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, TN, USA. 75 pp. doi: 10.3334/CDIAC/lue.ndp068.

26. 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(2003): 125-132.

27. Chapman, H.H., 1921. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons, Incorporated, New York, 553 pp.

28. 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.

29. 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.

30. Chave, J., Muller-Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H., Webb, C.O., 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications* 16, 2356–2367.

31. Chave, J.; Coomes, D.; Jansen, S.; Lewis, S.L.; Swenson, N.G.; Zanne A.E. 2009. Towards a worldwide wood economic spectrum. *Ecology Letters* 12: 351-366. DOI 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.
32. Davidian, M. and Giltinan, D.M., 1995. *Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measurement Data*, Chapman and Hall. 356 pp.
33. 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>.
34. Dutcă, I., Mather, R., Ioraş, F., 2020. Sampling trees to develop allometric biomass models: How does tree selection affect model prediction accuracy and precision?. *Ecological Indicators* 117 (2020): 106553, 1-12 pp
35. Erskine, P., and Huy, B. 2003. Forest rehabilitation mission for Yok Don National Park. Research report. IUCN, Ha Noi, 75 pp.
36. FAO, 2010. Managing forests for climate change. I1960E/1/11.10. <http://www.fao.org/forestry>, 20 pp.
37. 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).
38. 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, 196 pp.

39. Hai, V.D., Do, T.V., Trieu, D.T., Sato, T., Kozan, O., 2015. Carbon Stocks in Tropical Evergreen Broadleaf Forests in Central Highland, Vietnam. *International Forestry Review*, 17(1): 20-29
40. Hanpattanakit, P., Chidthaisong, A., Sanwangsri, M., Lichaikul, N. 2016. Improving Allometric Equations to Estimate Biomass and Carbon in Secondary Dry Dipterocarp Forest. Singapore SG Mar 03-04, 2016, 18 (3) Part I
41. 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.
42. Henry, M., Jara, M.C., Réjou-Méchain, M., Piotta, 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.
43. Hertel, D., Moser, G., Culmsee, H., Erasmi, S., Horna, V., Schuldt, S.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. *Forest Ecology and Management* 258(9): 1904 – 1912. DOI 10.1016/j.foreco.2009.07.019.

44. 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. *Int. J. Climatol.* 25, 1965–1978
45. 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.
46. Huy, B., Anh, P.T., 2008. Estimating CO₂ sequestration in natural broad-leaved evergreen forests in Vietnam. *Asia-Pacific Agroforestry Newsletter – APANews*, FAO, SEANAFE; No.32(2008):7-10, ISSN 0859-9742, pp
47. Huy, B., Hung, V., Nguyen, T.T.H., 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.
48. 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. *Forest Ecology and Management* 382(2016): 193-205
49. 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.

50. 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.
51. Huy, B., Tri, P.C., Triet, T., 2018. Assessment of enrichment planting of teak (*Tectona grandis*) in degraded dry dipterocarp forest in the Central Highlands, Vietnam. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 80:1, 75-84, DOI: 10.2989/20702620.2017.1286560
52. Huy, B.; Thanh, G.T.; Poudel, K.P.; Temesgen, H., 2019. Individual Plant Allometric Equations for Estimating Aboveground Biomass and Its Components for a Common Bamboo Species (*Bambusa procera* A. Chev. and A. Camus) in Tropical Forests. *Forests* 2019, 10, 316. DOI:10.3390/f10040316
53. IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 590 pp.
54. IPCC, 2006. Forest Land. Chapter 4. In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., (eds): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. 83 pp.
55. IUCN, 2007. Forest and livelihoods. Reducing emissions from deforestation and ecosystem degradation (REDD). Climate change briefing, 2 pp.
56. 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.

57. Jayaraman, K., 1999. A Statistical Manual for Forestry Research. FAO, 231 pp.

58. 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.

59. 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.

60. Johannes, D., Shem, K. 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. CIFOR.

61. 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

62. Khamyong, N., Wangpakapattanawong, P., Chairuangsi, S., Inta, A., and Tiansawat, P. 2018. Tree Species Composition and Height-diameter Allometry of Three Forest Types in Northern Thailand. *CMU J. Nat. Sci.* 17(4): 289 - 306

63. Kohavi, R. 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. The International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1995. <http://robotics.stanford.edu/~ronnyk>

64. 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.
65. Laumonier, Y., Edin, Andreas., Kanninen, M., Munandar, A.W. 2010. Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: Implications for carbon stock assessments. *Forest Ecology and Management*, 259(3): 505-513.
66. Lessard, V.C., McRoberts, R.E., and Holdaway, M.R. 2001. Diameter Growth Models Using Minnesota Forest Inventory and Analysis Data. *Forest Science* 47(3): 301-310
67. MacDicken, K.G., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, 84 pp.
68. Matthew, N.K., Shuib, A., Muhammad, I., Eusop, M.E.M., Ramachandran, S., Afandi, S.H.M., Samdin, Z., 2018. Carbon stock and sequestration valuation in a mixed dipterocarp forest of Malaysia. *Sains Malaysiana* 47 (3), 447–455. Available on-line: <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2018-4703-04>.
69. Maury-Lechon, G., Curtet, L. 1998. Biogeography and evolutionary systematics of Dipterocarpaceae. In: Appanah S, Turnbull JM (eds), A review of dipterocarps: taxonomy, ecology and silviculture. Bogor: Center for International Forestry Research. pp 5–44
70. Mayer, D.G., Butler, D.G., 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling*, 68, 21-32.
71. 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.

72. 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).

73. Nam, V.T., Kuijk, M.V., Anten, N.P.R., 2016. Allometric Equations for Aboveground and Belowground Biomass Estimations in an Evergreen Forest in Vietnam. Plos one. DOI:10.1371/journal.pone.0156827

74. Nam, V.N., Vinh, T.V. 2016. Carbon monitoring of mangrove in Dat Mui protection forest, Ngoc Hien district, Ca Mau province, Viet Nam. Journal of Agricultural Science and Technology, 6(2016): 30-40.

75. 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. For. Ecol. Manag. 1999, 177, 149–167.

76. Niiyama, K., Kajimoto, T., Matsuura, Y., Yamashita, T., Matsuo, N., Yashiro, Y., Ripin, A., Kassim, A.R., and 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 (2010): 271-284.

77. Omar, H., Chuah, N.M.J., Parlan, I., Samah, A.K.A., Musa, S. 2015. Assessing Carbon Pools in Dipterocarp Forests of Peninsular Malaysia. J. Trop. Resour. Sustain. Sci. 3 (2015): 214-221.

78. Panda, M.R., Oraon, P.R., and Tirkey, P. 2020. Distribution of woody biomass reserves in tropical dry Sal (*Shorea robusta* Roth.) forests of Ranchi. The Pharma Innovation Journal 2020; 9(6): 477-482

79. Parresol, B.R. 1999. Assessing Tree and Stand Biomass: A Review with Examples and Critical Comparisons. *Forest Science* 45(4): 573-593
80. Parresol, B.R., 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Can. J. For. Res.* 31(5), 865–878
81. 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), 6 pp.
82. 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, 42 pp.
83. 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.
84. 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.
85. 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
86. 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.
87. Poudel, K.P., Temesgen, H. 2016. Methods for estimating aboveground biomass and its components for Douglas-fir and lodgepole pine trees. *Can. J. For. Res.* 46: 77–87; dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0256

88. Rundel, P.W., Boonpragob, K., Patterson, M. 2017. Seasonal Water Relations and Leaf Temperature in a Deciduous Dipterocarp Forest in Northeastern Thailand. *Forests* 2017, 8, 368: 1-13; doi:10.3390/f8100368.
89. Rutishauser, E., Noor'an, F. Laumonier, Y., Halperin, J., Rufi'ie, Hergoualc'h, K., Verchot, L. 2013. Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia. *Forest Ecology and Management* 307 (2013) 219–225.
90. Sanquetta, C.R., Behling, A., Corte, A.P.D., Netto, S.P., Schikowski, A.B. 2015. Simultaneous estimation as alternative to independent modeling of tree biomass. *Annals of Forest Science*, 72 (8):1099-1112.
91. SAS Institute Inc. 2014. SAS/ETS® 13.2 User's Guide. Chapter 19: The MODEL Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 1067-1373.
92. Skutsch, M.M., Patrick E. van Laake, Zahabu, E.M., Karky, B.S., and Phartiyal, P., 2009. Community monitoring in REDD+. In *Realizing REDD+*, Angelsen, A., (Ed.). CIFOR, pp. 101 – 112.
93. Snowdon, P., 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. Greenhouse Office, Australian, 65 pp.
94. 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.
95. 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.
96. 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 Center for Integrated Mountain Development (ICIMOD). 69 pp.

97. 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.

98. 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

99. 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.

100. 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

101. 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, 46 pp.

102. UN-REDD, 2011. Measurement, Reporting & Verification (MRV) Framework Document. UN-REDD Viet Nam Programme, 50 pp.

103. Wickham, H. & Chang, W. 2013. Package ‘ggplot2’: an implementation of the Grammar of Graphics.

104. Wohlfart, C., Wegmann, M., and Leimgruber, P. 2014. Mapping threatened dry deciduous dipterocarp forest in South-east Asia for conservation management. *Tropical Conservation Science* Vol.7 (4):597-613, 2014.
105. Zhang, L., 1997. Cross – validation of Non-linear growth functions for modelling tree height-diameter relationships. *Annals of Botany* 79 (1997): 251-257
106. 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: 10.1111/j.1365-2486.2012.02747.x

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Codes thực hiện trong R để thẩm định chéo theo phương pháp LOOCV mô hình: $AGB = a \times D^2 HWD^b$

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/LA Tinh/Data")
# Import data
t <- read.table("3. Tree data Final.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors =
FALSE)
# Combination of variables:
t$D2HWD = (t$D/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$D), labels=FALSE)
Bias = rep(0, length(t$D))
RMSE = rep(0, length(t$D))
MAPE = rep(0, length(t$D))
# Perform LOOCV cross validation:  $AGB = a \times D^2 HWD^b$ 
for(i in 1:length(t$D)){
  # Segement the data by fold using the which() function
  testIndexes <- which(folds==i, arr.ind=TRUE)
  t_va <- t[testIndexes, ]
  t_eq <- t[-testIndexes, ]
  # Modelling  $AGB = a \times D^2 HWD^b$ 
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1]<-exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*D2HWD^b, data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b~1,
```

```

start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~D2HWD))
# 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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D2HWD^k
# Prediction and Errors
t_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(t_va,g="a"))
Bias[i] <- 100*mean((t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)
RMSE[i] <- 100*sqrt(mean(((t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)^2))
MAPE[i] <- 100*mean(abs(t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)
}
i
# Errors:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# The end

```

Phụ lục 2: Codes thực hiện trong R để thẩm định chéo theo phương pháp K-Kold ($K = 10$) cho mô hình: $AGB = a \times (D2HWD)^b$

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory
setwd("E:/LA Tinh/Data")
# Import data
t <- read.table("3. Tree data Final.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors =
FALSE)
# Combination of variables:
t$D2HWD = (t$D/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 10 equally size folds
folds <- cut(seq(1,nrow(t)), breaks=10, labels=FALSE)
Bias = rep(0, 10)
RMSE = rep(0, 10)
MAPE = rep(0, 10)
# Perform 10 fold cross validation: Model  $AGB = a \cdot D^b$ 
for(i in 1:10){
  # Segement the data by fold using the which() function
  testIndexes <- which(folds==i, arr.ind=TRUE)
  t_va <- t[testIndexes, ]
  t_eq <- t[-testIndexes, ]
  # Modelling
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1] <- exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*D2HWD^b, data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~D2HWD))
```

```

# 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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D2HWD^k
# Prediction and Errors
t_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(t_va,g="a"))
Bias[i] <- 100*mean((t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)
RMSE[i] <- 100*sqrt(mean((((t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)^2))
MAPE[i] <- 100*mean(abs(t_va$AGB - t_va$Pred)/t_va$AGB)
}
i
# Errors:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# The end

```

Phụ lục 3: Codes thực hiện trong R để thẩm định chéo theo phương pháp Monte Carlo với $R = 200$ lần lặp cho mô hình: $AGB = a \times (D2HWD)^b$

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("E:/LA Tinh/Data")
# Import data:
t <- read.table("1.2. t all with classes.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)
# Monte Carlo: Repeat 200
RMSE = rep(0, 200)
Bias = rep(0, 200)
MAPE = rep(0, 200)
# Modelling ( Each time: Monte Carlo with 80 dataset for development of equation 20% for validation)
for(i in 1:200){
  t_eq <- t[sample(nrow(t), length(t$D)*0.8), ]
  n_va <- t[!t$ID %in% t_eq$ID, ]
  start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D2HWD), data=t_eq))
  names(start) <- c("a", "b")
  start[1] <- exp(start[1])
  Max_like <- nlme(AGB~a*D2HWD^b, data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b~1,
start=start, groups=~g, weights=varPower(form=~D2HWD))
# Estimated values:
k <- summary(Max_like)$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$A^k
# Prediction of the model for validation
```

```
n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
# Calcul of RMSE, Bias, MAPE% each time:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$D - n_va$Pred)/n_va$D)
  RMSE[i] = 100*sqrt(mean(((n_va$D - n_va$Pred)/n_va$D)^2))
  MAPE[i] = 100*mean(abs(n_va$D - n_va$Pred)/n_va$D)
}
i
# Errors:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# The end
```

Phụ lục 4: Chương trình codes để thiết lập và thẩm định chéo K-Fold đồng thời hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo phương pháp SUR chạy trong phần mềm SAS

```

/* Seemingly Unrelated Regression for Model System of AGB = Bst + Bbr + Ble
+ Bba */ Using K-Fold cross validation

dm'log;clear;output;clear';
options pageno=1 nodate nocenter;

/* Create a path to the folder to get input file and write the output to */
%let infile_path = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts
for SUR\;
%let outfile_path = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts
for SUR\;

/* Ensure no dataset exists globally with name we will append TBwts results to */
proc datasets library = work nodetails nolist;
  delete B_AGB;
run;
quit;

/* Code to load 10 random datasets for DF and EBLF -- datasets generated from
script Generate_Random_200_datasets */
data B;
  infile "&infile_path.Mix2.csv" dlm=',' firstobs=2 dsd trunccover;
  input Selected Plot_ID$ ID$ Tree_ID$ FT$ D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB
D2H D2HWD simNum;
  keep Selected D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB D2H D2HWD simNum;
run;

/* Repeat model fitting and validation statistic calculation 200 times */
%macro runit_var1(eq_num=);

/* Step 1: Subset testing (validation) and training data (model fitting) */
data B_train; set B;
  if Selected = 1;

```

```

run;

data B_test; set B;
  if Selected = 0;
run;

/* Step 2: Fit sur weighted nls models:
  /* Should change Weight variable) */
  /* Monitor in case it can not run 200 times by simNum in Log window > Run
  agian with different Weight. Finally record the simNum */
  /* Parns based on AGB, BGB model fitting results outside of SUR (coded in
  R)*/
proc model data=B_train NOPRINT;
  by simNum;
  parms a1=0.032 b11=2.305 b12=0.506 b13=0.796
        a2=0.007 b21=2.846
        a3=0.019 b31=1.884
        a4=0.039 b41=2.216;

  Bst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  h.Bst = 1/D;
  Bbr = a2*(D**b21);
  h.Bbr = 1/D**-1;
  Ble = a3*(D**b31);
  h.Ble = 1/D**2;
  Bba = a4*(D**b41);
  h.Bba = 1/D**-2;

  AGB = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21) + a3*(D**b31) +
  a4*(D**b41);
  h.AGB = 1/D**-1;
  fit Bst Bbr Ble Bba AGB / sur outest = B_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 B_Pred; merge B_test B_est;
  by simNum;
  pBst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  pBbr = a2*(D**b21);
  pBle = a3*(D**b31);
  pBba = a4*(D**b41);
  pAGB = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21) + a3*(D**b31) +
a4*(D**b41);

  RelDif_Bst = (Bst - pBst)/Bst;
  RelDif_Bbr = (Bbr - pBbr)/Bbr;
  RelDif_Ble = (Ble - pBle)/Ble;
  RelDif_Bba = (Bba - pBba)/Bba;
  RelDif_AGB = (AGB - pAGB)/AGB;

  AbsRelDif_Bst = abs(Bst - pBst)/Bst;
  AbsRelDif_Bbr = abs(Bbr - pBbr)/Bbr;
  AbsRelDif_Ble = abs(Ble - pBle)/Ble;
  AbsRelDif_Bba = abs(Bba - pBba)/Bba;
  AbsRelDif_AGB = abs(AGB - pAGB)/AGB;

  RelDif2_Bst = RelDif_Bst**2;
  RelDif2_Bbr = RelDif_Bbr**2;
  RelDif2_Ble = RelDif_Ble**2;
  RelDif2_Bba = RelDif_Bba**2;
  RelDif2_AGB = RelDif_AGB**2;

run;

/* Step 3.2: aggregate summary statistics to a per simulation level */
proc summary data = B_Pred mean NOPRINT;
  by simNum;
  var RelDif_Bst  RelDif_Bbr  RelDif_Ble RelDif_Bba RelDif_AGB
      AbsRelDif_Bst AbsRelDif_Bbr AbsRelDif_Ble AbsRelDif_Bba
AbsRelDif_AGB
      RelDif2_Bst  RelDif2_Bbr  RelDif2_Ble RelDif2_Bba RelDif2_AGB;
  output out = B_Results

```

```

        mean = pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
        mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
        mspe_Bst mspe_Bbr mspe_Ble mspe_Bba mspe_AGB;
run;

/* Step 3.3: get rmspe -- couldn't figure out how to get it in the proc summary/
proc means step */
data B_Results; set B_Results;
    by simNum;
    rmspe_Bst = sqrt(mspe_Bst);
    rmspe_Bbr = sqrt(mspe_Bbr);
    rmspe_Ble = sqrt(mspe_Ble);
    rmspe_Bba = sqrt(mspe_Bba);
    rmspe_AGB = sqrt(mspe_AGB);
run;

/* Step 3.4: take mean of Pbias/MAPE/RMSPE across 10 simulations */
proc summary data = B_Results mean NOPRINT;
    var pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
        mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
        rmspe_Bst rmspe_Bbr rmspe_Ble rmspe_Bba rmspe_AGB;
    output out = B_Results
        mean = pbias_Bst pbias_Bbr pbias_Ble pbias_Bba pbias_AGB
            mape_Bst mape_Bbr mape_Ble mape_Bba mape_AGB
            rmspe_Bst rmspe_Bbr rmspe_Ble rmspe_Bba rmspe_AGB
        nmiss(pbias_AGB) = N_conv;
run;

/* Step 3.5: multiply results by 100 for percentage */
data B_Results; set B_Results;
    pbias_Bst = pbias_Bst *100;
    mape_Bst = mape_Bst *100;
    rmspe_Bst = rmspe_Bst *100;

    pbias_Bbr = pbias_Bbr *100;
    mape_Bbr = mape_Bbr *100;
    rmspe_Bbr = rmspe_Bbr *100;

```

```

pbias_Ble = pbias_Ble *100;
mape_Ble = mape_Ble *100;
rmspe_Ble = rmspe_Ble *100;

pbias_Bba = pbias_Bba *100;
mape_Bba = mape_Bba *100;
rmspe_Bba = rmspe_Bba *100;

pbias_AGB = pbias_AGB *100;
mape_AGB = mape_AGB *100;
rmspe_AGB = rmspe_AGB *100;
run;

/* Step 4: create name column in dataset */
data B_Results; set B_Results;
  fname = "&eq_num.";

run;

/* Step 5: Export results as .csv file */
proc append base= B_AGB data= B_Results FORCE;
run;

%mend runit_var1;
%runit_var1(eq_num=e1);

/* AGB: Export results as .csv file*/
proc export data = B_AGB
  outfile = "&outfile_path.B_AGB.csv";
run;

*****/

/* SUR: Estimate all parameters using the entire dataset*/
dm'log;clear;output;clear';
options pageno=1 nodate nocenter;
/* Create a path to the folder where *.csv data is stored */
%let infile_path = C:\Users\baohu\OneDrive\1 - Article Dip Forest\SAS Scripts
for SUR;

```

```

data AllData;
  infile "&infile_path.Mixed.csv" dlm=',' firstobs=2 dsd trunccover;
  input Plot_ID$ ID$ Tree_ID$ FT$ D H WD Bst Bbr Ble Bba AGB D2H
  D2HWD;

run;

proc model data=AllData;
  parms a1=0.032 b11=2.305 b12=0.506 b13=0.796
        a2=0.007 b21=2.846
        a3=0.019 b31=1.884
        a4=0.039 b41=2.216;

  Bst = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13);
  h.Bst = 1/D;
  Bbr = a2*(D**b21);
  h.Bbr = 1/D**-1;
  Ble = a3*(D**b31);
  h.Ble = 1/D**2;
  Bba = a4*(D**b41);
  h.Bba = 1/D**-2;

  AGB = a1*(D**b11)*(H**b12)*(WD**b13) + a2*(D**b21) + a3*(D**b31) +
  a4*(D**b41);
  h.AGB = 1/D**-1;
  fit Bst Bbr Ble Bba AGB / sur outest = AllData_est;

run;

quit;

proc print data = AllData_est;
run;

*/ The end */

```

Phụ lục 5: Codes để thiết lập đồ thị Bland- Altman so sánh sai lệch ước tính AGB của hai mô hình thiết lập theo SUR và độc lập với độ tin cậy 95%

```
# Start
rm(list=ls())
# Clean
dev.off()
# Install of Paskages
library(ggplot2)
library(cowplot)
# Directory path
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Enter data t
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)

# Prediction of AGB from 2 models SUR and Non-SUR:
t$AGBnonsur = 0.0801995*t$D^2.4584050*t$H^0.1576263*t$WD^0.6434186
t$AGBsur = 0.02055*t$D^2.35241*t$H^0.59142 *t$WD^0.69609 + 0.00669
*t$D^2.85742 + 0.03701 * t$D^1.68095 + 0.01541 * t$D^2.43959

# Bland Altman Plot:
library(BlandAltmanLeh)
p1 <- bland.altman.plot(t$AGBsur,t$AGBnonsur, graph.sys = "ggplot2")
p1<- p1+ geom_point(cex=3)
p1 <- p1 + xlab("Trung bình ước tính AGB theo SUR và độc lập (kg)") +
ylab("Sai lệch (kg)") + theme_bw()
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(axis.text.x = element_text(size=15))
p1 = p1 + theme(axis.text.y = element_text(size=15))
p1 = p1 + xlim(0,1500)
p1 = p1 + ylim(-200,200)
p1

# The end
```

Phụ lục 6: Codes để thiết lập và thẩm định chéo K=Fold mô hình phi tuyến có trọng số có xét ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần theo phương pháp Maximum Likelihood

```
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Import data
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)

# Install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)

#####
# K-Fold Cross validation
# Create 10 equally size folds
t <- t[sample(nrow(t)),]
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:
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, ]

# Non-Linear Mixed Models with random effects:
start <- coefficients(lm(log(AGB)~log(D)+log(H)+log(WD), data=t_eq))
names(start) <- c("a","b","c","d")
start[1]<-exp(start[1])

Max_like <- nlme(AGB~a*D^b*H^c*WD^d, data=t_eq, fixed=a+b+c+d~1,
random=a+b+c+d~1,
      start=start, groups=~Region_simple , weights=varPower(form=~D))

# Estimated and Predicted Values:
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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^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$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-5-1)
R2adj[i] <- R2.adjusted

# Prediction for validation
n_va$Pred <- predict(Max_like, 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
# Parameters on random effects:
fixef( Max_like )
ranef( Max_like )
coef(( Max_like ))
coef(summary( Max_like ))

```

```
# Output last model:
summary(Max_like)
# Mean of AIC, R2adj.:
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE%:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)

# The end
```

Phụ lục 7: Codes để thiết lập và thẩm định chéo K=Fold mô hình phi tuyến có trọng số có xét ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần theo phương pháp Maximum Likelihood

```
# Erase memory
rm(list=ls())

# Clean plot window
dev.off()

# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")

# Import data
t <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)

# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)

#####

# K-Fold Cross validation
# Create 10 equally size folds
t <- t[sample(nrow(t)),]
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:
for(i in 1:10){
  # Segment the data by fold using the which() function
  testIndexes <- which(folds==i,arr.ind=TRUE)
  n_va <- t[testIndexes, ]
  t_eq <- t[-testIndexes, ]

  # Model = Average * Modifier:
  start = c(-2.12, 2.39, 1.10,-0.008, -0.023)
  names(start) <- c("a","b","d","b2","b3")
  Max_like <- nlme(AGB ~ a*D^b*WD^d* exp( b2* (Rain_annual - 1502) +
b3*(BA - 12.62) ), data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b+d+b2+b3~1, start=start,
groups=~g, weights=varPower(form=~D))
  # Estimated values:
  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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
  # Calculating 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$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-6-1)
  R2adj[i] <- R2.adjusted
  # Prediction of the model for validation
  n_va$Pred <- predict(Max_like, newdata=cbind(n_va,g="a"))
  # Calculating RMSE, Bias, MAPE%:
  Bias[i] = 100*mean((n_va$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
# Mean of AIC, R2 adj.:
mean(AIC)
mean(R2adj)
# Mean of RMSE, Bias, MAPE%:
mean(Bias)
mean(RMSE)
mean(MAPE)
# Output model:
summary(Max_like)

#####
# Estimating parameters with the entire dataset
# Erase memory
rm(list=ls())
# Clean plot window
dev.off()
# Define the working directory (change \ with / using Edit>Find)
setwd("C:/Users/baohu/OneDrive/PhD Master/PhD Tinh/1. Huong dan Tinh sau
cung/Data")
# Import data
t_eq <- read.table("tAll.txt", header=T, sep="\t", stringsAsFactors = FALSE)
# install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
library(nlme)
library(cowplot)
library(gridExtra)

```

```

# Modeling:
start = c(-2.12, 2.39, 1.10,-0.008, -0.023)
names(start) <- c("a","b", "d","b2","b3")
Max_like <- nlme(AGB ~ a*D^b*WD^d* exp( b2* (Rain_annual - 1502) +
b3*(BA - 12.62) ),
               data=cbind(t_eq, g="a"), fixed=a+b+d+b2+b3~1, start=start,
groups=~g, weights=varPower(form=~D))
# Estimated values:
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$Max_like.res.weigh <- residuals(Max_like)/t_eq$D^k
# Calculation of AIC, R2
AIC <- 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$AGB)-1)/(length(t_eq$AGB)-6-1)
R2adj <- R2.adjusted
# Calculation of RMSE, Bias, MAPE%:
Bias = 100*mean((t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)/t_eq$AGB)
RMSE = 100*sqrt(mean(((t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)/t_eq$AGB)^2))
MAPE = 100*mean(abs(t_eq$AGB - t_eq$Max_like.fit)/t_eq$AGB)
# AIC, R2 adj.:
AIC
R2adj
# RMSE, Bias, MAPE%:
Bias
RMSE
MAPE

```

```

# Output last model:
summary(Max_like)

# Plot of observed/Fitted
summary(t_eq$AGB)
p1 <- ggplot(t_eq)
p1 <- p1 + geom_point(aes(y=Max_like.fit, x=AGB), cex = 2)
p1 <- p1 + geom_abline(intercept = 0, slope = 1, col="black", cex=1.5)
p1 <- p1 + xlab("AGB quan sát (kg)") + ylab("AGB ước tính qua mô hình (kg)")
+ theme_bw()
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(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 = p1 + ylim(0,1500)
p1 = p1 + xlim(0,1500)
p1

# Plot of Weighted Residuals / Fitted
summary(t_eq$Max_like.res.weigh)
p2 <- ggplot(t_eq)
p2 <- p2 + geom_point(aes(x=Max_like.fit, y=Max_like.res.weigh), cex = 2)
p2 <- p2 + geom_line(cex = 1.5, aes(x=Max_like.fit, y=0))
p2 <- p2 + xlab("AGB ước tính qua mô hình (kg)") + ylab("Sai số có trọng số (kg)") + theme_bw()
p2 <- p2 + labs(title = "")
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 + ylim(-0.05, 0.05)  
p2 = p2 + xlim(0,1500)  
p2  
plot_grid(p1, p2, ncol = 2)  
# The end
```

Phụ lục 8: Cơ sở dữ liệu sinh khối của 329 cây mẫu và các nhân tố sinh thái, lâm phần

Plot_ID	ID	Tree_ID	Eco-Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung bình năm (°C)	Rain_annual P trung bình năm (mm)
BT-PD-03	1	1	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	40.1	21.2	607.1	230.2	26.4	213.3	1077	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	2	2	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	42.5	22.5	667.8	450.5	34.4	234.6	1387.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	3	3	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	39.8	22.3	617	145.4	14	216.8	993.1	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	4	4	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	46.3	23.5	726.1	581.4	34.1	255.1	1596.7	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	5	5	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	47.5	23	885.3	303.7	12.7	311	1512.8	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	6	6	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	48.8	21.6	864	515.3	28	303.6	1710.8	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	7	7	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	31.8	17.6	341.9	214.9	14.8	120.1	691.7	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	8	8	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	35.1	19.4	276.1	94.6	7.8	97	475.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	9	9	SE	Rubiaceae	Adina	Adina pilulifera (Lam.) Franch. ex Drake	Gao vang	11.8	8.8	19.9	5.4	1.4	5.9	32.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	10	10	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	46.7	16.9	627.1	607.5	29	220.3	1484	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	11	11	SE	Leguminosae	Dalbergia	Dalbergia cochinchinensis Pierre	Trac	18.5	13.6	71.6	41.9	5.3	25.2	144	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	12	12	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Trac	39	18	415	245.4	27	145.8	833.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	13	13	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Ko nia	21.5	12.7	102.6	47.4	7.8	36	193.8	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	14	14	SE	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium sp.	Tram	40.9	19.2	421.9	144.7	12.9	148.2	727.7	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	15	15	SE	Rubiaceae	Adina	Adina pilulifera (Lam.) Franch. ex Drake	Gao vang	22.8	15.8	109.9	51.8	7.8	32.8	202.4	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	16	16	SE	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium sp.	Tram	10.5	9.2	15.9	5.3	0.7	5.6	27.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	17	17	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	10.2	10.4	23.1	7.8	1.7	4.4	37	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	18	18	SE	Lecythidaceae	Careya	Careya arborea Roxb.	Vung	11.9	8.2	18.4	8.5	2	2	31	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	19	19	SE	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium sp.	Tram	11.7	10.9	20.7	7	0.6	7.3	35.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	20	20	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Ko nia	29.5	13.5	163.3	168.5	20.7	57.4	409.8	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	21	21	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	28.2	15.7	222.5	53.9	8.4	78.2	363	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	22	22	SE	Lecythidaceae	Careya	Careya arborea Roxb.	Vung	15.4	9.8	36.2	14.4	2.9	4	57.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	23	23	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	29.2	16.4	198.2	93.7	13.7	69.6	375.2	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	24	24	SE	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	15.5	13.8	60	25.6	4.6	17.9	108.1	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	25	25	SE	Sapindaceae	Sapindus	Sapindus saponaria L.	Bo hon	27.1	17.6	191.3	93.7	7	67.2	359.2	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	26	26	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Ko nia	26.8	12.8	159	127.4	10.7	55.9	352.9	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	27	27	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	12.2	9.6	28.6	21.3	5.1	5.5	60.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	28	28	SE	Rubiaceae	Morinda	Morinda citrifolia L.	Nhau	10.4	8	11.2	4.4	0.7	3.9	20.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT-PD-03	29	29	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	32.6	18.4	271.3	97.7	9.7	95.3	474	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
BT- PD-03	30	30	SE	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	31.8	15.4	292.9	96.7	5.7	77.9	473.1	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	31	31	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	25	15.9	145.5	32.7	6.2	27.7	212	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	32	32	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Ko nia	20.1	11.4	68.6	36.5	3.9	24.1	133	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	33	33	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	37.4	20.2	574.5	185.6	21	109.4	890.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	34	34	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	30.9	14.9	197.6	72.1	10.5	69.4	349.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	35	35	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	15.7	12.3	47.1	21.3	3.4	16.6	88.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	36	36	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	15.7	11.6	40.1	13.3	3.9	14.1	71.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	37	37	SE	Leguminosae	Dalbergia	Dalbergia cochinchinensis Pierre	Trac	18	12	62.9	16	4.4	22.1	105.4	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	38	38	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	8.6	8.3	14.2	5.4	1.2	2.7	23.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	39	39	SE	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium sp.	Tram	9	7.1	8.8	4.7	0.6	3.1	17.2	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	40	40	SE	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	18.2	12.3	71.3	38.6	4	21.3	135.2	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	41	41	SE	Leguminosae	Dalbergia	Dalbergia cochinchinensis Pierre	Trac	15.1	10.1	25.9	9.5	1.8	9.1	46.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	42	42	SE	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	11.5	11.8	34.8	6.1	2.1	6.6	49.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	43	43	SE	Lauraceae	Cryptocarya	Cryptocarya sp	Ca duoi	15.2	10.8	39.6	22.8	3.4	13.9	79.8	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	44	44	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	44.8	22.2	761.7	448.8	26.5	267.6	1504.7	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	45	45	SE	Hypericaceae	Cratoxylum	Cratoxylum formosum (Jacq.) Benth. & Hook.f. ex Dyer	Thanh nganh	10.5	10	16.4	6.9	1.6	5.7	30.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	46	46	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	11.2	10	22.6	6.2	1.6	7.9	38.3	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	47	47	SE	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	11	7.5	16	5.9	1.4	4.3	27.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	48	48	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	11.1	10.7	22.8	9.2	1.6	8	41.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	49	49	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	10.3	8.6	15.3	5.7	1.1	5.4	27.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	50	50	SE	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	7.6	7.3	9.3	5.3	0.7	2.5	17.7	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	51	51	SE	Ixonanthaceae	Irvingia	Irvingia malayana Oliv. ex A.W.Benn.	Ko nia	26.3	16.7	162.9	66.6	8.8	57.2	295.5	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	52	52	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	48.5	18.1	758	263.4	20	266.3	1307.6	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	53	53	SE	Lauraceae	Cryptocarya	Cryptocarya sp	Ca duoi	17.5	15.4	74.8	14.2	2.1	26.3	117.4	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
BT- PD-03	54	54	SE	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus intricatus Dyer	Dau long	39.9	20.8	571.5	349.1	31.6	200.8	1153	515,846	1,263,658	230	3	734	20.74	Igneous Rocks	25.3	1003
K1	55	55	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	7.3	4.5	3	0.7	0.2	1	4.8	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	56	56	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	6.4	3.9	2.5	3.6	1.5	0.8	8.5	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	154	154	CH	Chrysobalanaceae	Parinari	Parinari anamensis Hance	Cam	6.4	6	2.3	0.5	0.4	1	4.3	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	191	191	CH	Loganiaceae	Strychnos	Strychnos nux-blanda A.W. Hill	Ma tien	7.5	3.9	1.2	0.5	0.2	0.1	2.1	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	196	196	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	4	2.5	0.5	0.2	0.3	0.3	1.3	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	153	153	CH	Chrysobalanaceae	Parinari	Parinari anamensis Hance	Cam	5.6	4.5	1.1	0.3	0.2	0.5	2.1	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_ID	ID	Tree_ID	Eco-Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
K1	82	82	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	4.9	4.5	0.7	0.5	0.5	0.4	2	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	62	62	CH	Lecythidaceae	Careya	Careya arborea Roxb.	Vung	5.3	3.9	0.8	1.1	0.3	0.4	2.7	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	80	80	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	15.5	14.7	47.6	7.6	1.4	7.7	64.2	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	68	68	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	36.4	16	355.1	334.5	42.4	48.7	780.7	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	81	81	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	24.3	17.7	179.1	30.5	3.7	16.2	229.5	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	79	79	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	23.7	18	146.8	12.7	2.3	26.4	188.3	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	164	164	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	15	8.8	63.3	17.9	5	13.6	99.8	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	193	193	CH	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium cumini (L.) Skeels	Tram voi	3.4	5.3	0.9	0.3	0.3	0.3	1.8	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K1	195	195	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	22.6	15.8	142.1	54.9	8.7	24.1	229.7	433,826	1,469,537	223	0	264	13.78	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	84	84	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	19.9	13	89.1	41.4	4.2	18	152.8	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	57	57	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	5.5	5.1	1.5	0.3	0.2	1.3	3.3	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	155	155	CH	Chrysobalanaceae	Parinari	Parinari ananensis Hance	Cam	5.5	5	1.1	0.2	0.2	0.8	2.2	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	86	86	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	5.6	5.8	1.4	0.6	0.4	0.9	3.2	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	83	83	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	40.5	19	548.5	377.7	12.3	54.9	993.5	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	85	85	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6.3	6.3	2.5	1.5	0.4	1.4	5.8	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	58	58	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	5.9	6.8	2.7	0.7	0.3	1.8	5.5	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	217	217	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	5	6.3	2.9	0.5	0.3	0.7	4.4	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	215	215	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	8	7.5	8.3	3.4	0.5	1	13.2	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	216	216	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	8.5	8.6	8	5	0.7	1.4	15.1	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	208	208	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	11.5	12.5	22.5	5	0.8	2.7	31	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K2	87	87	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	5.4	4.3	0.6	0.2	0.2	0.5	1.6	432,710	1,470,981	202	0	324	13.84	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	91	91	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	14.7	13.1	21.1	9	3.4	6.9	40.3	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	165	165	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	10	7.5	6.3	1.7	0.4	5.2	13.7	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	90	90	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	10.2	10.5	10.7	3.8	1.3	2.2	18	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	59	59	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	6	6	3	0.4	0.3	1.7	5.5	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	94	94	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6.6	6	1.6	1.6	0.9	0.8	4.9	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	92	92	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	14.5	10.1	18.4	8.6	4.1	4.7	35.8	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	93	93	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7.8	12	5.1	1.9	0.8	3.8	11.5	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	89	89	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	14.2	12	33.8	11.7	6.2	7.9	59.6	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	72	72	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	5.6	5.6	1.6	0.7	0.5	1.2	4	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	69	69	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	23	16.4	113.5	29.7	5.8	29.8	178.8	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_ID	ID	Tree_ID	Eco-Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
K3	70	70	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	14.2	11.6	25.1	14.6	4	8.6	52.3	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	95	95	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	5.5	5	1.1	0.2	0.3	0.5	2.1	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	88	88	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7.3	7.6	3.9	0.9	0.4	0.9	6.1	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	71	71	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	8.7	8.6	8.9	3.9	1.5	4.1	18.3	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K3	96	96	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	5.6	4.6	0.7	0.3	0.2	0.3	1.5	433,394	1,468,492	199	0	964	12.58	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	61	61	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	6.1	5.8	3.1	0.6	0.1	1.3	5.1	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	67	67	CH	Dilleniaceae	Dillenia	Dillenia sp	So	20.1	9.4	101.7	55.4	6.6	15.4	179.1	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	60	60	CH	Euphorbiaceae	Aporosa	Aporosa sp.	Thau tau	16.2	7.4	44.9	15.3	3.6	12.4	76.1	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	139	139	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6.2	4.7	2.9	1.6	0.5	1.7	6.8	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	221	221	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	7.7	6.1	6	0.2	1.2	2.3	9.6	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	78	78	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	17.6	13.8	39.5	27.1	2.7	12.3	81.5	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	222	222	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	10.7	9.1	24.9	4.5	1.7	7.6	38.7	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	138	138	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	11.7	7.9	14	5.3	1.8	7.2	28.3	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K13	140	140	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7.3	6	6.2	2.4	0.9	3.3	12.8	405,102	1,463,803	235	0	540	6.81	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	159	159	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	23	14.1	95.2	70.4	13.9	26.3	205.9	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	130	130	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	34.9	15.6	207.2	104.4	30	46.2	387.7	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	131	131	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	11.6	8	13.6	4.8	3.3	4.7	26.5	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	152	152	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	20.6	9.2	52.3	22.3	3.9	8.6	87.1	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	206	206	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	18.4	11.3	56.9	26.8	5.4	21	110.1	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	160	160	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	10.4	8.1	11.2	2.3	1.6	6.2	21.3	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	161	161	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	5.6	4.4	1.2	0.2	0.3	1.2	2.9	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	151	151	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	17.8	10.9	39.6	26.6	6.1	9.1	81.5	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	132	132	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	17.4	12.2	39.6	11.2	4.6	11.3	66.6	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K10	63	63	CH	Lecythidaceae	Careya	Careya arborea Roxb.	Vung	11.1	6.2	10.7	6.6	5.1	4	26.4	450,284	1,475,924	226	8	788	13.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	64	64	CH	Lecythidaceae	Careya	Careya arborea Roxb.	Vung	35.8	17.8	357.4	207.8	3.5	33.3	602	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	188	188	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	14.7	9.9	38.8	14.4	3.3	18.3	74.8	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	220	220	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	21.9	11	110	13.4	4.2	15	142.6	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	213	213	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	32.3	16.3	276.3	121.4	16.5	7.4	421.6	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	137	137	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	16	6	24.2	34	0.8	7.3	66.4	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	189	189	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	18.3	10.3	61.8	21.7	2.6	18.6	104.8	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K12	214	214	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	12.1	10.5	35.3	15	1.8	7.2	59.4	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_ID	ID	Tree_ID	Eco-Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
K12	136	136	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	28.7	10.3	196.7	178.4	6.3	29.4	410.7	405,562	1,463,350	270	0	256	7.55	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	209	209	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	18.6	12.3	86.4	20.2	5.1	6	117.8	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	190	190	CH	Leguminosae	Sindora	Sindora siamensis Miq.	Go mat	11.8	4.8	23.6	13.2	4.7	5.8	47.3	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	65	65	CH	Leguminosae	Dalbergia	Dalbergia nigrescens Kurz	Cam lai den	7.6	5.3	7	3.2	1.2	2.2	13.6	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	66	66	CH	Dilleniaceae	Dillenia	Dillenia sp	So	7.4	5.7	5	0.4	0.4	2.6	8.4	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	74	74	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	13.5	4.5	19.8	15.8	2.8	10.6	48.9	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	168	168	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	10.4	5.4	14.7	0.5	0.5	6	21.7	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	144	144	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	10.9	7.7	17.2	3.5	2.6	1.8	25.1	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	99	99	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	21.4	11	89.9	38.1	9.7	11	148.7	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	211	211	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	23.3	12.5	163	87.7	11.2	17.9	279.8	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	194	194	CH	Myrtaceae	Syzygium	Syzygium cumini (L.) Skeels	Tram voi	28.4	10	66.8	42.5	9	18.8	137.1	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	143	143	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	17.4	12.5	54.9	3.5	5.2	7.1	70.7	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	98	98	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	23.1	12.5	116	73.5	13.3	20.5	223.3	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	167	167	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	13.9	8.8	38.7	11.5	6	14.5	70.7	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	73	73	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	32.1	12.6	271.3	105.8	16.6	65.8	459.4	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	210	210	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	21.4	14.3	95.7	28.2	9.7	8	141.5	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	97	97	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	19.9	12	103.1	43.6	7.4	14.3	168.3	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	100	100	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6.8	4.5	3.4	1.5	1.2	2.5	8.5	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K4	166	166	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	17	8.5	37.2	32.8	4.1	19.7	93.8	433,497	1,468,690	417	0	456	15	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	105	105	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	8.2	6.1	7.7	1.2	0.8	4	13.8	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	197	197	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	10.8	5	13.9	2	0.2	4.7	20.8	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	169	169	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	20.5	12.1	119.1	11.8	3	23.6	157.4	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	198	198	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	33.5	16.1	145	39.8	6.3	28.6	219.7	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	199	199	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	16.7	11.4	60.4	30.1	6.7	12.4	109.7	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	75	75	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	12.9	10	24.6	3.4	4.6	13.7	46.3	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	192	192	CH	Loganiaceae	Strychnos	Strychnos nux-blanda A.W. Hill	Ma tien	17.5	8.7	31.4	21.3	2.3	3.9	58.9	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	106	106	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	32.1	15.9	232.1	110.2	12.4	34.8	389.5	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	103	103	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	10.2	9	16.5	3.3	2.4	6.7	28.8	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	101	101	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	31.2	14.2	270.1	107.4	15.7	28.3	421.5	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	141	141	CH	Rubiaceae	Haldina	Haldina cordifolia (Roxb.) Ridsdale	Gao	7.3	4.7	4.2	1.4	0.9	2.6	9	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	104	104	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	22.5	8.6	21.2	4.9	1.9	9.2	37.2	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m².ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
K5	102	102	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	11.6	8.1	19.4	2.5	1.2	8.2	31.2	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K5	170	170	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	19.7	13.8	96.6	17.6	5.1	22.1	141.4	427,489	1,469,774	197	0	316	12.28	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	202	202	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	9.5	4.8	11	5.7	1.4	4	22.1	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	148	148	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	12.6	10.2	28.2	3.3	2	8.5	42	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	178	178	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	20.4	12.8	81	67	11.8	32.9	192.7	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	179	179	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	19.2	7.6	53	28.1	3.7	20.5	105.4	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	77	77	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	20.3	8.1	63.5	90.8	3.5	21	178.9	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	182	182	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	11.8	6.7	20.4	6.8	2.3	12.1	41.5	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	212	212	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	26.4	14.4	250.3	61.8	5.1	13.5	330.8	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	219	219	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	7	4.2	5.6	2.1	0.6	2	10.4	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	76	76	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	27.9	12.2	168.4	78.7	14.9	43.7	305.7	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	183	183	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	12.3	8.9	29.4	11.3	3.6	11.5	55.8	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	218	218	CH	Leguminosae	Xylia	Xylia xylocarpa (Roxb.) Taub.	Cam xe	6	3.5	3.2	2.4	0.7	0.9	7.2	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	181	181	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	16.9	10.1	56.1	29	4.8	22.3	112.2	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K8	180	180	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	17.2	10.4	54.7	8.6	4.4	19.3	87.1	474,328	1,477,804	375	0	1292	23.41	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	120	120	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.2	6.5	46.9	29.4	6.3	12.5	95	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	107	107	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.3	6.8	39	7.4	4.7	9	60.1	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	122	122	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	25	8.6	99.1	60.6	10.6	25.7	196	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	110	110	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	13.4	7.7	33.8	11.1	3.2	12.3	60.4	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	109	109	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7.6	6.3	5.5	2.8	1	3.7	13	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	121	121	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	13.5	6.7	24	16.7	4.5	19.5	64.7	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	118	118	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	8	3.8	4.3	3.4	1.1	3.2	12	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	119	119	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	15.5	6.7	25.7	14	4	6.9	50.7	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	113	113	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.6	9.1	104.3	82.9	9.4	23.5	220.1	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	108	108	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	10.5	7.3	12.8	6.3	2.2	6.4	27.7	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	117	117	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	10.2	7.6	14.4	5.3	1.3	8	29	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	156	156	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	12.6	8.5	22.4	5.7	1.3	17.5	46.8	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	112	112	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	24.5	10	96.2	68.5	3.3	17.5	185.6	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	200	200	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	26.8	7.6	104	39.9	6	74.4	224.2	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	116	116	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	5.9	4.9	2.2	0.6	0.4	2.2	5.4	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	115	115	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6	5.3	2.8	0.5	0.4	2.3	6.1	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
K6	111	111	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	9.8	8.8	13.9	3.1	0.7	7.4	25.2	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K6	114	114	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	21.2	9.7	95.1	54.6	7.3	12.3	169.3	429,482	1,469,476	218	0	564	9.65	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	147	147	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	12.7	10	25.3	3.1	0.7	9.5	38.6	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	146	146	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	15.7	9	20.3	17.7	3.3	4.1	45.4	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	124	124	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	32.8	14	428.9	203.8	17.1	67.5	717.4	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	173	173	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	19.1	8.8	52.8	29.5	6.4	31.9	120.6	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	123	123	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	38.4	14.2	303.8	350.8	21.5	56.2	732.3	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	145	145	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	18.5	10.8	50.1	16.3	5.1	13.2	84.7	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	158	158	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	7.8	7.8	9	1.2	0.4	6	16.6	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	176	176	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	12.3	10	35.9	11.7	2.5	14.3	64.4	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	174	174	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	16.1	11	40.5	38.6	6.1	13	98.2	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	175	175	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	18	12.5	47.8	30.6	4.5	14.9	97.8	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	157	157	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	7.7	7.2	6.4	0.5	0.6	4.3	11.7	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	171	171	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	18.6	7.3	37.8	49.4	5.9	15.6	108.7	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	177	177	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	12.8	8.8	23.2	5.9	3.6	12.7	45.4	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	201	201	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	25	12.5	92.7	37.3	4.7	63.2	197.9	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	172	172	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	19.3	13.3	82.9	49.2	4.2	29.1	165.4	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K7	142	142	CH	Rubiaceae	Haldina	Haldina cordifolia (Roxb.) Ridsdale	Gao	20.3	11.8	72.6	26.2	5.6	7.7	112	474,032	1,477,582	388	0	692	14.53	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	203	203	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	20.9	10.5	76	62.3	4	31.9	174.2	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	127	127	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	19	10.1	57	34.3	9.3	13	113.7	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	125	125	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.8	9.2	65.9	24.7	4.6	10.6	105.7	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	184	184	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	15.8	10	54.1	19.6	4.9	16.5	95.2	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	150	150	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	11	6.4	16	6.9	2	4	28.8	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	149	149	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	19.9	11	39.4	13.7	5	6.9	64.9	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	205	205	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	5.1	2.8	1.8	0.7	0.8	0.8	4.1	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	126	126	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	34.3	13.5	242.4	91.5	13.8	33.3	381.1	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	204	204	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	21.3	11.6	77.7	62.7	2.9	26.6	169.8	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	129	129	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7	4	3.2	1.7	1	1.3	7.3	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K9	128	128	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	10.9	7	8.7	3.6	1.3	4.2	17.8	450,102	1,475,999	272	6	628	14.35	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	187	187	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	17	8.8	42.3	42.8	5.7	18.6	109.3	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	186	186	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	20	8	79.3	49.5	5.7	22	156.6	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung bình năm (°C)	Rain_annu al P trung bình năm (mm)
K11	185	185	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	9.8	6.3	9.1	10.1	2.9	5.4	27.5	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	163	163	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	16.4	8.2	22	19.7	4.7	14.6	61	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	162	162	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	12.2	8.4	15.1	10.7	3.1	9.1	38	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	135	135	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	28.6	7.5	90.8	103	8.1	23.8	225.6	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	207	207	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	12.4	9.5	33.7	4.5	2.6	10	50.7	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	133	133	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	9	7.1	9.6	4.1	1.6	3.6	18.9	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
K11	134	134	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.6	7.2	49.5	64.9	6.5	11.4	132.2	450,036	1,476,288	270	0	512	18.37	Igneous Rocks	25.5	1600
I	223	I1	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	21.7	6.3	101.1	58.9	9.1	37	206	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	224	I2	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	21	5.7	95.3	22.8	7	21.8	146.9	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	225	I5	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	30.3	12	253.6	109.3	10.9	74.3	448.1	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	226	I7	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	23.4	8	101.6	68.7	9.5	40.9	220.6	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	227	I12	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	11.9	6.5	9.2	8.9	1.3	9.3	28.7	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	228	I20	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	15.3	6	38	18.1	2	16.3	74.4	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	229	I26	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	19.2	10.9	85.2	32	2.6	30.1	150	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	230	I28	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	15.3	4.9	34.1	17.8	1.1	12.1	65.2	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	231	I29	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	9.7	4.7	13	4.1	0.8	13	30.9	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	232	I34	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia alata Wall.	Chieu lieu den	23.3	11	133.6	91	11.1	62	297.7	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	233	I50	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	22.2	10	107.2	41.3	6.3	55.1	209.9	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	234	I56	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	15.2	6.1	28.1	13	1.3	16.7	59.1	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	235	I13	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	39.2	9.9	127.1	162.6	9.2	22.9	321.8	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	236	I19	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	22.1	5.2	116.3	78.4	11.4	34	240.1	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	237	I36	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	7.8	3.7	6.7	1.4	0.8	3.2	12.1	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
I	238	I57	CH	Rubiaceae	Nauclea	Nauclea orientalis (L.) L.	Gao vang	19	13.1	77.4	21.1	4.2	27.8	130.6	435,138	1,476,014	218	5	228	6.31	Igneous Rocks	25.5	1600
II	239	II12	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	10.3	6.2	9.5	4	1.3	5.5	20.3	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	240	II13	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	9.4	7.2	12	7.9	1	7.9	28.8	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	241	II14	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.9	8.3	34.4	41.3	2.9	19.3	98	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	242	II70	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	10.5	3.9	17.5	1.4	0.5	10.8	30.2	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	243	II71	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	11	3.7	9.7	13	0.7	6.9	30.2	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	244	II72	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	11	4.9	13.9	5.7	0.6	8.8	28.9	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	245	II73	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	36.8	9.3	325.6	236.7	16	58.1	636.4	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	246	II74	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	25.3	13.2	130.4	41.2	8.5	33.5	213.5	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m².ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
II	247	II75	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	19.5	9.3	100.5	49.2	9	24.2	182.9	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	248	II76	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	17.5	8.2	72.2	26.6	5.9	23.5	128.2	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
II	249	II77	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.9	7.5	48.6	29.3	6.5	21.9	106.3	433,162	1,468,701	223	2	276	3.78	Igneous Rocks	25.5	1600
III	250	III1	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.2	8	42.1	5.7	2	20.4	70.2	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	251	III9	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	22.2	9.6	112.7	30.7	5.7	40.8	190	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	252	III62	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	17.2	4.5	25.2	23.9	5.8	18.9	73.8	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	253	III71	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	11.4	3.2	10.8	25	2.8	9.7	48.3	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	254	III74	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	21.7	7.8	98.8	46.5	6.1	29.1	180.4	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	255	III143	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	26.4	9	140.5	42.1	6.1	38.7	227.4	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	256	III51	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	10.8	4	11.2	3.7	1.9	9.7	26.5	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	257	III133	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	11	3.1	11.2	28.7	2.3	8.7	50.8	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	258	III134	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	15.6	7.5	41.6	30.3	2.7	35.8	110.4	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	259	III146	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	25	6.7	155.9	31.4	7.5	40	234.8	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	260	III8	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	16.6	6.2	35.3	25.2	2.6	26.7	89.7	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
III	261	III5	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	27.4	7.6	93.1	89	3.8	49.6	235.5	435,138	1,476,014	218	5	572	12.59	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	262	IV81	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	22.7	6.1	62.3	75.6	4.1	24.3	166.2	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	263	IV16	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	21.8	4.5	93.5	78.3	10.5	29.8	212.1	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	264	IV2	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	20.5	5.2	77.5	77.7	3.9	22.6	181.7	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	265	IV3	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	23.2	7.8	128.9	78.5	8.6	32	248	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	266	IV14	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	22.3	5.5	100.9	69.3	8.8	29.5	208.5	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	267	IV22	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	14.5	3.4	21.6	6	1.6	11.1	40.2	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	268	IV10	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	17.3	7.6	56.1	22.1	3.1	19.6	100.9	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	269	IV20	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	20.3	7.4	58.7	17.6	2.7	28.3	107.3	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	270	IV21	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.4	8.1	31.5	13.9	2.3	19.4	67.1	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	271	IV31	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	14.5	5.9	39.9	40.5	2.7	16.3	99.4	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	272	IV44	CH	Leguminosae	Sindora	Sindora siamensis Miq.	Go mat	27.4	9.8	158.6	78.7	2.5	46.2	285.9	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	273	IV45	CH	Leguminosae	Sindora	Sindora siamensis Miq.	Go mat	25.8	10	129.8	34.5	2.4	39.1	205.8	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	274	IV83	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	35.1	9	195.5	79.8	6.6	28.7	310.6	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	275	IV84	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	22.1	3.5	91.7	58.7	4.1	21.4	175.7	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
IV	276	IV24	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	11.4	6.4	12.9	4.9	1.2	9.9	28.9	434,034	1,472,905	226	3	320	6.93	Igneous Rocks	25.5	1600
V	277	V86	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	48.2	12.3	752.1	377.7	19.3	101.7	1250.8	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m².ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
V	278	V87	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	28.5	9.3	262.1	151.6	10.3	46.5	470.5	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	279	V43	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	15.5	7.6	42.4	20.3	4.3	38.5	105.5	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	280	V46	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	17.6	6.6	22.1	9.8	2.6	17.2	51.7	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	281	V47	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	12.9	7.5	30.7	15.4	3.4	27.7	77.3	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	282	V55	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	37.5	8.2	169.1	165.1	10	42.6	386.8	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	283	V59	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	18.8	6.8	48.9	23.3	4.4	39.6	116.2	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	284	V69	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	36	8.6	275.5	94	12.3	41.6	423.4	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	285	V61	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	16.9	6.7	50.3	23.8	5.7	36	115.9	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	286	V18	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	14.1	6.9	19.5	9.1	2.8	21	52.4	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
V	287	V21	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	16.2	7.4	42.7	21.3	6.1	24	94	433,507	1,472,965	206	5	336	7.1	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	288	VI81	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	29.1	7.6	206.6	134.6	7.9	31.3	380.5	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	289	VI82	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	33.3	11.7	182.5	52.1	6.5	48.9	290.1	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	290	VI46	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	41.2	11.6	446.2	166.8	16.2	75.5	704.7	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	291	VI20	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	23.5	9.9	129.4	47.9	5.7	46.6	229.7	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	292	VI14	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	22.2	10.4	173.6	44.9	4.8	46.7	270	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	293	VI18	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.4	7.5	52	21.8	3.3	22.9	100	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	294	VI24	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	14.6	11.5	36.5	9.4	2.2	16.6	64.7	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	295	VI25	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	12.7	6.1	27.4	7.7	2.1	12	49.2	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	296	VI21	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	16.4	8.9	58.4	10.2	2.9	21.5	92.9	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	297	VI33	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	20.2	7	74.3	35.6	5.3	27.3	142.4	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	298	VI33	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	19.2	8.6	78.6	31.4	3.5	37.8	151.3	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	299	VI36	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	16.3	7.5	51.2	35.7	2.8	19.6	109.4	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VI	300	VI39	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	14.1	5	24	26.5	3.7	12.4	66.6	433,822	1,432,747	214	3	320	7.19	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	301	VII108	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	17.9	6.5	63.4	36.5	2	31.4	133.2	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	302	VII109	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	21.9	4.2	61.3	58.1	3.2	22.6	145.2	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	303	VII110	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	28.5	6.2	87.1	66	3.5	55.3	211.9	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	304	VII111	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	13.5	4.7	19.3	19.2	1.6	17	57.2	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	305	VII104	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	15.1	6.5	31.3	16.6	2.5	22.3	72.8	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	306	VII106	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	22.2	8	57.5	25.3	3.8	43.1	129.7	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	307	VII13	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	11.1	6.6	15.1	9.3	2.3	13.5	40.2	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	308	VII15	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea siamensis Miq.	Cam lien	13.8	5.4	29.1	23.4	3.7	20.6	76.8	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600

Plot_I D	ID	Tree_ID	Eco- Region Vùng sinh thái	Family Họ	Genus Chi	Species.name Tên Latin loài	Local_name Tên loài	D (cm)	H (m)	Bst (kg)	Bbr (kg)	Ble (kg)	Bba (kg)	AGB (kg)	X VN2000	Y VN2000	Altitude (m) Độ cao s/v biển	Slope (độ) Độ dốc	N (cây/ ha)	BA (m ² .ha)	Soil_type Loại đất	Tmean T trung binh năm (°C)	Rain_annu al P trung binh năm (mm)
VII	309	VII112	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	38.8	10.1	288.6	152	9.6	47.6	497.7	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	310	VII113	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	36.6	12.7	405	234.4	10.2	87.4	736.9	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	311	VII114	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	15.9	9	48.2	7.5	2.9	15.3	73.9	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	312	VII115	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	22.7	7.5	28	6.2	3.1	12.7	50	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VII	313	VII116	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. Ex Miq.	Dau tra beng	9.7	4.1	6.5	13.3	1.4	6.7	28	434,686	1,473,587	223	3	428	7.63	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	314	VIII64	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.5	5.2	66.6	85.3	2	17.3	171.2	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	315	VIII65	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	20.5	7.6	67.3	49.5	3.2	19.6	139.5	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	316	VIII67	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	21.7	6.5	83.6	55.6	3.2	18.9	161.4	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	317	VIII68	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	26	5.8	103	100.9	4.5	28.3	236.7	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	318	VIII69	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	14.5	4.4	19.8	13.7	1.6	8.4	43.5	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	319	VIII71	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	9.5	2.7	8.6	8.1	0.4	4	21.1	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
VIII	320	VIII72	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	19.3	5.1	92.5	78	8.8	27.4	206.8	419,329	1,467,850	171	0	252	5.29	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	321	IX88	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	12	3.9	50	25.3	0.8	20.2	96.3	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	322	IX89	CH	Combretaceae	Terminalia	Terminalia corticosa Pierre ex Laness.	Chieu lieu oi	21	4.8	78.5	88.5	4	18.4	189.4	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	323	IX91	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	8	4.2	5.1	0.7	0.6	2.7	9.1	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	324	IX92	CH	Dipterocarpaceae	Shorea	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Ca chac	7.5	3.3	7	0.7	0.9	4	12.5	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	325	IX93	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7	4	2.5	0.8	0.7	1.9	5.9	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	326	IX94	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7.5	4.5	3	1.2	1	3.1	8.4	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	327	IX95	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	7	4.3	2.6	0.7	0.7	2.1	6.1	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	328	IX96	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6	3.9	2.2	0.4	0.4	1.8	4.8	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600
IX	329	IX97	CH	Dipterocarpaceae	Dipterocarpus	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Dau dong	6.2	4.2	1.2	1.1	1	0.8	4.2	420,609	1,465,803	175	0	348	3.96	Igneous Rocks	25.5	1600

Phụ lục 9: Một số hình ảnh nghiên cứu



