

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC LÂM NGHIỆP VIỆT NAM

HUỲNH NHÂN TRÍ

**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 ÁN TIẾN SĨ NÔNG NGHIỆP

Hà Nội, 2014

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC LÂM NGHIỆP VIỆT NAM

HUỖNH NHẬN TRÍ

**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**

Chuyên ngành: Lâm sinh

Mã số: 62.62.02.05

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

Hà Nội, 2014

LỜI CAM ĐOAN

Luận án được hoàn thành trong khuôn khổ Chương trình đào tạo tiến sỹ khóa 21 (2009 – 2013) tại Viện Khoa học lâm nghiệp Việt Nam. Tôi xin cam đoan công trình nghiên cứu này là của bản thân tôi. 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.

Luận án kế thừa một phần số liệu của đề tài khoa học công nghệ trọng điểm cấp bộ “Xác định lượng CO₂ hấp thụ của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu khí phát thải từ suy thoái và mất rừng” do PGS. TS. Bảo Huy chủ trì, được thực hiện từ 2010 – 2012, trong đó nghiên cứu sinh là thành viên chính của đề tài và tham gia trực tiếp vào quá trình thực hiện đề tài, 1/3 số liệu tác giả đã thu thập bổ sung để nâng cao độ tin cậy của các mô hình sinh trắc.

Tác giả

Huỳnh Nhân Trí

LỜI CẢM ƠN

Luận án này được hoàn thành trong Chương trình đào tạo nghiên cứu sinh khóa 21 giai đoạn 2009 – 2013 tại Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. Trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận án, tác giả đã nhận được sự quan tâm, giúp đỡ của Ban Lãnh đạo Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, Ban đào tạo và hợp tác quốc tế, Viện Lâm sinh thầy giáo hướng dẫn và nhóm công tác FREM Đại học Tây Nguyên.

Trước hết tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến PGS.TS. Bảo Huy với tư cách là người hướng dẫn khoa học đã dành nhiều thời gian và công sức cho việc hướng dẫn 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 Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, Ban đào tạo và hợp tác quốc tế Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, Viện Lâm sinh. Trân trọng cảm ơn GS.TSKH. Nguyễn Ngọc Lung, PGS.TS. Trần Văn Con, TS. Vũ Tấn Phương, PGS.TS. Võ Đại Hải về những ý kiến góp ý quý báu cho việc hoàn thành luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Sở NN & PTNT, Chi cục Lâm nghiệp các tỉnh Tây Nguyên; các Công ty Lâm nghiệp trong vùng nghiên cứu, nhóm công tác FREM Đại học Tây Nguyên đã tạo mọi điều kiện thuận lợi và giúp đỡ tác giả trong việc đo đếm và thu thập số liệu tại hiện trường.

KÝ HIỆU VIẾT TẮT

AGB	Above ground biomass: 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)
BCEF	Biomass conversion and expansion factors: Hệ số chuyển đổi trữ lượng sang sinh khối (tấn/m ³)
Bdw	Biomass of dead wood: Sinh khối của gỗ chết (kg/cây)
BEF	Biomass expansion factor: Hệ số chuyển đổi thể tích cây tươi sang sinh khối khô. $BEF = AGB/Bst$
BGB	Below ground biomass: Sinh khối dưới mặt đất, là rễ của thực vật, nhưng chủ yếu là rễ cây gỗ (kg/cây)
Bhg	Biomass of herb: Sinh khối của thảm tươi
Bl	Biomass of leaf: Sinh khối của lá (kg/cây)
Bli	Biomass of litter: Sinh khối của thảm mục
Bst	Biomass of stem: Sinh khối của thân cây gỗ (kg/cây)
C(AGB)	Carbon in AGB: 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)
C(BGB)	Carbon in BGB: Carbon tích lũy trong sinh khối dưới mặt đất của thực vật, chủ yếu trong rễ cây gỗ (kg/cây)
CA	Crown area: Diện tích tán lá (m ² /cây)
Cba	Carbon of bark: Carbon của vỏ cây (kg/cây)
Cbr	Carbon of branch: Carbon của cành cây (kg/cây)
CD	Crown diameter: Đường kính tán lá (m)
CDM	Clean Development Mechanism: Cơ chế phát triển sạch
Cdw	Carbon of dead wood: Carbon của gỗ chết
CF	Carbon Fraction: Hệ số chuyển đổi từ sinh khối khô sang carbon
Chg	Carbon of herb: Carbon của thảm tươi

Cl	Carbon of leaf: Carbon của lá (kg/cây)
Cl _i	Carbon of litter: Carbon của thảm mục
COP	Conference of the Parties (to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)): Hội nghị các bên liên quan (Hiệp định khung về biến đổi khí hậu của Liên Hiệp Quốc)
Cst	Carbon of stem: Carbon của thân cây gỗ (kg/cây)
DBH, D, D _{1.3}	Diameter at Breast Height: Đường kính ở độ cao ngang ngực, thường là ở độ cao 1.3m, đơn vị cm
FAO	Food and Agriculture Organization: Tổ chức Nông Lương của Liên Hiệp Quốc
FCCC	Framework Convention on Climate Change: Hiệp định khung về biến đổi khí hậu
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility: Quỹ đối tác carbon rừng thuộc Ngân hàng Thế Giới (World Bank)
GHG	Green Housse Gas: Khí gây hiệu ứng nhà kính
GSL/M	Growing stock level: Trữ lượng cây đứng (m ³ /ha)
H	Height: Chiều cao cây (m)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change: Cơ quan liên chính phủ về biến đổi khí hậu
M	Trữ lượng gỗ m ³ /ha
MRV	Measurement, Reporting & Verification: Đo tính, báo cáo và thẩm định.
N	Mật độ cây gỗ/ha (cây/ha)
PCM	Participatory Carbon Monitoring: Giám sát carbon rừng có sự tham gia
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Giảm phát thải từ 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 rừng ở các nước đang phát triển.
SOC	Soil Ogranic Carbon: Carbon hữu cơ trong đất, (tấn/ha)

TAGTB	Total above ground tree biomass: Tổng sinh khối cây gỗ trên mặt đất trên một diện tích (tấn/ha)
TAGTC	Total above ground tree carbon: Tổng carbon cây gỗ trên mặt đất trên một diện tích (tấn/ha)
TB	Total biomass: Tổng sinh khối của rừng ở 4 bể chứa: Thực vật trên mặt đất, dưới mặt đất, thảm mục, gỗ chết (tấn/ha)
TBGTB	Total below ground tree biomass: Tổng sinh khối rễ cây gỗ dưới mặt đất trên một diện tích (tấn/ha)
TBGTC	Total below ground tree carbon: Tổng carbon cây gỗ dưới mặt đất trên một diện tích (tấn/ha)
TC	Total carbon: Tổng lượng carbon của rừng ở 5 bể chứa (tấn/ha), bao gồm SOC
TTB	Total Tree Biomass: Tổng sinh khối trên và dưới mặt đất của cây gỗ (tấn/ha)
TTC	Total Tree Carbon: Tổng carbon của cây gỗ trên và dưới mặt đất (tấn/ha)
UNDP	United Nations Development Programme: Chương trình phát triển của Liên Hiệp Quốc
UNEP	United Nations Environment Programme: Chương trình môi trường của Liên Hiệp Quốc
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change: Hiệp định khung của Liên Hiệp Quốc về Biến đổi khí hậu
UN-REDD	United Nation – Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Chương trình của Liên Hiệp Quốc và Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng ở các quốc gia đang phát triển
V	Volume: Thể tích cây đứng ($m^3/cây$)
WD	Wood density: Khối lượng thể tích gỗ (g/cm^3) hoặc ($tấn/m^3$)
ρ	Dung trọng đất (g/cm^3)

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	I
KÝ HIỆU VIẾT TẮT	III
MỤC LỤC	VI
DANH MỤC CÁC BIỂU, BẢNG.....	IX
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, BIỂU ĐỒ, SƠ ĐỒ	XII
MỞ ĐẦU.....	1
1 CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	6
1.1 TRÊN THẾ GIỚI.....	6
1.1.1 Cơ sở đo tính, giám sát hấp thụ và phát thải CO ₂ từ suy thoái và mất rừng theo IPCC.....	6
1.1.2 Phương pháp thiết lập các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối và carbon rừng	8
1.1.3 Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng trên mặt đất.....	14
1.1.4 Xác định sinh khối và carbon trong bể chứa rễ cây gỗ dưới mặt đất	20
1.1.5 Ước tính sinh khối và carbon của bể chứa thảm mục.....	21
1.1.6 Ước tính sinh khối và carbon gỗ chết.....	21
1.1.7 Ước tính carbon hữu cơ trong đất rừng (SOC).....	21
1.1.8 Ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong giám sát tài nguyên rừng, trữ lượng carbon rừng	22
1.2 TRONG NƯỚC	26
1.2.1 Mô hình ước tính sinh khối và carbon theo loài.....	26
1.2.2 Thiết lập mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon cây rừng và lâm phần	27
1.2.3 Xác định sinh khối và carbon trong bể chứa thảm mục, thảm tươi, gỗ chết.	28
1.2.4 Ước tính carbon hữu cơ trong đất rừng (SOC).....	29
1.2.5 Ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong giám sát tài nguyên rừng, trữ lượng carbon rừng	29
1.3 THẢO LUẬN.....	31
1.3.1 Những kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng trong giám sát carbon rừng tự nhiên ở Việt Nam.....	31
1.3.2 Những vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo để hoàn chỉnh hệ thống giám sát hấp thụ/phát thải CO ₂ rừng tự nhiên.....	32
2 CHƯƠNG 2: ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	34
2.1 ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU	34
2.1.1 Kiểu rừng, trạng thái, loài cây nghiên cứu	34

2.1.2	Sinh khối và carbon rừng nghiên cứu.....	34
2.1.3	Ảnh viễn thám nghiên cứu.....	35
2.2	ĐẶC ĐIỂM KHU VỰC NGHIÊN CỨU	35
2.2.1	Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu.....	35
2.2.2	Đất đai, địa hình	35
2.2.3	Khí hậu, thủy văn	36
2.2.4	Tài nguyên rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên	36
2.3	NỘI DUNG NGHIÊN CỨU	37
2.4	PHƯƠNG PHÁP LUẬN, TIẾP CẬN NGHIÊN CỨU.....	38
2.5	PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	38
2.5.1	Phương pháp thu thập số liệu	38
2.5.2	Phương pháp phân tích sinh khối và carbon trong các bộ phận thực vật và đất rừng	46
2.5.3	Tạo lập cơ sở dữ liệu cây cá thể và lâm phần.....	47
2.5.4	Phương pháp thiết lập mô hình sinh trắc cho cây rừng và lâm phần.....	49
2.5.5	Phương pháp ước tính sinh khối và carbon của các bể chứa ngoài gỗ (thảm mục, thảm tươi, gỗ chết, carbon hữu cơ trong đất).....	53
2.5.6	Phương pháp mô tả cấu trúc và ước tính sinh khối, carbon lâm phần.....	54
2.5.7	Phương pháp giải đoán ảnh vệ tinh để ước tính sinh khối, carbon rừng	56
2.5.8	Phương pháp quản lý dữ liệu sinh khối carbon rừng trong GIS.....	60
3	CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN.....	61
3.1	CƠ SỞ KHOA HỌC XÂY DỰNG MÔ HÌNH SINH TRẮC ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG	61
3.1.1	Phương pháp chọn biến số cho mô hình sinh trắc	61
3.1.2	Phương pháp ước lượng mô hình	64
3.1.3	Phương pháp lựa chọn mô hình sinh trắc	71
3.1.4	Tổng hợp cơ sở khoa học của xây dựng mô hình sinh trắc	74
3.2	MÔ HÌNH SINH TRẮC ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON CÂY RỪNG	76
3.2.1	Mô hình ước tính sinh khối và carbon ở các bộ phận cây trên mặt đất.....	76
3.2.2	Mô hình ước tính sinh khối cây rừng phần trên mặt đất (AGB)	80
3.2.3	Mô hình ước tính sinh khối cây rừng dưới mặt đất (BGB)	82
3.2.4	Mô hình ước tính carbon tích lũy trong cây gỗ phần trên mặt đất (C(AGB))... 84	
3.2.5	Mô hình ước tính carbon tích lũy trong cây gỗ phần dưới mặt đất (C(BGB)).. 85	
3.2.6	Mô hình sinh trắc theo họ thực vật	87
3.2.7	Khối lượng thể tích gỗ (WD) và mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng theo nhóm WD.....	90
3.2.8	Mô hình sinh trắc tối ưu ước tính sinh khối theo từng nhóm phân loại	92

3.2.9	Mô hình chuyển đổi giữa sinh khối, carbon trên và dưới mặt đất và với nhân tố điều tra cây rừng	94
3.2.10	Các hệ số chuyển đổi từ sinh khối thân gỗ (Bst) sang AGB (BEF), từ thể tích (V) sang AGB (BCEF), từ sinh khối sang carbon (CF)	95
3.2.11	Biến động của các mô hình sinh khối thiết lập cho rừng nhiệt đới ẩm trên thế giới với mô hình và dữ liệu của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên và nam Trung Bộ	96
3.3	SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN	101
3.3.1	Sinh khối và carbon tích lũy trong các bể chứa thảm mục, thảm tươi, gỗ chết và trong đất	101
3.3.2	Mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần	107
3.3.3	Cấu trúc sinh khối, carbon lâm phần	117
3.3.4	Dự báo tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO ₂ của lâm phần	128
3.4	PHÂN LOẠI ẢNH SPOT 5 VÀ GIS TRONG ƯỚC TÍNH – GIÁM SÁT SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG	134
3.4.1	Phân loại ảnh vệ tinh SPOT 5 bằng phương pháp phi giám định và lập mối quan hệ sinh khối, carbon lâm phần với các lớp phân loại	134
3.4.2	Phân loại ảnh có giám định để phân chia rừng theo cấp sinh khối	137
3.4.3	Quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng GIS	139
3.5	GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM – GIS VÀ MÔ HÌNH SINH TRẮC TRONG ĐO TÍNH, GIÁM SÁT CO₂ PHÁT THẢI/HẤP THỤ	142
3.5.1	Phân loại ảnh vệ tinh	143
3.5.2	Thu thập dữ liệu rừng	143
3.5.3	Sử dụng mô hình sinh trắc (Allometric Equation) cây rừng và lâm phần	145
3.5.4	Ứng dụng GIS trong giám sát CO ₂ rừng hấp thụ và phát thải	146
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	147
	KẾT LUẬN	147
1.	Cơ sở khoa học lựa chọn mô hình sinh trắc tối ưu:	147
2.	Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng:	147
3.	Sinh khối, carbon lâm phần:	148
4.	Phân loại ảnh vệ tinh SPOT 5 và sử dụng GIS trong giám sát CO ₂ :	149
5.	Giải pháp ứng dụng công nghệ viễn thám- GIS và mô hình sinh trắc trong đo tính, giám sát carbon rừng:	149
	KIẾN NGHỊ	150
	DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	151
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	152
	PHỤ LỤC	175

DANH MỤC CÁC BIỂU, BẢNG

Bảng 2.1: Diện tích rừng hiện tại của Tây Nguyên so với cả nước	36
Bảng 2.2: Thông tin 20 ô mẫu 2000m ² nghiên cứu sinh khối, carbon rừng	39
Bảng 2.3: Số liệu cây mẫu chặt hạ trong 20 ô mẫu.....	43
Bảng 2.4: Các dạng hàm thử nghiệm.....	50
Bảng 3.1: Kết quả dò tìm mô hình ước tính sinh khối cây rừng ($AGB = a \cdot DBH^b$) theo 4 phương pháp ước lượng hàm là bình phương tối thiểu, Marquardt và có hay không có trọng số Weight.....	67
Bảng 3.2: Thử nghiệm lựa chọn mô hình ước tính sinh khối AGB dạng một biến (DBH) hoặc carbon trong lá (Cl) theo tổ hợp một biến ($DBH^2 \cdot H$) ...	72
Bảng 3.3: Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất các bộ phận thân cây với các nhân tố điều tra	77
Bảng 3.4: Mô hình ước tính carbon trên mặt đất các bộ phận thân cây với các nhân tố điều tra	78
Bảng 3.5 Lượng carbon, CO ₂ tích lũy trong 4 bộ phận cây trên mặt đất theo cấp kính	79
Bảng 3.6: Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất với các nhân tố điều tra.....	80
Bảng 3.7: Kết quả xây dựng mô hình ước tính sinh khối dưới mặt đất (BGB) với các nhân tố điều tra	83
Bảng 3.9: Mô hình ước tính carbon cây gỗ dưới mặt đất (C(BGB)) với các nhân tố điều tra	85
Bảng 3.10: Tích lũy carbon trung bình theo cấp kính của 5 bộ phận cây rừng	86
Bảng 3.11: Mô hình sinh trắc ước tính AGB theo họ thực vật	87
Bảng 3.12: So sánh biến động S% của mô hình ước tính sinh khối theo họ thực vật và chung các loài	88
Bảng 3.13: AGB theo họ và chung các họ qua các mô hình	89
Bảng 3.14: Mô hình sinh trắc ước tính AGB theo nhóm khối lượng thể tích gỗ (WD)	91
Bảng 3.15: Mô hình AGB tối ưu theo từng nhóm phân loại	92
Bảng 3.16: Mô hình ước tính sinh khối, carbon gián tiếp.....	94
Bảng 3.18: Mô tả các chỉ tiêu thông kê các hệ số CF, BCEF và BEF	95
Bảng 3.19: Biến động S% của các mô hình cho rừng nhiệt đới ẩm trên thế giới so với số liệu quan sát ở rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên	96
Bảng 3.20: Mô hình AGB theo 4 nhân tố ở Tây Nguyên và Duyên hải nam trung bộ	99

Bảng 3.21: So sánh sự thích ứng của các mô hình AGB trong cùng kiểu rừng lá rộng thường xanh ở hai vùng sinh thái khác nhau.....	99
Bảng 3.22: Biến động về hàm lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC) ở rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên.....	102
Bảng 3.23: Quan hệ giữa SOC với các nhân tố điều tra lâm phần	102
Bảng 3.24: Mô hình quan hệ SOC với sinh khối trên mặt đất (TAGTB).....	103
Bảng 3.25: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm tươi	103
Bảng 3.26: Quan hệ giữa Bhg, Chg với các nhân tố lâm phần N, BA, M và TAGTB	104
Bảng 3.27: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm mục.....	105
Bảng 3.28: Quan hệ giữa Bli, Cli với các nhân tố BA, N, M và TAGTB	105
Bảng 3.29: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong gỗ chết.....	106
Bảng 3.30: Quan hệ giữa Bdw, Cdw với các nhân tố lâm phần N, M và TAGTB.....	107
Bảng 3.31: Mô hình quan hệ giữa sinh khối và carbon lâm phần.....	108
Bảng 3.32: Tích lũy biến động của các mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần	109
Bảng 3.33 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	110
Bảng 3.34: Tích lũy biến động S% các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	111
Bảng 3.35 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	112
Bảng 3.36: Tích lũy biến động các mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	113
Bảng 3.37: Mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	114
Bảng 3.38: Tích lũy biến động S% các mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần.....	114
Bảng 3.39: Mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon ở các bể chứa theo nhân tố điều tra lâm phần	115
Bảng 3.40: Tích lũy biến động của các mô hình ước tính tổng sinh khối carbon theo nhân tố điều tra lâm phần	116
Bảng 3.41 Chiều cao chỉ thị H_i cho các cấp năng suất ở DBH = 25cm và tham số bi của các đường cong chiều cao theo cấp năng suất	118
Bảng 3.42: Mô hình H/DBH trung bình của 3 cấp chiều cao	118
Bảng 3.43 Mô tả các chỉ tiêu sinh khối trên mặt đất lâm phần.....	120
Bảng 3.44: Mô tả các chỉ tiêu thống kê hệ số BCEF	121
Bảng 3.45: Phân cấp sinh khối lâm phần thành 3 cấp.....	122

Bảng 3.46 Kết quả phân tích ANOVA phân cấp sinh khối lâm phần	122
Bảng 3.48: Cấu trúc phân bố carbon của 5 bộ phận cây rừng trong lâm phần trung bình Cấp II-2.....	126
Bảng 3.49 Tổng hợp carbon các bể chứa theo cấp năng suất và sinh khối.....	126
Bảng 3.50 Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất I, cấp sinh khối 1 (I-1)...	129
Bảng 3.51: Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất II, cấp sinh khối 2 (II-2)	130
Bảng 3.52 Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất III, cấp sinh khối 3 (III-3)	131
Bảng 3.53: Tăng trưởng sinh khối, carbon và khả năng hấp thụ CO ₂ ở 9 đơn vị phân chia (3 cấp sinh khối – 3 cấp năng suất) của rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên	132
Bảng 3.54: Mô hình tối ưu quan hệ TAGTB với hệ thống class trong phân loại ảnh phi giám định.....	135
Bảng 3.55: Cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon rừng trong GIS tại thời điểm chụp của ảnh vệ tinh SOPT 5.....	142

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, BIỂU ĐỒ, SƠ ĐỒ

Hình 1.1: Năm bể chứa carbon rừng (Nguồn: Winrock, International, 2010)	6
Hình 1.2 : Tiếp cận của IPCC (2006) để tính toán phát thải khí nhà kính trong lâm nghiệp	8
Hình 1.3: Đồ thị quan hệ phần dư có trọng số với giá trị của mô hình.....	12
Hình 2.1: Bản đồ khu vực nghiên cứu	35
Hình 2.2: Sơ đồ phân bố ô mẫu khu vực nghiên cứu.....	40
Hình 2.3: Sơ đồ ô phân tầng (ICRAF 2007)	41
Hình 2.4: Thu thập và cân sinh khối gỗ chết, thảm mục.....	42
Hình 2.5: Xác định dung trọng đất tươi bằng ống dung trọng và cân điện tử – Lấy mẫu đất	43
Hình 2.6: Chặt hạ cây, phân tách các bộ phận và đào rễ cây	44
Hình 2.7: Phân chia cây chặt hạ thành 5 đoạn bằng nhau để xác định thể tích có vỏ và không vỏ	44
Hình 2.8: Cân khối lượng tươi 5 bộ phận cây chặt hạ	45
Hình 2.9: Xác định khối lượng thể tích gỗ, vỏ tươi ngay trong rừng	45
Hình 2.10: : Lấy mẫu 5 bộ phận bằng cân điện tử.....	46
Hình 2.11: Phân tích trong phòng thí nghiệm xác định khối lượng thể tích gỗ, sinh khối và carbon	47
Hình 2.12: Xác định thể tích gỗ, vỏ tươi bằng ống đo nước (ml).....	48
Hình 2.13: Biểu đồ đánh giá sự thích hợp và tin cậy của mô hình lựa chọn	53
Hình 2.14: Ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính(Bảo Huy, 2012).....	57
Hình 2.15: 69 ô kiểm tra được chồng trên ảnh SPOT 5 vùng nghiên cứu.....	58
Hình 2.16: 140 ô giải đoán được chồng trên ảnh SPOT 5	58
Hình 2.17: Chồng các class với các ô mẫu.	59
Hình 2.18: Phân loại phi giám định với 3 lớp (class)	59
Hình 3.1: Giá trị C_p của Mallow theo số biến số và đồ thị thay đổi R^2 và MSE theo số biến số tham gia mô hình.....	62
Hình 3.2: Quan hệ giữa AGB với các biến số DBH, H, WD và CA theo mô hình không gian 3 chiều.....	63
Hình 3.3: Bốn tham số đầu vào dựa vào mô hình tuyến tính hóa để ước lượng mô hình phi tuyến $AGB = a * DBH^b H^c WD^d CA^e$ theo Marquardt	65
Hình 3.4: Ước lượng mô hình phi tuyến theo Marquardt có trọng số $weight = 1/DBH^{(2*b)}$	66
Hình 3.5: Đồ thị quan hệ giữa giá trị quan sát - ước tính và biến động residuals quanh giá trị ước tính của mô hình $AGB = a * DBH^b$ theo Marquardt với trọng số thay đổi	67

Hình 3.6: Đồ thị quan hệ giữa giá trị ước lượng qua hàm và quan sát – Đồ thị biến động Residuals cho 4 phương pháp ước lượng hàm.	71
Hình 3.7: Đồ thị quan hệ lý thuyết – quan sát, residuals và Normal P=P của 2 mô hình $AGB=f(DBH)$	73
Hình 3.8: Sơ đồ tiếp cận xây dựng mô hình sinh trắc.....	76
Hình 3.9 Tỷ lệ % lượng carbon các bộ phận trong thân cây trên mặt đất	80
Hình 3.10: Tỷ lệ carbon tích lũy trong 5 bộ phận cây rừng.....	87
Hình 3.11: AGB theo mô hình từng họ thực vật và chung các loài.....	90
Hình 3.12: So sánh mô hình AGB một biến số DBH của Brown và mô hình của tác giả với dữ liệu quan sát.....	97
Hình 3.13: So sánh tổng hợp các dạng hàm của Chave và Brown	98
Hình 3.14: So sánh chéo sự thích ứng hai mô hình AGB cho rừng lá rộng thường xanh ở hai vùng sinh thái Tây Nguyên và Nam Trung bộ	101
Hình 3.15: Đám mây điểm quan hệ giữa SOC với các nhân tố BA, N, M và TAGTB	102
Hình 3.16: Đám mây điểm quan hệ giữa Bhg, Chg với N, BA, M và TAGTB	104
Hình 3.17: Đám mây điểm quan hệ giữa Bli, Cli với Ba, N, M và TAGTB	105
Hình 3.18: Đám mây điểm quan hệ giữa Bdw, Cdw với các nhân tố N, M và TAGTB	107
Hình 3.19: Đồ thị đám mây điểm H/DBH và giới hạn trên và dưới của hệ thống cấp chiều cao phân chia	119
Hình 3.20: Biểu cấp chiều cao và đồ thị cấp chiều cao rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên	119
Hình 3.21: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp I-1.....	123
Hình 3.22: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp II-2	124
Hình 3.23: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp III-3	125
Hình 3.24: Cấu trúc carbon của 5 bộ phận cây trong lâm phần trung bình cấp II-2	126
Hình 3.25: Tỷ lệ carbon các bể chứa trong lâm phần ở cấp năng suất, sinh khối trung bình (II-2)	128
Hình 3.26: Hấp thụ CO ₂ (tấn/ha/năm) rừng lá rộng thường xanh theo cấp sinh khối và cấp chiều cao.....	133
Hình 3.27 Phân loại phi giám định 3 lớp, 4 lớp và 5 lớp trong ENVI.....	134
Hình 3.28: 140 ô mẫu chồng xếp lên 3 hệ thống phân loại ảnh phi giám định 3-4-5 class và cơ sở dữ liệu TAGTB theo các classes.....	135
Hình 3.29: Tổ hợp chồng xếp hệ thống phân loại ảnh phi giám định với 3 và 4 class có quan hệ chặt chẽ với TAGTB	137
Hình 3.30: Ảnh đã được phân loại giám định thành 3 cấp sinh khối dựa vào 140 ô mẫu hiện trường.....	137

Hình 3.31: Ma trận độ tin cậy của phân loại có giám định	138
Hình 3.32: TAGTB được tính qua mô hình cho từng tổ hợp polygon của hệ thống 3 và 4 class trong ArcGIS.....	139
Hình 3.33: Bản đồ sinh khối các tổ hợp 3 lớp và 4 lớp ảnh SPOT 5	140
Hình 3.34: Gắn 3 cấp sinh khối trong ArcGIS.....	141
Hình 3.35: Bản đồ cấp sinh khối vùng Tuy Đức tỉnh Đắk Nông.....	141
Hình 3.36: Tiến trình đo tính, giám sát sinh khối, carbon theo từng đối tượng ứng dụng	144
Hình 3.37: Ô mẫu phân tầng (Bảo Huy 2012)	145
Hình 3.38: Cập nhật dữ liệu tổng carbon rừng khi TAGTB thay đổi thông qua kết hợp mô hình sinh trắc trong ArcGIS	146

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của luận án

Trong Hiệp định khung của Liên Hiệp Quốc về biến đổi khí hậu, các quốc gia tiềm năng được hưởng lợi trong phụ lục I cần có kết quả đo tính, báo cáo và thẩm định phát thải, hấp thụ CO₂ [54]. Trong đó đối với quản lý rừng thì cần có kết quả đo tính, báo cáo và thẩm định được khả năng lưu giữ carbon và CO₂ phát thải theo định kỳ. Để làm được điều này cần thiết lập một hệ thống đo tính, giám sát và thẩm định tài nguyên rừng, trong đó có carbon.

Nhiều nhà khoa học trên thế giới như Basuki et al. (2009) [30], Brown et al. (1992, 1989, 1997) [33,34,35], Chave et al. (2004, 2005) [39,40],... đã xây dựng mô hình sinh trắc (allometric equations) để ước tính sinh khối, từ đó suy ra carbon tích lũy và CO₂ hấp thụ cho cây rừng ở các kiểu rừng khác nhau như rừng ôn đới, rừng nhiệt đới khô, rừng nhiệt đới ẩm, và nhiệt đới ẩm ướt. Các mô hình trên thế giới lập cho vùng rừng nhiệt đới còn rất ít, hoặc chỉ lập chung cho một số kiểu rừng chính của vùng nhiệt đới, chưa lập được cho từng vùng sinh thái; bên cạnh đó dữ liệu còn ít và các mô hình này chưa được đánh giá độ chính xác ở Việt Nam. Ngoài ra hầu hết các mô hình phục vụ cho ước tính, giám sát carbon rừng hầu hết chỉ dừng lại phần sinh khối trên mặt đất (AGB), thiếu sinh khối dưới mặt đất (BGB), chưa có dữ liệu phân tích hàm lượng để lập mô hình ước tính carbon rừng, chủ yếu sử dụng hệ số chuyển đổi từ sinh khối sang carbon với giá trị trung bình là 0.47 của IPCC (2003, 2006) [69,70].

Từ năm 2009 dưới sự hỗ trợ của FAO và các tổ chức quốc tế, Việt Nam đã khởi động chương trình UN-REDD⁺ quốc gia. Để tham gia chương trình REDD⁺, cần có những nghiên cứu về phương pháp đo tính, giám sát carbon 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 làm cơ sở tính toán chi trả dịch vụ môi trường.

Theo IPCC (2006) [70], rừng có 5 bể chứa carbon bao gồm trong cây gỗ phần trên trên mặt đất, trong rễ cây rừng, trong thảm mục, gỗ chết và carbon hữu cơ trong đất. Để thực hiện giám sát biến động trữ lượng carbon, CO₂ hấp thụ hay phát thải, thì 5 bể chứa này cần được đo tính, giám sát theo định kỳ.

Đối với bể chứa carbon lâm phần là cây gỗ trên mặt đất, để ước tính thông thường sử dụng các mô hình sinh khối cây cá thể để quy đổi ra cho lâm phần dựa vào số liệu điều tra ô mẫu. Một số mô hình sử dụng chung cho rừng ẩm nhiệt đới cũng đã được một số tác giả trên thế giới xây dựng như Brown (1997) [34], Chave (2005) [39], Henry (2010) [62], hoặc ở trong nước có Bảo Huy (2012, 2013) [9,10,11], Vũ Tấn Phương (2012) [17]. Tuy nhiên hầu như không có các mô hình ước tính sinh khối và carbon trực tiếp cho lâm phần; gần đây Torres và Lovett (2013) [101] có đưa ra giải pháp lập mô hình ước tính sinh khối cho lâm phần dựa vào biến số tổng tiết ngang lâm phần (BA) và mật độ (N).

Đối với bể chứa carbon dưới mặt đất của lâm phần, để ước tính hầu như sử dụng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006) [70] từ sinh khối trên mặt đất, thông thường sinh khối dưới mặt đất được ước tính bằng khoảng 20% trên mặt đất.

Đối với các bể chứa carbon lâm phần ngoài gỗ bao gồm trong thảm mục, thảm tươi, gỗ chết hoặc carbon hữu cơ trong đất, hầu như chưa có công trình đưa ra giá trị cho từng kiểu rừng, vùng sinh thái của khu vực nhiệt đới. Nếu áp dụng cấp độ 1 trong giám phát thải (Tier 1) thì có thể sử dụng các giá trị bình quân của IPCC (2006).

Do đó có thể thấy giải pháp ước tính sinh khối, carbon cho lâm phần bao gồm cả 5 bể chứa hầu như chưa được nghiên cứu, chủ yếu tập trung lập mô hình sinh khối cho cho cây gỗ phần trên mặt đất; vì vậy sẽ không đủ cơ sở dữ liệu, thông tin khoa học để giám sát đầy đủ các bể chứa carbon trong lâm phần để tham gia REDD+ ở Việt Nam.

Về nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS được áp dụng phổ biến nhất trong phân loại và thành lập bản đồ thảm phủ rừng, tuy nhiên chỉ tập trung ở rừng trồng và rừng ôn đới. Ở Việt Nam việc ứng dụng công nghệ này cũng chỉ dừng lại ở việc phân loại rừng song vẫn đang còn ở giai đoạn bắt đầu. Hầu như chưa có nghiên cứu xây dựng mối quan hệ giữa nhân tố điều tra rừng, sinh khối, trữ lượng carbon với giá trị ảnh trong điều kiện rừng nhiệt đới ở Việt Nam. Do đó nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS nói chung là một hướng đi cần được tiếp thu và phát triển ở Việt Nam, đồng thời trong chương trình REDD⁺, nó sẽ hỗ trợ đắc lực cho cung cấp dữ liệu phát thải CO₂ và giám sát phát thải hoặc hấp thụ từ tiến trình quản lý rừng.

Vì vậy nghiên cứu: “**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**” sẽ góp phần giải quyết các vấn đề, nhu cầu nói trên.

2. Mục tiêu của luận án:

Về lý luận:

Đóng góp vào cơ sở lý luận xây dựng các mô hình sinh trắc (allometric equations) để ước tính sinh khối, carbon rừng lâm phần.

Xây dựng phương pháp mô tả cấu trúc và lượng hóa sinh khối, carbon lâm phần.

Cung cấp phương pháp giám sát thay đổi hấp thụ, phát thải CO₂ bằng công nghệ viễn thám và GIS

Về thực tiễn:

- i) Xây dựng được hệ thống phương pháp và tiêu chí lựa chọn biến số và hàm số thích hợp của các mô hình sinh trắc.
- ii) Lập được hệ thống các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon của cây rừng trên và dưới mặt đất cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên
- iii) Thiết lập được các mô hình sinh trắc ước tính sinh khối và carbon lâm phần.
- iv) Mô tả được cấu trúc sinh khối và ước tính trữ lượng carbon ở các cấp sinh khối và cấp năng suất khác nhau.
- v) Xây dựng hệ thống mô hình công nghệ và ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong giám sát hấp thụ, phát thải CO₂

3. Đối tượng và phạm vi:

Luận án nghiên cứu trên đối tượng:

Kiểu rừng, trạng thái rừng, loài cây nghiên cứu: Kiểu rừng lá rộng thường xanh bao gồm các trạng thái rừng giàu, trung bình, nghèo và non. Các trạng thái rừng hình thành do mức độ tác động trong khai thác chọn và thời gian phục hồi khác nhau. Nhìn chung rừng đã qua khai thác chọn và phục hồi ở các mức độ, chỉ có một trạng thái rừng ít hoặc chưa bị tác động đáng kể. Nghiên cứu chung cho các loài và riêng cho một số họ thực vật phổ biến trong các lâm phần.

Sinh khối và carbon cây rừng: Bao gồm trong 5 bộ phận là thân, cành, lá, vỏ và rễ.

Sinh khối và carbon lâm phần: Bao gồm sinh khối và carbon trong 5 bể chứa của rừng theo IPCC (2006); trong cây gỗ trên mặt đất, dưới mặt đất, trong thảm mục, gỗ chết và carbon hữu cơ trong đất. Ngoài ra còn tách riêng bể chứa carbon trong thảm tươi.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

- Ý nghĩa khoa học: Cung cấp cơ sở khoa học xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng, lâm phần; đưa ra giải pháp ứng công nghệ viễn thám để giám sát hấp thụ, phát thải CO₂ cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên.

- Ý nghĩa thực tiễn: Đưa ra các mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng, lâm phần; Hệ số chuyển đổi sang sinh khối, carbon của các bể chứa khó đo đếm từ các bể dễ đo đếm hoặc nhân tố điều tra rừng thông thường. Ứng dụng công nghệ viễn thám GIS trong giám sát tài nguyên, sinh khối và carbon rừng.

5. Những đóng góp mới của luận án:

Đóng góp của luận án bao gồm:

Dữ liệu thu thập để lập các mô hình sinh trắc và ước sinh khối, carbon trong 5 bể chứa của rừng lá rộng thường xanh bao trùm được khu vực Tây Nguyên

Hệ thống cơ sở khoa học để xây dựng mô hình sinh trắc về phương pháp để lựa chọn mô hình sinh trắc tối ưu.

Mô hình sinh trắc ước tính carbon cây rừng và lâm phần.

Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất, theo họ thực vật.

Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất, theo khối lượng thể tích gỗ (WD).

Xác định được sinh khối, carbon của các bể chứa thảm mục, thảm tươi, cây chết, carbon hữu cơ trong đất.

Mô tả được biến động cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần theo cấp chiều cao và cấp sinh khối rừng.

Phát triển giải pháp giải đoán ảnh SPOT 5 để lập bản đồ và dữ liệu sinh khối, carbon rừng. Ứng dụng GIS để quản lý dữ liệu hấp thụ và phát thải CO₂ từ rừng

Thiết lập được hệ thống mô hình công nghệ để quản lý giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ rừng.

6. Cấu trúc của luận án:

Luận án bao gồm 150 trang, trong đó bao gồm các phần sau:

- Phần mở đầu: Phần này đề cập các nội dung: sự cần thiết của luận án, mục tiêu, đối tượng và phạm vi, những đóng góp của luận án và cấu trúc luận án.
- Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu.
- Chương 2: Trình bày đối tượng, nội dung và phương pháp nghiên cứu.
- Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận.
- Kết luận, tồn tại và kiến nghị.
- Các phụ lục: Gồm 19 phụ lục cơ sở dữ liệu xây dựng luận án, kết quả tính toán sinh khối, carbon cây cá thể, lâm phần.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1 TRÊN THẾ GIỚI

1.1.1 Cơ sở đo tính, giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ từ suy thoái và mất rừng theo IPCC

Ủy ban hợp tác liên chính phủ về Biến đổi khí hậu IPCC (2003) [69] xác định 5 bể chứa carbon rừng cần giám sát để đo độ phát thải gây ra do mất rừng và suy thoái rừng là: sinh khối trên bề mặt đất (above ground biomass), sinh khối dưới mặt đất (below ground biomass), thảm mục (litter), gỗ chết (dead wood) và carbon hữu cơ trong đất (soil organic carbon - SOC). Ngoài ra còn có bể chứa carbon trong các sản phẩm gỗ, tuy nhiên chúng đã được di chuyển ra ngoài rừng do đó không được đo tính trong giám sát carbon rừng; và còn bể chứa carbon không phải là cây gỗ (thảm tươi, các loại dây leo, cây bụi).

Rừng có 5 bể chứa carbon như Hình 1.1. Bao gồm: i) Trong cây gỗ phần trên mặt đất; ii) Trong thảm mục; iii) Trong cây chết; iv) Trong rễ cây dưới mặt đất và v) Trong đất rừng.



Hình 1.1: Năm bể chứa carbon rừng (Nguồn: Winrock, International, 2010)

IPCC (2003) [69] cũng giới thiệu ba bậc (Tier) cho việc hoạch toán carbon. Mỗi bậc đòi hỏi cần nhiều dữ liệu hơn và các phân tích phức tạp hơn để đảm bảo tính chính xác cao hơn. Hoạt động giám sát, báo cáo và thẩm định (MRV) mất rừng và suy thoái rừng bao gồm hai hợp phần: (i) giám sát thay đổi diện tích rừng theo từng loại rừng (dữ liệu hoạt động); và (ii) giám sát trữ lượng carbon trung bình trên một đơn vị diện tích và theo loại rừng (mật độ carbon) (theo IPCC, 2003). Do đó, phương thức tiếp cận đơn giản nhất (Bậc 1) là theo dõi thay đổi về diện tích của mỗi loại rừng,

và tính toán trữ lượng carbon trong mỗi loại rừng bằng cách sử dụng các giá trị mặc định quốc tế về mật độ carbon. Trong Bậc 2, tính chính xác được cải thiện vì trữ lượng carbon theo diện tích rừng được tính theo dữ liệu cụ thể của quốc gia thay vì sử dụng các giá trị mặc định quốc tế. Trong Bậc 3, các mô hình và số liệu kiểm kê rừng được kết nối với biến động diện tích và tính toán cho từng quốc gia riêng biệt và được lặp đi lặp lại theo chuỗi thời gian. Do đó Bậc 3 cũng giúp tính toán những thay đổi về trữ lượng carbon trong kỳ hoạch toán.

IPCC (2006) đưa ra hai phương pháp tính toán thay đổi trữ lượng carbon: i) Phương pháp thay đổi trữ lượng carbon ở hai thời điểm (Stock – difference method) và ii) Phương pháp hấp thụ – phát thải (Gain – Loss). Cả hai phương pháp đều có giá trị như nhau, tuy nhiên phương pháp đầu tiên dễ xác định hơn do chỉ dựa vào tổng carbon ở từng lần kiểm kê rừng; trong khi đó phương pháp thứ hai phải tách riêng phần rừng hấp thụ và phần phát thải do mất và suy thoái rừng.

- Phương pháp Stock – difference method:

Trong trường hợp này dựa vào hai lần điều tra đo tính trữ lượng carbon ở các bể chứa, tính toán được tăng giảm bình quân của lượng carbon theo công thức sau:

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad 1-1$$

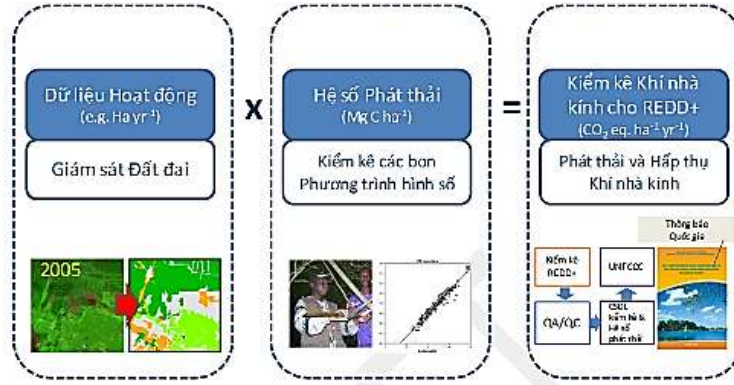
Trong đó: ΔC_B : Thay đổi sinh khối, carbon, CO₂ rừng; C_{t^*} : Tổng sinh khối/carbon, CO₂ ở thời điểm t_1 hoặc t_2 và $t_{1,2}$: Thời điểm đo tính thứ nhất và thứ hai.

- *Phương pháp Gain – Loss*: Dựa vào hấp thụ và phát thải carbon hàng năm, theo công thức:

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L \quad 1-2$$

Trong đó: ΔC : Lượng carbon thay đổi (tC/năm); ΔC_G : Lượng carbon tích lũy từ tăng trưởng (tC/năm) và ΔC_L : Lượng carbon mất đi từ khai thác gỗ, củi, cháy rừng (tC/năm).

Để tính được CO₂ rừng phát thải (Emissions) hoặc hấp thụ (Removal), kết hợp giám sát sự thay đổi diện tích rừng, trạng thái rừng (activity data) với thay đổi bể chứa carbon ở hai thời điểm điều tra theo một trong hai phương pháp trên; Hình 1.2 thể hiện tổng hợp giám sát phát thải/hấp thụ CO₂ rừng



Hình 1.2 : Tiếp cận của IPCC (2006) để tính toán phát thải khí nhà kính trong lâm nghiệp

1.1.2 Phương pháp thiết lập các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối và carbon rừng

1.1.2.1 Khái niệm mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon rừng

Hàm toán sinh học allometric equations là phương trình toán thống kê sinh học mô phỏng mối tương quan, quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các nhân tố điều tra rừng, nhân tố sinh thái trong hệ sinh thái rừng (Picard et al. (2012)).

Nếu gọi B là sinh khối và D là đường kính cây, thì có một hệ số quan hệ theo công thức:

$$\frac{dB}{B} = a \frac{dD}{D} \quad 1-3$$

Công thức này có thể được kết hợp trong mối quan hệ dạng hàm mũ (power): $B = b \cdot D^a$. Nó cũng có thể cần thiết để bổ sung một tham số là hằng số vào quan hệ này, và mô hình trở thành: $B = c + bD^a$, trong đó c là sinh khối của cá thể để đạt được chiều cao tại vị trí đo đường kính (ví dụ ở độ cao 1.3m, nếu đường kính cây được đo ở vị trí này) (Picard et al. (2012)).

Thông thường trong nghiên cứu sinh khối, cây được phân chia thành các bộ phận đồng nhất: thân cây, vỏ, cành, lá, rễ. Trên cơ sở sinh khối từng bộ phận và tổng hợp toàn bộ cây, lâm phần được ước tính qua một mô hình sinh trắc theo các nhân tố cây cá thể là lâm phần. Mô hình sinh trắc được thiết lập trên quan điểm sinh học, tức là xem xét nhân tố nào ảnh hưởng đến sự thay đổi của sinh khối hơn là đơn thuần thiết lập một mô hình toán học. (Picard et al. (2012)).

Kết quả của quá trình sinh trưởng và phát triển của cây rừng và lâm phần chính là sinh khối, và carbon tích lũy hay còn gọi là sinh khối sơ cấp. Vì vậy các nhân tố điều tra rừng có quan hệ chặt chẽ với sinh khối, carbon. Tuy nhiên để xác định mối quan hệ giữa các nhân tố này với sinh khối và trữ lượng carbon cần xem xét đặc điểm của quá trình sinh trưởng và phát triển, mối quan hệ qua lại giữa các cá thể trong quần thể để xây dựng mối tương quan phù hợp với quy luật sinh học và sinh thái học.

1.1.2.2 Xác định các biến số ảnh hưởng trong mô hình sinh trắc ước tính sinh khối carbon rừng

Hầu hết các tác giả trên thế giới, để xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng đều dựa vào các nhân tố chính là đường kính (DBH) và chiều cao cây (H); vì 2 nhân tố này là 2 nhân tố cơ bản cấu thành thể tích, trữ lượng rừng và có quan hệ chặt chẽ với sinh khối. Để nâng cao độ chính xác của mô hình ước tính sinh khối, carbon nhiều tác giả đưa thêm các biến khối lượng thể tích gỗ (WD) và một số tác giả có đề cập đến biến số đường kính tán lá (Crown Diameter - CD). Khối lượng thể tích gỗ (WD) phụ thuộc rất lớn vào loài, do đó WD là nhân tố quan trọng ảnh hưởng lớn đến sai số của mô hình ước tính trong ước tính sinh khối, carbon cho rừng nhiệt đới với sự đa dạng loài rất cao. Biến số CD hay tương đương là biến số diện tích tán lá (Crown Area) là quan trọng đối với mô hình cho cây rừng nhiệt đới, bởi vì cùng DHB, H nhưng diện tích tán của các loài khác nhau sẽ rất khác nhau do đặc điểm hình thái loài; và ảnh hưởng đến biến động sinh khối/carbon. Tuy vậy biến CD/CA chưa được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu để đưa vào mô hình ước tính sinh khối. Hàm có 04 biến số là DBH, H, WD và đường kính tán lá (CD) được xây dựng bởi Henry và cộng sự (2010) [62] ở rừng nhiệt đới Châu Phi.

Để đưa nhiều biến số vào mô hình nhằm giảm sai số ước tính hầu hết các tác giả sử dụng phương pháp kiểm tra sự tồn tại của các biến số bằng tiêu chuẩn t với mức ý nghĩa $P < 0.05$. Trong khi đó chưa áp dụng các tiêu chuẩn thống kê để xác định số biến ảnh hưởng có ý nghĩa; vấn đề này có thể được thực hiện thông qua tiêu chuẩn C_p của Mallow (1973) [80] với C_p tiến đến gần số biến số thì các biến số đó là tối ưu để đưa vào hàm.

1.1.2.3 Dạng hàm mô phỏng sinh khối, carbon rừng

Dạng hàm sinh trắc để ước tính sinh khối và carbon rừng là khá đa dạng, có thể là hàm tuyến tính hoặc phi tuyến tính. Tuy nhiên bất kỳ hàm nào đều cần phải dựa vào đặc điểm sinh trưởng, tích lũy sinh khối của thực vật thân gỗ. Thông thường các hàm phi tuyến được tuyến tính hóa bằng cách chuyển về dạng logarit.

Picard et al. (2010) [85] đề nghị sử dụng các hàm sinh khối (B) cùng với biến số ảnh hưởng là D, H và ρ dạng hàm mũ được được tuyến tính hóa bằng log hoặc hàm parabol bậc 2 đến 3. Tương tự như vậy nhiều tác giả như MacDicken (1997) [77], Johannes và Shem (2011) [71], Brown (1997) [34], Chave và Andalo (2004, 2005), Bakusi, Van Laake et al. (2009) [30], Henry et al. (2010)) [62] đều sử dụng hàm log để lập mô hình sinh khối của tất cả bộ phận cây trên mặt đất (AGB) theo các biến số D, H và ρ . Basuki và cộng sự (2009) [30] khi lập mô hình sinh khối rừng khộp đã so sánh các dạng hàm của Brown (1989), Chave (2005) [39] theo dạng hàm Polynomial bậc cao, theo chỉ tiêu S% (biến động trung bình), kết quả cho thấy dùng hàm mũ đổi biến số $\ln(\text{AGB}) = a + b \cdot \ln(\text{DBH})$ sẽ cho biến động nhỏ hơn, sát thực tế hơn và giảm sai số ước lượng so với hàm Polynomial bậc 2 đến 3.

Tổng hợp tất cả các dạng hàm của các tác giả chính nghiên cứu dùng để lập mô hình sinh khối rừng trên thế giới, trong đó tập trung cho rừng nhiệt đới cho thấy có thể hệ thống theo từng nhóm hàm chính sau đây:

- Hàm dạng tuyến tính:

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad 1-4$$

Hàm Polynomial bậc cao:

$$y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_nX^n + \varepsilon \quad 1-5$$

- Hàm mũ dạng Power:

$$y = a_0X_1^{a_1}X_2^{a_2} \dots X_n^{a_n} + \varepsilon \quad 1-6$$

- Hàm tuyến tính hóa dạng logarit neper:

$$\ln(y) = a_0 + a_1\ln(X_1) + a_2\ln(X_2) + \dots + a_n\ln(X_n) + \varepsilon \quad 1-7$$

$$\ln(y) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad (2.24) \quad 1-8$$

$$y = a_0 + a_1\ln(X_1) + a_2\ln(X_2) + \dots + a_n\ln(X_n) + \varepsilon \quad 1-9$$

Trong đó biến số:

- y : là sinh khối của cây rừng phần trên mặt đất
- X_i : Là các biến số ảnh hưởng bao gồm 4 biến số DBH, H, WD và CD.

Trong đó X_i có thể là các biến đơn như DBH, H, WD và CD hoặc có thể tổ hợp thành nhóm biến nhưng DBH^2H , DBH^2*H*WD , DBH^2WD , $DBH^2*H*CD*WD$.

Từ tổng hợp này cho thấy quy luật sinh trưởng của sinh khối thông thường không theo dạng đường thẳng. Trong đó nhiều tác giả khẳng định hàm Power tỏ ra thích hợp trong nhiều trường hợp ở các kiểu rừng, vùng sinh thái khác nhau. Hàm này có thể ước tính trực tiếp từ phương pháp phi tuyến, tuy nhiên đa số tác giả tuyến hóa dạng log để thiết lập hàm theo phương pháp bình phương tối thiểu. Vì vậy có thể thấy mô hình sinh khối thông thường biểu diễn dưới dạng log, tuy nhiên tùy theo vùng sinh thái, kiểu rừng mà các biến số có thể là biến đơn hay là tổ hợp biến, tổ hợp biến tỏ ra phù hợp cao là DBH^2H , DBH^2WD .

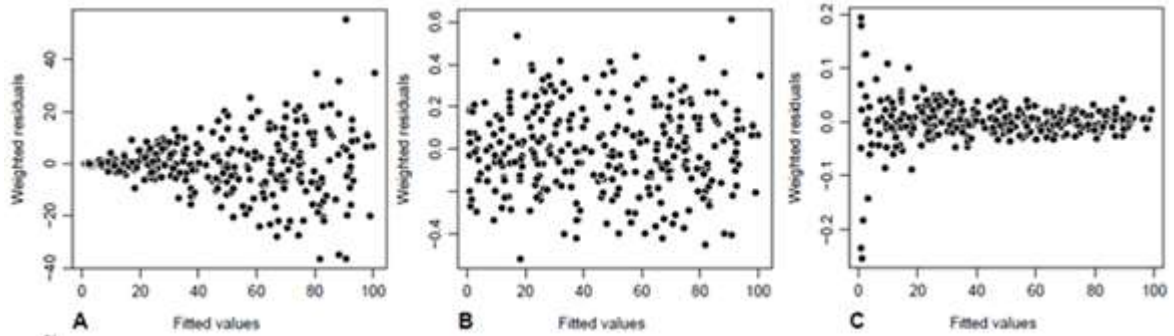
1.1.2.4 Phương pháp ước lượng hàm

Hai phương pháp ước lượng hàm sinh trắc phổ biến được áp dụng là:

- Phương pháp bình phương tối thiểu có hay không có sử dụng trọng số (Weight) để ước lượng hàm tuyến tính hay phi tuyến tính được tuyến tính hóa
- Phương pháp Marquardt ước lượng hàm phi tuyến có hay không có trọng số (Weight).

Trong đó đa số các tác giả sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu đối với hàm phi tuyến đã tuyến tính hóa. Ít tác giả đề cập đến phương pháp ước lượng phi tuyến hoặc có trọng số. Trong khi đó Picard, Saint-André và Henry (2012) [85] cho thấy trong một số trường hợp ước lượng hàm có trọng số sẽ cải thiện độ tin cậy của hàm thông qua giảm biến động của sai số (phần dư – residual); hoặc dựa vào tham số thăm dò của hàm tuyến tính để cung cấp tham số đầu vào cho hàm phi tuyến sẽ tiếp cận tốt dữ liệu quan sát hơn, giảm sai số.

Theo Picard et al. (2012) trọng số của một hàm được xác định như sau: Ví dụ mô hình hàm mũ $Y = a.X^{2c}$, thì trọng số để điều chỉnh hàm là Weight $W_i = 1/X^{2c}$, trong đó c biến động từ -2 đến + 2. Khi thay đổi c của trọng số sẽ thay đổi biến động của residual, trên cơ sở đó có thể quyết định chọn lựa giá trị trọng số tối ưu cho mô hình ước lượng.



Hình 1.3: Đồ thị quan hệ phần dư có trọng số với giá trị của mô hình

(A): Giá trị c trong trọng số quá thấp; (B): giá trị c của trọng số là thích hợp và (C): giá trị c của trọng số là quá cao. Lưu ý là khi c tăng thì trọng số W_i giảm do $W_i = 1/X^{2c}$ (Nguồn: Picard et al. (2012))

Hình 1.3 cho thấy với các tiếp cận ước lượng mô hình có trọng số sẽ giúp cho việc điều chỉnh biến động phần dư của mô hình phù hợp hơn, giảm sai số. Giá trị biến động phần dư tốt khi mà nó là hằng số theo từng dãy giá trị ước lượng thông qua mô hình, tốt nhất nằm trong khoảng -2 đến $+2$, tức là trong biến động với độ tin cậy $P = 95\%$.

Về phương pháp ước lượng hàm phi tuyến của Marquardt, thông thường các giá trị đầu vào của từng tham số được đưa vào theo kinh nghiệm; tuy nhiên Picard et al. (2012) đã chỉ ra một quy trình tốt để tiếp cận ước lượng mô hình phi tuyến như sau:

Ví dụ ước lượng mô hình Power trực tiếp từ phương pháp phi tuyến tính (Non – Linear) có trọng số weight: $y = a.x^b$. Các bước như sau:

- Đổi biến số log mô hình để về tuyến tính: $\ln(y) = a' + b \ln(x)$
- Ước lượng mô hình tuyến tính hóa theo phương pháp bình phương tối thiểu có được a' và b , từ đó suy ra $a = \exp(a')$
- Sử dụng a và b đã ước lượng tuyến tính làm tham số đầu vào cho ước lượng phi tuyến.
- Trọng số của mô hình: $W = 1/X_i^{2b}$, trong đó X_i là biến quan trọng để điều tiết mô hình, và b là tham số gắn biến X_i . Thay đổi b
- trong phạm vi -2 đến 2 để dò tìm hàm tối ưu với biến động residuals là hằng số (trong phạm vi -2 đến $+2$) theo các giá trị ước tính qua mô hình.

Phương pháp xác định trọng số và ước lượng mô hình phi tuyến của Picard et al. (2012) là một định hướng quan trọng để ước lượng được mô hình có biến động sai số

thấp, và có thể ước lượng trực tiếp mô hình phi tuyến có tiếp cận tốt hơn với dữ liệu thực tế so với ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số.

1.1.2.5 Tiêu chuẩn lựa chọn biến số và mô hình

Để thiết lập được một mô hình sinh trắc có độ tin cậy cao thì hai nội dung quan trọng cần quan tâm:

- Biến số độc lập nào cần tham gia vào mô hình?
- Dạng hàm nào là thích hợp?

Để chọn số biến số, tiêu chuẩn Mallows' C_p (1973) [80] thường được sử dụng trong trường hợp có nhiều biến x_p nhưng chưa rõ có ảnh hưởng đến y hay không. Chỉ số C_p càng gần với số biến số P thì mô hình càng phù hợp; dựa vào đây để xác định số biến số P tham gia mô hình khi có quá nhiều biến số được giả định là có ảnh hưởng đến y .

Nếu một mô hình có P biến số độc lập được lựa chọn từ một tập hợp $K > P$, chỉ tiêu thống kê C_p được tính toán:

$$C_p = \frac{SSE_p}{S^2} - N + 2P, \quad 1-10$$

Trong đó:

- SEE_p : là tổng sai số bình phương của mô hình với P biến số độc lập.
- Y_{pi} là giá trị dự đoán từ giá trị quan sát thứ i là của Y_i của mô hình có P biến số
- S^2 bình phương trung bình phần dư (residual mean square) sau khi mô hình quan hệ hoàn thành với K biến số độc lập và được ước tính từ sai số trung bình bình phương (mean square error – MSE)
- N là dung lượng mẫu quan sát

Để đánh giá chất lượng của mô hình đã thiết lập, thông thường sử dụng các tiêu chuẩn so sánh giữa giá trị dự báo qua mô hình với quan sát (Schlaegel, 1982; Parresol, 1999; Tedeschi, 2006 dẫn theo Picard, 2012). Nhiều trường hợp có R^2 đạt max và các giá trị sai phần dư là bé nhất nhưng chưa phải là hàm phù hợp nhất, do vậy cần dựa thêm các chỉ tiêu thống kê khác:

- Tiêu chuẩn AIC (Akaike Information Criterion): AIC được sử dụng khi cần lựa chọn mô hình tốt nhất với các biến số ảnh hưởng khác nhau (Burnham và Anderson, 2002; Johnson và Omland, 2004 dẫn theo Chave, 2005) [39]):

$$AIC = n \cdot \ln(RSS/n) + 2K = -\ln(L) + 2K \quad 1-11$$

Mô hình tối ưu với các biến số thích hợp khi giá trị đại số của AIC là bé nhất. Trong đó n: số mẫu, RSS (the residual sums of squares) là tổng bình phương phần dư, K: số tham số của mô hình bao gồm tham số sai số ước lượng, ví dụ mô hình $y = a + bx$, thì $K = 3$. L: Likelihood của mô hình.

- Hệ số điều chỉnh (CF - Correction factor) (Baskerville 1972; Duan 1983; Parresol 1999 dẫn theo Chave, 2005 [39]):

$$CF = \exp(RSE^2/2) \quad 1-12$$

CF luôn lớn hơn 1. Trong đó RSE (Residual standard error) là sai tiêu chuẩn của phần dư. Khi RSE càng lớn thì CF càng lớn, có nghĩa mô hình càng có độ tin cậy thấp. Mô hình tốt khi CF càng tiến dần đến 1.

- Biến động trung bình S% để đánh giá mức độ sai lệch, biến động trung bình của giá trị ước lượng qua mô hình với thực tế quan sát: (Brand và Smith, 1985; Cairns et al., 2003; Chave et al., 2005; Nelson et al., 1999 dẫn theo Basuki et al., 2009 [30]):

$$S\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_{ilt} - Y_i|}{Y_i} \quad 1-13$$

S%: Biến động trung bình % của giá trị sinh khối/carbon ước tính qua hàm so với giá trị thực. S% càng nhỏ thì mô hình càng bám sát giá trị thực.

Trong đó: Y_{ilt} : Giá trị dự báo qua mô hình; Y_i : Giá trị thực của sinh khối, carbon; n: Số cây quan sát; S% được sử dụng như là một tiêu chuẩn để đánh giá độ tin cậy của mô hình.

1.1.3 Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng trên mặt đất

1.1.3.1 Mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất

Từ cơ sở thiết lập các mô hình sinh trắc, một số tác giả trên thế giới đã lập các mô hình cho các kiểu rừng ở các châu lục; điển hình là các tác giả sau:

Chave và Andalo và cộng sự (2005) [39] sử dụng hàm logarit để xác định sinh khối trên mặt đất cho các kiểu rừng khô, ẩm nhiệt đới. Mô hình sinh khối của Chave dựa trên 27 bộ số liệu ở Mỹ, Châu Á, Châu đại dương với tổng số 2.410 cây cỡ đường kính D từ 5cm đến 156cm để xây dựng phương trình sinh khối cho khu vực rừng nhiệt đới dựa trên đường kính cây rừng (D), chiều cao (H) và khối lượng thể tích (ρ). Kết quả đã đưa ra một số mô hình sinh trắc ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất cho một số kiểu rừng ở vùng nhiệt đới:

Kiểu rừng khô nhiệt đới:

$$AGB = \exp(-2.187 + 0.916 \cdot \ln(\rho D^2 H)) \quad 1-14$$

$$AGB = 0.112 \times (\rho D^2 H)^{0.916} \quad 1-15$$

$$AGB = \rho \cdot \exp(-0.667 + 1.784 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \quad 1-16$$

Kiểu rừng nhiệt đới ẩm:

$$AGB = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) = 0.0509 \cdot \rho D^2 H \quad 1-17$$

$$AGB = \rho \cdot \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \quad 1-18$$

Brown (1989 – 2001) [32, 33, 34, 35, 36] đã tổng hợp các mô hình allometric equations được lập cho khu vực nhiệt đới trên thế giới bao gồm rừng khô, rừng ẩm, rừng ngập nước và rừng lá kim. Nguồn dữ liệu từ nhiều loài cây được chặt hạ từ 3 vùng nhiệt đới với tổng 371 cây chặt hạ có đường kính từ 5 – 148cm:

Đối với rừng nhiệt đới khô (Dry Forest): Có lượng mưa bình quân năm thấp hơn 1.500mm, kiểu rừng này tương đồng với rừng nửa rụng lá – rụng lá như rừng khộp ở Việt Nam, mô hình allometric equation

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-1.996 + 2.320 \cdot \ln(DBH)) \quad 1-19$$

DBH = 5 – 40cm, n = 28 cây, $R^2 = 0.89$; (Brown và cộng sự, 1989) cho rừng khô ở Ấn Độ.

$$AGB \text{ (kg/cây)} = 10^{(-0.535 + \ln(BA(\text{cm}^2/\text{cây}))} \quad 1-20$$

DBH = 3 – 30cm, n = 191 cây, $R^2 = 0.94$; (Martinez và cộng sự (1992) cho rừng khô ở Mexico.

$$AGB = 34.4703 - 8.0671 \cdot DBH + 0.6589 \cdot DBH^2 \quad 1-21$$

$R^2 = 0.67$; Brown và cộng sự (1989).

Đới rừng nhiệt đới ẩm (Moist Forest): Nằm trong biên độ lượng mưa trung bình năm từ 1.500 – 4.000mm, với một mùa khô; tương đồng với rừng lá rộng thường xanh núi thấp của Việt Nam, hàm allometric equations:

$$\text{AGB (kg/cây)} = 42.690 - 12.800 \cdot \text{DBH} + 1.242 \cdot \text{DBH}^2 \quad R^2 = 0.84 \quad 1-22$$

$$\text{AGB (kg/cây)} = \exp(-2.134 + 2.530 \cdot \ln(\text{DBH})) \quad 1-23$$

$$\text{DBH} = 5 - 148\text{cm}, n = 170 \text{ cây}, R^2 = 0.97$$

$$\text{AGB (kg/cây)} = 38.4908 - 11.7883 \cdot \text{DBH} + 1.1926 \cdot \text{DBH}^2, R^2 = 0.78 \quad 1-24$$

$$\text{AGB (kg/cây)} = \exp(-3.1141 + 0.9719 \cdot \ln(\text{DBH}^2 \cdot \text{H})); R^2 = 0.97 \quad 1-25$$

$$\text{AGB (kg/cây)} = \exp(-2.4090 + 0.9522 \ln(\text{DBH}^2 \cdot \text{H} \cdot \text{WD})); R^2 = 0.99 \quad 1-26$$

Các hàm trên dựa vào nguồn dữ liệu của Gillespie và điều chỉnh hàm bởi Brown và cộng sự (1989), trong đó WD là khối lượng thể tích gỗ, đơn vị tấn/m³.

Đới với rừng nhiệt đới ẩm ướt (Wet Forest): Lượng mưa bình quân năm trên 4.000mm, không có mùa khô, kiểu này tương đồng với các khu rừng lá rộng thường xanh núi cao hoặc vĩ độ cao ở Việt Nam, mô hình:

$$\text{AGB (kg/cây)} = 21.297 - 6.953 \cdot \text{DBH} + 0.740 \cdot \text{DBH}^2 \quad 1-27$$

$$\text{DBH} = 4 - 112\text{cm}, n = 169 \text{ cây}, R^2 = 0.92 \text{ (Brown và Iverson (1992))}.$$

Đới với rừng lá kim khu vực nhiệt đới: Rất ít dữ liệu và mô hình cho rừng lá kim vùng nhiệt đới. Hiện tại có một số hàm được xây dựng cho kiểu rừng này dựa vào nguồn dữ liệu của rừng thông ở đông nam Hoa Kỳ, Ấn Độ và Puerto Rico. Một số loài thông được nhập chung dữ liệu để thiết lập hàm ước tính sinh khối cho kiểu rừng này vùng nhiệt đới:

$$\text{AGB (kg/cây)} = \exp(-1.170 + 2.119 \cdot \ln(\text{DBH})) \quad 1-28$$

$$\text{DBH} = 2 - 52 \text{ cm}; n = 63 \text{ cây}; R^2 = 0.98 \text{ (dẫn theo Brown, 1989)}$$

Bakusi và cộng sự (2009) [30] đã phát triển mô hình tổng sinh khối trên mặt đất (TAGB) cho kiểu rừng khô, vùng thấp (Dipterocarp forest):

$$\text{TAGB} = \exp(-2.134 + 2.53 \ln(\text{DBH})) \quad 1-29$$

MacDicken (1997) [77] xây dựng mô hình:

$$\text{AGB} = \exp[-2.4090 + 0.9522 \ln(\text{D}^2 \cdot \text{HS})] \quad 1-30$$

Trong đó S: khối lượng thể tích gỗ.

Henry và cộng sự (2010) [62] lập các hàm allometric equations cho rừng nhiệt đới châu Phi:

$$AGB = 0.03 DBH^{8.16} E^{-0.02} CD^{0.03} + WD^{0.04} \quad 1-31$$

Trong đó: CD (Crown diameter) là đường kính tán lá.

Johannes và Shem (2011) [71]:

$$\ln(AGB) = -2.403 + 2.471 \ln(D) \text{ hay } AGB = e^{-2.403} D^{2.471} \quad 1-32$$

Ngoài các mô hình đã đề cập ở trên, mô hình của Ketterings và cộng sự (2001) [72] xây dựng mô hình trên cơ sở dữ liệu bao gồm 29 cây từ 14 chi với đường kính từ 7,6cm đến 48,1cm. Phương trình allometric phát triển bởi Ketterings et al. (2001) là:

$$TAGB = r \rho^{avg} x (DBH)^{(2+c)} \quad 1-33$$

Trong đó r là một tham số không đổi trên phạm vi địa lý rộng của khu vực, ρ^{avg} là khối lượng thể tích trung bình ở khu vực nghiên cứu, và c là tham số ước lượng chiều cao cây rừng và đường kính DBH.

Đối với khu vực nghiên cứu, $c = 0.397$, $\rho = 0.604 \text{ g/cm}^3$, và $r = 0.11$.

Các mô hình sinh trắc ước tính sinh khối của cây rừng trên mặt đất (AGB) cho các kiểu rừng nhiệt đới đã được nhiều tác giả tổng hợp số liệu và thiết lập, trong đó đáng lưu ý là các mô hình của Brown (1997) [34] và Chave và cộng sự (2004, 2005) [39, 40]. Tuy nhiên các mô hình cho rừng nhiệt đới trên thế giới nói trên được lập và tổng hợp với nguồn dữ liệu chưa được nhiều và không được thu thập trên lãnh thổ Việt Nam và chưa đánh giá được sự thích hợp và độ tin cậy với rừng nhiệt đới Việt Nam để ước tính sinh khối và carbon rừng cho chương trình UN- REDD Việt Nam. Ketterings và cộng sự (2001) cũng nhận xét rằng đối với các hàm của Brown (1989 - 1997) chỉ từ nguồn 168 cây thu thập số liệu sinh khối thì chưa đại diện được sự đa dạng các loài cây cũng như các kiểu rừng ở vùng ẩm nhiệt đới.

Hầu hết các công trình nghiên cứu ước tính carbon cho cây rừng tập trung ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) theo các biến số cây rừng chủ yếu là đường kính (DBH), chiều cao (H) và khối lượng thể tích gỗ (WD, ρ). Dạng mô hình chủ yếu là dạng hàm mũ (Power), được tuyến tính hóa về dạng logarit; có một số lập theo dạng parabol bậc cao. Các mô hình trên toàn cầu có tính định hướng, được lập

cho từng kiểu rừng theo yếu tố khí hậu, thường được gọi là mô hình tổng quát. Việc ứng dụng các mô hình này có thể được chấp nhận nếu một quốc gia nào đó chưa có điều kiện lập mô hình chính xác cho các kiểu rừng ở từng sinh thái của mình.

Ngoài ra chủ yếu lập mô hình ước tính sinh khối khô, lượng carbon tích lũy được quy đổi theo hệ số của IPCC (2006) là $\text{Carbon} = 0.47 * \text{Sinh khối}$, từ đây suy ra lượng CO_2 hấp thụ: $\text{CO}_2 = 3.67C$.

1.1.3.2 Ước tính sinh khối, carbon lâm phần phân trên mặt đất

Về nguyên tắc điều tra rừng thông thường, trữ lượng, sinh khối, carbon của lâm phần được tổng hợp từ cây cá thể hoặc từ mô hình lâm phần. Do đó các tiếp cận chủ yếu theo các bước sau:

- Rút mẫu theo ô tiêu chuẩn, bao gồm xác định hình dạng, kích thước ô mẫu; số lượng ô mẫu.
 - Thiết lập các hàm sinh trắc (allometric equations) để ước tính sinh khối, carbon của cây rừng trên mặt đất của cây rừng và suy ra cho lâm phần.
 - Thiết lập các mô hình sinh trắc ước tính trực tiếp sinh khối và carbon cho lâm phần
- i) Xác định hình dạng, kích thước và số ô mẫu cần thiết để ước tính sinh khối và carbon lâm phần:

Kích thước, hình dạng ô mẫu phụ thuộc vào độ tin cậy, sai số, chi phí, thời gian và đặc biệt là phụ thuộc và đặc điểm của trạng thái rừng (Silva et al, 2010 [92]; Pearson, 2007 [83]).

Tuy nhiên trên thế giới ô mẫu hình tròn thường được đề nghị áp dụng vì có thể tính toán chiều dài bán kính trên dốc theo từng cạnh thuận tiện. Việc phân tầng ô mẫu, tức là chia ô mẫu thành các ô phụ khác nhau (Nested Plot) để đo cây theo từng cấp DBH, theo nguyên tắc cấp kính càng nhỏ thì số cây càng nhiều do đó chỉ cần đo trong ô phụ có diện tích nhỏ hơn, ngược lại số cây ở các cấp kính lớn thường ít, do đó ô phụ càng rộng hơn cho đến tối đa (Pearson và cộng sự, (2007) [83]; Silva và cộng sự, (2010) [92]).

Phương pháp rút mẫu được xác định theo hai phương pháp chính: i) Tính số lượng ô mẫu cho từng trạng thái, khối trữ lượng, sinh khối dựa vào sai số cho trước

thường từ 10 – 20% và mức tin cậy 95%; ii) Tính lượng số ô mẫu chung cho các trạng thái dựa vào sai tiêu chuẩn, diện tích và sai số cho trước, độ tin cậy 95%; sau đó phân phối số ô cho từng trạng thái tỷ lệ theo diện tích và sai tiêu chuẩn có từng trạng thái (Pearson và cộng sự, 2007 [83]; Silva, 2010 [92])

ii) Thiết lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon trong thực vật cho lâm phần

Hầu hết các mô hình sinh khối được thiết lập cho cây cá thể, là cơ sở tính cho lâm phần khi kết hợp với dữ liệu điều tra cây rừng trong các ô mẫu. Hầu như chưa có các mô hình để có thể ước tính carbon cho toàn lâm phần.

Đối với lâm phần chủ yếu theo IPCC (2006) để chuyển đổi từ trữ lượng gỗ sang sinh khối thông qua hệ số chuyển đổi (Biomass conversion and expansion factors (BCEF)); từ trữ lượng rừng $GSL(m^3)$ chuyển sang sinh khối của cây trên mặt đất TAGTB (tấn), với $BCEF = TAGTB(tấn)/GSL(m^3)$, suy ra $TAGTB = BCEF * GSL$. Hệ số BCEF biến động từ 9.0 xuống 1.3 ứng với GSL từ $< 10m^3$ lên đến $> 200m^3$.

Một số tác giả khác đi theo hướng lập mô hình quan hệ chuyển đổi giữa BCEF = f(GSL) như Schroeder và cộng sự (1997) và Brown (1999) dẫn theo Pearson (2007) [83]:

$$BCEF = \exp(1.912 - 0.344 \cdot \ln(GSL)) \quad 1-34$$

Từ đây suy ra sinh khối lâm phần trên mặt đất $TAGTB = GSL * BCEF$ cho rừng gỗ cứng ở miền đông Hoa Kỳ.

Hoặc gần đây Torres và Lovett (2012) [101] đã đề nghị ước tính carbon lâm phần (C) theo tổng tiết diện ngang (G) và theo từng lâm phần có đường kính bình quân khác nhau (D).

$$\text{Mô hình dạng: } C = K * D^{x-2} * G \quad 1-35$$

Trong đó K, x là tham số mô hình, D là đường kính bình quân lâm phần và G là tổng tiết diện ngang lâm phần.

Như vậy sinh khối của lâm phần về cơ bản được tiến hành theo ba con đường:

- Sử dụng mô hình sinh khối cây cá thể kết hợp với rút mẫu ô tiêu chuẩn với sai số theo yêu cầu. Phương pháp này được sử dụng phổ biến và có độ tin cậy cao, khuyến khích sử dụng trong Tier 2 và 3

- Sử dụng hệ số chuyển đổi từ trữ lượng sang tổng sinh khối trên mặt đất bằng hệ số BCEF áp dụng đối với Tier 1.
- Sử dụng mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần thông qua các biến điều tra lâm phần như BA, N, M, H và DBH bình quân.

1.1.4 Xác định sinh khối và carbon trong bể chứa rễ cây gỗ dưới mặt đất

Trên thế giới để ước tính sinh khối cây rừng, chủ yếu tập trung lập các mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB), phần sinh khối dưới mặt đất (BGB) rất ít công trình nghiên cứu do tính phức tạp của nó trong thu thập dữ liệu sinh khối của hệ rễ cây rừng.

Xác định sinh khối dưới mặt đất (BGB) Dietz, Kuyah (2011) [46] đề xuất tính toán gián tiếp trên cơ sở sinh khối trên mặt đất thông qua hàm số $BGB = f(AGB)$ cho loài cây và lâm phần, từ đó tính toán ra hệ số chuyển đổi.

Một số tác giả đã lập mô hình ước tính sinh khối rễ cây gỗ dưới mặt đất của lâm phần thông qua sinh khối lâm phần trên mặt đất, đối với rừng nhiệt đới Cairns và cộng sự, (1997) (dẫn theo Pearson, 2007) [83] đã chỉ ra mô hình:

$$TBGTB = \exp(-1.0587 + 0.8836 \cdot \ln(TAGTB)) \quad 1-36$$

Với dung lượng quan sát $n = 151$ và hệ số xác định $R^2 = 0.84$.

Nghiên cứu lập mô hình allometric equations cho phần rễ cây gỗ do vậy rất hạn chế, chủ yếu sử dụng hệ số chuyển đổi từ phần trên mặt đất ra phần dưới mặt đất theo hướng dẫn của IPCC (2003, 2006). Hệ số chuyển đổi từ sinh khối trên mặt đất (AGB) sang sinh khối dưới mặt đất (BGB) của thực vật (R) (IPCC, 2006): $BGB = R \cdot AGB$. Hệ số R đối với rừng mưa nhiệt đới là 0.37 (IPCC, 2006 dẫn theo Fittkau and Klinge, 1973); đối với rừng nửa rụng lá ẩm nhiệt đới nếu $ABG < 125$ tấn/ha thì $R = 0.20$ (biến động 0.09 – 0.25), với $AGB \geq 125$ tấn/ha thì $R = 0.24$ (biến động 0.22 – 0.33). Dietz và cộng sự (2011) [46] cũng cho thấy tỷ lệ BGB/AGB rất biến động theo đường kính cây rừng. Trong khi đó theo MacDicken (1997) [77] thì $R = 0.2$ ($BGB = 20\% \cdot AGB$).

Mô hình ước tính BGB rất khó thiết lập chủ yếu là khó tiếp cận để xác định khối lượng rễ cây rừng, đặc biệt là rừng nhiệt đới có hệ rễ cây lan rộng, ăn sâu phức tạp, công việc này đòi hỏi đầu tư lớn công phu, do vậy rất hiếm có mô hình có đủ dung lượng mẫu đủ lớn cho kiểu rừng nhiệt đới. Chủ yếu là dựa vào số nghiên cứu sinh

khối rừng đã có và từ đó chấp nhận hệ số chuyển đổi trung bình là $BGB = 20\%AGB$. Vì vậy vấn đề thu thập dữ liệu để thiết lập các mô hình ước tính chính xác BGB ở các kiểu rừng vùng nhiệt đới vẫn là một thử thách và là khoảng trống lớn.

1.1.5 Ước tính sinh khối và carbon của bề chứa thảm mục

IPCC (2006) [70] định nghĩa thảm mục (litter) là bao gồm tất cả sinh khối không sống với kích thước lớn hơn sinh khối trong đất hữu cơ (là 2mm) và nhỏ hơn đường kính xác định gỗ chết (10cm), nằm trên bề mặt đất rừng. Sinh khối thảm mục chủ yếu được ước tính dựa vào cân khối lượng trong các ô mẫu phụ nhỏ, lấy mẫu sấy khô xác định sinh khối khô, từ đây suy ra carbon theo hệ số CF. (Bhishma và cộng sự, (2010) [96]; Silva và cộng sự, (2010) [92])

1.1.6 Ước tính sinh khối và carbon gỗ chết

Theo IPCC (2006) [70] gỗ chết (Dead wood) được đo tính có đường kính $> 10\text{cm}$ và Harmon cộng sự (1993) (dẫn theo Pearson, 2007 [83]) định nghĩa gỗ chết bao gồm sinh khối của cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng. Việc xác định thể tích và khối lượng đoạn thân gỗ chết tương tự như đoạn thân gỗ bình thường, từ đây có thể lập hàm ước tính sinh khối, carbon của gỗ chết theo các biến ảnh hưởng như đường kính giữa, chiều dài gỗ chết. Tuy nhiên ít tìm thấy các mô hình xác định sinh khối, carbon gỗ chết. Trong thực tế, ước tính sinh khối khô gỗ chết có thể tiến hành bằng cách cân khối lượng tươi của cây chết nằm và đo tính thể tích cây chết đứng; lấy mẫu xác định khối lượng khô, khối lượng thể tích gỗ (g/cm^3), từ đó suy ra sinh khối khô và carbon theo hệ số chuyển đổi. Việc đo tính này cần tiến hành trên các ô mẫu để quy đổi ra sinh khối và carbon lâm phần cho phần gỗ chết.

1.1.7 Ước tính carbon hữu cơ trong đất rừng (SOC)

IPCC (2006) [70] đề nghị giám sát chủ yếu carbon hữu cơ trong đất (Soil organic carbon - SOC). SOC trong đất được xác định đến độ sâu là 30cm, tối đa 50cm. Carbon hữu cơ trong đất nằm trong rễ sống và chết trong đất có đường kính nhỏ hơn 2mm. Việc xác định SOC dựa trên cơ sở lấy mẫu đất để xác định dung trọng đất (ρ) (trọng lượng khô/thể tích đất ướt – g/cm^3), phân tích hàm lượng %C trong đất. Carbon trong đất/ha được tính theo Pearson và cộng sự (2007) [83] với độ sâu tầng đất thường là $d = 30\text{cm}$:

$$\text{SOC(t/ha)} = \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} * d\text{(cm)} * \%C * 100 \quad 1-37$$

Để xác định dung trọng đất, mẫu đất đã được xác định thể tích qua ống dung trọng, được sấy khô ở 105⁰C trong 48 giờ để xác định khối lượng đất khô. Phương pháp phân tích carbon hữu cơ trong đất khô tốt nhất theo Pearson và cộng sự (2007) [83] là LECO RC-412 multicarbon analyzer, Nelson và Sommers (1996) dẫn theo Silva (2010) [92] là LECO CHN-2000 hoặc tương đương; nhưng phương pháp Walkley-Back lại thường được sử dụng.

1.1.8 Ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong giám sát tài nguyên rừng, trữ lượng carbon rừng

1.1.8.1 Ứng dụng ảnh viễn thám trong quản lý tài nguyên rừng, giám sát carbon rừng

Viễn thám (Remote Sensing – RS) là sự thu thập và phân tích thông tin về một đối tượng mà không có sự tiếp xúc trực tiếp đến đối tượng. Đây là phương pháp sử dụng bức xạ điện từ như một phương tiện để điều tra và đo đạc những đặc tính của đối tượng (Lillesand và Kiefer, 1994 [74]). Nó là một nguồn thông tin giá trị trong vài thập kỷ qua và sẽ là nguồn thông tin ngày càng quan trọng trong tương lai (Franklin, 2001 [57, 58], Curran (1987) [42]). Cho đến nay trên thế giới có rất nhiều dữ liệu viễn thám được sử dụng trong các hoạt động lâm nghiệp. Một số ảnh được sử dụng phổ biến hiện nay: Ảnh vệ tinh IKONOS, Ảnh vệ tinh SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre), Ảnh vệ tinh ASTER, Ảnh vệ tinh LANDSAT, Ảnh vệ tinh MODIS.

Ứng dụng ảnh viễn thám trong lâm nghiệp bao gồm:

i) Ứng dụng ảnh viễn thám trong lập bản đồ phân khối rừng, thảm phủ:

Ứng dụng đầu tiên của ảnh viễn thám trong lâm nghiệp là để thiết lập bản đồ hiện trạng hoặc thảm phủ, hoặc phân khối trạng thái rừng (Brown và cộng sự, 1999 [31]; Salovaara, 2005 [91]). Một nhận xét chung là khi sử dụng ảnh để phân loại thảm phủ, kiểu rừng, trạng thái; thì khi các lớp phân loại càng tăng khả năng sai số càng tăng (Souza và cộng sự (2003) [95], Trisurat và cộng sự (2000) [102]).

So sánh độ chính xác của các phương pháp được sử dụng khác nhau, Mallinis và Koutsias (2008) [79] đã kết luận trong nghiên cứu là phương pháp hồi quy logic

được sử dụng để phân loại thảm phủ cho độ chính xác cao hơn (76%) so với phương pháp gần đúng nhất maximum likelihood (64%) và phương pháp khoảng cách Mahalanobis (67%).

Cho đến nay việc sử dụng ảnh viễn thám để phân loại thảm phủ rừng đã được áp dụng rộng rãi, tuy nhiên tùy thuộc vào loại ảnh sử dụng, phương pháp phân loại và mức độ chi tiết trong yêu cầu lập bản đồ phân loại rừng mà độ tin cậy sẽ khác nhau.

- ii) Ứng dụng ảnh viễn thám trong giám sát trữ lượng, sinh khối, carbon rừng:

Xu thế hiện nay là sử dụng ảnh viễn thám không dừng lại ở việc lập các bản đồ thảm phủ rừng mà còn để giám sát được các nhân tố điều tra rừng bao gồm mật độ, trữ lượng, sinh khối, carbon rừng. Nếu làm được như vậy sẽ giảm chi phí lao động điều tra thu thập số liệu mặt đất, hỗ trợ cung cấp thông tin về thay đổi tài nguyên rừng thường xuyên và đáng tin cậy. IPCC (2003) [70] cho rằng phương pháp viễn thám đặc biệt thích hợp cho việc phân tích thay đổi sử dụng đất, lập bản đồ sử dụng đất, ước lượng carbon rừng và đặc biệt là giám sát sinh khối trên mặt đất. Phương pháp này đã cung cấp dữ liệu tham chiếu đầy đủ và có sẵn trong đó bao gồm các ước lượng nhân tố tài nguyên rừng.

Brown (2002) [32] cho rằng trong tương lai việc đo đếm trữ lượng carbon rừng có thể chỉ dựa vào dữ liệu viễn thám với các kỹ thuật mới trong thu nhận ảnh vệ tinh đang ngày càng phát triển. Mặc dù sinh khối không thể đo đếm trực tiếp trong không gian nhưng dữ liệu viễn thám có quan hệ với sinh khối được đo trực tiếp trên mặt đất (Dong và cộng sự, 2003 [47]), do vậy sinh khối, carbon rừng có thể được ước lượng từ mối quan hệ này bằng các mô hình toán học.

Theo IPCC (2003) [69], dữ liệu ảnh được lựa chọn cần phải theo phạm vi địa lý của vùng quan tâm và với độ phân giải phù hợp. Ở cấp độ toàn cầu có thể sử dụng ảnh có độ phân giải ảnh có thể từ thấp cho đến trung bình như NOAA hoặc MODIS (Häme và cộng sự (1996) [61], Dong và cộng sự (2003) [47], Baccini và cộng sự (2004) [29], Xia và cộng sự (2005) [107]). Ở cấp vùng hoặc cấp quốc gia và địa phương, dữ liệu vệ tinh cần có độ phân giải cao hơn như ảnh Landsat, ASTER, hoặc

SPOT (Häme và cộng sự, 1996 [61]; Fazakas và cộng sự, 1999 [53]; Krankina và cộng sự, 2004 [73]; Turner và cộng sự, 2004) [103]. Hiện nay xu thế sử dụng ảnh có chất lượng, độ phân giải cao như ảnh radar (Rauste và cộng sự (1994, 2006, 2005) [88, 89, 90]). Tuy vậy theo Achard và cộng sự (2001) [23] thách thức trong phát triển các mô hình ước lượng sinh khối, carbon từ ảnh vệ tinh chính là làm sao để thiết lập một hệ thống phân loại thích hợp để có thể phân biệt các lớp đặc điểm carbon khác nhau; có nghĩa là phương pháp phân loại ảnh, xử lý mối quan hệ giữa các thông tin trên ảnh với các giá trị thực của sinh khối, carbon trên hiện trường vẫn là một chủ đề nghiên cứu của thế giới. Ngoài ra đối với các quốc gia đang phát triển, tiếp cận với ảnh có chất lượng tốt theo định kỳ giám sát rừng liên tục đòi hỏi một đầu tư chi phí lớn cũng là một thử thách, song hành với nó là yêu cầu về năng lực và nhân lực.

Phương pháp sử dụng ảnh viễn thám để ước lượng trữ lượng rừng, sinh khối và carbon rừng thường sử dụng mô hình quan hệ hồi quy phi tuyến hoặc tuyến tính giữa trữ lượng, sinh khối, carbon với các chỉ số ảnh, các lớp ảnh được phân loại. Kết quả sẽ khác nhau nếu sử dụng ảnh và phương pháp lập mô hình hồi quy khác nhau.

Một số nghiên cứu theo hướng này bao gồm:

Trung tâm Nông Lâm kết hợp thế giới (ICRAF, 2007) [68] đã phát triển các phương pháp dự báo nhanh lượng carbon lưu giữ thông qua việc giám sát thay đổi sử dụng đất bằng phân tích ảnh viễn thám trên quan hệ với giá trị sinh khối và carbon tích lũy từ các ô mẫu nghiên cứu hiện trường.

Truyền thống trong phân tích ảnh và sử dụng chỉ số thực vật NDVI, Avery and Berlin (1992) [28] đã nghiên cứu NDVI để ước lượng chỉ số diện tích lá (LAI-Leaf Area Index), xác định vùng có rừng hay không có rừng, giám sát phá rừng, sa mạc hóa. Lu và cộng sự 2004, [75] với nghiên cứu cấu trúc rừng đã áp dụng chỉ số thực vật NDVI để phân tích.

Cho đến nay trên thế giới, hàng loạt các phương pháp khác nhau được sử dụng để xác định mối quan hệ giữa nhân tố điều tra rừng với thông tin ảnh viễn thám. Phương pháp hồi quy và tương quan là phương pháp cổ điển được sử dụng để xây dựng mối quan hệ giữa nhân tố điều tra rừng với ảnh viễn thám (Franklin và

McDermid (1993) [58], Poso và cộng sự (1999) [86]). Hiện tại phương pháp phi tham số K-nearest neighbor (kNN) (Thesler et al. (2008) [97]) cũng đang được thử nghiệm sử dụng trong ước lượng nhân tố điều tra rừng (Tomppo và cộng sự, 1999 [100]; Makela và Pekkarinen, 2004 [78]; Nguyễn T. T. Hương, 2011 [81]). Các kết quả ước lượng cũng rất khác nhau tùy thuộc vào nguồn dữ liệu ảnh, nhân tố được ước lượng và kiểu rừng thực hiện nghiên cứu.

1.1.8.2 Ứng dụng GIS trong quản lý dữ liệu tài nguyên rừng, carbon rừng

Công nghệ GIS ứng dụng đầu tiên trên thế giới là lập và quản lý cơ sở dữ liệu bản đồ rừng. Tuy nhiên chức năng của GIS không dừng lại ở đó, nó là công nghệ hỗ trợ cho việc phân tích, tổng hợp, đánh giá để quản lý và đưa ra các quyết định thích hợp và khách quan. Trong lĩnh vực lâm nghiệp nó có thể giúp cho việc quản lý cơ sở dữ liệu theo thời gian, phân tích mối quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các yếu tố ảnh hưởng, dự báo tăng trưởng và phát thải CO₂,... Campbell et al. (2008) [38].

Ví dụ như trên cơ sở dữ liệu GIS Ludeke và cộng sự (1990) [76] đã sử dụng phương pháp hồi quy logistic để xác định các nhân tố ảnh hưởng đến việc mất rừng. Để ước lượng hàm lượng carbon trong đất rừng, Campbell và cộng sự (2008) đã tiếp cận GIS trên cơ sở dữ liệu đất và các bản đồ thảm phủ được giải đoán từ ảnh vệ tinh để ước lượng carbon đất rừng cho toàn bộ diện tích.

Cho đến nay đã có rất nhiều ứng dụng trong nghiên cứu cũng như trong thực tiễn về việc áp dụng GIS. Hàng loạt các bản đồ chuyên đề cũng như các bản đồ dự báo được thiết lập bằng các mô hình khác nhau từ các mô hình đơn giản như các mô hình hồi quy truyền thống, hồi quy logistic cho đến các mô hình phân tích không gian phức tạp trong hệ thống GIS. Các kết quả cũng cho thấy khả năng tích hợp và phân tích thông tin không gian và thuộc tính là rất cao trong các mô hình dựa vào công nghệ GIS. Điều đó đã hỗ trợ tốt cho người quản lý cũng như các nhà hoạch định chính sách trong việc giám sát, quản lý, lập kế hoạch và đặc biệt là dự báo nguồn tài nguyên rừng, giám sát phát thải carbon từ suy thoái và mất rừng.

1.2 TRONG NƯỚC

Cũng như trên thế giới, Việt Nam đề tham gia CDM và tiếp theo là REDD+, các nhà khoa học bắt đầu thiết lập các mô hình ước tính sinh khối cho cây rừng trồng và hiện tại đang khởi động cho các kiểu rừng tự nhiên.

1.2.1 Mô hình ước tính sinh khối và carbon theo loài

Mô hình ước tính sinh khối và carbon thích hợp nhất là theo loài, nó phù hợp cho rừng trồng, trong khi đó rừng tự nhiên nhiệt đới thì đây là một thử thách.

Hầu như chưa có các nghiên cứu lập mô hình ước tính carbon theo loài cho rừng tự nhiên ở Việt Nam. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung đối tượng rừng trồng: Keo, Thông, Mỡ, Bời lời và một số loài rừng trồng khác.[2, 3, 16, 21]

Riêng rừng tự nhiên thuần loài thông 3 lá, Nguyễn Ngọc Lung (1989) [13] đã xây dựng các mô hình ước tính sinh khối cho cây là lâm phần. Đây là công trình đầu tiên ở Việt Nam thiết lập mô hình ước tính sinh khối rừng, trong khi đó giai đoạn này ngành lâm nghiệp hoàn toàn chưa có mục tiêu quản lý trữ lượng carbon rừng.

Ngô Đình Quế (2007) [18] đã xác định lượng carbon tích lũy trong các khu rừng trồng các loài keo tai tượng, keo lá tràm, keo lai, thông 3 lá, thông mã vĩ, thông nhựa và bạch đàn. Võ Đại Hải, Đặng Thịnh Triều (2009) [2, 21] nghiên cứu hấp thụ CO₂ của rừng Thông mã vĩ, tác giả sử dụng hàm mũ và logarit để mô phỏng sinh khối cây cá thể và lâm phần. Vũ Tấn Phương (2011) [17] nghiên cứu rừng Thông ba lá trồng ở Lâm Đồng và Bắc Giang sử dụng hàm mũ và logarit để mô phỏng sinh khối và carbon cho các bộ phận thân cây cá thể và lâm phần

Bảo Huy (2009) [6] để ước lượng năng lực hấp thụ CO₂ của bời lời đỏ (*Litsea glutinosa*) trong mô hình Nông Lâm kết hợp bời lời đỏ - Sắn ở Tây Nguyên đã thiết lập các mô hình sinh trắc:

$$\ln(C) = -1.90151 + 1.60612 \cdot \ln(Dg) \quad 1-38$$

Nhìn chung về mô hình ước tính sinh khối cho các loài cây trồng rừng ở Việt Nam đã được nghiên cứu và thiết lập khá nhiều bởi các tác giả của Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam và một số trường Đại học trong nước, tuy nhiên đa số mới dừng lại phần trên mặt đất, sinh khối-carbon dưới mặt đất của cây rừng trồng cũng

chưa có nhiều nghiên cứu. Đối với rừng tự nhiên, với sự phức tạp của thành phần loài, tiếp cận lập mô hình theo loài là hết sức khó khăn và tốn kém; có một xu thế tiếp cận mới để cải thiện độ tin cậy của mô hình ước tính sinh khối carbon rừng nhiệt đới là lập theo họ thực vật hoặc chi thực vật hoặc theo nhóm khối lượng thể tích gỗ (WD).

1.2.2 Thiết lập mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon cây rừng và lâm phần

Bảo Huy, Phạm Tuấn Anh (2008, 2009) [7, 66] lần đầu tiên thiết lập các mô hình ước tính sinh khối, carbon cho cây cá thể và lâm phần rừng lá rộng thường xanh ở huyện Tuy Đức, tỉnh Đak Nông. Nghiên cứu này giới hạn ở đối tượng rừng lá rộng thường xanh ở một huyện Tuy Đức của tỉnh Đak Nông. Kết quả của nó có tính chất thăm dò phương pháp trong giai đoạn đầu nghiên cứu về sinh khối và carbon của rừng tự nhiên.

Trong thời gian gần đây Bảo Huy, Võ Hùng, Nguyễn Thị Thanh Hương, Huỳnh Nhân Trí, Cao Thị Lý, Nguyễn Đức Định và cộng sự (2012, 2013) [9,10,11] đã thiết lập có tính hệ thống các mô hình sinh khối, carbon trên và dưới mặt đất của cây rừng và lâm phần; đã ước tính trung bình carbon trong các bể chứa ngoài gỗ như trong thảm mục, thảm tươi, gỗ chết và carbon hữu cơ trong đất cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Các tác giả sử dụng tổng hợp các tiêu chí thống kê để lựa chọn biến số, hàm số tối ưu theo yêu cầu quốc tế như Mallows' Cp, CF, AIC, S%. Tuy nhiên công trình này theo hướng ứng dụng, do đó chưa đi sâu vào phân tích giải pháp thống kê khi xây dựng mô hình sinh trắc tối ưu dựa vào các tiêu chí này. Các mô hình phi tuyến được tuyến tính hóa và lập theo phương pháp bình phương tối thiểu, chưa thử nghiệm để so sánh đánh giá với phương pháp lập mô hình phi tuyến tính Marquardt và chưa sử dụng trọng số (Weight) để dò tìm hàm tối ưu.

Ngoài ra chương trình UN-REDD Việt Nam trong năm 2012 với sự tư vấn của FAO đã hỗ trợ cho Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, Trường Đại học Lâm nghiệp, Viện Điều tra quy hoạch rừng, Trường Đại học Tây Nguyên thiết lập các mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất của cây rừng ở các vùng sinh thái và kiểu rừng chính của Việt Nam [85]. Các mô hình được lập theo 2 - 3 biến số chủ yếu là DBH, H và WD. Trong đó chỉ cho mô hình sinh trắc ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB)

ở vùng Nam trung bộ (Quảng Nam) cho rừng thường xanh do Đại học Tây Nguyên lập, đã đưa vào biến số diện tích tán lá (CA) để tăng độ tin cậy và giảm sai số của ước tính sinh khối cây rừng; do số loài biến động lớn dẫn đến sinh khối của tán lá biến động và biến CA giúp cho việc phản ánh tốt hơn sinh khối của cây rừng với hình thái tán lá khác nhau của các loài. Phát hiện này cho thấy cần quan tâm thu thập và đưa biến CA vào các mô hình sinh trắc để tăng độ tin cậy

Các kết quả lập mô hình sinh khối của chương trình UN-REDD là đóng góp có tính hệ thống đầu tiên ở Việt Nam khi thiết lập các mô hình tiếp cận theo kiểu rừng và vùng sinh thái. Tuy nhiên các mô hình được thiết lập với số mẫu chưa đủ lớn, mỗi kiểu rừng chỉ có 2 ô tiêu chuẩn 1 ha, với số cây là 110 cây chặt hạ; chỉ mới ước tính sinh khối trên mặt đất, chưa có mô hình sinh khối dưới mặt đất và do chưa đủ ô tiêu chuẩn theo các trạng thái rừng khác nhau cho từng kiểu rừng nên chưa lập được các mô hình cho lâm phần.

Nhìn chung trong vài năm gần đây, nhiều nhà khoa học trong nước đã nghiên cứu lập các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối và carbon cây rừng cho các kiểu rừng chính, đây là một bước tiến quan trọng để có cơ sở ước tính, giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ của rừng khi tham gia REDD. Tuy nhiên vẫn còn tồn tại các hạn chế như chưa đủ mẫu, chưa đại diện cho vùng sinh thái, dừng lại ở sinh khối trên mặt đất, ít công trình phân tích carbon mà chỉ sử dụng hệ số chuyển đổi của IPCC, chưa có mô hình cho lâm phần; các tiêu chuẩn lựa chọn biến số, hàm số chỉ dừng lại ở các tiêu chuẩn phổ biến, chưa áp dụng các tiêu chuẩn thống kê để lựa chọn được biến và hàm tối ưu.

1.2.3 Xác định sinh khối và carbon trong bể chứa thảm mục, thảm tươi, gỗ chết.

Hầu hết các công trình nghiên cứu về sinh khối, carbon rừng tự nhiên ở Việt Nam tập trung vào bể chứa là gỗ trên mặt đất. Gần như chưa có đầy đủ phương pháp ước tính và thông tin về khối lượng carbon ở các bể thảm mục, thảm tươi, gỗ chết.

Chỉ riêng đối với rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, Bảo Huy và cộng sự, cùng với tác giả (2013) [9, 10, 11] đã tính toán giá trị trung bình của sinh khối, carbon trong thảm mục, thảm tươi và gỗ chết; và cho thấy không có quy luật sai khác ở các trạng thái của các bể chứa này.

1.2.4 Ước tính carbon hữu cơ trong đất rừng (SOC)

Carbon trong đất bao gồm carbon vô cơ và hữu cơ, theo IPCC (2006) đối với REDD thì cần giám sát chỉ tiêu carbon hữu cơ trong đất, vì đây là nhân tố biến động theo sự suy thoái và mất rừng.

Trong khoa học đất, thì chỉ tiêu carbon cũng thường được xác định cho từng loại đất, tầng sâu phẫu diện. Có khá đầy đủ thông tin về %C đất, tuy nhiên chủ yếu là đất nông nghiệp, rừng trồng. Đối với rừng tự nhiên thì giá trị SOC hầu như chưa có. Chỉ có Bảo Huy và cộng sự (2013) [9, 11] đã xác định được lượng carbon trung bình trong đất rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên là SOC = 84.9 tấn/ha; và cho thấy chưa phát hiện được sự khác biệt của SOC ở các trạng thái rừng khác nhau.

Lượng carbon hữu cơ trong đất rừng chiếm tỷ lệ cao trong 5 bể chứa carbon rừng, theo Bảo Huy và cộng sự (2013) [9, 11] thì lên đến 44.3%. Do đó cần tiến hành nghiên cứu sâu hơn SOC để cung cấp giá trị carbon để có được thêm tín chỉ vì tỷ lệ của nó gần đến 50% carbon rừng. SOC cần nghiên cứu cho từng kiểu rừng trong từng vùng sinh thái và trong môi trường rừng cần phân loại đất, trạng thái rừng để xác định chính xác lượng SOC.

1.2.5 Ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong giám sát tài nguyên rừng, trữ lượng carbon rừng

1.2.5.1 Ứng dụng ảnh viễn thám trong quản lý tài nguyên rừng, giám sát carbon rừng

Ở Việt Nam, ứng dụng ảnh viễn thám trong ngành lâm nghiệp đã được áp dụng khá lâu, thực hiện bởi Viện Điều tra quy hoạch rừng để lập bản đồ hiện trạng rừng và lưu giữ cơ sở dữ liệu bản đồ trong phần mềm GIS. Trước đây chủ yếu sử dụng ảnh vệ tinh Landsat, gần đây đã sử dụng ảnh có độ phân giải cao hơn như SPOT4 và 5. Tuy nhiên sử dụng ảnh chủ yếu là lập bản đồ thảm phủ, với phương pháp giải đoán bằng mắt kết hợp với các điểm huấn luyện trên hiện trường (GCP: Ground Control Poin) để sử dụng phân loại ảnh có giám định. Cơ sở dữ liệu bản đồ chủ yếu lưu giữ trong phần mềm Mapinfo với hệ tọa độ VN2000.

Ở cấp độ tỉnh, khu vực và quốc gia chưa có quy trình, quy phạm áp dụng ảnh viễn thám trong phân loại rừng, ước tính trữ lượng, sinh khối, carbon thông qua ảnh.

Nguyễn T.T. Hương (2011) [81] cũng đã sử dụng ảnh SPOT 5 để phân loại rừng thường xanh đã bị tác động ở các mức độ khác nhau thành 4 lớp rừng tự nhiên là rừng giàu, rừng trung bình, rừng nghèo kiệt, và rừng non phục hồi; thì độ chính xác toàn bộ đạt được trong nghiên cứu này là 82%, trong đó phạm vi độ chính xác biến động trong các lớp rừng tự nhiên từ 69% đến 86%.

Trên đối tượng rừng nhiệt đới đã bị tác động, để thành lập bản đồ hiện trạng rừng Nguyễn Văn Lợi (2008) [82] đã phối hợp phương pháp phân loại không giám định ISODATA và phân loại có giám định Maximum Likelihood phân chia thành sáu lớp đất rừng là rừng dày, rừng bị suy thoái, rừng trồng, trảng cỏ, cây bụi và đất trống; độ chính xác toàn bộ trong nghiên cứu này đạt được khá cao.

Vương Văn Quỳnh (2013) [19] đã xây dựng giải pháp ước tính trữ lượng rừng thông qua ảnh vệ tinh SPOT5, cho thấy có nhiều triển vọng ứng dụng công nghệ này trong điều tra giám sát tài nguyên rừng trên toàn quốc, phục vụ chương trình kiểm kê rừng quốc gia.

Về sử dụng ảnh viễn thám để ước tính sinh khối và carbon rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, Bảo Huy và cộng sự (2012, 2013) [9, 11] đã sử dụng ảnh SPOT5 và áp dụng 3 phương pháp phân tích ảnh là phi giám định, có giám định và quan hệ giữa sinh khối với chỉ số ảnh (DN) để ước tính carbon từ ảnh. Kết quả cho thấy phương pháp phân loại ảnh phi giám định kết hợp với dữ liệu ô mẫu xác định carbon mặt đất để lập quan hệ carbon với các lớp phân loại đạt độ tin cậy từ 72% - 93%. Tuy nhiên nghiên cứu này do số liệu mặt đất còn hạn chế nên dừng lại ở thăm dò phương pháp là chính. Chính vì vậy tác giả luận án này đã tiếp tục thu thập số liệu, nghiên cứu sâu hơn về phương pháp để lập quan hệ giữa sinh khối và carbon với chỉ số ảnh, lớp ảnh.

Nhìn chung hiện nay ở Việt Nam, việc tính toán về hấp thụ carbon và các giá trị của rừng thường theo các phương pháp truyền thống do vậy mất nhiều thời gian và công sức. Mặc dù đã có nghiên cứu xây dựng mối tương quan giữa nhân tố điều tra rừng, carbon với ảnh vệ tinh, nhưng rất ít nghiên cứu đề cập đến việc ước lượng carbon lưu giữ trong các trạng thái rừng với giá trị ảnh. Do vậy việc nghiên cứu xây

dụng mối tương quan giữa giá trị ảnh và carbon lưu giữ là cần thiết trong bối cảnh hiện nay, khi mà giá trị môi trường rừng đang được quan tâm cao của quốc gia và cộng đồng quốc tế.

1.2.5.2 Ứng dụng GIS trong quản lý dữ liệu tài nguyên rừng, carbon rừng

Về ứng dụng GIS, Bảo Huy (2009) [5] đã chỉ ra các khả năng ứng dụng các phần mềm GIS để quản lý carbon rừng trên cơ sở các mô hình quan hệ giữa sinh khối với trữ lượng rừng, quan hệ sinh khối trên và dưới mặt đất. Từ các mô hình quan hệ có thể cập nhật khả năng hấp thụ cũng như phát thải CO₂ rừng một cách thường xuyên và trên diện rộng.

1.3 THẢO LUẬN

1.3.1 Những kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng trong giám sát carbon rừng tự nhiên ở Việt Nam

Các kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng trong thực tiễn điều tra rừng Việt Nam để giám sát CO₂ rừng bao gồm:

- Phương pháp điều tra ô mẫu và rút mẫu với sai số < 10%: Điều tra ô mẫu đang được áp dụng trong hệ thống điều tra rừng Việt Nam cũng với yêu cầu sai số < 10% là phù hợp với yêu cầu của IPCC.
- Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng, lâm phần tự nhiên: Có thể áp dụng kết quả của một số tác giả đã công bố như Bảo Huy và cộng sự (2012, 2013) [9, 10, 11, 67], của UN-REDD Việt Nam (2013) [85].
- Các giá trị khối lượng thể tích WD theo TCVN 8048-2:2009 của 154 loài và các mô hình, biểu thể tích rừng tự nhiên hiện hành để chuyển đổi từ trữ lượng gỗ sang sinh khối gỗ phần trên mặt đất. Nếu áp dụng theo cách này thì chỉ đáp ứng ở mức Tier 1.
- Lập bản đồ phân loại rừng dựa vào ảnh viễn thám: Kết quả của Viện Điều tra quy hoạch rừng trong các giai đoạn trước cũng như kết quả kiểm kê rừng đang được tiến hành trên toàn quốc.
- Phương pháp thiết lập các mô hình quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng, trữ lượng với ảnh vệ tinh của các tác giả Nguyễn Thị Thanh Hương (2009) [81], Bảo Huy

(2013) [11], Vương Văn Quỳnh (2012) [19] có thể được sử dụng trong giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ rừng.

Như vậy có thể thấy chúng ta cũng đã có những nền móng trong điều tra rừng và đã có những nghiên cứu cơ sở có tính chuyên sâu để có thể tiếp tục hoàn thiện nhằm giám sát một cách hệ thống CO₂ rừng khi tham gia REDD+. Tuy nhiên đây cũng chỉ là những công trình nghiên cứu có tính tiên phong, còn nhiều vấn đề về khoa học và thực tiễn liên quan cần giải quyết mới có thể đạt được yêu cầu xây dựng một hệ thống giám sát phát thải và hấp thụ CO₂ đạt độ tin cậy của quốc tế và phù hợp với Việt Nam.

1.3.2 Những vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo để hoàn chỉnh hệ thống giám sát hấp thụ/phát thải CO₂ rừng tự nhiên

Tuy đã có một số kết quả nghiên cứu nói trên, tuy nhiên còn nhiều vấn đề về cơ sở khoa học và thực tiễn cần được tiếp tục phát triển, nghiên cứu ở Việt Nam:

- Phương pháp điều tra ô mẫu và rút mẫu với sai số < 10%: Hiện tại điều tra ô mẫu ở Việt Nam áp dụng theo phương pháp rút mẫu hệ thống, với diện tích ô 500m² không phân tầng. So với các kinh nghiệm quốc tế cho thấy ô mẫu 500m² là khá nhỏ đối với các cây có cấp kính lớn, nhưng ngược lại là quá lớn đối với cấp kính nhỏ. Do vậy trên thế giới hiện nay đang áp dụng hệ thống ô mẫu phân tầng (Nested Plot) hình tròn, với diện tích tối đa lên đến 1.000m², chia thành các ô phụ, ô phụ có diện tích nhỏ để đo các cấp DBH nhỏ và mở rộng ô phụ khi DBH tăng lên. Thông thường có 3 ô phụ phân tầng. Vì vậy tiếp tục nghiên cứu ứng dụng ô mẫu phân tầng hình tròn là cần được bổ sung ở Việt Nam.
- Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng, lâm phần: Tuy đã có một số công trình nghiên cứu ở rừng tự nhiên như đã thảo luận trên, vẫn còn một số vấn đề sau cần quan tâm để hoàn thiện, bao gồm:
 - Thiếu các mô hình sinh trắc cho từng kiểu rừng, vùng sinh thái. Đặc biệt là rừng lá rộng thường xanh. Các mô hình đã có hoặc là mẫu còn ít hoặc chưa phủ hết các vùng sinh thái.
 - Cơ sở khoa học của việc lấy mẫu, thiết lập mô hình sinh trắc cũng cần được hoàn thiện để đáp ứng yêu cầu của quốc tế.

- Hầu hết các mô hình sinh trắc chỉ mới dừng lại ở sinh khối trên mặt đất; chưa hoặc thiếu mô hình ước tính trực tiếp carbon và đặc biệt là phần rễ, một bộ phận khó tiếp cận để lấy số liệu lập mô hình.
- Các mô hình theo loài, cấp khối lượng thể tích cho từng kiểu rừng, vùng sinh thái sẽ cung cấp ước lượng có độ tin cậy cao đối với rừng nhiệt đới; tuy vậy mảng này hầu như đang bỏ trống.
- Phương pháp thiết lập các mô hình quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với chỉ số ảnh vệ tinh để giám sát sinh khối và carbon rừng trực tiếp từ ảnh: Tuy công việc này cũng đã được một số tác giả bắt đầu nghiên cứu ở Việt Nam, tuy nhiên cần hoàn thiện phương pháp luận, đánh giá độ tin cậy trên diện rộng với các kiểu rừng, vùng sinh thái khác nhau.
- Các giá trị khối lượng thể tích WD: Số liệu WD ở Việt Nam hiện có còn rất hạn chế để áp dụng khi sử dụng mô hình có biến số WD. Do vậy cập nhật, bổ sung danh mục WD là cần thiết.
- Thiếu các thông tin, dữ liệu về carbon của các bể chứa ngoài gỗ như thảm mục, thảm tươi, gỗ chết và SOC.
- Công nghệ GIS để quản lý dữ liệu carbon rừng: Bảo Huy và cộng sự (2013) [5,11] đã chỉ ra khả năng ứng dụng cao GIS trên cơ sở liên kết giữa các trường dữ liệu theo các mô hình cá thể và lâm phần. Tuy nhiên cũng cần tiếp tục nghiên cứu thử nghiệm ở quy mô rộng hơn với các đối tượng rừng khác nhau, cũng như hoàn thiện thêm phương pháp luận.

Trên cơ sở tổng quan này, xác định được các lỗ hổng nói trên; luận án sẽ góp phần vào xây dựng cơ sở khoa học và thực tiễn để bổ sung các vấn đề còn thiếu sót, tập trung với đối tượng là rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên.

CHƯƠNG 2: ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

2.1.1 Kiểu rừng, trạng thái, loài cây nghiên cứu

Kiểu rừng lá rộng thường xanh bao gồm các trạng thái rừng giàu, trung bình, nghèo và non. Các trạng thái rừng hình thành do mức độ tác động trong khai thác chọn và thời gian phục hồi khác nhau. Nhìn chung rừng đã qua khai thác chọn và phục hồi ở các mức độ, chỉ có một trạng thái rừng ít hoặc chưa bị tác động đáng kể.

Đặc điểm chính của hệ sinh thái rừng lá rộng thường xanh khu vực nghiên cứu bao gồm:

- Rừng kín thường xanh mưa ẩm nhiệt đới núi thấp:

Phân bố ở độ cao < 800m, tổ thành thực vật phong phú, trong đó tiêu biểu là các loài những loài cây thuộc các họ Re, Giẻ, Chè, Sim, Dầu và họ Ngọc lan. Đây là kiểu rừng có thể đạt sinh khối khá cao so với các kiểu rừng khác, là đối tượng kinh doanh rừng sản xuất chính trong vùng.

- Rừng kín thường xanh mưa mùa nhiệt đới núi trung bình và núi cao:

Phân bố ở sườn hay trên các đỉnh núi có độ cao trên 800m, tổ thành thực vật đơn giản hơn so với vùng núi thấp, tiêu biểu là các loài cây thuộc họ Re, họ Giẻ, họ Chè, họ Đỗ Quyên. Kiểu rừng này phân bố trên những vùng địa hình cao dốc do vậy việc đi lại và vận chuyển rất khó khăn.

Các loài cây nghiên cứu là các loài phổ biến trong tổ thành rừng được sắp xếp theo họ thực vật để thiết lập mô hình sinh trắc theo đặc điểm sinh học của Họ

2.1.2 Sinh khối và carbon rừng nghiên cứu

Sinh khối và carbon cây rừng: bao gồm trong 5 bộ phận là thân, cành, lá, vỏ và rễ.

Sinh khối và carbon lâm phần: bao gồm sinh khối và carbon trong 5 bể chứa của rừng theo IPCC (2006); trong cây gỗ trên mặt đất, dưới mặt đất, trong thảm mục, gỗ chết và carbon hữu cơ trong đất. Ngoài ra đề tài còn tách riêng bể chứa carbon trong thảm tươi.

2.1.3 Ảnh viễn thám nghiên cứu

Ảnh viễn thám là ảnh vệ tinh được sử dụng trong luận án là ảnh đa phổ SPOT 5 được xử lý ở mức 2A. Ảnh được chụp vào ngày 15 tháng 3 năm 2009 chất lượng trung bình. Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám được thực hiện trong phạm vi rừng lá rộng thường xanh thuộc huyện Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông, ứng với một cảnh của ảnh vệ tinh, trên diện tích $60 \times 60 \text{ km} = 3.600 \text{ km}^2$.

2.2 ĐẶC ĐIỂM KHU VỰC NGHIÊN CỨU

2.2.1 Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu

Khu rừng nghiên cứu nằm trong khu vực phân bố đại diện của rừng lá rộng thường xanh ở 3 tỉnh Tây Nguyên là Gia Lai, Đắk Lắk và Đắk Nông. Ở Gia Lai thuộc huyện K'Bang, tỉnh Đắk Lắk thuộc hai huyện Krông Bông và M'Đrăk, và huyện Tuy Đức thuộc tỉnh Đắk Nông. (Hình 2.1)

Vị trí địa lý nghiên cứu nằm trong vĩ độ và kinh độ:

- $11^{\circ}44'34''$ đến $14^{\circ}36'25''$ vĩ độ Bắc
- $107^{\circ}11'52''$ đến $108^{\circ}59'49''$ kinh độ Đông.

2.2.2 Đất đai, địa hình

Đất đai, đá mẹ: Bao gồm 09 loại đất trên 03 loại đá mẹ như sau:

- Trên đá mẹ bazan bao gồm các loại đất: Đất giàu mùn, nâu đỏ; đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ; và đất đỏ chua rất nghèo kiềm.
- Trên đá mẹ Mắc ma axit bao gồm các loại đất: Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ; đất xám tầng mặt giàu mùn; đất xám tầng rất mỏng; đất xám có tầng loang lỗ đỏ vàng; và đất nâu .



Hình 2.1: Bản đồ khu vực nghiên cứu

- Trên đá mẹ phiến sét: Đất xám có tầng loang lỗ đỏ vàng; và đất xám sỏi sạn sâu.

Đất có kết von nhẹ từ 0 - 20%, pH = 5.7 – 7.5, độ sâu tầng đất > 50cm

Khu vực nghiên cứu nằm ở các vị trí sườn và đỉnh với độ dốc từ 0 – 36°.

Nằm trong phạm vi độ cao so với mặt biển từ 376m đến 1.068m.

2.2.3 Khí hậu, thủy văn

Lượng mưa bình quân năm từ 1.750mm – 2.500mm/năm. Có hai mùa mưa, khô, mùa mưa thường từ tháng 5 đến tháng 11, tuy nhiên khu vực tỉnh Đắk Nông và Gia Lai mùa mưa đến sớm hơn 1-2 tháng, trong khi đó khu vực M'Đrăk tỉnh Đắk Lắk chịu ảnh hưởng khí hậu duyên hải miền trung nên mùa mưa muộn hơn 1-2 tháng. Nhiệt độ trung bình năm biến động từ 22.2 – 27.0°C. Độ ẩm không khí trung bình năm 80 – 83%

Thủy văn: Do địa hình Tây Nguyên tựa như một mái nhà, mái phía Đông hứng nước đổ ra biển Đông thông qua hệ thống sông Ba, sông Đồng Nai, mái phía Tây hứng nước đổ ra sông Mê Kông thông qua hai chi lưu là Sê San, Sê Rê Pôk.

2.2.4 Tài nguyên rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

Tây nguyên là vùng có diện tích và trữ lượng rừng lá rộng thường xanh cao nhất trong cả nước. Bảng 2.1 dưới đây cho thấy diện tích đất có rừng của vùng Tây Nguyên là 2.925.200ha, chiếm 22.1% so với tổng diện tích đất rừng của cả nước. So với tổng diện tích tự nhiên của vùng Tây Nguyên là 5.447.500ha thì đất có rừng đạt đến 2.925.200ha, chiếm 53.7% so với tổng diện tích tự nhiên. Trong đó diện tích rừng tự nhiên là 2.715.700ha, chiếm đến 92.8% so với tổng diện tích đất có rừng.

Bảng 2.1: Diện tích rừng hiện tại của Tây Nguyên so với cả nước

(Đơn vị: 1000ha)

Loại đất loại rừng	Toàn quốc	Tây Nguyên
Đất có rừng	13.258,8	2.925,2
I. Rừng tự nhiên	10.339,2	2.715,7
1. Rừng gỗ	8.235,8	2.284,1
2. Rừng tre nứa	621,5	199,6
3. Rừng hỗn giao	685,6	232,0
4. Rừng ngập mặn	60,5	0,0
5. Rừng núi đá	735,8	0,0
II. Rừng trồng	2.919,6	209,4
1. Rừng trồng có trữ lượng	1.464,4	115,5

Loại đất loại rừng	Toàn quốc	Tây Nguyên
2. Rừng trồng chưa có trữ lượng	1.124,9	63,6
3. Tre luồng	87,8	0,7
4. Cây đặc sản	206,7	29,6
5. Ngập mặn ven biển	35,7	0,0

Nguồn: Bộ Nông nghiệp và PTNT, 2010

2.3 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Để đạt được mục tiêu, luận án nghiên cứu theo các nội dung chi tiết sau:

- i) Cơ sở khoa học xây dựng mô hình sinh trắc (Allometric equation).
- ii) Xây dựng mô hình sinh trắc (allometric equations) ước tính sinh khối (biomass) và carbon cây rừng. Bao gồm:
 - Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong từng bộ phận cây rừng, gồm 4 bộ phận: Thân, cành, lá, vỏ.
 - Mô hình ước tính sinh khối (AGB) và carbon phần trên mặt đất (C(AGB)).
 - Mô hình ước tính sinh khối (BGB) và carbon phần dưới mặt đất (trong rễ cây rừng) (C(BGB)).
 - Mô hình sinh trắc theo họ thực vật.
 - Xác định khối lượng thể tích gỗ (WD) và thiết lập mô hình sinh trắc theo nhóm WD.
 - Mô hình sinh trắc tối ưu theo từng nhóm phân loại.
 - Mô hình chuyển đổi giữa sinh khối, carbon và nhân tố điều tra cây cá thể.
 - Xác định các hệ số chuyển đổi từ thể tích sang sinh khối và carbon.
 - So sánh biến động của các mô hình sinh khối của rừng nhiệt đới ẩm trên thế giới với dữ liệu và mô hình ở vùng Tây Nguyên và duyên hải nam trung bộ.
- iii) Ước lượng sinh khối và carbon lâm phần. Bao gồm:
 - Ước tính sinh khối và carbon trong thảm mục, thảm tươi, gỗ chết trong lâm phần và carbon hữu cơ trong đất (SOC).
 - Mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần.
 - Cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần.

- Dự báo tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO₂ của lâm phần.
- iv) Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong đo tính, giám sát sinh khối và carbon rừng. Bao gồm:
 - Phân tích ảnh vệ tinh để ước tính và giám sát sinh khối, carbon rừng.
 - Ứng dụng GIS trong quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng.
- v) Xây dựng giải pháp ứng dụng viễn thám – GIS và mô hình sinh trắc để đo tính, giám sát CO₂ hấp thụ và phát thải từ rừng

2.4 PHƯƠNG PHÁP LUẬN, TIẾP CẬN NGHIÊN CỨU

Áp dụng theo IPCC (2006) để nghiên cứu đo tính và giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ từ rừng; trong đó có hai nhóm dữ liệu cần nghiên cứu: i) Biến động diện tích, chất lượng rừng và ii) Biến động 5 bể chứa carbon trong các lâm phần.

Nhóm dữ liệu thứ nhất tiếp cận sử dụng công nghệ viễn thám và GIS. Ảnh viễn thám hỗ trợ tốt cho việc giám sát thay đổi diện tích rừng; ngoài ra với quan điểm giữa dữ liệu viễn thám và sinh khối có mối quan hệ với nhau [32, 47, 69], vì vậy xây dựng mô hình quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các chỉ số ảnh viễn thám là cơ sở để ước lượng gián tiếp thay đổi carbon rừng theo không gian và thời gian trên quy mô lớn.

Nhóm dữ liệu thứ hai tiếp cận dựa vào các mô hình sinh trắc và thống kê sinh học để ước tính sinh khối, carbon các bể chứa gián tiếp thông qua các nhân tố điều tra dễ đo đếm [34,36,77,40]. Để xây dựng mô hình sinh trắc cần phải đo tính trực tiếp sinh khối, carbon rừng thông qua cây mẫu; trên cơ sở đó lập các mô hình sinh trắc cho từng bộ phận cây gỗ, bể chứa trong lâm phần.

Từ đây hệ thống hóa để thiết lập các giải pháp công nghệ trong ước tính giám sát CO₂ hấp thụ và phát thải từ rừng theo không gian và thời gian

2.5 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.5.1 Phương pháp thu thập số liệu

2.5.1.1 Lập ô mẫu đại diện cho các cấp trữ lượng, sinh khối rừng:

Ô mẫu được thiết lập theo phương pháp đại diện; và do nghiên cứu sinh khối nên dựa vào phân loại cấp trữ lượng rừng để đặt ô. Phân chia cấp trữ lượng rừng căn cứ vào thông tư số 34/2009/TT-BNN&PTNT, trong đó trữ lượng gồm các cấp: i) Rừng

rất giàu (trữ lượng cây đứng trên $300\text{m}^3/\text{ha}$); ii). Rừng giàu (trữ lượng cây đứng từ $201-300\text{m}^3/\text{ha}$); iii) Rừng trung bình (trữ lượng cây đứng từ $101-200\text{m}^3/\text{ha}$); iv) Rừng nghèo (trữ lượng cây đứng từ 10 đến $100\text{m}^3/\text{ha}$). Tổng số đã điều tra, thu thập dữ liệu lâm phần, sinh khối của các bể chứa và chặt cây mẫu ở 20 ô; trong đó cấp trữ lượng nghèo có 2 ô, cấp trữ lượng trung bình có 5 ô, cấp trữ lượng giàu có 4 ô và cấp trữ lượng rất giàu có 9 ô mẫu (Bảng 2.2); và ở từng cấp trữ lượng các ô cũng được phân bố khá đều theo 3 tỉnh Đắk Lắk, Gia Lai và Đắk Nông. Như vậy số ô mẫu tăng và tập trung hơn có các trạng thái rừng rất giàu, ổn định để nghiên cứu quy luật cấu trúc sinh khối, carbon rừng và bảo đảm số loài thu thập đại diện cho kiểu rừng, vì rừng nghèo thường số loài giảm sút rõ rệt.

Bảng 2.2: Thông tin 20 ô mẫu 2000m^2 nghiên cứu sinh khối, carbon rừng

Mã ô	Xã	Huyện	Tỉnh	XUTM	YUTM	M m^3/ha	Cấp trữ lượng
TX5	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762009	1338083	51.3	Nghèo
TX13	Cư San	Madrak	Đắk Lắk	258775	1390477	98.0	
TX2	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	755717	1334079	100.9	Trung bình
TX3	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	756819	1333820	155.9	
TX15	Ea Trang	Madrak	Đắk Lắk	257884	1391237	172.3	
TX18	Lơ ku	Kbang	Gia Lai	237859	1565734	175.0	
TX4	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762276	1337696	180.5	
TX1	Quảng tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765440	1344734	213.4	Giàu
TX11	Yang Mao	Krông Bông	Đắk Lắk	237569	1371652	276.2	
TX17	Cư Drăm	Krông Bông	Đắk Lắk	243873	1388813	281.5	
TX12	Sơ Pai	K Bang	Gia Lai	239966	1575157	294.2	
TX20	Quảng Trực	Tuy Đức	Đắk Nông	746732	1352766	338.9	Rất giàu
TX19	Quảng Trực	Tuy Đức	Đắk Nông	746239	1352425	350.5	
TX7	Quảng Trực	Tuy Đức	Đắk Nông	755056	1353301	357.1	

Mã ô	Xã	Huyện	Tỉnh	XUTM	YUTM	M m ³ /ha	Cấp trữ lượng
TX10	Yang Mao	Krông Bông	Đắk Lắk	238352	1370892	364.7	
TX14	Cư San	Madrak	Đắk Lắk	259252	1390739	434.5	
TX6	Quảng Tân	Tuy Đức	Đắk Nông	763364	1341051	487.0	
TX9	Krông Á	Madrak	Đắk Lắk	255915	1402011	519.2	
TX16	Cư Drăm	Krông Bông	Đắk Lắk	245912	1387143	531.1	
TX8	Krông Á	Madrak	Đắk Lắk	256 041	1 402 240	539.4	

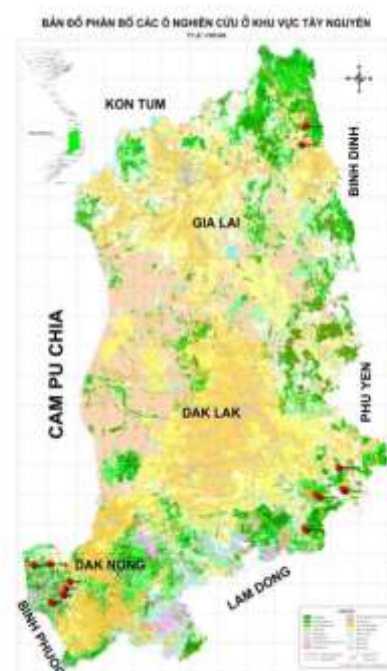
Kích thước ô mẫu 20m x 100m (2.000m²) theo (ICRAF, 2007 [68]), trong mỗi ô mẫu được phân tầng thành các ô phụ để điều tra cây theo các cấp đường kính (Hình 2.3)

2.5.1.2 Thu thập số liệu cây rừng và sinh khối, đất trong ô mẫu

Số liệu về vị trí ô mẫu: Vị trí hành chính xã, huyện, tỉnh; tọa độ địa lý, chủ rừng.

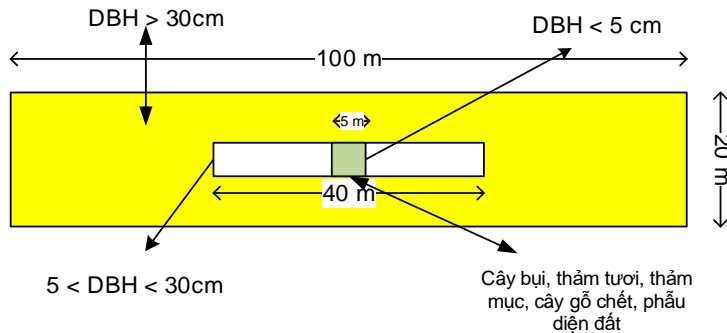
Số liệu về nhân tố lâm phần, sinh thái và cây gỗ đứng:

- Số liệu về lâm phần: Trạng thái rừng, loài ưu thế, độ tàn che, loại thực bì, % che phủ thực bì
- Số liệu sinh thái:
 - Địa hình bao gồm: Vị trí ô mẫu, độ dốc, hướng phơi, độ cao so với mặt biển
 - Khí tượng, khí hậu: Lượng mưa bình quân năm (P mm/năm), nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí %, số giờ nắng. Một số nhân tố bình quân năm được lấy ở trạm khí tượng thủy văn gần nhất.



Hình 2.2: Sơ đồ phân bố ô mẫu khu vực nghiên cứu

- Đất đai: Loại đá mẹ, loại đất, kết cấu đất, % kết von, % đá nổi, pH đất, độ dày tầng đất.



Hình 2.3: Sơ đồ ô phân tầng (ICRAF 2007)

Trong đó loại đất và đá mẹ được xác định từ thực tế kết hợp với bản đồ phân loại đất vùng Tây Nguyên của ngành tài nguyên môi trường các tỉnh.

- Số liệu về cây gỗ đứng:

Các chỉ tiêu điều tra bao gồm loài, đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao (H), phẩm chất cây. Phân chia thành các ô phụ theo cấp kính như sau:

- Ô mẫu chính: 20 x 100m (2.000m²): Điều tra cây gỗ có DBH > 30cm.
- Ô mẫu phụ: 5 x 40m (200m²) (1 ô trong ô chính): Điều tra cây gỗ có 5cm < DBH ≤ 30cm.
- Ô mẫu phụ: 5 x 5 m (25m²) (1 ô phụ trong ô chính): Điều tra cây gỗ có DBH ≤ 5cm và H > 1.3m.
- Số liệu về sinh khối của các bể chứa carbon thảm mục, thảm tươi, cây chết, đất rừng và lấy mẫu.
 - Thu thập khối lượng và lấy mẫu thảm mục, thảm tươi:

Thảm mục (litter) xác định theo IPCC (2006) [70] là bao gồm tất cả sinh khối không sống với kích thước lớn hơn sinh khối trong đất hữu cơ (2mm) và nhỏ hơn đường kính xác định gỗ chết (10cm), nằm trên bề mặt đất rừng. Thảm tươi là cây bụi thân thảo, dây leo. Sử dụng ô mẫu phụ 5 x 5 m (1 ô phụ trong ô chính) để thu thập và cân sinh khối tươi của lớp thảm tươi và thảm mục. Lấy mẫu sinh khối tươi với 1 mẫu/bộ phận (có 2 bộ phận), 100g/mẫu. Tổng số mẫu để phân tích sinh khối khô và carbon: 20 ô mẫu x 2 bộ phận x 1 mẫu/bộ phận = 40 mẫu cho 2 bộ phận thảm tươi và thảm mục.

- Thu thập khối lượng và lấy mẫu gỗ chết (Dead wood):

Gỗ chết được xác định cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng theo IPCC (2006) với đường kính > 10cm. Phương pháp thu thập sinh khối gỗ chết khá phức tạp và có thể được

tiến hành theo các cách khác nhau. Subedi và cộng sự (2010) [96] tiến hành cân đo khối lượng gỗ chết trong ô mẫu có diện tích khác nhau từ 1 – 250m² tùy vào kích thước đường kính gỗ chết, tác giả không theo quy định gỗ chết của IPCC, gỗ chết được xác định với cả đường kính <2cm; trong khi đó Walker, Pearson và cộng sự (USAID, 2012) [106] đề nghị xác định gỗ chết thông qua các đường chéo tuyến trong ô và đo đường kính, chiều dài (chiều cao nếu cây chết đứng) gỗ chết cắt trên tuyến, sau đó sử dụng các mô hình tính thể tích thân cây để suy ra sinh khối gỗ chết. Với sự phức tạp của ước tính gỗ chết, luận án giới hạn trong xác định đo tính gỗ chết nằm. Sử dụng ô mẫu phụ: 5 x 5m (1 ô trong ô chính): Cân sinh khối của gỗ chết. Lấy mẫu sinh khối tươi với ba cấp kính của gỗ chết (lớn, trung bình và nhỏ), chẻ nhỏ và trộn đều để lấy 100g/mẫu. Tổng số mẫu để phân tích sinh khối khô, carbon của gỗ chết: 20 ô mẫu x 1 ô phụ x 3 cấp = 60 mẫu.



Cân và lấy mẫu gỗ chết (Dead wood)



Cân và lấy mẫu thảm mục (Litter)

Hình 2.4: Thu thập và cân sinh khối gỗ chết, thảm mục

- Thu thập số liệu và lấy mẫu đất:

Theo IPCC (2006) [70], carbon hữu cơ trong đất được xác định ở tầng sâu từ 30 – 50cm tùy vào mỗi quốc gia. Đề tài xác định carbon đất đến tầng sâu 50cm. Đào 01 phẫu diện (1x1x2m) trong một ô chính ở vị trí trung tâm ô mẫu. Mỗi phẫu diện chia thành 4 tầng: 0 - 10cm; 10 - 20cm, 20 - 30cm và 30 - 50cm. Xác định dung trọng đất tươi ($d_t = g/cm^3$) bằng ống dung trọng có thể tích 50cm³ và cân khối lượng đất trong ống bằng cân điện tử cho từng tầng đất. Lấy 4 mẫu đất, mỗi mẫu 0.5kg ở 4 tầng phẫu diện để xác định dung trọng đất khô, phân tích hàm lượng carbon đất cho từng tầng. Tổng số mẫu đất: 20 phẫu diện trong 20 ô mẫu x 01 phẫu diện x 4 mẫu đất ở 4 tầng = 80 mẫu đất.



Ống dung trọng đất có thể tích $V=50cm^3$



Cân điện tử cân khối lượng đất với $V=50cm^3$

Hình 2.5: Xác định dung trọng đất tươi bằng ống dung trọng và cân điện tử – Lấy mẫu đất

2.5.1.3 Chặt hạ cây (*destructive measurement*) để đo tính thể tích, sinh khối các bộ phận trên dưới mặt đất cây rừng và lấy mẫu

Trong mỗi ô mẫu chính diện tích 2000m², áp dụng phương pháp chặt hạ cây (*destructive measurement*) để xác định sinh khối 4 bộ phận: thân, cành, lá, vỏ và đào rễ để cân sinh khối; lấy mẫu để phân tích sinh khối khô, carbon của 5 bộ phận cây và xác định khối lượng thể tích gỗ. Số liệu cây mẫu chặt hạ ở Bảng 2.3

Bảng 2.3: Số liệu cây mẫu chặt hạ trong 20 ô mẫu

Cấp DBH (cm)	N của 20 ô / 4 ha	BA (m ² /4ha)	N cây mẫu AGB	N cây mẫu BGB	Tỷ lệ cây mẫu AGB theo N	Tỷ lệ cây mẫu BGB theo N
5 – 15	16,600	130	90	47	0.5%	0.3%
15 – 25	7,900	248	68	42	0.9%	0.5%
25 – 35	2,350	166	31	35	1.3%	1.5%
35 – 45	885	111	21	14	2.4%	1.6%
45 – 55	475	93	7	5	1.5%	1.1%
55 – 65	190	54	5		2.6%	
65 - 75	90	35	1		1.1%	
75 - 85	45	23	1		2.2%	
Tổng	28,535	860	224	143	12.5%	4.9%

Thông tin tổng hợp về cây mẫu chặt hạ để nghiên cứu sinh khối, carbon và thể hiện ở (Hình 2.6).

- Tổng cộng đã chặt 224 cây để thu thập số liệu và lấy mẫu sinh khối 4 bộ phận trên mặt đất là thân, cành, lá, vỏ và tổng sinh khối trên mặt đất là AGB; và đào 143 gốc rễ cây để xác định sinh khối rễ (BGB).
- Phân bố cây mẫu chặt theo cấp kính: Số cây chặt theo quy luật giảm số cây theo cấp kính tăng như quy luật phân bố N/DBH của các lâm phần nghiên cứu. Đồng thời chú ý đến phân bố số cây chặt tỷ lệ theo tổng tiết diện ngang (BA) của các cấp kính, để bảo đảm số mẫu tỷ lệ thuận với BA hay nói khác tỷ lệ thuận với sinh khối rừng, giúp cho việc lập mô hình sinh khối có độ tin cậy hơn, trên nguyên tắc sinh khối càng cao thì cần mẫu càng nhiều. BA có phân bố một đỉnh, tập trung ở 15 – 35 cm; do đó số cây chặt cũng có tỷ lệ % số cây tập trung trong phạm vi này.

- Tỷ lệ cây lấy mẫu cho AGB là 12.5% và BGB là 4.9%.
- Cấp kính của AGB từ 5 – 85cm và của BGB từ 5 – 55cm.
- Cây chặt hạ được lựa chọn là loài phổ biến, ưu thế trong lâm phân và rải trong ba cấp khối lượng thể tích gỗ là cứng, trung bình và mềm được xác định nhanh ở thực địa.



Chặt hạ cây



Cắt khúc thân



Đào rễ cây bằng máy ủi



Rễ cây lớn được đào lên



Bóc vỏ cây



Cắt cành

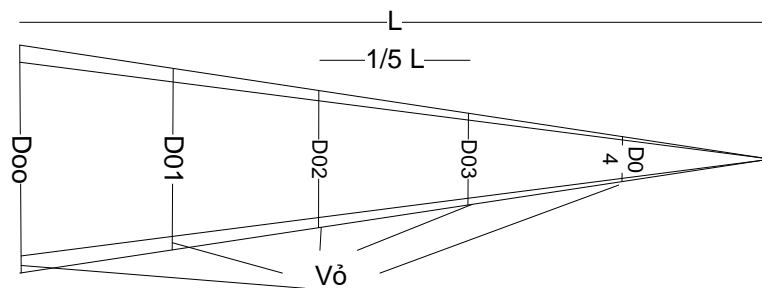


Thu thập lá

Hình 2.6: Chặt hạ cây, phân tách các bộ phận và đào rễ cây

Đo tính các chỉ tiêu và sinh khối trên cây chặt hạ bao gồm:

- Đo cây đứng: Loài, DBH, H, đường kính tán trung bình (D_t)
- Đo cây ngã: Tuổi cây (A), chiều dài (L)
- Đo các chỉ tiêu để tính thể tích cây có vỏ và không vỏ: Chia thân cây làm 5 phần bằng nhau với chiều dài mỗi đoạn là $1/5L$ (Hình 2.7), đo đường kính có vỏ và không vỏ ở 5 vị trí $0/5L$, $1/5L$, $2/5L$, $3/5L$ và $4/5L$ (lần lượt các đường kính: D_{00} , D_{01} , D_{02} , D_{03} , D_{04})



Hình 2.7: Phân chia cây chặt hạ thành 5 đoạn bằng nhau để xác định thể tích có vỏ và không vỏ



Cân khối lượng lá

Cân khối lượng thân đã bóc vỏ

Cân khối lượng vỏ

Cân khối lượng rễ

Cân khối lượng cành

Cân khối lượng thân cả vỏ

Hình 2.8: Cân khối lượng tươi 5 bộ phận cây chặt hạ

- Cân đo sinh khối tươi 5 bộ phận thân cây (Hình 2.8): Phân chia cây làm 5 bộ phận thân, vỏ, cành, lá và rễ; tiến hành cân khối lượng tươi từng bộ phận cây. Tuy nhiên đối với các cây có đường kính > 40 cm, không thể bóc vỏ và cân riêng thân và vỏ, do vậy tại mỗi vị trí phân đoạn 1/5L, tiến hành lấy mẫu tính khối lượng thể tích tươi của vỏ và gỗ để quy ra khối lượng tươi của hai bộ phận này. Cân mẫu khối lượng tươi (m) độ chính xác 0.1mg và xác định thể tích (v) bằng ống đo nước chính xác đến ml (cm^3) từng phần gỗ thân và vỏ. Mẫu lấy để xác định khối lượng thể tích tươi được lấy ở 5 vị trí của cây và xuyên tâm. Khối lượng thể tích tươi (wd) của thân và vỏ được lấy trung bình của 5 vị trí, với $\text{wd} = \text{m}/\text{v}$ (g/cm^3), từ đó tính gián tiếp khối lượng tươi thân và vỏ cây: $B(\text{kg}) = \text{wd}(\text{g}/\text{cm}^3) \cdot V(\text{m}^3) \cdot 10^3$, trong đó V là thể tích gỗ hoặc vỏ được xác định từ 5 phân đoạn, wd là khối lượng thể tích tươi của từng bộ phận tương ứng. (Hình 2.9)

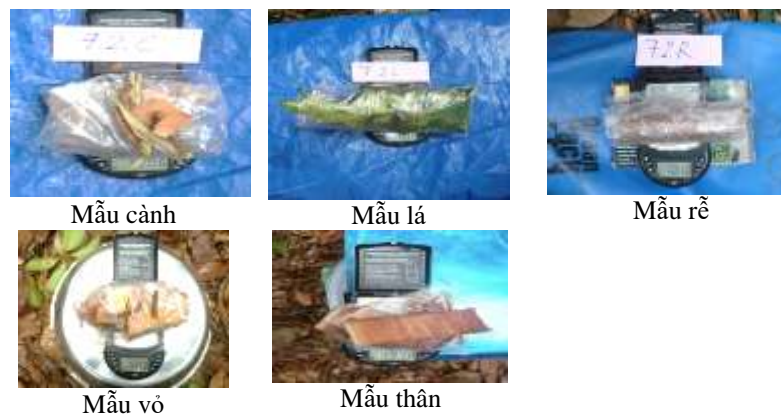


Hình 2.9: Xác định khối lượng thể tích gỗ, vỏ tươi ngay trong rừng

Lấy mẫu 5 bộ phận của cây chặt hạ để phân tích sinh khối khô và hàm lượng carbon:

- Cách lấy mẫu: i) Mẫu thân gỗ: Cưa 5 thớt gỗ ở vị trí phân đoạn bằng nhau, lấy mẫu xuyên tâm của cả 5 phân đoạn, sau đó chẻ nhỏ, trộn đều để lấy mẫu; ii) Mẫu cành: Lấy mẫu 3 loại kích thước cành, chẻ nhỏ và trộn đều để lấy mẫu; iii) Mẫu vỏ: Lấy mẫu vỏ ở 5 vị trí phân đoạn trên thân cây, chẻ nhỏ, trộn đều và lấy mẫu; iv) Mẫu lá: Trộn đều các lá già và non rồi lấy mẫu; v) Mẫu rễ: Lấy mẫu ở 3 kích loại kích thước rễ, chặt khúc, trộn đều để lấy mẫu. Sau đó mỗi mẫu được lấy 100g bằng cân điện tử để phân tích sinh khối và carbon.
- Số mẫu 4 bộ phận cây trên mặt đất (thân, cành, lá và vỏ): 224 cây x 4 bộ phận x 3 mẫu/bộ phận (mỗi bộ phận ở 3 vị trí, hoặc cấp kích thước) = 2.688 mẫu.
- Số mẫu rễ: 143 cây x 3 mẫu (Ở 3 cấp rễ to, trung bình và nhỏ) = 429 mẫu.

Tổng số mẫu của 5 bộ phận cây chặt hạ là 3.117 mẫu để phân tích sinh khối khô và hàm lượng carbon. (Hình 2.10)



Hình 2.10: : Lấy mẫu 5 bộ phận bằng cân điện tử

2.5.2 Phương pháp phân tích sinh khối và carbon trong các bộ phận thực vật và đất rừng

Mẫu thực vật, đất sau khi thu thập được phân tích trong phòng thí nghiệm để xác định sinh khối khô (biomass) và hàm lượng carbon.

- Phân tích xác định sinh khối khô các bộ phận thực vật:

Mẫu được chẻ nhỏ và sấy khô ở nhiệt 105°C , đến khi mẫu khô hoàn toàn, có khối lượng không đổi nữa (ít nhất là 48 giờ và mẫu được chẻ nhỏ). Từ đây tính được tỷ lệ giữa khối lượng khô/khối lượng tươi: TLk/t của từng bộ phận thân, cành, lá, vỏ, rễ (Hình 2.11).

- Phân tích xác định hàm lượng carbon trong các bộ phận thực vật và đất rừng:

Sau khi sấy khô, phân tích hàm lượng carbon trong từng bộ phận dựa trên cơ sở oxy hoá chất hữu cơ bằng $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (Kali bicromat) theo phương pháp Walkley – Black; xác định lượng carbon bằng phương pháp so màu xanh của Cr^{3+} tạo thành ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) tại bước sóng 625nm. Từ đây tính được tỷ lệ %C trong sinh khối khô của từng bộ phận cây rừng và trong đất.

Từ lượng carbon, suy được lượng CO_2 tương đương hấp thụ: $\text{CO}_2 = 3.67\text{C}$.



Xác định khối lượng thể tích gỗ



Chuẩn bị mẫu để phân tích sinh khối khô, carbon



Tủ sấy mẫu ở 105°C



Mẫu các bộ phận thực vật để sấy khô và phân tích hàm lượng carbon

Hình 2.11: Phân tích trong phòng thí nghiệm xác định khối lượng thể tích gỗ, sinh khối và carbon

2.5.3 Tạo lập cơ sở dữ liệu cây cá thể và lâm phần

Thể tích có vỏ, không vỏ của cây tính theo công thức chia cây thành 5 phân đoạn bằng nhau:

$$V = \frac{L \cdot \pi \cdot 10^{-4}}{80} \{ (D_{00} + D_{01})^2 + (D_{01} + D_{02})^2 + (D_{02} + D_{03})^2 + (D_{03} + D_{04})^2 + (D_{04})^2 \} \quad 2-1$$

Trong đó V (m^3): là thể tích có vỏ (V_{cv}) hoặc thể tích không vỏ (V_{ov}) và thể tích vỏ cây $V_v = V_{cv} - V_{ov}$ (m^3); L (m) là chiều dài cây; D_{oi} (cm) là đường kính ở vị trí 5 phân đoạn, bao gồm có vỏ hoặc không vỏ.

Diện tích tán lá của cây:

$$Ca \text{ (m}^2\text{)} = \Pi * \frac{Dt^2}{4} \quad 2-2$$

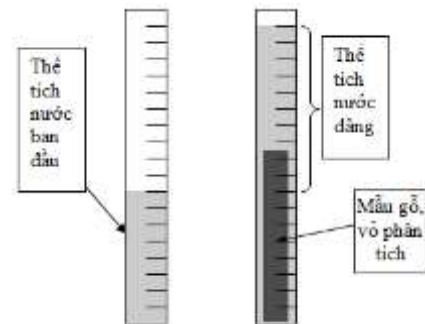
Trong đó Dt : Đường kính tán trung bình của cây (m).

Khối lượng thể tích gỗ (WD , g/cm^3): Mẫu gỗ ở 5 vị trí phân đoạn của cây được lấy xuyên tâm, đo thể tích tươi (V (cm^3) bằng ống đo nước vạch đến ml (cm^3) (Hình 2.12), sau khi sấy mẫu xác định khối lượng khô m (g), từ đó tính khối lượng thể tích gỗ trung bình từ 5 phân đoạn cho từng cây chặt hạ.

$$WD \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m \text{ (g)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}} \quad 2-3$$

Sinh khối khô của từng bộ phận và cây = Sinh khối tươi x tỷ lệ khô/tươi (của từng bộ phận thân, cành, lá, vỏ và rễ).

Carbon của từng bộ phận và cây = Sinh khối khô x % C tích lũy theo từng bộ phận của cây (thân, cành, lá, vỏ và rễ).



Hình 2.12: Xác định thể tích gỗ, vỏ tươi bằng ống đo nước (ml)

Tổng hợp số liệu thu thập hiện trường, lấy mẫu và phân tích và tính toán sinh khối, carbon của từng bộ phận cây, tổng hợp theo cây để tạo ra các bộ dữ liệu lập các mô hình sinh khối trên mặt đất (AGB), carbon trên mặt đất (C(AGB)), sinh khối dưới mặt đất (BGB) và carbon dưới mặt đất (C(BGB)) theo các nhân tố điều tra cây chính là DBH, H, WD và CA. Do hạn chế về nguồn lực nên không thể lấy rẽ toàn bộ cây chặt, cũng như phân tích toàn bộ carbon và đo chỉ tiêu CA. Bộ dữ liệu tổng hợp với các biến số được trình bày trong

Phụ lục 2, Phụ lục 3, Phụ lục 4, Phụ lục 5.

Tính toán các chỉ tiêu lâm phần cho từng ô mẫu như mật độ (N, cây/ha), tổng diện ngang (BA, m²/ha), trữ lượng (M, m³/ha) theo các công thức thông thường của điều tra rừng.

Tính toán sinh khối và carbon lâm phần của cây gỗ: Dựa vào phân bố số cây theo cấp kính của từng ô tiêu chuẩn, tương quan chiều cao và đường kính và mô hình ước tính sinh khối, carbon cây cá thể, từ đây tính được tổng sinh khối trên mặt đất cây gỗ TAGTB (tấn/ha), tổng carbon trên mặt đất TAGTC (tấn/ha), tổng sinh khối và carbon dưới mặt đất của cây gỗ (TBGTB, TBGTC, tấn/ha). Cơ sở dữ liệu tổng hợp trong Phụ lục 10, Phụ lục 11.

2.5.4 Phương pháp thiết lập mô hình sinh trắc cho cây rừng và lâm phần

Thiết kế tiến trình để tiếp cận mô hình sinh trắc như sau:

i) Mô hình sinh trắc tổng quát:

Mô hình sinh trắc có dạng tổng quát là:

$$y_i = f(x_j) \quad 2-4$$

Trong đó:

y_i (biến số phụ thuộc): Sinh khối, lượng carbon tích lũy trong từng bộ phận thân cây gỗ (thân, cành, lá, vỏ); tổng sinh khối của 4 bộ phận cây trên mặt đất (AGB), dưới mặt đất (BGB); tổng carbon trong các bộ phận cây trên mặt đất (C(AGB)) và dưới mặt đất C(BGB) và giá trị sinh khối, carbon của lâm phần.

x_j (các biến số độc lập): Đối với cây: Gồm 4 biến số chủ yếu được nghiên cứu là DBH, H, WD và CA. Đối với lâm phần gồm các biến N, BA, M và các biến sinh khối, carbon của các bề xác định trực tiếp.

ii) Xác định biến số độc lập x_j ảnh hưởng y_i :

Để chọn số biến số tối ưu ảnh hưởng đến ước tính sinh khối, carbon; sử dụng tiêu chuẩn Mallows' Cp (1973) [80]. Chỉ số Cp càng gần với số biến số P thì mô hình càng phù hợp; dựa vào đây để xác định số biến số P tham gia mô hình khi có quá nhiều biến số được giả định là có ảnh hưởng đến y_i .

Lúc này các biến số y_i và x_j cũng được đổi biến số theo các dạng hàm phi tuyến chuyển sang tuyến tính như log, sqrt, 1/X, X², exp(X); mỗi trường hợp đổi biến số

hoặc tổ hợp biến, giá trị C_p được tính toán để xác định p biến số tối ưu cho từng mô hình.

Với P là số biến số tối ưu để mô hình ước tính sinh khối, carbon có độ tin cậy cao nhất; tuy nhiên trong thực tế thì số biến số P càng nhiều thì số liệu điều tra đầu vào càng phức tạp. Do vậy các mô hình được lập theo từng biến số và giới hạn tối đa ở P biến đã xác định qua C_p . Có nghĩa là trong một số trường hợp không có yêu cầu độ chính xác cao thì có thể áp dụng mô hình có số biến số ít hơn P và biến được đo tính đơn giản hơn.

iii) Các dạng hàm thử nghiệm:

Từ mô hình sinh trắc có dạng tổng quát là: $y_i = f(x_j)$, tiến hành đổi biến số y_i và x_j theo các hàm $\ln(y_i, x_j)$, $\sqrt{y_i, x_j}$, y_i^2 , x_j^2 , $1/y_i$, $1/x_j$, trong đó biến x_j có thể là biến đơn hay là tổ hợp biến ví dụ DBH^2H , DBH^2WD , DBH^2H*WD , DBH^2CA ...

Tổ hợp tất cả các trường hợp đổi biến số để dò tìm hàm tối ưu. Các dạng hàm được thử nghiệm ở Bảng 2.4 Ví dụ minh họa trong trường hợp một biến số, nếu nhiều biến số thì các biến số mới cũng được đổi biến và mở rộng.

Bảng 2.4: Các dạng hàm thử nghiệm

Stt	Mô hình	Stt	Mô hình
1	Multiplicative $\log(Y) = a + b \cdot \log(X)$	13	Square root-X $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$
2	Square root-Y $\sqrt{Y} = a + b \cdot X$	14	Double squared $Y^2 = a + b \cdot X^2$
3	Logarithmic-Y square root-X $\log(Y) = a + b \cdot \sqrt{X}$	15	Reciprocal-Y logarithmic-X $1/Y = a + b \cdot \log(X)$
4	Square root-Y squared-X $\sqrt{Y} = a + b \cdot X^2$	16	Logarithmic-X $Y = a + b \cdot \log(X)$
5	Squared-X $Y = a + b \cdot X^2$	17	Square root-Y reciprocal-X $\sqrt{Y} = a + b/X$
6	Double square root $\sqrt{Y} = a + b \cdot \sqrt{X}$	18	Squared-Y $Y^2 = a + b \cdot X$
7	Exponential $\log(Y) = a + b \cdot X$	19	Squared-Y square root-X $Y^2 = a + b \cdot \sqrt{X}$
8	S-curve model $\log(Y) = a + b/X$	20	Reciprocal-X $Y = a + b/X$
9	Double reciprocal $1/Y = a + b/X$	21	Squared-Y logarithmic-X $Y^2 = a \cdot b \cdot \log(X)$
10	Square root-Y logarithmic-X $\sqrt{Y} = a + b \cdot \log(X)$	22	Reciprocal-Y squared-X $1/Y = a + b \cdot X^2$
11	Linear	23	Squared-Y reciprocal-X

	$Y = a + b \cdot X$		$Y^2 = a + b/X$
12	Logarithmic-Y squared-X $\log(Y) = a + b \cdot X^2$		

iv) Phương pháp ước lượng các mô hình sinh trắc

Thử nghiệm các phương pháp ước lượng mô hình khác nhau như sau:

- Phương pháp bình phương tối thiểu ước lượng hàm phi tuyến được tuyến tính hóa.
- Phương pháp bình phương tối thiểu ước lượng hàm phi tuyến được tuyến tính hóa có trọng số (Weight).
- Phương pháp Marquardt ước lượng hàm phi tuyến.
- Phương pháp Marquardt ước lượng hàm phi tuyến có trọng số (Weight).

Trong đó trọng số được xác định theo Picard et al. (2012): $W_i = 1/X_i^{2b_i}$, trong đó X là biến số ảnh hưởng chính và b biến động từ -2 đến + 2. Khi thay đổi c của trọng số sẽ thay đổi biến động của residual, trên cơ sở đó có thể quyết định chọn lựa giá trị trọng số tối ưu cho mô hình ước lượng.

Về phương pháp ước lượng hàm phi tuyến của Marquardt, tham số đầu vào của mô hình và trọng số thực hiện theo Picard et al. (2012):

- Tuyến tính hóa và ước lượng mô hình theo phương pháp bình phương tối thiểu.
- Sử dụng các giá trị tham số ước lượng bằng phương pháp tuyến tính làm đầu vào cho ước lượng phi tuyến.
- Trọng số của mô hình: $W = 1/X_i^{2b_i}$, trong đó X_i là biến quan trọng để điều tiết mô hình, và b_i là tham số gắn biến X_i .
- Lựa chọn hàm có R^2 cao, biến động Residuals là hằng số theo giá trị lý thuyết.

v) Các tiêu chuẩn lựa chọn mô hình, đánh giá độ tin cậy của hàm:

Việc lựa chọn biến số tham gia mô hình, mô hình tối ưu có sai số ước lượng bé nhất và sai khác thấp nhất so với thực tế là rất quan trọng trong xây dựng mô hình allometric equations, do đó phương pháp tiếp cận để lựa chọn biến tham gia vào mô hình được xây dựng như sau:

Các chỉ tiêu thống kê, biểu đồ để lựa chọn biến tham gia và hàm tối ưu:

- *Hệ số quan hệ, xác định R^2* : Về tổng quát thì hàm tốt nhất khi R^2 đạt max và tồn tại ở mức sai $P < 0.05$. Tuy nhiên có trường hợp R^2 đạt max nhưng chưa phải là hàm phù hợp nhất, do vậy cần dựa thêm các chỉ tiêu thống kê khác.
- *Tiêu chuẩn t kiểm tra sự tồn tại của các tham số của mô hình*: Với giả thuyết $H_0: b_i = 0$, giả thuyết bị bác bỏ khi $P < 0.05$; có nghĩa là các tham số tồn tại và khác 0 rõ rệt. Chỉ tiêu này chỉ áp dụng cho hàm đa biến.
- *Tiêu chuẩn AIC (Akaike Information Criterion)*: AIC được sử dụng khi cần lựa chọn mô hình tốt nhất với các biến số ảnh hưởng khác nhau (Burnham và Anderson, 2002; Johnson và Omland, 2004 dẫn theo Chave, 2005) [39]):

$$AIC = n \cdot \ln(RSS/n) + 2K = -\ln(L) + 2K \quad 2-5$$

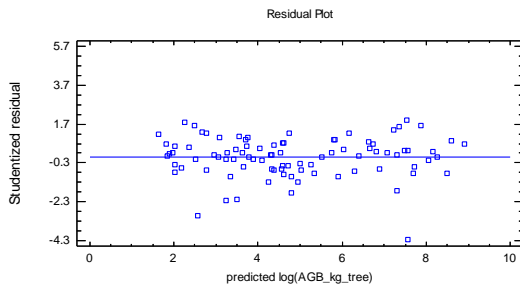
Mô hình tối ưu với các biến số thích hợp khi giá trị đại số của AIC là bé nhất. Trong đó n : số mẫu, RSS (the residual sums of squares) là tổng bình phương phần dư, K : số tham số của mô hình bao gồm tham số sai số ước lượng, ví dụ mô hình $y = a + bx$, thì $K = 3$. L : Likelihood của mô hình. AIC chỉ sử dụng để so sánh các hàm có cùng dạng biến số y .

- *Hệ số điều chỉnh (CF - Correction factor)* (Baskerville 1972; Duan 1983; Parresol 1999 dẫn theo Chave, 2005 [39]):

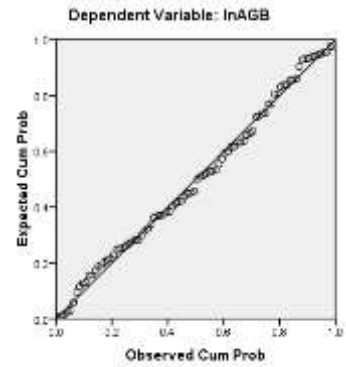
$$CF = \exp(RSE^2/2) \quad 2-6$$

CF luôn lớn hơn 1. Trong đó RSE (Residual standard error) là sai tiêu chuẩn của phần dư hay là sai số của mô hình. Khi RSE càng lớn thì CF càng lớn, có nghĩa mô hình càng có độ tin cậy thấp. Mô hình tốt khi CF càng tiến dần đến 1. Tiêu chuẩn này chỉ sử dụng cho mô hình dạng đôi biến số ln.

- *Biểu đồ biến động phần dư (residual)* ứng với các giá trị dự báo y của mô hình lựa chọn: Mô hình tốt khi biến động residual tập trung trong phạm vi giá trị -2 đến + 2 ứng với các giá trị dự báo y . *Biểu đồ xác suất chuẩn Normal P-P*: Mô hình đạt độ tin cậy cao khi xác suất phân bố của giá trị quan sát và lý thuyết nằm trên đường chéo của tọa độ (0, 0) và (1, 1). Biểu diễn ở Hình 2.13



Giá trị phần dư residual theo giá trị dự báo qua mô hình nằm trong phạm vi -2 đến +2



Xác suất chuẩn của dự báo và quan sát
(Normal P-P)

Hình 2.13: Biểu đồ đánh giá sự thích hợp và tin cậy của mô hình lựa chọn

- *Biến động trung bình S%* để đánh giá mức độ sai lệch, biến động trung bình của giá trị ước lượng qua mô hình với thực tế quan sát: (Brand và Smith, 1985; Cairns et al., 2003; Chave et al., 2005; Nelson et al., 1999 dẫn theo Basuki et al., 2009 [30]):

$$S\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_{ilt} - Y_i|}{Y_i} \quad 2-7$$

Trong đó: Y_{ilt} : Giá trị dự báo qua mô hình; Y_i : Giá trị thực của sinh khối, carbon, n : Số cây quan sát.

$S\%$ được sử dụng như là một tiêu chuẩn để đánh giá độ tin cậy của mô hình; $S\%$ càng nhỏ thì biến động giữa mô hình và số liệu thực tế càng nhỏ, hàm có độ tin cậy cao.

2.5.5 Phương pháp ước tính sinh khối và carbon của các bể chứa ngoài gỗ (thảm mục, thảm tươi, gỗ chết, carbon hữu cơ trong đất)

- Phương pháp xác định sinh khối khô và hàm lượng carbon:

Mẫu thảm mục, thảm tươi, gỗ chết và đất sau khi thu thập được phân tích trong phòng thí nghiệm để xác định sinh khối khô (biomass) hàm lượng carbon như phương pháp đối với cây gỗ.

- Tính toán sinh khối và carbon của các bể chứa ngoài gỗ:

Sinh khối khô (tấn/ha) = Sinh khối tươi/ô mẫu (tấn) x Tỷ lệ khô/tươi x 10^4 /
Diện tích ô mẫu (m^2).

Carbon (tấn/ha) = Sinh khối khô (tấn/ha) x %C

Carbon hữu cơ trong đất (SOC) được xác định:

$$\text{SOC (tấn/ha)} = \rho \cdot d \cdot \%C \cdot 100 \quad 2-8$$

Trong đó dung trọng đất (ρ , g/cm³): $\rho = m \text{ đất khô (g)} / V \text{ đất ướt (cm}^3\text{)}$.

Với V được xác định qua ống dung trọng với thể tích cố định 50cm³, m được tính trên cơ sở lấy mẫu đất ở 4 tầng 0-10cm; 10-20cm, 20-30cm và 30 -50cm, dùng cân điện tử độ chính xác 0.1g để cân m đất ướt; sau đó lấy trung bình; xác định m đất khô (g) bằng cách sấy mẫu ở 105⁰C trong 48 giờ và lấy trung bình từ 4 mẫu, d là độ sâu tầng đất được lấy bằng 50cm.

Tính toán trung bình, biến động của sinh khối, carbon của từng bể, sử dụng phân tích phương sai và mô hình hồi quy để phát hiện các nhân tố ảnh hưởng đến biến động carbon trong các bể chứa.

2.5.6 Phương pháp mô tả cấu trúc và ước tính sinh khối, carbon lâm phần

2.5.6.1 Phương pháp phân chia cấp năng suất

Sử dụng dữ liệu đo cao cây và đường kính trong 20 ô tiêu chuẩn điển hình để phân cấp năng suất rừng như sau:

- Mô tả các chỉ tiêu thống kê của dãy số liệu H để xác định chiều cao bình quân, H_{\min} , H_{\max} và sai số ước lượng ứng với mức tin cậy 95%.
- Xác định cự ly tổ để phân cấp chiều cao bằng công thức: $Kh = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{m}$.
Trong đó H_{\max} ; H_{\min} là chiều cao lớn nhất và nhỏ nhất của cây có cấp DBH từ 20-30cm, m là số tổ (số cấp phân chia).
- Dựa vào H_{\max} ; H_{\min} và m để tính chiều cao của các cấp giới hạn và chiều cao của các cấp năng suất.
- Lập mô hình tương quan $H = f(\text{DBH})$ đã xây dựng chung cho lâm phần để xác định mô hình $H = f(\text{DBH})$ cho các cấp năng suất bằng cách cố định tham số a, xác định lại hệ số góc bi cho các mô hình các cấp năng suất.
- Kiểm tra mô hình các cấp năng suất sau khi xây dựng bằng đồ thị đám mây điểm.

2.5.6.2 Phương pháp phân chia cấp sinh khối

Việc phân chia cấp sinh khối được tiến hành như sau:

- Xác định cấp năng suất cho 20 ô tiêu chuẩn điển hình dựa vào kết quả phân cấp năng suất đã xây dựng. Tiến hành thay giá trị chiều cao H theo 3 mô hình cấp năng suất đã xây dựng tương ứng và tính toán các chỉ tiêu sinh khối, carbon lâm phần theo các cấp chiều cao này.
- Mô tả các chỉ tiêu thống kê sinh khối cây rừng trên mặt đất của lâm phần dựa trên 20 bộ số liệu để xác định giá trị bình quân sinh khối, giá trị lớn nhất, nhỏ nhất và sai số ứng với độ tin cậy là 99%. Trên cơ sở đó phân chia thành 3 cấp sinh khối.

Kiểm tra sự sai khác của 3 cấp sinh khối phân chia bằng phân tích phương sai.

2.5.6.3 Phương pháp mô tả cấu trúc sinh khối và ước tính trữ lượng carbon lâm phần

Để mô tả cấu trúc sinh khối của lâm phần, sử dụng 20 ô tiêu chuẩn điển hình để tính toán các chỉ tiêu:

- Sắp xếp các ô theo từng cấp sinh khối và cấp chiều cao
- Sắp xếp phân bố N/DBH theo cỡ kính 10cm và quy ra ha
- Sử dụng phương trình H/DBH cho từng cấp chiều cao để xác định H theo cấp kính
- Sử dụng các hàm sinh trắc đã lập để tính sinh khối/carbon trên và dưới mặt đất cho từng cấp kính và tổng cho lâm phần
- Tính tổng sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất TTB (tấn/ha)
- Tính tổng carbon cây rừng trên và dưới mặt đất TTC (tấn/ha)

2.5.6.4 Phương pháp dự báo tăng trưởng sinh khối và carbon lâm phần

Tăng trưởng sinh khối và carbon bình quân hàng năm được tính theo công thức:

$$\Delta TTB = \frac{TTB}{A} \quad 2-9$$

$$\Delta TTC = \frac{TTC}{A} \quad 2-10$$

Trong đó:

ΔTTB , ΔTTC : Tăng trưởng bình quân sinh khối hoặc carbon (trên và dưới mặt đất cây gỗ), tấn/ha/năm.

TTB, TTC: Tổng sinh khối hoặc carbon của cây gỗ trên và dưới mặt đất, tấn/ha/năm.

A: Tuổi theo cấp kính và cấp chiều cao cây rừng được tính theo mô hình $A = f(\text{DBH}, H)$

Tính toán xây dựng 9 tổ hợp tăng trưởng sinh khối và carbon của 3 cấp năng suất ở 3 cấp sinh khối.

2.5.7 Phương pháp giải đoán ảnh vệ tinh để ước tính sinh khối, carbon rừng

2.5.7.1 Vật liệu, đối tượng nghiên cứu

Vật liệu: Ảnh SPOT 5 năm 2009 độ phân giải 10x10m với quy mô thử nghiệm một cảnh với diện tích $60 \times 60 \text{ km} = 3.600 \text{ km}^2$; các bản đồ cơ sở như địa hình, sông suối, hành chính; các phần mềm xử lý ảnh ENVI, phần mềm ArcGIS và phần mềm thống kê Statgraphics Centurion Plus.

Đối tượng nghiên cứu: Quan hệ TAGTB với các giá trị ảnh theo các phương pháp phân loại ảnh khác nhau.

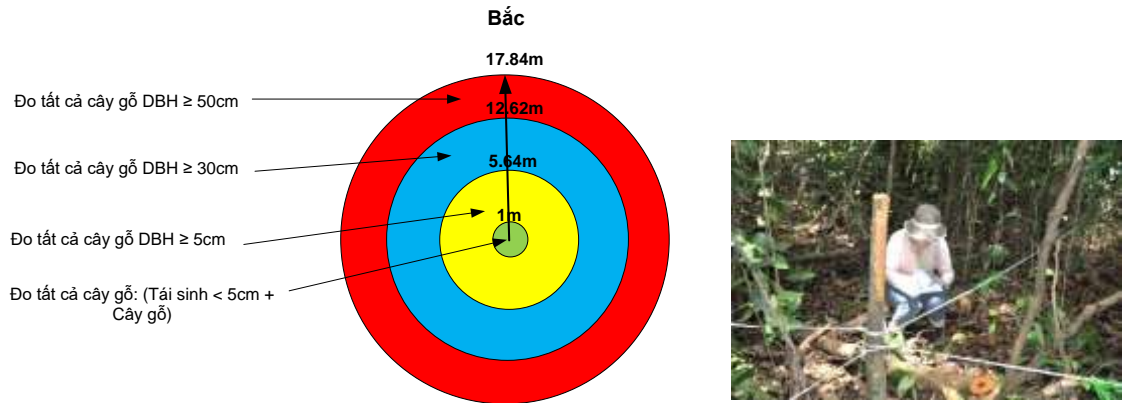
2.5.7.2 Hiệu chỉnh hình học ảnh vệ tinh

Sử dụng 17 điểm không chế trên thực địa và có thể quan sát trên ảnh để nắn chỉnh ảnh về tọa độ thực. Việc nắn chỉnh được tiến hành trong phần mềm ENVI.

2.5.7.3 Thu thập số liệu ô mẫu mặt đất để giải đoán ảnh vệ tinh, tính toán sinh khối và carbon phân cây gỗ trên mặt đất

Tiến hành đặt 209 ô mẫu ngẫu nhiên trong vùng ảnh nghiên cứu được phân phối theo tỷ lệ diện tích các khối trạng thái được phân loại ban đầu trên ảnh, mỗi ô có diện tích 1.000 m^2 . Ô mẫu ngẫu nhiên được thiết lập dựa vào phần mềm ArcGIS.

Sử dụng ô hình tròn dạng tổ (nest) có kích thước khác nhau để điều tra các cấp đường kính khác nhau như được minh họa trong Hình 2.14. Với ô mẫu càng lớn khi cấp kính càng tăng, do số cây càng giảm; như vậy sẽ cân đối số cây đo tính trong các cấp kính lớn nhỏ và giảm công đo đếm quá nhiều cây nhỏ trên một diện tích ô quá lớn.



Hình 2.14: Ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính (Bảo Huy, 2012)

Sử dụng ô hình tròn phân chia thành các ô phụ với kích thước khác nhau tùy theo đường kính:

- Ô tròn có bán kính 17.84m ứng với diện tích 1000m^2 : Đo các cây gỗ có DBH $\geq 50\text{cm}$.
- Ô phụ tròn có bán kính 12.62m ứng với diện tích 500m^2 : Đo các cây gỗ có $30 \leq \text{DBH} < 50\text{cm}$.
- Ô phụ tròn có bán kính 5.64m ứng với diện tích 100m^2 : Đo các cây gỗ có $5\text{cm} \leq \text{DBH} < 30\text{cm}$.
- Ô phụ tròn có bán kính 1m ứng với diện tích 3.14m^2 : Đo các cây gỗ tái sinh có DBH $< 5\text{cm}$ và $H > 1.3\text{m}$.

Đối với ô trên đất dốc, tiến hành tính chiều dài cộng thêm của từng bán kính ô mẫu cho tương ứng với bán kính ô trên mặt bằng. Sử dụng máy đo độ dốc Clinometer để đo độ dốc. Tính lại bán kính trên độ dốc như sau: $R' = R / \cos \alpha$; trong đó: R' : bán kính hình tròn đo thực tế; R : Bán kính ô mẫu trên đất bằng, bản đồ; α : độ dốc đo được.

Tính số liệu sinh khối và carbon cho từng ô mẫu giải đoán ảnh: Từ số liệu ô mẫu, sắp xếp phân bố số cây theo cấp kính (N/DBH) với cự ly cấp kính 10cm, sử dụng các hàm tương quan H/DBH theo từng cấp H và allometric equations để chuyển đổi sang sinh khối cây gỗ trên mặt đất (TAGTB, tấn/ha) và carbon cây gỗ trên mặt đất (TAGTC, tấn/ha), chỉ tính cho cây có DBH $\geq 5\text{cm}$. Đây là cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon lâm phần để phân tích quan hệ với các dữ liệu ảnh SPOT5.

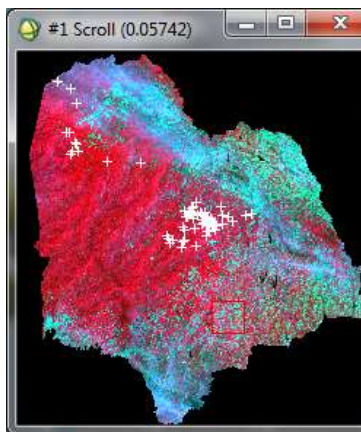
2.5.7.4 Phân loại ảnh thành vùng có và không có rừng

Trên ảnh tạo các vùng quan tâm (ROI – Region of Interest) như các vùng mẫu cho 2 đối tượng có rừng và vùng mẫu không có rừng. Dựa trên các vùng mẫu này, sử dụng phương pháp phân loại có kiểm định Maximum Likelihood để phân thành 2 loại thảm phủ có rừng vào không rừng trên ảnh đã được hiệu chỉnh hình học trong phần mềm ENVI.

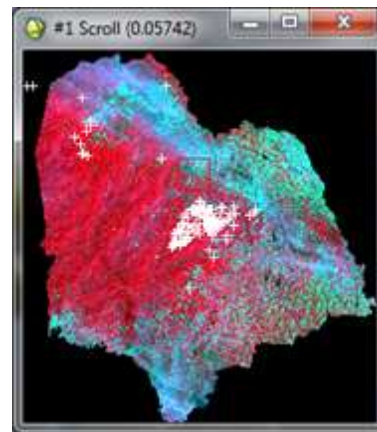
2.5.7.5 Phương pháp phân loại ảnh phi giám định

Từ 209 ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính, kết hợp các mô hình sinh khối và carbon cây cá thể để tính TAGTB, TAGTC quy ha cho từng ô mẫu.

- Thiết lập file ô mẫu trong ArcGIS theo hệ tọa độ UTM dạng file Shape
- Sử dụng 140 ô dùng giải đoán (2/3) và 69 ô (1/3) kiểm tra độ tin cậy
- Tiến hành chồng 140 ô sử dụng để giải đoán lên ảnh SPOT5 như Hình 2.16



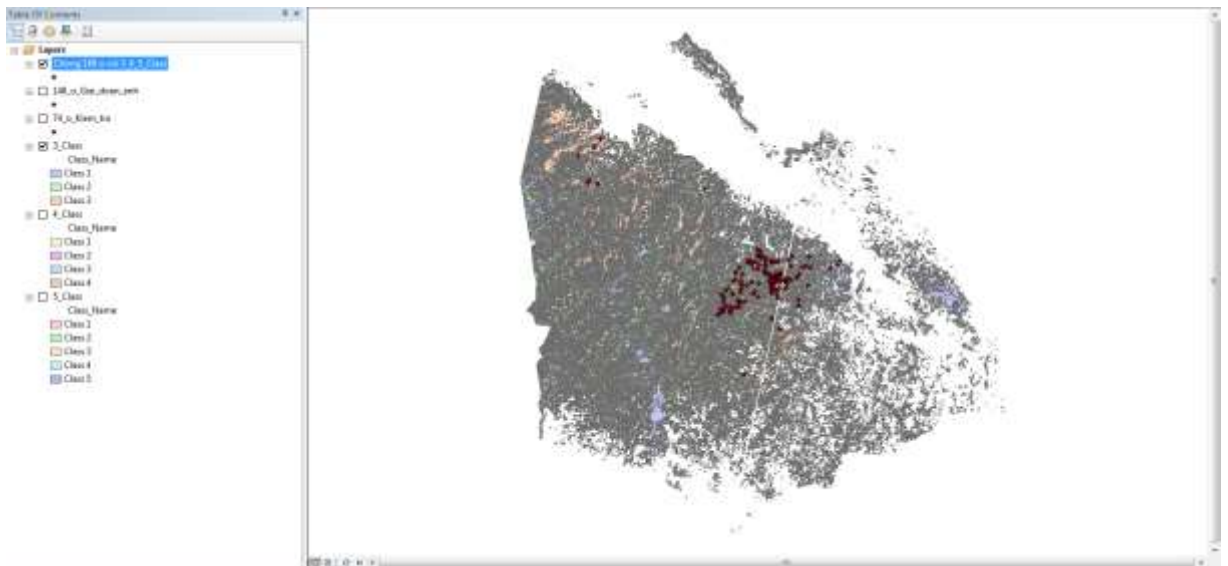
Hình 2.15: 69 ô kiểm tra được chồng trên ảnh SPOT 5 vùng nghiên cứu



Hình 2.16: 140 ô giải đoán được chồng trên ảnh SPOT 5

Việc phân loại thành bao nhiêu lớp và số lượng pixel trong mỗi lớp do người xử lý quyết định. Trong thực tế các trạng thái rừng, mức độ che phủ có bức xạ quang phổ khác nhau, do đó nếu chọn số lượng các lớp (Class) khác nhau khi phân loại có ý nghĩa như là phân chia rừng thành các lớp có độ chi tiết, chỉ số ảnh khác nhau; từ đây dò tìm mối quan hệ có các lớp phân chia khác nhau với sinh khối, trữ lượng carbon đã điều tra trong ô mẫu, đây là cơ sở để thiết lập hệ thống phân loại ảnh phi giám định trên cơ sở tương quan với sinh khối, carbon rừng.

Phân loại ảnh phi giám định (Unsupervised) theo thuật toán ISODATA, với 3 lớp (2-4 lớp); số Pixel /class = 50 phù hợp với quy định 0.5 ha có rừng mới tách ra trạng thái. Tương tự như vậy phân loại ảnh theo 4 và 5 lớp. Chuyển file ảnh phân loại thành 3, 4, 5, lớp thành vector, sau đó chồng xếp trong ArcGIS cùng với dữ liệu 140 ô mẫu để có bộ dữ liệu: TAGTB theo 3_Class, 4_Class và 5_Class.



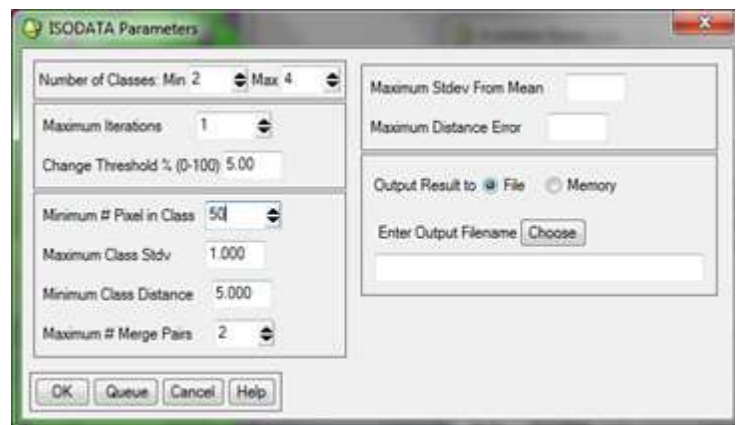
Hình 2.17: Chồng các class với các ô mẫu.

Xác định TAGTB có quan hệ với hệ thống phân loại theo bao nhiêu lớp hoặc tổ hợp lớp trên cơ sở dò tìm mối quan hệ và lập mô hình hồi quy:

$$\text{TAGTB} = f(3_Class, 4_Class, 5_Class)$$

Phương pháp lựa chọn mô hình tối ưu trình bày trong mục 2.5.4.

Kết quả tìm được hệ thống phân loại đơn theo bao nhiêu lớp, hoặc cần tổ hợp các lớp phân loại và mô hình ước tính TAGTB theo các lớp hoặc tổ hợp lớp.



Hình 2.18: Phân loại phi giám định với 3 lớp (class)

Chồng ghép các lớp phân loại có quan hệ với TAGTB, sử dụng mô hình này để lập được bản đồ sinh khối và carbon.

Đánh giá độ tin cậy và sai số: Sử dụng 69 ô không tham gia lập mô hình, chồng ghép lên tổ hợp lớp phân loại, tính S% và S'%. Với S'% là sai số tương đối.

2.5.7.6 Phương pháp phân loại ảnh có giám định

Phương pháp này dựa trên ô mẫu quan sát thực địa để phân loại ảnh thành các cấp đồng nhất về sinh khối và carbon rừng.

Với 140 ô mẫu được phân chia thành 3 cấp sinh khối, phân loại ảnh theo 3 cấp này. Sử dụng thuật toán phân loại Maximum likelihood để phân thành các lớp sinh khối, carbon trong phần mềm ENVI. Sử dụng phương pháp giám định phân ảnh thành 3 cấp sinh khối đã phân trước.

Sử dụng 69 ô tiêu chuẩn độc lập không tham gia phân loại ảnh để kiểm tra phương pháp phân loại có giám định theo ma trận độ tin cậy.

2.5.8 Phương pháp quản lý dữ liệu sinh khối carbon rừng trong GIS

Sử dụng lớp phân loại ảnh theo số lớp hoặc tổ hợp được xác định qua mô hình TAGTB, từ đó sử dụng mô hình TAGTB = (Class) để ước tính được TAGTB, đồng thời sử dụng các mô hình chuyển đổi từ TAGTB sang TBGTB, TAGTC, TBGTC và TTB, và TTC.

Biên tập bản đồ sinh khối, carbon rừng và xuất ra cơ sở dữ liệu.

Theo dõi và cập nhật thay đổi diện tích, trữ lượng carbon trong ArcGIS thông qua chức năng cập nhật của các trường theo các hàm allometric equations.

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 CƠ SỞ KHOA HỌC XÂY DỰNG MÔ HÌNH SINH TRẮC ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG

Trong luận án này, các cơ sở khoa học sau đã được nghiên cứu, đánh giá để làm cơ sở cho việc thiết lập các mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng:

- Phương pháp chọn biến số cho mô hình sinh trắc.
- Phương pháp ước lượng mô hình.
- Phương pháp lựa chọn mô hình sinh trắc thích hợp với quy luật sinh trưởng sinh khối và tích lũy carbon.

3.1.1 Phương pháp chọn biến số cho mô hình sinh trắc

Sinh khối và carbon tích lũy trong cây rừng có mối quan hệ chặt chẽ với hai biến số kích thước cây như DBH và H (Brown (1997) [34], Chave (2005) [39], Dietz et al. (2011) [46], Bảo Huy (2012) [10], Henry et al. (2010) [62], Ketterings et al. (2001) [72]); ngoài ra một số tác giả khi lập mô hình cho rừng nhiệt đới đã sử dụng thêm biến số khối lượng thể tích gỗ (WD) nhằm gia tăng độ chính xác của mô hình khi mà loài cây khác nhau dẫn đến sự sai khác về sinh khối và carbon tích lũy giữa các loài. Tuy nhiên làm thế nào để xác định một cách khách quan để biết biến số đó ảnh hưởng thực sự đến sinh khối để đưa vào mô hình là vấn đề cần làm rõ.

Trong phạm vi nghiên cứu này, luận án xác định thử nghiệm 4 biến số là DBH, H, WD và diện tích tán lá CA. Ba biến số đầu đã được nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước khẳng định, biến CA được đưa vào nghiên cứu dựa trên cơ sở thực tế về sự sai khác hình thái tán cây, cành cây giữa các loài. Một cây có cùng DBH, H và đôi khi có cùng WD nhưng rất khác nhau về diện tích tán là do đặc điểm sinh học của loài; và dẫn đến có sự sai khác lớn về sinh khối và carbon trong hai bộ phận của cây là lá và cành. Vì vậy giả định đưa biến CA vào mô hình sẽ nâng cao được độ tin cậy của các mô hình sinh trắc của rừng nhiệt đới. Tuy nhiên cần đánh giá xem biến CA có thực sự ảnh hưởng đến sinh khối và carbon rừng hay không và khi đưa biến này vào có nâng cao độ tin cậy của mô hình? Tiêu chuẩn C_p của Mallow được sử dụng trong trường hợp này.

Để chọn biến số và số biến số cho mô hình, tiêu chuẩn Mallorw' Cp là tiêu chuẩn quan trọng được sử dụng. Chỉ số Cp chỉ ra số biến số tham gia mô hình tốt nhất trong trường hợp có nhiều biến chưa rõ có ảnh hưởng đến biến phụ thuộc hay không. Chỉ số Cp thay đổi với số biến số trong mô hình khác nhau và khi Cp bé nhất và gần với số biến số p (bao gồm cả biến số là hằng số của mô hình) nào đó thì mô hình có p biến số đó là tối ưu. Lúc này tương đương với hệ số xác định R^2_{\max} cao nhất và trung bình bình phương của sai số ước lượng là bé nhất (MSE_{\min}).

Để tính Cp trước hết cần đổi biến số y_i và x_j theo nhiều trường hợp khác nhau như ln, sqrt, và từ đó xem xét thay đổi của Cp nhằm xác định được số biến số ảnh hưởng nhiều nhất.

Trong trường hợp này, bốn biến số DBH, H, WD và CA được đưa vào đánh giá để lựa chọn biến số ảnh hưởng đến sinh khối của cây rừng trên mặt đất AGB. Với

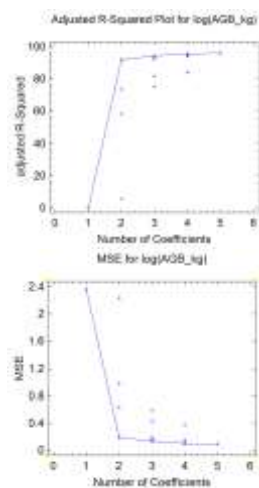
Regression Model Selection - log(AGB_log)

Dependent variable: log(AGB_log)

Independent variables:
 A=log(DBH_cm)
 B=log(H_m)
 C=log(WD_g_cm3)
 D=log(CA_m2)

Number of complete cases: 177
 Number of models fit: 15

MSE	R-Squared	Adjusted R-Squared	Cp	Included
0.0948062	96.9887	95.9772	5.0	ABCD
0.102999	95.7042	95.6290	18.95	ABC
0.12661	94.7183	94.6269	62.0711	ACD
0.135668	94.3888	94.2434	77.8948	AC
0.144725	93.9638	93.8791	95.0912	ABD
0.150751	93.8781	93.6634	105.878	AB
0.183453	92.3042	92.2158	165.899	AD
0.190149	91.9736	91.9317	177.89	A
0.377168	84.288	83.9962	519.247	BCD
0.429232	81.9941	81.7871	616.779	BD
0.582349	75.4482	75.167	903.121	BC
0.626761	73.5587	73.4056	983.921	B
0.919887	58.8382	58.422	1635.73	D
2.2275	6.02115	5.48413	3938.67	C
2.35674	0.0	0.0	4200.1	



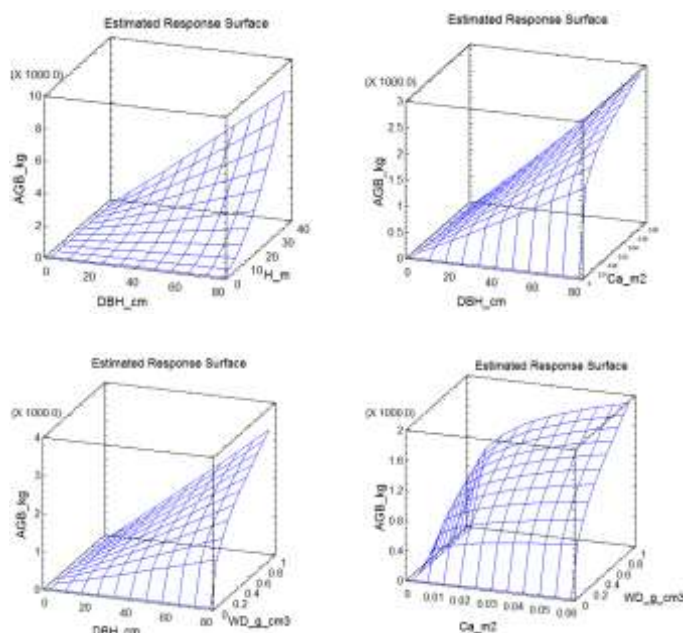
việc đổi biến số ln của tất cả biến thì quy luật thay đổi Cp rõ nhất biểu thị ở Hình 3.1.

Kết quả ở Hình 3.1 cho thấy Cp bé nhất bằng 5.0 và tương ứng với số biến số tối ưu là $p = 5$ biến số, trong đó có 1 biến số là hằng số của mô hình, do đó thực tế là 4 biến số là thích hợp nhất để đưa vào mô hình ước tính sinh khối AGB. Bốn biến số đó là $A = \ln(\text{DBH})$, $B = \ln(\text{H})$, $C = \ln(\text{WD})$

Hình 3.1: Giá trị Cp của Mallorw theo số biến số và đồ thị thay đổi R² và MSE theo số biến số tham gia mô hình

và $D = \ln(\text{CA})$. Tương ứng với Cp bé nhất và gần với $p = 5$ biến số, thì MSE là bé nhất = 0.095 và R^2_{adj} là lớn nhất = 95.977%. Nếu xét giá trị Cp lớn hơn liền kề là = 18.95 với ba biến số trong mô hình là ABC, tức không có biến D của diện tích tán lá ($D = \ln(\text{CA})$), các giá trị MSE tăng và R^2 giảm rõ rệt. Như vậy có nghĩa là biến diện tích tán lá CA ảnh hưởng rõ rệt đến sinh khối của cây AGB, hay nói khác nếu gia tăng thêm biến CA thì mô hình sẽ gần với thực tế hơn, có độ tin cậy cao hơn. Hình

3.2 biểu diễn đồ thị 3 chiều quan hệ giữa AGB với từng cặp biến số trong 4 biến



Hình 3.2: Quan hệ giữa AGB với các biến số DBH, H, WD và CA theo mô hình không gian 3 chiều

DBH, H, WD và CA; các đồ thị 3 chiều này cho thấy các biến số này có quan hệ rõ rệt với AGB.

Như vậy có thể nói sử dụng tiêu chuẩn C_p của Mallows sẽ giúp cho việc xác định biến số nào ảnh hưởng đến biến phụ thuộc và số biến số tối ưu trong mô hình để cho MSE là bé nhất. Phương pháp này khách quan, tuy vậy hầu như chưa có tác giả nào nghiên cứu, các biến thường được lựa chọn hầu như

dựa vào kinh nghiệm về điều tra thống kê kinh điển. Với việc sử dụng tiêu chuẩn C_p luận án đã phát hiện thêm và khẳng định biến số CA là quan trọng và ảnh hưởng đến việc nâng cao độ chính xác của ước tính sinh khối, carbon rừng mà nhiều tác giả trong và ngoài nước chưa đề cập đến.

Vì vậy luận án đã sử dụng chỉ số C_p để xác định các biến số ảnh hưởng trong lập các mô hình sinh khối, carbon cho từng bộ phận, trên dưới mặt đất và cho lâm phần.

C_p chỉ ra có bốn biến số là DBH, H, WD và CA ảnh hưởng đến AGB, về lý thuyết thống kê thì chỉ cần lập một mô hình theo 4 biến số này để cho độ tin cậy cao nhất. Tuy nhiên trong thực tế khi số biến số của mô hình càng nhiều thì sẽ tăng chi phí điều tra rừng để đo tính các biến số. Do đó sử dụng C_p để xác định biến số nào thực sự ảnh hưởng đến sinh khối, carbon cây rừng và bao nhiêu biến số là tối đa. Còn trong xây dựng mô hình sinh trắc thì cần lần lượt lập mô hình ứng với 1, 2, 3 và tối đa là p biến số (với C_p bé nhất), và như vậy tùy theo yêu cầu, đối tượng áp dụng mà chọn lựa được mô hình có biến số thích hợp. Ví dụ để thu hút sự tham gia của cộng đồng dân cư trong giám sát carbon rừng (PCM – Participatory Carbon Monitoring) thì mô hình chỉ với một biến số DBH là thích hợp, trong khi đó đối với điều tra rừng hiện tại

thì hai biến DBH và H được đo đạc, vì vậy mô hình có hai biến này là phù hợp với thực tế lâm nghiệp hiện nay; việc tăng thêm biến số WD, CA sẽ tăng độ tin cậy, và việc sử dụng nó cần phù hợp với đối tượng, quy mô và nguồn lực.

3.1.2 Phương pháp ước lượng mô hình

Có các phương pháp ước lượng mô hình quan hệ khác nhau, phương pháp thường sử dụng là phương pháp bình phương tối thiểu, tuy nhiên theo Picard et al. (2012) [85] cần thử nghiệm phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu có trọng số và ước lượng hàm phi tuyến theo Marquardt có hay không có trọng số. Trong đó trọng số weight như là một biến số điều chỉnh để nắn hàm cho biến động nhỏ nhất, thông thường biến weight được lựa chọn là biến có ảnh hưởng cao đến sinh khối, carbon rừng.

Trong luận án này, để xác định cơ sở khoa học trong việc chọn lựa phương pháp ước lượng mô hình hồi quy; thử nghiệm 4 phương pháp khác nhau để ước lượng mô hình sinh khối của cây trên mặt đất (AGB) với một đến bốn biến số có ảnh hưởng đến AGB là DBH, H, WD và CA. Bao gồm:

- i) Ước lượng mô hình bằng phương pháp bình phương tối thiểu, trong đó hàm phi tuyến được tuyến tính hóa.
- ii) *Ước lượng mô hình phi tuyến theo Marquardt*: Đối với phương pháp ước lượng hàm phi tuyến theo Marquardt, vấn đề quan trọng là xác định tham số đầu vào khởi đầu cho mô hình, thông thường việc xác định các tham số đầu vào thường theo kinh nghiệm do đó sẽ cho kết quả ước lượng khác nhau. Luận án thực hiện chọn tham số đầu vào theo Picard et al. (2012) [85], trong đó tham số đầu vào được thăm dò thông qua ước lượng chính dạng hàm đó bằng phương pháp bình phương tối thiểu, mô hình lúc này được tuyến tính hóa.

Thiết lập mô hình quan hệ $AGB = f(DBH, H, CA, WD)$ theo dạng hàm mũ bằng phương pháp phi tuyến tính của Marquardt:

Mô hình phi tuyến dạng Power:

$$AGB = a * DBH^b H^c CA^d WD^e \quad 3-1$$

Tuyến tính hóa mô hình để ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu:

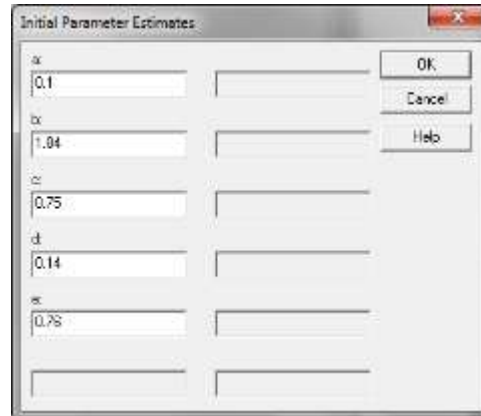
$$\ln(AGB) = a' + b\ln(DBH) + c\ln(H) + d\ln(CA) + e\ln(WD) \quad 3-2$$

Kết quả ước lượng cho mô hình:

$$\ln(\text{AGB}) = -2.297 + 1.84743 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.752312 \cdot \ln(\text{H}) + 0.13942 \cdot \ln(\text{CA}) + 0.75618 \cdot \ln(\text{WD}) \quad 3-3$$

Sử dụng các tham số của mô hình tuyến tính hóa làm tham số đầu vào cho ước lượng phi tuyến theo Marquardt:

$$a = \exp(a') = \exp(-2.297) = 0.10; b = 1.84; c = 0.75; d = 0.14 \text{ và } e = 0.76.$$



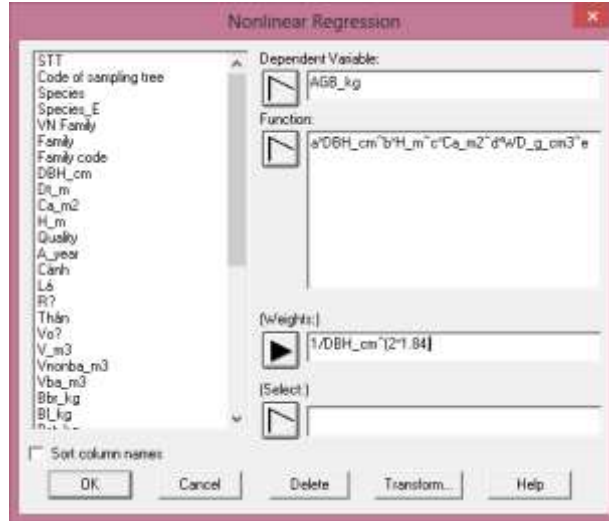
Hình 3.3: Bốn tham số đầu vào dựa vào mô hình tuyến tính hóa để ước lượng mô hình phi tuyến $\text{AGB} = a \cdot \text{DBH}^b \text{H}^c \text{WD}^d \text{CA}^e$ theo Marquardt

Kết quả ước lượng theo Marquardt cho ra mô hình Power bốn biến số:

$$\text{AGB} = 0.208213 \cdot \text{DBH}^{1.43034} \cdot \text{H}^{0.859133} \cdot \text{CA}^{0.238885} \cdot \text{WD}^{0.626184} \quad 3-4$$

iii) *Ước lượng mô hình có trọng số Weight theo hai phương pháp bình phương tối thiểu và Marquardt:* Để ước lượng mô hình theo phương pháp có trọng số Weight áp dụng cho cả hai phương pháp bình phương tối thiểu và Marquardt, trong đó mô hình lựa chọn dựa vào thay đổi trọng số weight như sau (Picard et al. (2012) [85]):

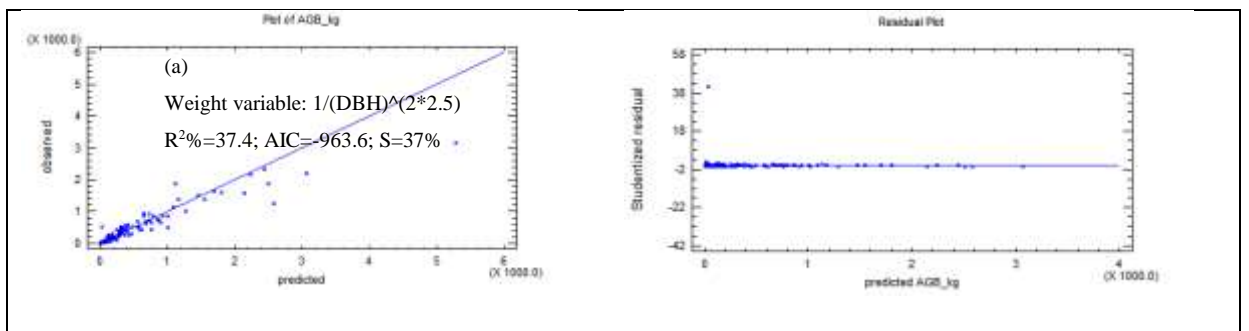
- Trọng số **Weight** = $\frac{1}{X_i^{2b_i}}$. trong đó X_i là biến quan trọng ảnh hưởng cao để điều chỉnh tham số mô hình và b_i là tham số gắn biến X_i . Thông thường dò tìm weight tối ưu với $2b_i = -4$ đến $+4$ để có được hàm tối ưu hoặc với các giá trị $-2b_i$, $2b_i$ và $4b_i$.
- Với mỗi giá trị trọng số weight, mô hình được đánh giá, lựa chọn thông qua:
 - i) Hệ số quan hệ $R^2(\%)$ cao, ii) Đồ thị residuals có biến động là hằng số quanh giá trị ước tính; iii) Các tiêu chuẩn AIC_{\min} và $\text{S}\%_{\min}$.

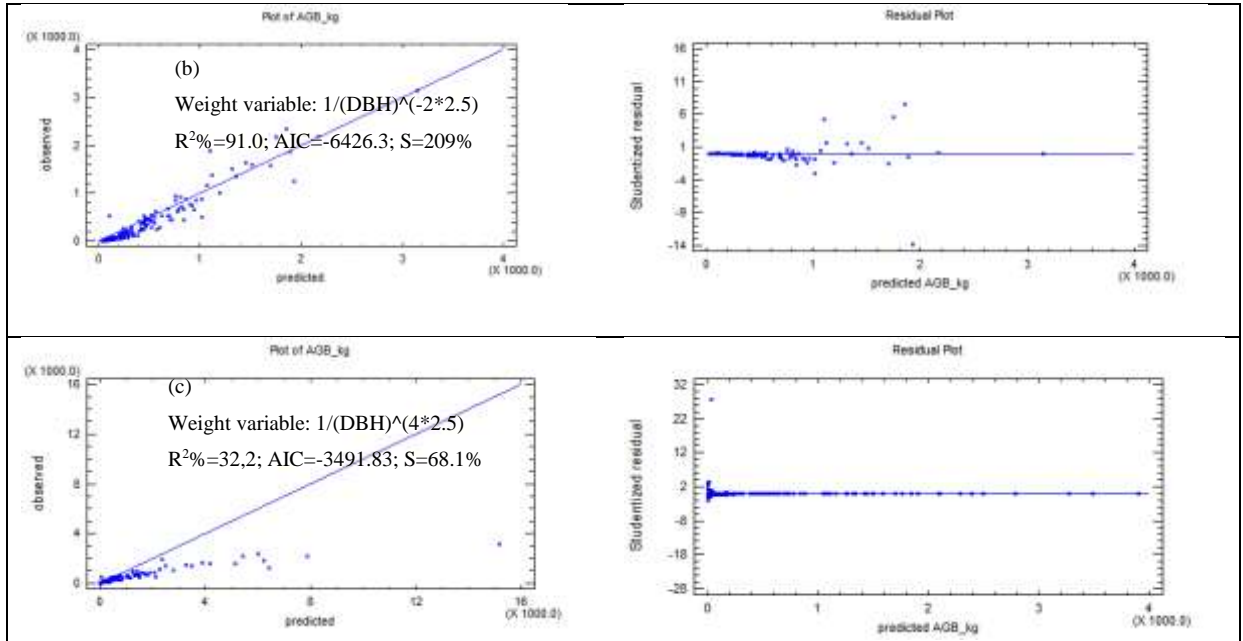


Hình 3.4: Ước lượng mô hình phi tuyến theo Marquardt có trọng số weight = $1/DBH^{(2*bi)}$

Quá trình dò tìm hàm bằng phương pháp Marquardt với weight khác nhau, cho thấy:

- Với Weight = $1/X_i^{2b_i}$ thì mô hình có R% thấp, tuy nhiên các giá trị AIC và S% là nhỏ nhất (tốt nhất) và biến động phần dư residuals quanh giá trị ước lượng là rất thấp và là hằng số. Đây là mô hình có giá trị ước lượng bám sát số liệu quan sát. Điều này cho thấy để lựa chọn mô hình tối ưu không nên chỉ dựa vào hệ số quan hệ $R^2(\%)$, đặc biệt là đối với ước lượng có trọng số.
- Với Weight = $1/X_i^{-2b_i}$ thì mô hình có R% cao nhất, tuy nhiên các giá trị AIC và S% là lớn nhất (kém nhất) và biến động phần dư residuals quanh giá trị ước lượng là cao và mở rộng khi giá trị ước lượng gia tăng. Đây là mô hình có giá trị ước lượng sai khác lớn với số liệu quan sát.





Hình 3.5: Đồ thị quan hệ giữa giá trị quan sát - ước tính và biến động residuals quanh giá trị ước tính của mô hình $AGB = a \cdot DBH^b$ theo Marquardt với trọng số thay đổi

- Với $Weight = 1/X_i^{4b_i}$ thì mô hình có $R^2\%$ thấp nhất, các giá trị AIC và $S\%$ ở mức trung bình và biến động phần dư residuals quanh giá trị ước lượng là cao và mở rộng khi giá trị ước lượng nhỏ. Đây là mô hình có giá trị ước lượng sai khác khá lớn với số liệu quan sát.

L luận án đã thử nghiệm 4 phương pháp ước lượng hàm gồm bình phương tối thiểu, Marquardt và cả hai trường hợp thực hiện có hay không có trọng số. Bảng 3.1 là minh họa kết quả ước lượng mô hình quan hệ $AGB = f(DBH)$ theo dạng hàm mũ Power theo 4 phương pháp. Mô hình tối ưu được lựa chọn trên cơ sở đánh giá tổng hợp các tiêu chuẩn thống kê R^2 , CF, AIC, $S\%$, đồ thị quan hệ giữa lý thuyết, và quan sát residuals. Trong đó trọng số được lấy tối ưu như phân tích trên là $Weight = 1/X_i^{2b_i}$.

Bảng 3.1: Kết quả dò tìm mô hình ước tính sinh khối cây rừng ($AGB = a \cdot DBH^b$) theo 4 phương pháp ước lượng hàm là bình phương tối thiểu, Marquardt và có hay không có trọng số Weight

Hàm ước lượng theo các phương pháp	R ² adj (%)	P	n	Pbi	Weight	CF	AIC	Biến động S%	Phương pháp ước lượng hàm
$\ln(\text{AGB}) = -2.25438 + 2.49193 \cdot \ln(\text{DBH})$	93.7	0.0	224	0.0		1.089	7266.3	32%	Bình phương tối thiểu
$\ln(\text{AGB}) = -2.49106 + 2.59253 \cdot \ln(\text{DBH})$	87.0	0.0	224	0.0	$1/\ln(\text{DBH})^{(2 \cdot 2.5)}$	1.001	-1068.9	34%	Bình phương tối thiểu có trọng số
$\text{AGB} = 0.69229 \cdot (\text{DBH})^{1.96595}$	92.8	0.0	224	0.0			2171.4	95%	Marquardt
$\text{AGB} = 0.133737 \cdot (\text{DBH})^{2.44406}$	37.4	0.0	224	0.0	$1/\text{DBH}^{(2 \cdot 2.5)}$		-963.6	37%	Marquardt có trọng số

Ghi chú: Pi: Xác suất tồn tại tham số bi

Từ Bảng 3.1 cho thấy:

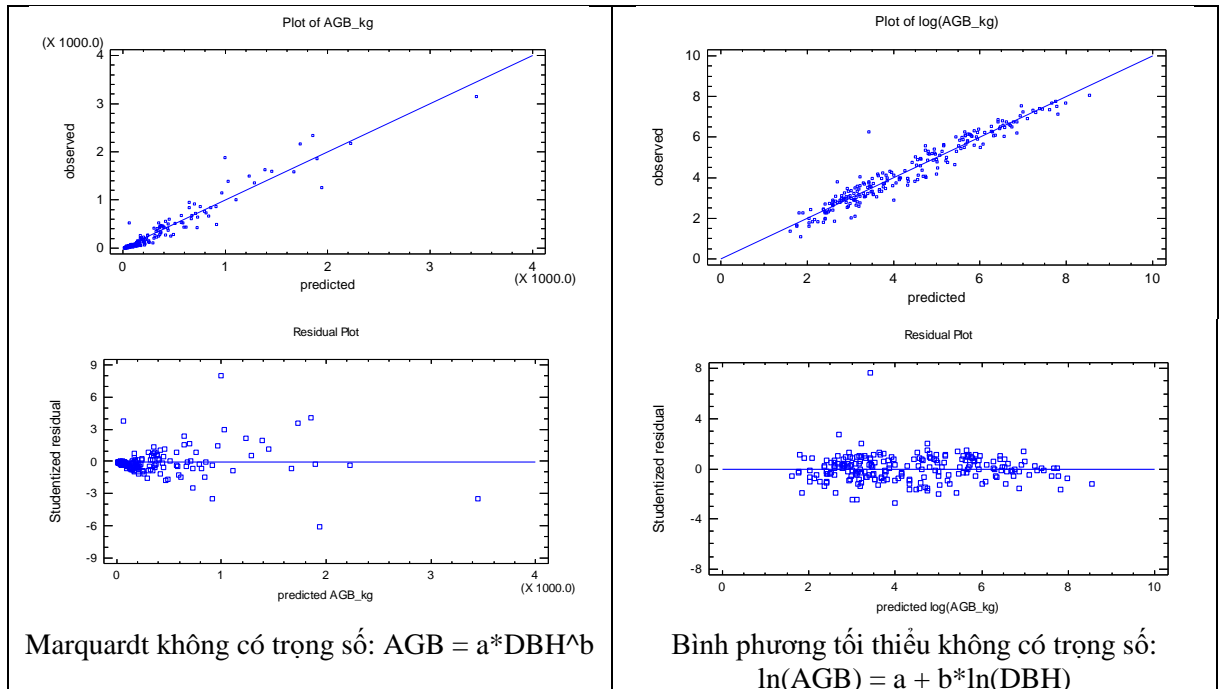
- Xét hệ số quan hệ có điều chỉnh: R²_{adj}: Phương pháp bình phương tối thiểu cao nhất là 93.7%, tiếp đến là phương pháp Marquardt không có trọng số là 92.8%, phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số là 87.0% và thấp nhất là Marquardt có trọng số là 37.4%. Kết quả này cho thấy khi có trọng số tham gia vào ước lượng mô hình thì R² có xu hướng giảm rõ rệt. Trong đó phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số có R² đạt max.
- Xét nhân tố điều chỉnh CF: Chỉ xét cho hàm đổi biến số về dạng ln, trong trường hợp ước lượng bình phương tối thiểu có và không có trọng số. Kết quả cho thấy CF đều gần tiến về 1, có nghĩa hàm có sai số ước lượng nhỏ; trong đó khi có trọng số thì CF thấp hơn = 1.001, tức là tốt hơn không có trọng số.
- Xét tiêu chuẩn AIC: Ước lượng hàm có trọng số trong cả hai phương pháp bình phương tối thiểu và Marquardt đều cho AIC tốt hơn, tức là nhỏ hơn rất nhiều. AIC nhỏ nhất ở hàm ước lượng theo phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số là -1068; trong khi đó Marquardt có trọng số là -963; trong khi đó với phương pháp không có trọng số thì AIC = 7266 đối với phương pháp bình phương tối thiểu và 2171 đối với Marquardt. Như vậy khi đưa trọng số vào ước lượng mô hình, thì cả hai phương pháp đều cho giá trị AIC tối ưu.

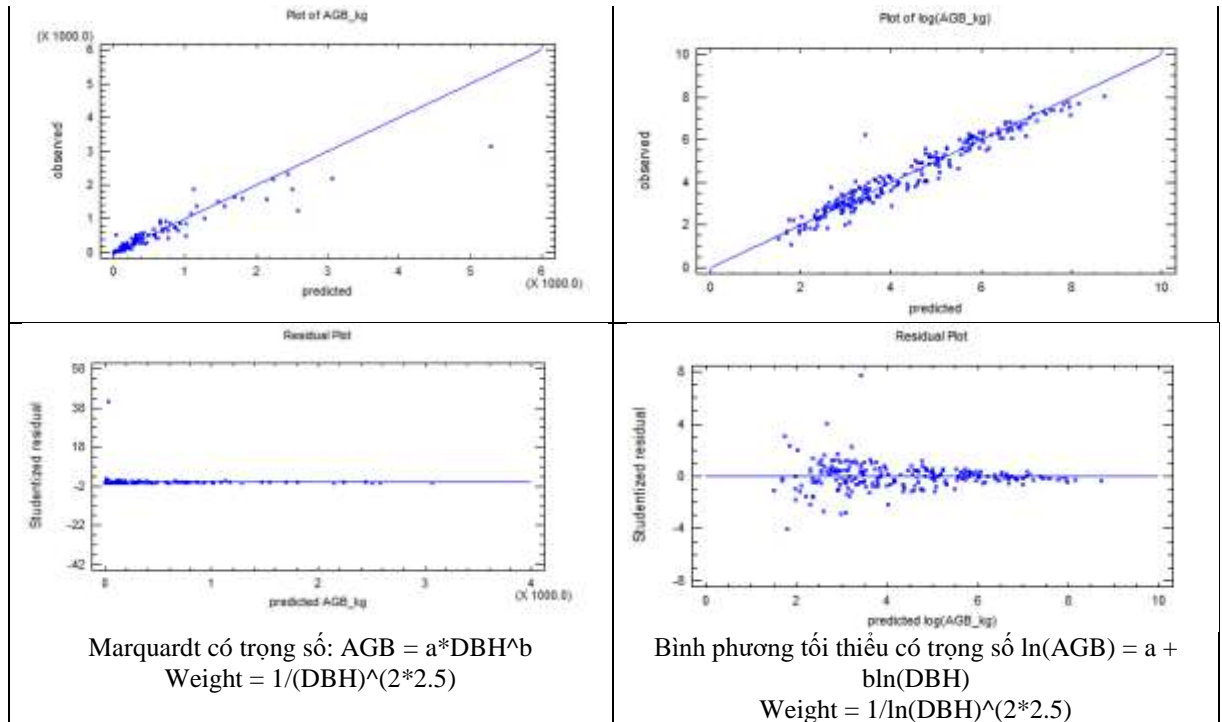
- Xét biến động S%: Đây là biến động tương đối trung bình của giá trị ước lượng qua hàm với quan sát. Kết quả cho thấy ước lượng theo phương pháp bình phương tối thiểu có S% bé nhất là 32%, S% của ước lượng có trọng số của hai phương pháp có lớn hơn nhưng không đáng kể là 34 – 37%; cuối cùng S% lớn nhất ở phương pháp Marquardt không có trọng số là 95%.
- Xét trên đồ thị quan hệ giữa giá trị lý thuyết với giá trị quan sát cũng như biến động residuals theo giá trị ước lượng: Đồ thị của 4 phương pháp (Hình 3.6) cho thấy trường hợp ước lượng theo phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số là tốt nhất, cho đồ thị ước lượng và quan sát bám sát nhau và residuals biến động nhỏ và là hằng số; tiếp đến là phương pháp bình phương tối thiểu không trọng số; phương pháp Marquardt có trọng số cho biến động residuals nhỏ nhưng biến động lớn giữa lý thuyết và thực tế; kém nhất là ước lượng theo Marquardt không có trọng số, biến động residuals mở rộng, phân tán và giá trị lý thuyết với thực tế khá rộng.

Đánh giá một cách tổng hợp 4 tiêu chuẩn R^2 , CF, AIC và S% và các đồ thị biến động residuals để lựa chọn phương pháp ước lượng hàm, cho thấy:

- Ước lượng hàm có sự tham gia của trọng số $Weight = 1/X_i^{2b_i}$ luôn cho AIC và CF bé nhất; có nghĩa là sai số ước lượng hàm (RSE) hoặc tổng bình phương phần dư (RSS) là nhỏ nhất; cho dù là hệ số quan hệ R^2 có thể là thấp hơn nhiều khi không có trọng số. Bên cạnh đó giá trị biến động giữa lý thuyết và thực tế S% cũng nhỏ và không sai khác nhiều khi không có trọng số. Điều này có kết luận rằng khi lựa chọn hàm và phương pháp ước lượng không nên dừng lại ở việc so sánh hệ số xác định R^2 , vì R^2 max nhưng biến động bình phương phần dư (RSS) cũng rất lớn, làm cho hàm không phù hợp với thực tế. Với phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu có trọng số thì các giá trị CF = 1 là tốt nhất, AIC = -1068 là bé nhất, S% = 34% (lớn hơn không có trọng số không đáng kể), tuy R^2 không phải cao nhất (87%); do vậy khuyến nghị cần xem xét sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số trong xây dựng mô hình sinh trắc.

- Ước lượng theo phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số cho $R^2_{\max} = 93.7\%$ và $S\%$ bé nhất trong tất cả các trường hợp = 32%; tuy nhiên $AIC = 7266$ là lớn nhất và lớn hơn rất nhiều so với có trọng số là -1068. Điều này cho thấy phương pháp này có hạn chế là làm cho RSS tăng (hay AIC) tăng, tức là tăng tổng biến động bình phương giữa quan sát và thực tế. Tuy vậy đây là phương pháp ước lượng hàm kinh điển, cho R^2_{\max} , CF gần bằng 1 và $S\%$ là bé nhất. Do đó phương pháp này nên được sử dụng khi ước lượng các mô hình các biến số có quan hệ chặt, đối với mô hình quan hệ phức tạp, nhiều biến số thì nên áp dụng có trọng số để điều chỉnh sai số của mô hình.
- Ước lượng hàm phi tuyến theo phương pháp Marquardt với các tham số đầu vào dựa vào mô hình tuyến tính và không có trọng số cho thấy dù $R^2 = 92.8\%$ là cao, tuy nhiên AIC cũng cao = 2171 và đặc biệt là $S\%$ rất lớn = 95%. Do vậy khuyến cáo không nên sử dụng phương pháp này mà không có trọng số. Khi có trọng số cho dù R^2 giảm rất mạnh, chỉ còn 37.4%, nhưng AIC rất thấp = -963 và biến động giữa lý thuyết và thực tế rất tốt là 37%.





Hình 3.6: Đồ thị quan hệ giữa giá trị ước lượng qua hàm và quan sát – Đồ thị biến động Residuals cho 4 phương pháp ước lượng hàm.

3.1.3 Phương pháp lựa chọn mô hình sinh trắc

Trên thế giới và trong nước, mô hình sinh khối được xây dựng chủ yếu theo 4 nhóm hàm:

- Hàm dạng tuyến tính
- Hàm Polynomial bậc cao
- Hàm mũ dạng Power
- Hàm tuyến tính hóa dạng logarit neper

Về căn bản 4 nhóm hàm nói trên, biến số độc lập có dạng X^2 hoặc $\ln(X)$, còn biến y ở dạng nguyên thủy hoặc $\ln(y)$. Với y là sinh khối AGB và X_i là các biến ảnh hưởng như DBH, H, WD, CA.

Trong luận án này, mở rộng phạm vi đổi biến số để tạo thành 23 dạng hàm khác nhau (Bảng 2.4) để thử nghiệm lựa chọn hàm thích hợp; trong đó dạng hàm tổng quát là: $y_i = f(x_j)$. Tiến hành đổi biến số y_i và x_j theo các hàm $\ln(y_i)$, $\ln(x_j)$, $\sqrt{y_i}$, $\sqrt{x_j}$, y_i^2 , x_j^2 , $1/y_i$, $1/x_j$.

Phương pháp ước lượng hàm chủ yếu sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, nếu hàm phi tuyến sẽ được tuyến tính hóa. Trong một số trường hợp, ước lượng có trọng số cũng được áp dụng.

Mô hình tối ưu được lựa chọn dựa vào tổng hợp 07 tiêu chuẩn thống kê đã nêu trong mục tiêu chuẩn lựa chọn hàm.

Sau đây là các trường hợp được thử nghiệm để lựa chọn mô hình sinh trắc của các bộ phận hoặc toàn bộ cây rừng.

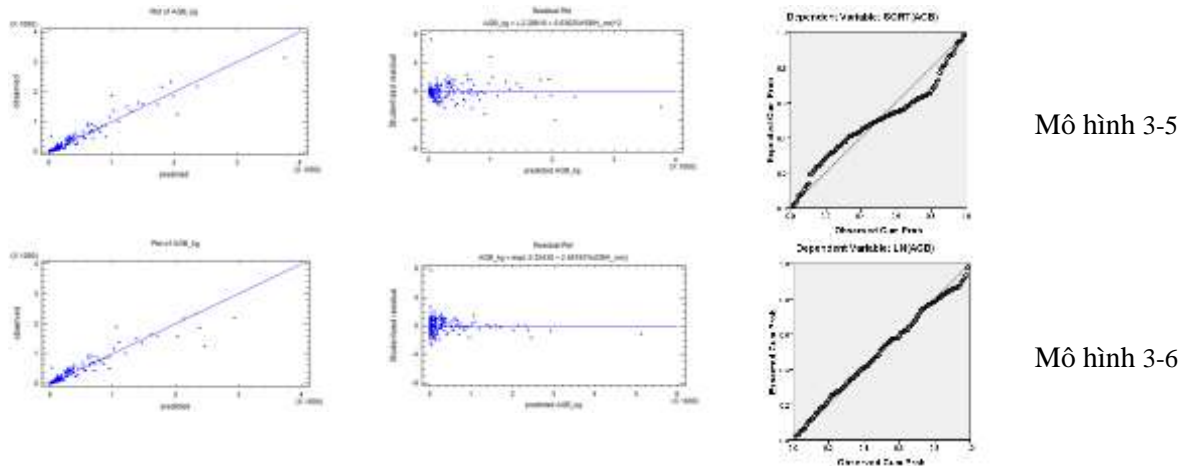
i) Hàm một biến số hoặc một tổ hợp tạo một biến:

Đối với hàm một biến số hoặc một tổ hợp một biến, đầu tiên sử dụng R^2 adjusted (điều chỉnh) là cơ sở để chọn các hàm có khả năng mô phỏng quan hệ, kiểm tra sự tồn tại các tham số phương trình với mức Pvalue < 0.05. Mỗi mô hình chọn 2-3 hàm có R^2 cao nhất, từ đó kết hợp các chỉ tiêu CF tiến đến 1, AIC bé nhất về đại số và S% bé nhất để lựa chọn hàm. Từ các chỉ tiêu tổng hợp trên, dựa vào chỉ tiêu S% làm chỉ tiêu chính kết hợp với thứ tự ưu tiên là AIC, CF và cuối cùng là R^2 adjusted để chọn ra hàm tối ưu cho mô hình. Ngoài ra 2 đồ thị residuals và Normal P-P cũng được khảo sát để đánh giá sự phù hợp cũng như ít biến động của mô hình lựa chọn.

Kết quả thử nghiệm mô hình một biến $AGB = f(DBH)$ và tổ hợp thành một biến $DBH^2 * H$ của mô hình ước tính carbon trong lá: $CI = f(DBH^2 * H)$ trình bày ở Bảng 3.2 và Hình 3.7.

Bảng 3.2: Thử nghiệm lựa chọn mô hình ước tính sinh khối AGB dạng một biến (DBH) hoặc carbon trong lá (CI) theo tổ hợp một biến ($DBH^2 * H$)

Dạng hàm	Hàm	R^2 (%)	R^2 adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
AGB = f(DBH)	$AGB = (-2.28616 + 0.836254 * DBH)^2$	94.4	94.3	0.00	224	0.00		2063.3	34.1%	3-5
	$AGB = \exp(-2.25438 + 2.49193 * \ln(DBH))$	93.7	93.7	0.00	224	0.00	1.089	7266.3	32.1%	3-6
CI = f(DBH, H)	$\ln(CI) = -11.0979 + 4.10521 * \sqrt{\ln(H * DBH^2)}$	77.6	77.4	0.00	149	0.00	1.266	9593.64	66.0%	3-7
	$\ln(CI) = -5.36351 + 0.725866 * \ln(H * DBH^2)$	77.1	77.0	0.00	149	0.00	1.272	9796.14	67.4%	3-8



Hình 3.7: Đồ thị quan hệ lý thuyết – quan sát, residuals và Normal P=P của 2 mô hình $AGB=f(DBH)$

Kết quả thử nghiệm 2 dạng mô hình $AGB = f(DBH)$ ở Bảng 3.2 như sau:

$$\sqrt{AGB} = a + b \cdot DBH \quad 3-9$$

$$\ln(AGB) = a + b \cdot \ln(DBH) \quad 3-10$$

Cho thấy:

- Hệ số R^2_{adj} của mô hình 3-5 cao hơn 3-6 và cả hai đều tồn tại ở mức $P < 0.05$.
- Tiêu chuẩn CF và AIC không được sử dụng vì biến số y của hai hàm khác nhau: \sqrt{AGB} và $\ln(AGB)$.
- S% của hàm 3-6 thấp nhất là 32.1%.
- So sánh đồ thị sai số phần dư của mô hình 3-6 cho thấy đồng đều hơn mô hình 3-5. Đồ thị Normal P-P cũng chỉ ra mô hình 3-6 bám sát đường chéo (0,1) hơn so với mô hình 3-5. Có nghĩa mô hình 3-6 mô phỏng tốt hơn so với mô hình 3-5.

Như vậy mặc dù mô hình 3-5 có hệ số quan hệ R^2 cao hơn, nhưng qua đánh giá thêm các tiêu chuẩn S%, các đồ thị residuals và Normal P-P cho thấy hàm 3-6 dạng \ln là tốt hơn vì vậy hàm này được lựa chọn để ước tính AGB qua biến số DBH.

Cũng ở Bảng 3.2, trường hợp tổ hợp $DBH^2 \cdot H$ tạo thành một biến ở dạng hàm $Cl=f(DBH, H)$, lựa chọn được 2 mô hình có R^2 cao nhất và thứ hai để so sánh. Vì hai hàm đều có biến y là dạng \ln nên CF và AIC được đưa vào so sánh. Kết quả chỉ ra mô hình 3-7 đều có R_{max} , CF_{min} , AIC_{min} , $S\%_{min}$ so với mô hình 3-8, vì vậy mô hình lựa chọn tối ưu là mô hình 3-7.

Tóm lại, nguyên tắc cơ bản để lựa chọn mô hình một biến cần phải dựa vào nhiều chỉ tiêu thống kê, trong đó biến động trung bình của mô hình S% là chỉ tiêu quan trọng để kiểm tra mức sai số của mô hình và quyết định lựa chọn mô hình tối ưu, các chỉ tiêu R^2 adjusted cao nhất, CF_{\min} và AIC_{\min} là các chỉ tiêu cần để phối hợp lựa chọn mô hình tối ưu tiệm cận với dữ liệu thực tế. Cùng với nó là 2 đồ thị residuals và Normal P-P để trực quan hóa biến động sai số của mô hình lựa chọn.

ii) Hàm nhiều biến số hoặc nhiều tổ hợp biến:

Về nguyên tắc hàm nhiều biến tổ hợp biến đều được lựa chọn như hàm một biến, chỉ khác là cần kiểm tra sự tồn tại của từng tham số bị gán từng biến số theo tiêu chuẩn t ở mức $P < 0.05$; đồng thời các dạng hàm được tạo thành trên cơ sở tổ hợp đa dạng với nhiều dạng đổi biến số của hai nhóm biến y_i và x_j theo các dạng cơ bản là $\ln(y_i, x_j)$, $\sqrt{y_i, x_j}$, x_i^2 , y_j^2 , $1/x_j$, $1/y_i$,

Quá trình này được chạy thử nghiệm nhiều hàm với nhiều tổ hợp đổi biến số, sau đó lựa chọn 2-3 mô hình tiềm năng với R^2_{adj} cao nhất, các tham số tồn tại ở mức $P < 0.05$; sau đó sử dụng các tiêu chuẩn AIC, CF, S% và các đồ thị để quyết định lựa chọn mô hình phù hợp nhất.

3.1.4 Tổng hợp cơ sở khoa học của xây dựng mô hình sinh trắc

Trên cơ sở nghiên cứu lựa chọn biến số tham gia mô hình, đánh giá các phương pháp ước lượng mô hình và lựa chọn dạng hàm cho quan hệ sinh khối, carbon với các nhân tố điều tra; tổng hợp thành cơ sở để tiếp cận xây dựng mô hình sinh trắc ở Hình 3.8; được tóm tắt lại như sau:

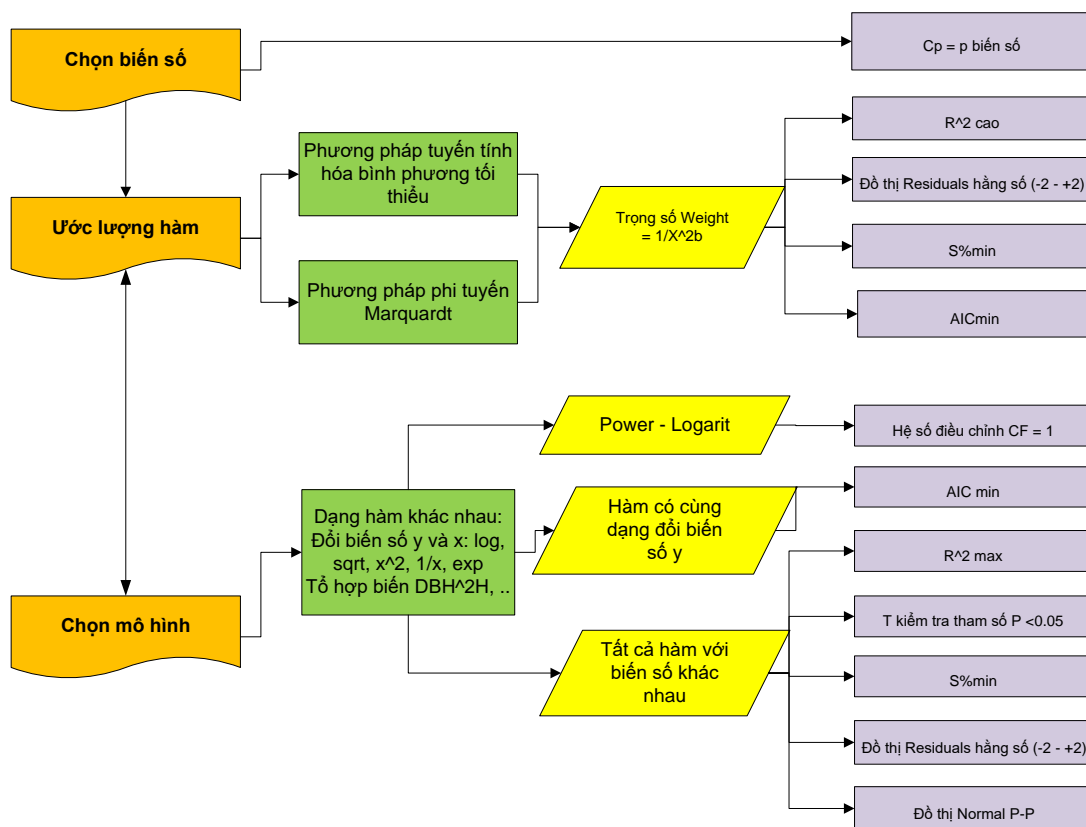
- *Lựa chọn biến số tham gia mô hình:* Để lựa chọn số biến số tham gia mô hình tốt nhất trong trường hợp có nhiều biến chưa rõ ảnh hưởng đến y thì cần sử dụng tiêu chuẩn Mallows' C_p . Chỉ số C_p càng gần với số biến số p thì mô hình càng phù hợp; dựa vào đây để xác định số biến số p tham gia mô hình khi có quá nhiều biến số được giả định là có ảnh hưởng đến y .
- *Phương pháp ước lượng hàm quan hệ:* Để có được một mô hình với các tham số có độ tin cậy, phù hợp với thực tế thì khi ước lượng hàm cần thử nghiệm cả 4 phương pháp ước lượng là bình phương tối thiểu, bình phương tối thiểu có trọng số, ước lượng hàm phi tuyến tính Marquardt và phương

pháp Marquardt có trọng số. Riêng trường hợp nghiên cứu này của luận án, bốn phương pháp được thử nghiệm cho lập mô hình sinh trắc của đối tượng nghiên cứu cho thấy: i) Phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số có R^2_{adj} cao nhất và S% thấp nhất, tỏ ra phù hợp với quy luật phát triển sinh khối cây rừng; ii) Phương pháp ước lượng hàm có trọng số cả bình phương tối thiểu lẫn Marquardt trong nhiều trường hợp cho AIC bé nhất và biến động phần dư residuals thấp và làm hằng số; do đó ước lượng có trọng số cũng là một phương pháp tốt giúp cho việc điều chỉnh các tham số của mô hình thích hợp với dữ liệu quan sát, giảm biến động.

- Lựa chọn dạng hàm trên cơ sở các tiêu chuẩn thống kê: Dạng hàm cần được xây dựng trên cơ sở tổ hợp các biến số phụ thuộc và các biến độc lập được chuyển đổi thành các dạng hàm ln, sqrt, mũ, $1/x$, ... sẽ hình thành nên nhiều dạng hàm để thử nghiệm nhằm lựa chọn được mô hình thích hợp, hơn là sử dụng những hàm cố định, có sẵn như power, polynominal, logarit, ...

Việc lựa chọn hàm thích hợp cần dựa vào tổng hợp 7 tiêu chuẩn thống kê: i) R^2 adjusted (%) đạt max; ii) Tiêu chuẩn t kiểm tra sự tồn tại của các tham số đối với hàm đa biến, với $P < 0.05$; iii) Hệ số điều chỉnh (CF- Correction factor) tiến đến 1; iv) Tiêu chuẩn AIC bé nhất; v) Biến động trung bình giữa lý thuyết và quan sát S% min; vi) Đồ thị Normal P-P có phân bố lý thuyết và quan sát bám sát nhau và nằm trên đường chéo có tọa độ (0, 0) và (1,1) của đồ thị và vii) Đồ thị biến động phần dư residuals là hằng số nằm trong phạm vi $-2 + 2$ theo dãy giá trị lý thuyết.

Trong đó ưu tiên là giá trị S% bé nhất, vì nó phản ánh sai lệch giữa quan sát và ước lượng qua hàm nhỏ nhất; tiếp theo cần ưu tiên tiêu chuẩn AIC_{min} và $CF = 1$; R^2_{adj} chỉ là tiêu chí tham khảo đầu tiên để định hướng chọn hàm hơn là chỉ tiêu quyết định; hai đồ thị Normal P-P và residuals là khảo sát trực quan nhất để thấy rõ sự thích hợp của hàm ước lượng.



Hình 3.8: Sơ đồ tiếp cận xây dựng mô hình sinh trắc

3.2 MÔ HÌNH SINH TRẮC ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON CÂY RỪNG

3.2.1 Mô hình ước tính sinh khối và carbon ở các bộ phận cây trên mặt đất

Sinh khối và carbon cây rừng trong phần trên mặt đất nằm trong 4 bộ phận: thân, cành, lá và vỏ cây. Các mô hình sinh trắc trên thế giới chủ yếu ước tính chung sinh khối và carbon cho cây. Về mặt thống kê, việc xây dựng mô hình ước lượng cho từng bộ phận sẽ hạn chế được sai số do sự khác nhau của những bộ phận này.

Với cơ sở khoa học về lựa chọn biến, phương pháp ước lượng hàm và lựa chọn hàm sinh trắc trình bày mục 3.1; trên cơ sở dữ liệu thu thập và xử lý trung gian, luận án đã xây dựng và lựa chọn được các mô hình sinh khối, carbon cho bốn bộ phận thân cây theo các nhân tố điều tra.

3.2.1.1 Mô hình ước tính sinh khối bốn bộ phận thân cây trên mặt đất

Luận án đã tổng hợp được cơ sở dữ liệu để xây dựng mô hình sinh trắc cho các bộ phận thân cây trong Phụ lục 6. Với cơ sở dữ liệu trên, đã xây dựng 13 mô hình

sinh trắc 4 bộ phận thân cây với các nhân tố DBH, H, WD và CA trình bày trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3: Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất các bộ phận thân cây với các nhân tố điều tra

Bộ phận	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Thân	Bst = f(DBH, H, WD)	$\ln(\text{Bst}) = -3.21654 + 0.975083 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2) + 0.650427 \cdot \ln(\text{WD})$	96.0	0.00	224	0.00	1.1	4188.4	22.7%	3-11
	Bst = f(DBH, H)	$\ln(\text{Bst}) = -3.74218 + 1.86572 \cdot \ln(\text{DBH}) + 1.08267 \cdot \ln(\text{H})$	94.2	0.00	224	0.00	1.1	6554.2	31.4%	3-12
	Bst = f(DBH)	$\ln(\text{Bst}) = -2.66248 + 2.48556 \cdot \ln(\text{DBH})$	92.1	0.00	224	0.00	1.1	9430.1	36.7%	3-13
Cành	Bbr = f(DBH, H, WD)	$\ln(\text{Bbr}) = -5.00147 + 1.02272 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2) + 0.541092 \cdot \ln(\text{WD})$	84.4	0.00	221	0.00	1.3	24559.7	75.2%	3-14
	Bbr = f(DBH, H)	$\text{Bbr} = \exp(-5.36022 + 1.01745 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2))$	83.5	0.00	221	0.00	1.3	26185.6	77.3%	3-15
	Bbr = f(DBH, H, CA)	$\ln(\text{Bbr}) = -4.54883 + 2.11459 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.302359 \cdot \ln(\text{CA} \cdot \text{H})$	85.9	0.00	174	0.00	1.24	11700.8	60.8%	3-16
	Bbr = f(DBH)	$\text{Bbr} = \exp(-4.47635 + 2.66755 \cdot \ln(\text{DBH}))$	85.2	0.00	221	0.00	1.3	23296.3	71.4%	3-17
Lá	Bl = f(DBH, H, WD)	$\ln(\text{Bl}) = -3.71104 + 0.412896 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2) + 0.365363 \cdot \ln(\text{WD} \cdot \text{DBH}^2)$	68.0	0.00	223	0.00	1.4	29067.1	112.7%	3-18
	Bl = f(DBH, H)	$\ln(\text{Bl}) = -4.19366 + 0.688019 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2)$	67.2	0.00	223	0.00	1.4	30008.8	112.0%	3-19
	Bl = f(DBH)	$\text{Bl} = (-1.57029 + 0.964882 \cdot \sqrt{\text{DBH}})^2$	74.1	0.00	223	0.00		973.6	123.5%	3-20
Vỏ	Bba = f(DBH, H, WD)	$\ln(\text{Bba}) = -5.57527 + 1.89832 \cdot \ln(\text{DBH}) + 1.02056 \cdot \ln(\text{H}) + 0.334777 \cdot \ln(\text{WD})$	91.5	0.00	223	0.00	1.1	10397.7	38.3%	3-21
	Bba = f(DBH, H)	$\ln(\text{Bba}) = -5.7972 + 1.88932 \cdot \ln(\text{DBH}) + 1.02033 \cdot \ln(\text{H})$	91.1	0.00	223	0.00	1.1	11028.2	39.5%	3-22
	Bba = f(DBH)	$\ln(\text{Bba}) = -4.77939 + 2.4737 \cdot \ln(\text{DBH})$	89.3	0.00	223	0.00	1.2	13561.8	44.6%	3-23

Bảng 3.3 chỉ ra sinh khối các bộ phận thân cây có quan hệ chặt đến rất chặt với các biến số DBH, H và WD hệ số quan hệ R² = 67.2 - 96.0%. Mô hình sinh khối thân cây với các nhân tố điều tra có biến động S% thấp nhất (22.7%-36.7%), tiếp đến là sinh khối vỏ cây. Biến động S% lớn nhất là ở lá (S% = 112.0 – 123.5%). Như vậy,

với đặc điểm sinh học, hình thái ở các loài khác nhau dẫn đến có sự biến động lớn về hình dạng tán và lá khác nhau, ngoài ra sinh khối lá còn thay đổi theo mùa trong năm. Quy luật chung là mô hình có một biến DBH cơ biến động S% thường cao nhất, khi tăng số biến số lên 3 – 4 biến DBH, H, WD và CA thì sẽ tăng độ tin cậy.

3.2.1.2 Mô hình ước tính carbon các bộ phận thân cây trên mặt đất

Trên cơ sở dữ liệu của Phụ lục 7, luận án cũng đã xây dựng được 13 mô hình quan hệ giữa carbon các bộ phận thân cây với các biến số DBH, H, WD và CA trình bày trong Bảng 3.4.

Bảng 3.4: Mô hình ước tính carbon trên mặt đất các bộ phận thân cây với các nhân tố điều tra

Bộ phận	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Thân	Cst = f(DBH, H, WD)	$\ln(Cst) = -3.92736 + 1.87025*\ln(DBH) + 1.14714*\ln(H) + 0.963143*\ln(WD)$	98.8	0.00	149	0.00	1.0	76.8	14.9 %	3-24
	Cst = f(DBH, H)	$\ln(Cst) = -4.73135 + 1.8019*\ln(DBH) + 1.21684*\ln(H)$	95.1	0.00	149	0.00	1.1	2501.2	33.28 %	3-25
	Cst = f(DBH)	$Cst = \exp(-3.53931 + 2.51171*\ln(DBH))$	93.1	0.00	149	0.00	1.1	3911.7	40.0 %	3-26
Cành	Cbr = f(DBH, H, WD)	$\ln(Cbr) = -5.17449 + 0.651543*\ln(H*DBH^2) + 1.02505*\ln(WD*DBH)$	88.4	0.00	150	0.00	1.2	8982.3	64.1 %	3-27
	Cbr = f(DBH, H)	$\ln(Cbr) = -6.29866 + 1.03244*\ln(H*DBH^2)$	85.1	0.00	150	0.00	1.3	11840.9	76.3 %	3-28
	Cbr = f(DBH, H, CA)	$\ln(Cbr) = -5.42958 + 2.23581*\ln(DBH) + 0.25568*\ln(CA*H)$	87.5	0	105	0	1.2	3968.7	60.0 %	3-29
	Cbr = f(DBH)	$Cbr = \exp(-5.40682 + 2.71195*\ln(DBH))$	86.8	0.00	150	0.00	1.3	10427.5	71.4 %	3-30
Lá	Cl = f(DBH, H, WD)	$\ln(Cl) = -4.48495 + 0.26433*\ln(H*DBH^2) + 0.612686*\ln(WD*DBH^2)$	79.4	0.00	149	0.00	1.2	8647.8	63.6 %	3-31
	Cl = f(DBH, H)	$\ln(Cl) = -11.0979 + 4.10521*\sqrt{\ln(H*DBH^2)}$	77.4	0.00	149	0.00	1.3	9593.6	66.0 %	3-32
	Cl = f(DBH)	$Cl = \exp(-4.71523 + 1.89849*\ln(DBH))$	77.8	0.00	149	0.00	1.3	9420.8	65.5 %	3-33

Bộ phận	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Vỏ	Cba = f(DBH, H, WD)	$\ln(Cba) = -6.30465 + 1.99348*\ln(DBH) + 0.887154*\ln(H) + 0.452636*\ln(WD)$	92.7	0.00	149	0.00	1.1	4188.8	40.4 %	3-34
	Cba = f(DBH, H)	$\ln(Cba) = -6.7233 + 0.966291*\ln(H*DBH^2)$	92.0	0.00	149	0.00	1.1	4722.8	43.7 %	3-35
	Cba = f(DBH)	$Cba = \exp(-5.78133 + 2.49797*\ln(DBH))$	90.8	0.00	149	0.00	1.2	5527.9	48.1 %	3-36

Kết quả Bảng 3.4 cho thấy hàm lượng carbon trong 4 bộ phận thân cây có quan hệ chặt chẽ với 3 biến số DBH, H và WD. Cũng như mô hình ước tính sinh khối, biến động S% ở mô hình thân cây với các biến số là thấp nhất và cao nhất là bộ phận lá cây. Như vậy có thể khẳng định sinh khối và carbon trong lá cây, cành nhánh bị chi phối bởi loài cây, đặc điểm sinh học của loài.

Từ kết quả xây dựng mô hình sinh trắc tối ưu ước tính sinh khối và carbon ở 4 bộ phận thân cây cho thấy, mô hình sinh trắc về thân cây có biến động thấp nhất, và tiếp đến là vỏ; có thể sử dụng để ước tính sinh khối, carbon cho thân cây dựa vào các biến số đơn giản dễ đo đếm là DBH, H hoặc thêm biến WD để tăng độ tin cậy. Đối với lá và cành, khuyến nghị nên sử dụng các mô hình ước tính dựa trên tổng các bộ phận nhằm giảm biến động.

Trên cơ sở mô hình ước tính carbon cho các bộ phận thân cây một biến số DBH, tính toán xác định carbon trong bình quân theo các cấp kính và xác định lượng CO₂ hấp thụ cho từng bộ phận thân cây như

Hình 3.9 và Bảng 3.5

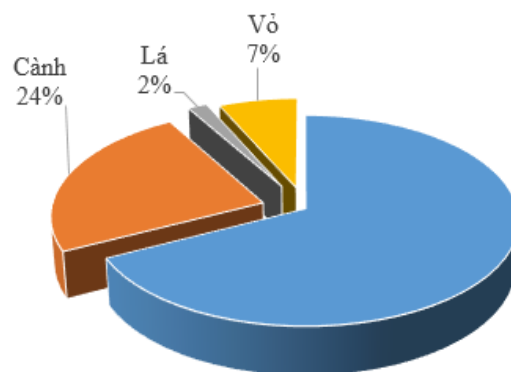
Bảng 3.5 Lượng carbon, CO₂ tích lũy trong 4 bộ phận cây trên mặt đất theo cấp kính

DBH (cm)	Cst (kg/cây)	Cbr (kg/cây)	Cl (kg/cây)	Cba (kg/cây)	Tổng C (kg/cây)	Tổng CO ₂ (kg/cây)
10	9.4	2.3	0.7	1.0	13.4	49.3
20	53.8	15.1	2.6	5.5	77.1	282.8
30	148.9	45.5	5.7	15.1	215.2	789.8
40	306.8	99.2	9.9	31.0	446.8	1639.8
50	537.3	181.7	15.1	54.1	788.2	2892.5
60	849.4	297.9	21.3	85.3	1253.9	4601.7
70	1251.0	452.5	28.5	125.4	1857.4	6816.7

DBH (cm)	Cst (kg/cây)	Cbr (kg/cây)	Cl (kg/cây)	Cba (kg/cây)	Tổng C (kg/cây)	Tổng CO ₂ (kg/cây)
80	1749.5	650.0	36.7	175.0	2611.3	9583.3
Trung bình	613.3	218.0	15.1	61.6	907.9	3332.0

Bảng 3.5 chỉ ra lượng CO₂ hấp thụ trong cây rừng biến động từ 49.3 kg ứng với cỡ đường kính trung bình là 10cm và đạt cao nhất ở cỡ kính 80cm là 9,6 tấn.

Hình 3.9 cho thấy phần cây trên mặt đất trung bình carbon trong thân là 67% chiếm tỷ lệ cao nhất, trong cành là 24%, vỏ cây là 7% và ít nhất là trong lá 2%. Nghiên cứu cũng đã tính hệ số chuyển đổi CF sinh khối sang carbon 4 bộ phận thân cây. Với CF = Carbon/Sinh khối. Đối với cành là 0.44, lá 0.42 thân 0.46 và vỏ là 0.41



Hình 3.9 Tỷ lệ % lượng carbon các bộ phận trong thân cây trên mặt đất

Có thể sử dụng các hệ số này để chuyển đổi sinh khối sang carbon cho rừng lá rộng thường xanh ở Tây nguyên. Theo IPCC thì hệ số chuyển đổi chung các bộ phận thân cây là CF = 0.47; trong khi đó CF thực tế khác nhau giữa các bộ phận của cây, do đặc điểm sinh lý, sinh học của từng bộ phận thực vật; tỷ lệ carbon cao nhất là trong gỗ và nhỏ nhất là trong vỏ cây. Vì vậy sử dụng chung CF cho các bộ phận như IPCC sẽ mắc sai số khá cao khi chuyển đổi từ sinh khối sang carbon.

3.2.2 Mô hình ước tính sinh khối cây rừng phần trên mặt đất (AGB)

Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối của tất cả các bộ phận cây trên mặt đất (AGB) là mô hình cơ sở nhất để ước tính sinh khối cây rừng nói chung; hầu hết các nghiên cứu trên thế giới đều tập trung xây dựng dạng mô hình này. Với bộ dữ liệu gồm AGB theo 4 biến số đường kính (DBH), chiều cao (H), khối lượng thể tích (WD) và diện tích tán lá (CA) ở

Phụ lục 2 đã xây dựng được 6 mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất với một đến 4 nhân tố điều tra ở Bảng 3.6.

Bảng 3.6: Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất với các nhân tố điều tra

Dạng hàm	Hàm	R ² _{adj} (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
AGB f(DBH)	AGB = $\exp(-2.25438 + 2.49193 \cdot \ln(\text{DBH}))$	93.7	0.00	224	0.00	1.089	7266.3	32.1%	3-37
AGB f(DBH, H)	$\ln(\text{AGB}) = -3.07831 + 2.01893 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.8262 \cdot \ln(\text{H})$	94.9	0.00	224	0.00	1.071	5592.4	28.2%	3-38
AGB f(DBH, H, WD)	$\ln(\text{AGB}) = -2.69982 + 2.03456 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.82614 \cdot \ln(\text{H}) + 0.570192 \cdot \ln(\text{WD})$	96.3	0.00	224	0.00	1.052	3751.2	22.7%	3-39
AGB f(DBH, WD)	$\ln(\text{AGB}) = -1.87593 + 2.50753 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.57023 \cdot \ln(\text{WD})$	95.0	0.00	224	0.00	1.069	5424.9	25.9%	3-40
AGB f(DBH, H, CA)	$\ln(\text{AGB}) = -2.98885 + 1.86043 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.831128 \cdot \ln(\text{H}) + 0.123714 \cdot \ln(\text{CA})$	93.9	0.00	177	0.00	1.075	3525.5	29.0%	3-41
AGB f(DBH, H, CA, WD)	$\ln(\text{AGB}) = -2.297 + 1.84743 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.752312 \cdot \ln(\text{H}) + 0.13942 \cdot \ln(\text{CA}) + 0.75618 \cdot \ln(\text{WD})$	96.0	0.00	177	0.00	1.049	1982.1	20.5%	3-42

Kết quả Bảng 3.6 chỉ ra biến động S% = 20.5%, AIC = 1982 và CF = 1.04 ở mô hình 3-42 với 4 biến số: DBH, H, CA, WD là thấp nhất. Như vậy mô hình ước tính sinh khối tất cả các bộ phận của cây bao gồm thân, cành, lá, và vỏ tổng hợp toàn bộ trong biến AGB được ước lượng tốt nhất thông qua một hàm có bốn biến số. Mô hình này ứng dụng trong điều kiện có yêu cầu ước tính sinh khối với độ tin cậy cao và ứng dụng mô hình cần điều tra cả 4 nhân tố này.

Mô hình 3-37 với một biến số DBH là đơn giản trong ứng dụng, nhưng biến động của mô hình cao nhất trong 6 mô hình là S%=32.1%. Vì vậy mô hình này có thể sử dụng để ước tính nhanh sinh khối trên mặt đất hoặc áp dụng cho cộng đồng điều tra xác định thay đổi sinh khối trên mặt đất rừng làm cơ sở chi trả dịch vụ môi trường rừng cho cộng đồng.

Mô hình 3-38 và 3-41 biến động S% dao động khoảng 28%-29% với 2 đến 3 nhân tố DBH, H và CA tham gia vào mô hình. Có nghĩa khi gia tăng thêm biến H và CA thì ước lượng AGB sẽ đạt độ tin cậy cao hơn. Với mô hình hai biến DBH và H là phù hợp với điều kiện điều tra rừng ở Việt Nam hiện tại; cán bộ kỹ thuật có thể sử dụng trong quản lý, giám sát thay đổi sinh khối cây rừng trên mặt đất. Để có độ chính xác tăng thêm từ 3% - 6%, cán bộ kỹ thuật có thể kết hợp số liệu điều tra và biểu khối lượng thể tích (TCVN 8048-2:2009) để xác định khối lượng thể tích WD cho cây rừng và sử dụng mô hình 3-39 để ước tính AGB. Tuy nhiên, chỉ có 154 loài đã được xác định khối lượng thể tích theo nhóm vì vậy sẽ rất hạn chế cho việc áp dụng rừng lá rộng thường xanh ở những nơi đa dạng loài cao.

Độ chính xác của mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất phụ thuộc rất nhiều vào số biến tham gia trong mô hình, trong đó biến WD có ảnh hưởng rất lớn đến sai số ước tính. Ở rừng tự nhiên hỗn loài khác tuổi, loài cây khác nhau thì khối lượng thể tích cũng rất khác nhau do đó WD quyết định độ chính xác trong ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất. Biến WD tham gia vào mô hình sẽ giảm biến động 6% so với chỉ có hai biến DBH và H.

Sự khác nhau về loài sẽ dẫn đến khác nhau về hình dạng, tiết diện tán cây và đặc biệt là sinh khối của các bộ phận tán cây. Do đó khi có biến số CA trong mô hình, biến động giảm đáng kể (giảm 8% so với chỉ thông qua hai biến DBH và H).

Ứng với từng yêu cầu độ chính xác điều tra AGB có thể lựa chọn 1 trong 6 mô hình ở Bảng 3.6 để thu thập số liệu phù hợp với năng lực điều tra viên cũng nguồn lực và đáp ứng độ tin cậy theo yêu cầu khác nhau.

3.2.3 Mô hình ước tính sinh khối cây rừng dưới mặt đất (BGB)

Sinh khối dưới mặt đất (BGB), tức trong rễ cây gỗ là một bể chứa carbon quan trọng của cây rừng. Sinh khối rễ cây rừng dưới mặt đất là dữ liệu rất khó thu thập, trong quá trình thu thập dữ liệu để lập mô hình cần đào lấy toàn bộ rễ để cân sinh khối tươi; điều này đặc biệt khó khăn đối với cây gỗ lớn. Với sự khó khăn trong thu thập dữ liệu khối lượng rễ nên trong nước và cả trên thế giới rất hiếm có mô hình ước tính trực tiếp BGB. Hầu như để ước tính BGB, các tác giả đều vận dụng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006), với $BGB = 20\% * AGB$. Sử dụng bộ số liệu ở Phụ lục 4 về BGB

theo các biến DBH, H, WD và CA để xây dựng mô hình ước tính sinh khối dưới mặt đất với các nhân tố điều tra, kết quả trình bày trong Bảng 3.7.

Bảng 3.7: Kết quả xây dựng mô hình ước tính sinh khối dưới mặt đất (BGB) với các nhân tố điều tra

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
BGB = f(DBH)	$BGB = \exp(-3.86955 + 2.409 \cdot \ln(DBH))$	89.2	0.0	143	0.0	1.14	4450.7	41.8 %	3-43
BGB = f(DBH, H)	$\ln(BGB) = -4.4338 + 0.879735 \cdot \ln(H \cdot DBH^2)$	88.1	0.0	106	0.0	1.14	2340.8	43.5 %	3-44
BGB = f(DBH, H, WD)	$\ln(BGB) = -4.09725 + 2.13675 \cdot \ln(DBH) + 0.609695 \cdot \ln(H) \cdot WD$	92.0	0.0	106	0.0	1.09	1401.1	35.5 %	3-45
BGB = f(DBH, WD)	$\ln(BGB) = -3.16044 + 2.37768 \cdot \ln(DBH) + 1.11732 \cdot \ln(WD)$	92.3	0.0	143	0.0	1.10	2997.1	33.7 %	3-46
BGB = f(DBH, H, WD, CA)	$\ln(BGB) = -4.13057 + 0.775587 \cdot \ln(H \cdot DBH^2) + 0.164827 \cdot \ln(CA \cdot DBH^2) + 1.13005 \cdot \ln(WD)$	86.9	0.0	77	0.0	1.08	616.2	32.9 %	3-47

Trong 5 mô hình ước tính sinh khối rễ với một trong bốn biến số DBH, H, WD và CA; nhận thấy biến động của mô hình có đủ 4 biến số là thấp nhất, S% = 32.9%; các giá trị CF, AIC cũng bé nhất. Như vậy quy luật cũng giống như ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất, sự tham gia của của các biến CA và WD giúp tăng độ tin cậy ước lượng của mô hình sinh khối dưới mặt đất.

Nếu so với mô hình ước tính AGB, thì mô hình BGB có biến động lớn hơn; điều này là phù hợp với thực tế sinh học; hệ rễ của các loài cây phát triển rất phức tạp và tiếp cận để có độ tin cậy cao là một thử thách lớn.

Ước lượng BGB cũng có biến động lớn nhất với một biến DBH với S% = 41.8%; S% giảm khi tăng biến tham gia vào mô hình; giảm được 9% biến động nếu có đủ 4 biến số.

Sử dụng bộ dữ liệu ở

Phụ lục 2 và Phụ lục 4 để so sánh 5 mô hình ước tính BGB với việc sử dụng hệ số của IPCC để chuyển đổi từ AGB sang BGB; kết quả cho thấy biến động khi chuyển đổi bằng hệ số IPCC là 45.3% cao hơn biến động S% của 5 mô hình đã xây dựng. Điều này cho thấy sử dụng hệ số của IPCC để ước tính và chuyển đổi sinh khối từ AGB sang BGB (bậc 1) sẽ mắc phải biến động lớn.

3.2.4 Mô hình ước tính carbon tích lũy trong cây gỗ phần trên mặt đất (C(AGB))

Trên cơ sở phân tích hàm lượng carbon trong từng bộ phận thực vật (thân, cành, lá, vỏ), tổng hợp được bộ dữ liệu carbon của các bộ phận cây rừng trên mặt đất (C(AGB)) theo các nhân tố điều tra ở Phụ lục 3; tiến hành xây dựng được 6 mô hình C(AGB) = f(DBH, CA, H, WD) ở bảng sau.

Bảng 3.8: Mô hình ước tính carbon tích lũy trên mặt đất (C(AGB)) với các nhân tố điều tra

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
C(AGB) = f(DBH)	$C_AGB = \exp(-3.19117 + 2.53542 \cdot \ln(DBH))$	94.6	0.0	149	0.0	1.087	2903.2	36.2 %	3-48
C(AGB) = f(DBH, H)	$\ln(C_AGB) = -4.13694 + 0.979477 \cdot \ln(H \cdot DBH^2)$	95.6	0.0	149	0.0	1.071	2246.0	32.3 %	3-49
C(AGB) = f(DBH, H, WD)	$\ln(C_AGB) = -3.28449 + 2.10667 \cdot \ln(DBH) + 0.778184 \cdot \ln(H) + 0.875815 \cdot \ln(WD)$	98.6	0.0	149	0.0	1.022	225.2	16.9 %	3-50
C(AGB) = f(DBH, WD)	$\ln(C_AGB) = -2.50651 + 2.56119 \cdot \ln(DBH) + 0.896313 \cdot \ln(WD)$	97.7	0.0	149	0.0	1.036	799.8	21.0 %	3-51
C(AGB) = f(DBH, CA, H)	$\ln(C_AGB) = -3.86451 + 0.444395 \cdot \ln(CA \cdot DBH^2) + 1.52117 \cdot \ln(H)$	90.9	0.0	104	0.0	1.131	2103.7	42.3 %	3-52
C(AGB) = f(DBH, CA, H, WD)	$\ln(C_AGB) = -2.709 + 2.06027 \cdot \ln(DBH) + 0.672402 \cdot \ln(H) + 1.0701 \cdot \ln(WD) - 0.311455 \cdot 1/\sqrt{CA}$	98.8	0.0	104	0.0	1.016	-141.3	13.9 %	3-53

Biến động S% = 13.9%, giá trị AIC = -141.3, CF = 1.01 là nhỏ nhất và R² đạt max ở mô hình ước tính C(AGB) (3-53). Dạng mô hình này có đầy đủ các nhân tố điều tra tham gia biến số là DBH, H, CA và WD. Mô hình có S% cao nhất 42.3% là mô hình 3 biến số có sự tham gia của biến (DBH, H, CA), sai số này cao hơn cả ở mô

hình 3-48 đơn giản có một biến số là DBH (36.2%); cho thấy mặc dù có biến CA nhưng thiếu biến WD thì mô hình cũng cho biến động lớn. Trong khi đó mô hình 3-50 với 3 biến số là DBH, H, WD cho kết quả biến động thấp ($S\% = 16.9\%$); điều này cho thấy vai trò của biến WD trong mô hình đã phản ánh khả năng tích lũy carbon của các loài cây khác nhau. Mô hình với hai biến số DBH, H cho biến động trung bình, với $S\% = 32.3\%$. Kết quả biến động $S\%$ của 6 mô hình chỉ ra quy luật: i) số biến càng tăng biến động mô hình giảm; ii) sự tham gia của biến WD và CA sẽ làm giảm biến động $S\%$ đáng kể; iii) sự sai khác về biến động $S\%$ ở các mô hình 3-52 và 3-53 cho thấy biến CA có quan hệ chặt chẽ với biến WD cùng góp phần làm giảm biến động mô hình khi tham gia cùng với nhau.

Hàm lượng carbon cây rừng là nhân tố khó điều tra và chi phí rất lớn cho quá trình lấy mẫu và phân tích carbon để xác định, do vậy xây dựng mô hình $C(AGB)$ với các nhân tố điều tra có ý nghĩa lớn trong ứng dụng thực tế để xác định carbon cho cây rừng. Trong nước và cả trên thế giới rất ít hoặc có thể nói là chưa có mô hình ước tính trực tiếp carbon cây rừng, thường dùng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006) với $C(AGB) = 0.47 * AGB$ đối với rừng nhiệt đới.

Mô hình 3-49 với việc điều tra 2 nhân tố là DBH và H sẽ xác định được carbon của cây với biến động $S\% = 32.3\%$ là có thể áp dụng trong công tác điều tra rừng ở Việt Nam hiện tại. Nếu bổ sung WD thông qua tra bảng tra thì $S\%$ giảm xuống còn 16.9% hoặc bổ sung thêm cả nhân tố diện tích tán cây rừng sẽ cho kết quả xác định carbon cây rừng với độ chính xác cao làm cơ sở để ước lượng trữ lượng carbon trên mặt đất lâm phần ($S\% = 13.9\%$)

3.2.5 Mô hình ước tính carbon tích lũy trong cây gỗ phần dưới mặt đất ($C(BGB)$)

Với bộ số liệu thu thập và phân tích carbon của rễ theo 3 biến số DBH, H, WD và CA ở Phụ lục 5; xây dựng được 5 mô hình ước tính carbon dưới mặt đất với các nhân tố điều tra ở Bảng 3.9

Bảng 3.9: Mô hình ước tính carbon cây gỗ dưới mặt đất ($C(BGB)$) với các nhân tố điều tra

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² _{adj} (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%	Mã hàm
1	C(BGB) = f(DBH)	C_BGB = exp(-4.84017 + 2.38019*ln(DBH))	89.6	0.00	58	0.00	1.16	752.7	50.4%	3-54
2	C(BGB) = f(DBH, H)	ln(C_BGB) = -5.48178 + 0.895401*ln(H*DBH ²)	87.0	0.00	58	0.00	1.21	989.1	54.2%	3-55
3	C(BGB) = f(DBH, H, WD)	ln(C_BGB) = -4.99239 + 0.905458*ln(H*DBH ²) + 0.92912*ln(WD)	89.2	0.00	58	0.00	1.17	768.6	47.8%	3-56
4	C(BGB) = f(DBH, WD)	ln(C_BGB) = -4.38462 + 2.39649*ln(DBH) + 0.815358*ln(WD)	91.2	0.00	58	0.00	1.14	582.9	45.2%	3-57
5	C(BGB) = f(DBH, H, WD, CA)	ln(C_BGB) = -5.45814 + 0.578388*WD*ln(CA) + 0.784049*ln(H*DBH ²)	85.5	0.00	29	0.00	1.07	120.1	38.4%	3-58

Bảng 3.9 cho thấy biến động S% của các mô hình dao động từ 38.4% đến 54.2%. Biến động này là tương đối cao so với các mô hình ước tính AGB, C(AGB) và BGB. Cũng như mô hình ước tính BGB, C(BGB) cũng ước tính tốt nhất qua mô hình có 4 biến DBH, H, WD và CA, với S% = 38.4%, AIC = 120.1 và CF = 1.07 là bé nhất (mặc dù R² = 85.5% không phải là cao nhất).

Từ kết quả thiết lập các mô hình ước tính carbon cho 5 bộ phận cây gỗ: Thân, cành, lá, vỏ và rễ; tính toán trung bình của cây theo cấp kính ở Bảng 3.10 và Hình 3.1.

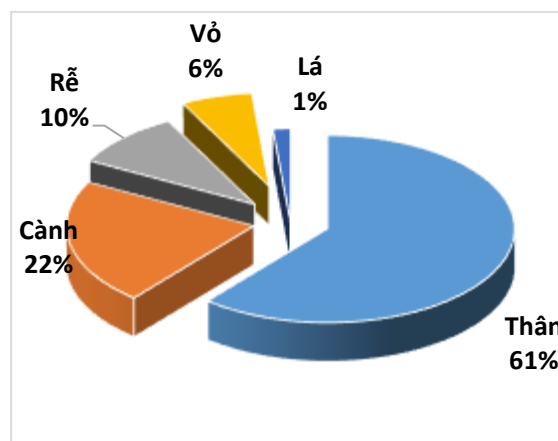
Bảng 3.10: Tích lũy carbon trung bình theo cấp kính của 5 bộ phận cây rừng

DBH (cm)	Cst (kg/cây)	Cbr (kg/cây)	Cl (kg/tree)	Cba (kg/cây)	TAGTC (kg/cây)	TBGTC (kg/cây)	TTC (kg/cây)	Tổng CO ₂ (kg/cây)
10	9.4	2.3	0.7	1.0	13.4	1.9	15.3	56.2
20	53.8	15.1	2.6	5.5	77.1	9.9	86.9	319.1
30	148.9	45.5	5.7	15.1	215.2	25.9	241.1	885.0
40	306.8	99.2	9.9	31.0	446.8	51.4	498.2	1828.5
50	537.3	181.7	15.1	54.1	788.2	87.5	875.6	3213.5
60	849.4	297.9	21.3	85.3	1253.9	135.0	1388.9	5097.1
70	1251.0	452.5	28.5	125.4	1857.4	194.8	2052.2	7531.7
80	1749.5	650.0	36.7	175.0	2611.3	267.7	2879.0	10565.8
Trung bình	613.3	218.0	15.1	61.5	907.9	96.8	1004.7	3687.1

Như vậy trong cây rừng, carbon tích lũy cao nhất ở thân cây với tỷ lệ 61%, tiếp theo là ở cành 22%, rễ 10%, vỏ 6% và lá chỉ chiếm 1% trong tổng carbon của cây.

3.2.6 Mô hình sinh trắc theo họ thực vật

Rừng nhiệt đới rất đa dạng về loài, vì vậy mô hình sinh trắc chung cho các loài thường mắc sai số và biến động lớn; vì vậy lý tưởng là lập được các mô hình và ứng dụng theo từng loài hoặc chi hoặc họ thực vật.



Hình 3.10: Tỷ lệ carbon tích lũy trong 5 bộ phận cây rừng

Trong phạm vi số liệu, luận án lập mô hình ước sinh khối trên mặt đất AGB của 3 họ thực vật chính với số loài nhiều nhất trong khu vực nghiên cứu, bao gồm: Họ Dẻ - Fagaceae, họ Long Não – Lauraceae và họ Sim – Myrtaceae (Phụ lục 9). Biến số tham gia mô hình là hai biến phổ biến DBH và H.

Họ thực vật bao gồm nhiều loài khác nhau, tuy nhiên họ thực vật ở đây sử dụng chỉ giới hạn các loài cây thân gỗ; do đó thử nghiệm lập mô hình sinh trắc theo các họ chủ yếu để xem xét khả năng tiếp cận lập mô hình sinh trắc đối với rừng nhiệt đới rất đa dạng về loài. (Hình 3.9)

Kết quả chọn lựa được các mô hình sinh khối tối ưu theo 3 họ thực vật chính theo 2 dạng: $AGB = f(DBH)$ và $AGB = f(DBH, H)$ ở Bảng 3.11.

Bảng 3.11: Mô hình sinh trắc ước tính AGB theo họ thực vật

Họ thực vật	Dạng hàm	Hàm	R^2 adj (%)	P	n	Pi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Myrtaceae	$AGB = f(DBH)$	$AGB = (-2.17148 + 0.867763 * DBH)^2$	96.0	0.0	27	0.0		166.2	29.7 %	3-59
	$AGB = f(DBH, H)$	$\ln(AGB) = -2.52252 + 0.904352 * \ln(H * DBH^2)$	96.0	0.0	27	0.0	1.048	-19.3	24.3 %	3-60

Họ thực vật	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Fagaceae	AGB = f(DBH)	$AGB = (-2.8339 + 0.953357*DBH)^2$	95.9	0.0	29	0.0		205.0	30.8%	3-61
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(AGB) = -3.03004 + 2.12265*\ln(DBH) + 0.774002*\ln(H)$	96.1	0.0	29	0.0	1.058	-5.0	26.9%	3-62
Lauraceae	AGB = f(DBH)	$AGB = (-2.6106 + 0.822668*DBH)^2$	97.6	0.0	21	0.0		87.0	31.1%	3-63
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(AGB) = -3.07422 + 2.16898*\ln(DBH) + 0.641144*\ln(H)$	96.9	0.0	21	0.0	1.038	-27.9	21.7%	3-64

Kết quả ở Bảng 3.11 cho thấy nếu tách riêng họ thực vật thì AGB cũng có quan hệ chặt chẽ với một đến hai biến DBH và H. Hệ số xác định R² biến động từ 95.9% - 97.6% và biến động S% từ 21.7% - 31.1%.

So sánh kết quả ước lượng AGB theo một nhân tố và hai nhân tố theo từng họ thực vật với ước lượng hàm chung các loài ở Bảng 3.12

Bảng 3.12: So sánh biến động S% của mô hình ước tính sinh khối theo họ thực vật và chung các loài

Dạng hàm	Họ thực vật	Hàm	S%
AGB = f(DBH)	Myrtaceae	$AGB = (-2.17148 + 0.867763*DBH)^2$	29.7%
	Fagaceae	$AGB = (-2.8339 + 0.953357*DBH)^2$	30.8%
	Lauraceae	$AGB = (-2.6106 + 0.822668*DBH)^2$	31.1%
	Chung tất cả các loài, họ	$AGB = \exp(-2.25438 + 2.49193*\ln(DBH))$	32.1%
AGB = f(DBH, H)	Myrtaceae	$\ln(AGB) = -2.52252 + 0.904352*\ln(H*DBH^2)$	24.3%
	Fagaceae	$\ln(AGB) = -3.03004 + 2.12265*\ln(DBH) + 0.774002*\ln(H)$	26.9%
	Lauraceae	$\ln(AGB) = -3.07422 + 2.16898*\ln(DBH) + 0.641144*\ln(H)$	21.7%
	Chung tất cả các loài, họ	$\ln(AGB) = -3.07831 + 2.01893*\ln(DBH) + 0.8262*\ln(H)$	28.2%

Kết quả ở Bảng 3.12 khi so sánh mô hình ước tính sinh khối AGB theo một biến số DBH thì mô hình chung các loài có S% = 32.1%, trong khi đó ở từng họ biến động

từ $S\% = 29.7\% - 31.1\%$; có nghĩa nếu dùng mô hình theo họ sẽ giảm biến động $S\%$ từ 1 - 2%; nếu so sánh ở mô hình hai biến số DBH và H thì mô hình chung loài có $S\% = 28.2\%$, trong khi đó ở từng họ $S\% = 21.7\% - 26.9\%$, giảm biến động nếu sử dụng hàm theo họ thực vật từ 2 - 7%.

Để đánh giá sự sai khác của ước lượng AGB theo từng họ thực vật và chung theo các loài, sử dụng các mô hình, thế vào giá trị cấp kính khác nhau để có được dãy giá trị AGB theo cấp kính theo 3 họ và chung các họ, loài ở Bảng 3.13.

Bảng 3.13: AGB theo họ và chung các họ qua các mô hình

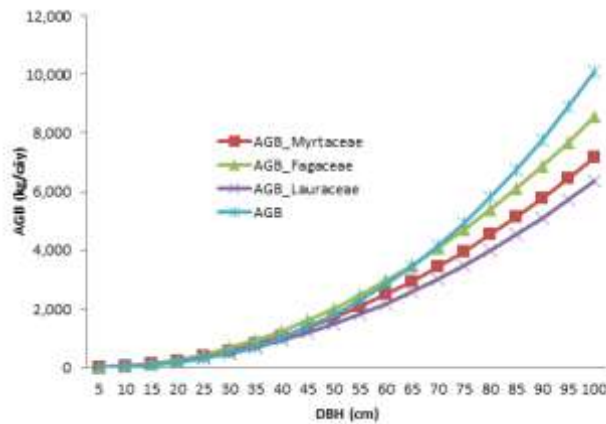
DBH (cm)	AGB_Myrtaceae (kg)	AGB_Fagaceae (kg)	AGB_Lauraceae (kg)	AGB (kg)
5	4.7	3.7	2.3	5.8
10	42.3	44.9	31.5	32.6
15	117.6	131.5	94.7	89.5
20	230.5	263.5	191.6	183.2
25	381.1	441.0	322.4	319.5
30	569.4	663.9	487.1	503.3
35	795.3	932.3	685.5	739.0
40	1,058.8	1,246.1	917.9	1,030.8
45	1,360.0	1,605.4	1,184.0	1,382.4
50	1,698.8	2,010.1	1,484.0	1,797.4
55	2,075.3	2,460.2	1,817.8	2,279.3
60	2,489.4	2,955.8	2,185.5	2,831.2
65	2,941.2	3,496.9	2,587.0	3,456.1
70	3,430.7	4,083.3	3,022.4	4,157.1
75	3,957.8	4,715.3	3,491.6	4,936.9
80	4,522.5	5,392.6	3,994.6	5,798.3
85	5,124.9	6,115.5	4,531.5	6,743.9

Từ giá trị AGB ở Bảng 3.13, sử dụng ANOVA 2 nhân tố một lần lặp, với nhân tố thứ nhất là AGB theo họ và chung; nhân tố thứ hai là các cấp kính khác nhau để đánh giá sự sai khác AGB theo cấp kính và ở các họ khác nhau.

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Cấp DBH	5.04E+08	19	26510038	95.77371	3.09E-36	1.771972
Theo họ và chung	11274501	3	3758167	13.57726	8.55E-07	2.766438
Error	15777526	57	276798.7			
Total	5.31E+08	79				

AGB được ước tính theo mô hình từng họ thực vật hoặc chung có sự khác biệt rõ rệt ở độ tin cậy 95% với $P < 0.05$, $F = 13.57 > F_{crit} = 2.76$. Có nghĩa là có sự khác biệt khi ước tính AGB theo mô hình chung và mô hình cho từng họ thực vật.

Sự khác biệt về AGB nếu tính theo mô hình theo họ và chung thể hiện trong Hình 3.11.



Hình 3.11: AGB theo mô hình từng họ thực vật và chung các loài

Kết quả này cho thấy nếu lập mô hình ước tính sinh khối theo họ thực vật sẽ tăng độ tin cậy và giảm biến động, sai số của ước lượng sinh khối; tuy nhiên kết quả cũng cho thấy mức giảm biến động cũng không nhiều, trung bình giảm 5% biến động tương đối. Do đó nếu tiếp cận mô hình theo thực vật, thì cần tiếp tục nghiên cứu theo chi thực vật như Basuki et al. (2009) đã tiến hành. Luận án chưa thể tiếp cận đến chi và loài do hạn chế số liệu cây chặt hạ. Tuy nhiên tiếp cận lập mô hình theo loài, chi thực vật đòi hỏi một nguồn lực lớn vì sự đa dạng loài cây gỗ của rừng tự nhiên.

3.2.7 Khối lượng thể tích gỗ (WD) và mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng theo nhóm WD

Khối lượng thể tích gỗ có ảnh hưởng lớn đến tích lũy sinh khối và carbon. Theo TCVN 8048-2:2009 khối lượng thể tích gỗ ở Việt Nam được chia thành 6 nhóm:

Nhóm	Khối lượng thể tích
I	từ 0.86 trở lên
II	0.73 - 0.85
III	0.62 - 0.72
IV	0.55 - 0.61
V	0.50 - 0.54
VI	từ 0.49 trở xuống

Từ cơ sở dữ liệu 224 cây chặt hạ và xác định khối lượng thể tích WD, kết hợp với bảng phân nhóm khối lượng thể tích gỗ theo TCVN 8048-2:2009; luận án đã tạo lập được bộ số liệu AGB theo nhóm WD trong Phụ lục 13:

Nhóm III: 26 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H)$ và 25 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H, CA)$

Nhóm IV: 43 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H)$ và 39 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H, CA)$

Nhóm V: 34 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H)$ và 29 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H, CA)$.

Nhóm VI: 106 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H)$ và 71 bộ số liệu về $AGB = f(DBH, H, CA)$.

Nhóm I và II số lượng mẫu ít nên không đưa vào xây dựng mô hình cho 2 nhóm này.

Với cơ sở dữ liệu này, nghiên cứu đã xây dựng được 12 mô hình sinh trắc tối ưu theo nhóm WD với các biến số DBH, H và CA trong Bảng 3.14

Bảng 3.14: Mô hình sinh trắc ước tính AGB theo nhóm khối lượng thể tích gỗ (WD)

Nhóm WD	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
Nhóm III	AGB = f(DBH)	$AGB = (-16.0693 + 7.28548 * \sqrt{DBH})^2$	96.2	0.00	26	0.00	3.11	129.2	24.6%	3-65
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(AGB) = -2.51129 + 2.13667 * \ln(DBH) + 0.574081 * \ln(H)$	96.6	0.00	26	0.00	1.03	-41.0	18.2%	3-66
	AGB = f(DBH, H, CA)	$\ln(AGB) = -1.97105 + 2.02715 * \ln(DBH) + 0.517443 * \ln(H) - 0.708011 * 1/(CA)$	97.3	0.00	25	0.00	1.02	-45.1	15.8%	3-67
Nhóm IV	AGB = f(DBH)	$AGB = \exp(-2.10169 + 2.4694 * \ln(DBH))$	95.7	0.00	43	0.00	1.06	38.0	26.6%	3-68
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(AGB) = -2.68903 + 2.1275 * \ln(DBH) + 0.590265 * \ln(H)$	96.3	0.00	43	0.00	1.05	6.0	23.9%	3-69
	AGB = f(DBH, H, CA)	$\ln(AGB) = -2.32236 + 1.88684 * \ln(DBH) + 0.36758 * \ln(H) + 0.31698 * \ln(CA)$	97.4	0.00	39	0.00	1.03	-46.4	18.3%	3-70
Nhóm V	AGB = f(DBH)	$\ln(AGB) = -1.89458 + 2.4112 * \ln(DBH)$	85.0	0.00	34	0.00	1.19	-32.5	31.8%	3-71
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(AGB) = -3.04058 + 1.87207 * \ln(DBH) + 1.03413 * \ln(H)$	88.8	0.00	34	0.00	1.14	157.9	28.4%	3-72

Nhóm WD	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
	AGB = f(DBH, H, CA)	$\ln(\text{AGB}) = -2.42884 + 1.62305 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.500651 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{CA})$	86.6	0.00	29	0.00	1.16	128.5	28.9%	3-73
Nhóm VI	AGB = f(DBH)	$\text{AGB} = \exp(-2.60266 + 2.55201 \cdot \ln(\text{DBH}))$	96.6	0.00	106	0.00	1.06	713.2	26.2%	3-74
	AGB = f(DBH, H)	$\ln(\text{AGB}) = -3.36037 + 2.09751 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.782795 \cdot \ln(\text{H})$	97.3	0.00	106	0.00	1.04	465.3	23.4%	3-75
	AGB = f(DBH, H, CA)	$\ln(\text{AGB}) = -3.14075 + 1.87563 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.812477 \cdot \ln(\text{H}) + 0.0942686 \cdot \ln(\text{CA})$	96.6	0.00	71	0.00	1.04	119.8	21.8%	3-76

Về quy luật chung, biến động S% của các nhóm WD giảm khi gia tăng biến số của mô hình. Hệ số xác định R² các mô hình trong khoảng 85% - 97.4% cho thấy biến AGB theo nhóm WD có quan hệ chặt đến rất chặt với các biến số DBH, H và CA.

Biến động S% ở 12 mô hình dao động từ 15.8% - 31.8%, trong khi đó biến động S% của các mô hình không chia nhóm WD từ 20.5% - 32.1% như vậy nếu xây dựng mô hình sinh khối theo nhóm WD sẽ giảm biến động S% từ 0.3% - 4.7%. Mặc dù mức độ giảm không lớn, tuy nhiên có ý nghĩa lớn trong thực tiễn điều tra xác định sinh khối cây rừng vì các nhân tố DBH, H, CA là khá dễ thu thập, kết hợp bảng phân nhóm WD theo TCVN 8048-2:2009 sẽ có kết quả ước tính AGB cây rừng với độ chính xác khá cao.

3.2.8 Mô hình sinh trắc tối ưu ước tính sinh khối theo từng nhóm phân loại

Kết quả các phần trên đã thiết lập các mô hình ước tính AGB chung các loài, cho từng bộ phận của cây rừng, theo họ thực vật và theo các nhóm khối lượng thể tích gỗ (WD) theo số biến số khác nhau. Chọn lựa các mô hình tốt nhất cho từng nhóm trình bày ở Bảng 3.15.

Bảng 3.15: Mô hình AGB tối ưu theo từng nhóm phân loại

Nhóm	Đối tượng	Hàm	R ² adj (%)	S%
Chung	AGB	$\ln(\text{AGB}) = -2.297 + 1.84743 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.752312 \cdot \ln(\text{H}) + 0.13942 \cdot \ln(\text{CA}) + 0.75618 \cdot \ln(\text{WD})$	96.0	20.5%

Nhóm	Đối tượng	Hàm	R ² adj (%)	S%
	BGB	$\ln(\text{BGB}) = -4.13057 + 0.775587 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2) + 0.164827 \cdot \ln(\text{CA} \cdot \text{DBH}^2) + 1.13005 \cdot \ln(\text{WD})$	86.4	32.9%
Bộ phận cây	Thân	$\ln(\text{Bst}) = -3.21654 + 0.975083 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2) + 0.650427 \cdot \ln(\text{WD})$	96.0	22.7%
	Cành	$\ln(\text{Bbr}) = -4.54883 + 2.11459 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.302359 \cdot \ln(\text{CA} \cdot \text{H})$	85.9	60.8%
	Lá	$\ln(\text{Bl}) = -4.19366 + 0.688019 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2)$	67.2	112.0%
	Vỏ	$\ln(\text{Bba}) = -5.57527 + 1.89832 \cdot \ln(\text{DBH}) + 1.02056 \cdot \ln(\text{H}) + 0.334777 \cdot \ln(\text{WD})$	91.5	38.3%
Họ thực vật	Myrtaceae	$\ln(\text{AGB}) = -2.52252 + 0.904352 \cdot \ln(\text{H} \cdot \text{DBH}^2)$	96.2	24.30%
	Fagaceae	$\ln(\text{AGB}) = -3.03004 + 2.12265 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.774002 \cdot \ln(\text{H})$	96.1	26.90%
	Lauraceae	$\ln(\text{AGB}) = -3.07422 + 2.16898 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.641144 \cdot \ln(\text{H})$	96.9	21.70%
Nhóm WD	III	$\ln(\text{AGB}) = -1.97105 + 2.02715 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.517443 \cdot \ln(\text{H}) - 0.708011 \cdot 1/(\text{CA})$	97.3	15.8%
	IV	$\ln(\text{AGB}) = -2.32236 + 1.88684 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.36758 \cdot \ln(\text{H}) + 0.31698 \cdot \ln(\text{CA})$	97.4	18.3%
	V	$\ln(\text{AGB}) = -3.04058 + 1.87207 \cdot \ln(\text{DBH}) + 1.03413 \cdot \ln(\text{H})$	88.8	28.4%
	VI	$\ln(\text{AGB}) = -3.14075 + 1.87563 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.812477 \cdot \ln(\text{H}) + 0.0942686 \cdot \ln(\text{CA})$	96.6	21.8%

Kết quả tổng hợp này cho thấy:

- Sử dụng mô hình sinh trắc lập cho từng nhóm WD sẽ cho độ tin cậy cao nhất ở một số nhóm, S% theo nhóm WD đa số thấp hơn so hơn mô hình chung loài.
- Mô hình theo họ thực vật với hai biến số DBH và H so với với mô hình chung cùng 2 biến số này thì tốt hơn; tuy nhiên nếu so với mô hình chung tối ưu thì biến động lớn hơn. Do vậy tiếp cận theo họ thực vật chỉ đạt độ tin cậy cao hơn mô hình chung khi chỉ sử dụng 2 biến DBH và H, nếu gia tăng thêm biến số WD và CA vào mô hình thì chúng không đạt độ tin cậy cao

hơn nữa. Do vậy tiếp cận xây dựng mô hình theo chi thực vật là hướng cần tiếp tục nghiên cứu.

- Mô hình ước tính sinh khối theo từng bộ phận sau đó tổng hợp lại cho cho toàn cây có biến động S% lớn hơn mô hình chung các bộ phận; trong khi đó sử dụng lại phức tạp hơn. Do đó nên sử dụng mô hình chung cho các bộ phận.

3.2.9 Mô hình chuyển đổi giữa sinh khối, carbon trên và dưới mặt đất và với nhân tố điều tra cây rừng

Trên cơ sở dữ liệu cây chặt hạ đo tính sinh khối và phân tích carbon, tiến hành lập các nhóm mô hình ước tính gián tiếp, chuyển đổi. Kết quả xây dựng mô hình ước tính gián tiếp sinh khối, carbon từ nhóm sinh khối, carbon để đo đếm trình bày trong Bảng 3.16.

Bảng 3.16: Mô hình ước tính sinh khối, carbon gián tiếp

Dạng hàm	Hàm	R2 adj (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%	Mã hàm
C(AGB)= f(AGB)	$C_AGB = \exp(-0.848766 + 1.00901 \cdot \ln(AGB))$	99.3	0.00	150	0.00	1.01	-284.6	13.1%	3-77
BGB= f(AGB)	$BGB = \exp(-1.68942 + 0.967202 \cdot \ln(AGB))$	89.6	0.00	87	0.00	1.10	977.0	33.7%	3-78
C(BGB)= f(BGB)	$C_BGB = \exp(-0.840641 + 1.00939 \cdot \ln(BGB))$	98.6	0.00	61	0.00	1.02	-101.1	15.0%	3-79
C(BGB)= f(CAGB)	$C_BGB = \exp(-2.08179 + 0.987377 \cdot \ln(C_AGB))$	92.9	0.00	39	0.00	1.11	168.6	38.3%	3-80

Bảng 3.16 cho thấy mô hình 3-77 có biến động khá thấp (13.1%) có thể sử dụng để ước tính carbon trên mặt đất cây rừng từ sinh khối. Sinh khối rễ cây BGB cũng có thể tính toán thông qua mô hình 3-78 thông qua sinh khối trên mặt đất AGB với mức biến động S% là 33.7%; mô hình có thể sử dụng thay cho hệ số chuyển đổi BGB = 20%AGB của IPCC. Sử dụng mô hình 3-79 ước tính carbon dưới mặt đất thông qua sinh khối rễ thay cho hệ số CF chuyển đổi của IPCC vì biến động của mô hình S%=15%. Ngoài ra cũng có thể ước tính C(BGB) thông qua C(AGB) ở mô hình 3-80 tuy nhiên mức biến động của mô hình khá lớn (38.3%).

Kết quả mô hình quan hệ giữa các nhân tố điều tra rừng cũng đã được xây dựng phục vụ tính toán các chỉ tiêu lâm phần trong luận án, cũng như trong thực tiễn điều tra rừng được trình bày trong Bảng 3.17.

Bảng 3.17 Mô hình quan hệ các nhân tố điều tra rừng

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
V = f(DBH, H)	$\ln(V_{m3}) = -9.68438 + 0.966776 \cdot \ln(H \cdot DBH^2)$	97.7	0.00	224	0.00	1.03	1765.7	13.8%	3-81
H = f(DBH)	$H = (0.825232 + 1.04505 \cdot \ln(DBH))^2$	75.0	0.00	243	0.00		415.2	25.3%	3-82

3.2.10 Các hệ số chuyển đổi từ sinh khối thân gỗ (Bst) sang AGB (BEF), từ thể tích (V) sang AGB (BCEF), từ sinh khối sang carbon (CF)

Trong điều tra đo tính sinh khối, carbon tùy theo yêu cầu độ chính xác, kinh phí thực hiện và yêu cầu kỹ thuật có thể sử dụng nhiều phương cách khác nhau để đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu đặt ra. Quản lý lâm nghiệp truyền thống dựa trên thể tích, và trữ lượng do đó việc xác định các hệ số chuyển đổi giúp điều tra xác định sinh khối, carbon đơn giản nhanh chóng mà vẫn đảm bảo yêu cầu thực tiễn. Từ cơ sở dữ liệu 224 cây chặt hạ, luận án tiến hành xác định các hệ số chuyển đổi BEF (Biomass Expansion Factor), BCEF (Biomass Conversion and Expansion Factor) và hệ số CF (Conversion Factor) dựa trên công thức tính toán:

Hệ số chuyển đổi từ sinh khối thân gỗ (Bst) sang sinh khối cây trên mặt đất AGB)

$$BEF = \frac{AGB}{B_{st}} \text{ suy ra } AGB = BEF \cdot B_{st} \quad 3-83$$

Hệ số chuyển đổi từ thể tích sang AGB cây rừng:

$$BCEF (kg/m^3) = \frac{AGB}{V} \text{ suy ra } AGB (kg) = BCEF \cdot V (m^3) \quad 3-84$$

Hệ số chuyển đổi carbon từ sinh khối:

$$CF = \frac{C(AGB)}{AGB} \text{ suy ra } C(AGB) = CF \cdot AGB \quad 3-85$$

Bảng 3.18: Mô tả các chỉ tiêu thống kê các hệ số CF, BCEF và BEF

Chỉ tiêu thống kê	CF	BCEF	BEF
Trung bình Mean	0.45	0.68	1.56
Sai số của số trung bình Standard Error	0.01	0.01	0.02
Sai tiêu chuẩn mẫu Standard Deviation	0.07	0.21	0.35
Phương sai Sample Variance	0.00	0.04	0.12

<i>Chỉ tiêu thống kê</i>	<i>CF</i>	<i>BCEF</i>	<i>BEF</i>
Độ nhọn Kurtosis	-1.31	-0.08	33.58
Độ lệch Skewness	0.51	0.30	4.22
Phạm vi biến động Range	0.25	1.15	3.73
Giá trị nhỏ nhất Minimum	0.33	0.19	1.10
Giá trị lớn nhất Maximum	0.58	1.34	4.83
Dung lượng mẫu Count	149	224	224
Sai số ước lượng Confidence Level(95.0%)	0.01	0.03	0.05

Bảng 3.18 chỉ ra giá trị trung bình của CF là 0.45, theo IPCC thì hệ số này là 0.47.

Hệ số BCEF trung bình là 0.68 theo IPCC hệ số này được chia theo cấp trữ lượng khác nhau và bình quân là 0.9. Hệ số BEF trung bình là 1.56.

3.2.11 Biến động của các mô hình sinh khối thiết lập cho rừng nhiệt đới ẩm trên thế giới với mô hình và dữ liệu của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên và nam Trung Bộ

3.2.11.1 Biến động các mô hình sinh khối rừng ẩm nhiệt đới trên thế giới với dữ liệu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

Để phục vụ cho ước tính sinh khối trên mặt đất rừng, có hai tác giả đã thiết lập mô hình cho rừng nhiệt đới ẩm toàn cầu, đó là Brown (1997) [34] và Chave (2005) [39]. Trong đó Brown lập mô hình ước tính AGB theo một biến số DBH, còn Chave sử dụng từ 2 – 3 biến là DBH, H và WD. Tuy nhiên số liệu lập các mô hình này không được thu thập ở Việt Nam, đồng thời chưa đánh giá độ tin cậy.

Do đó luận án sử dụng số liệu quan sát ở rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên để đánh giá biến động S% của các mô hình của hai tác giả nói trên và so sánh với biến động của mô hình mà luận án này đã lập được. Kết quả thể hiện trong Bảng 3.19.

Bảng 3.19: Biến động S% của các mô hình cho rừng nhiệt đới ẩm trên thế giới so với số liệu quan sát ở rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

Loại hàm. biến số	Hàm sinh khối AGB	S%	Nguồn
AGB = (DBH)	$AGB = \exp(-2.25438 + 2.49193 \cdot \ln(DBH))$	32.06%	Tác giả
AGB = f(DBH)	$AGB_{tree} = \exp(-2.134 + 2.530 \cdot \ln(DBH))$	45.02%	Brown, 1997
AGB = f(DBH, WD)	$\ln(AGB) = -1.87593 + 2.50753 \cdot \ln(DBH) + 0.57023 \cdot \ln(WD)$	25.86%	Tác giả

Loại hàm. biến số	Hàm sinh khối AGB	S%	Nguồn
AGB = f(DBH, WD)	$AGB_{tree} = WD \cdot \exp(-1.499 + 2.148 \cdot \ln(DBH) + 0.207 \cdot (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \cdot (\ln(DBH))^3)$	30.52%	Chave, 2005
AGB = f(DBH, H, WD)	$\ln(AGB) = -2.69982 + 2.03456 \cdot \ln(DBH) + 0.82614 \cdot \ln(H) + 0.570192 \cdot \ln(WD)$	22.70%	Tác giả
AGB = f(DBH, H, WD)	$AGB_{tree} = \exp(-2.977 + \ln(WD \cdot DBH^2 \cdot H))$	27.23%	Chave, 2005
AGB = f(DBH, H, WD, CA)	$\ln(AGB) = -2.297 + 1.84743 \cdot \ln(DBH) + 0.752312 \cdot \ln(H) + 0.13942 \cdot \ln(CA) + 0.75618 \cdot \ln(WD)$	20.50%	Tác giả

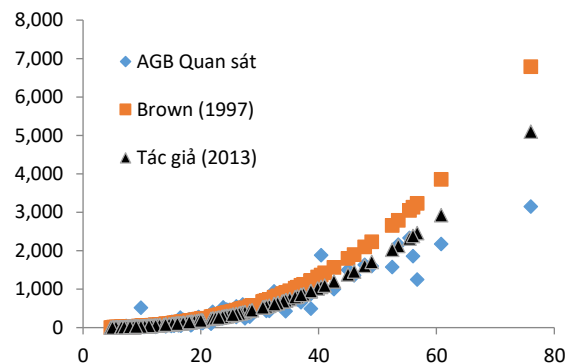
Qua Bảng 3.19 cho thấy với hàm một biến ABH của Brown (1997) cho biến động rất lớn là $S\% = 45.02\%$, trong khi đó dạng hàm nghiên cứu trong luận án này cũng với một biến DBH có $S\% = 32.06\%$. Có nghĩa nếu sử dụng hàm luận án này xây dựng được sẽ giảm biến động 13% so với sử dụng hàm chung cho rừng nhiệt đới của Brown (1997). Sự sai khác này cũng được thể hiện trong Hình 3.12, AGB theo mô hình Brown có xu hướng cao hơn giá trị quan sát ở các cấp kính từ 40 cm trở lên, trong khi đó mô hình của tác giả đi qua giữa đám mây điểm quan sát.

So sánh với dạng hàm 2 và 3 biến số DBH, WD, H của Chave (2005) cho thấy có $S\%$ lớn hơn 5% so với hàm tác giả đã xây dựng với số biến số tương đồng. Như vậy, nếu sử dụng hàm của Chave (2005) áp dụng cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên với 2-3 biến số sẽ tăng biến động 5%. Ngoài ra, nếu sử dụng hàm 4 biến

số gồm DBH, H, WD và CA mà tác giả đã xây dựng thay vì sử dụng hàm của Brown (1997) hoặc Chave (2005) sẽ giảm được chênh lệch biến động từ 7% đến 25%.

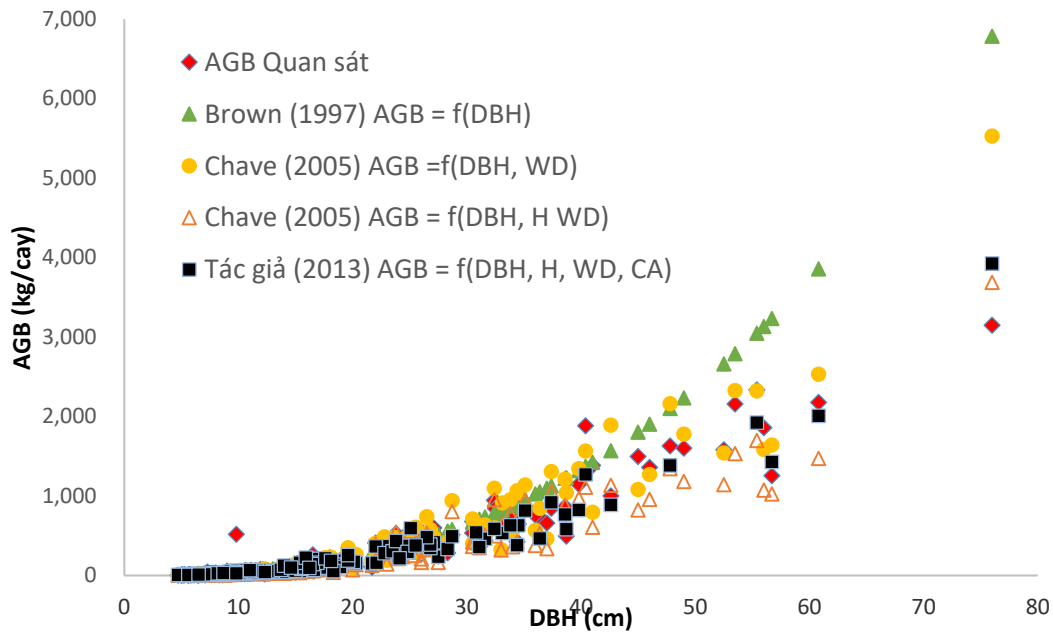
Tổng hợp kết quả so sánh hàm của Chave và Brown và mô hình tối ưu của tác giả so với giá trị quan sát thực tế ở Tây Nguyên ở Hình 3.13.

Qua Hình 3.13 cho thấy, đồ thị các mô hình của Chave và Brown có xu hướng nằm phía trên hoặc phía dưới so với số liệu quan sát. Mô hình tác giả xây dựng được



Hình 3.12: So sánh mô hình AGB một biến số DBH của Brown và mô hình của tác giả với dữ liệu quan sát

nằm giữa số liệu thực nghiệm. Như vậy để ước tính sinh khối cho kiểu rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên sử dụng các mô hình chung cho rừng ẩm nhiệt đới của Chave và Brown sẽ gây biến động cao. Hay nói khác để tăng độ chính xác của ước tính sinh khối và carbon rừng, cần tiếp cận lập mô hình theo vùng sinh thái, kiểu rừng cụ thể.



Hình 3.13: So sánh tổng hợp các dạng hàm của Chave và Brown

3.2.11.2 Sự thích ứng của các mô hình sinh khối của kiểu rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên với vùng Nam Trung bộ

Trong thực tế cần trả lời câu hỏi là cần lập các mô hình sinh trắc cho từng kiểu rừng ở từng vùng sinh thái hay chỉ cần lập mô hình chung từng kiểu rừng ở các vùng sinh thái khác nhau. Trên cơ sở đó mới có chiến lược thiết lập đầy đủ các mô hình cho các vùng sinh thái, kiểu rừng bảo đảm độ tin cậy và giảm chi phí chặt hạ cây, thiết lập các mô hình.

Để trả lời câu hỏi này, tiến hành so sánh sự sai khác của mô hình AGB thiết lập trong đề tài này với dữ liệu, mô hình AGB của Bảo Huy và cộng sự (2012) [9] thiết lập cũng ở kiểu rừng lá rộng thường xanh, nhưng ở vùng sinh thái khác đó là khu vực miền núi miền duyên hải nam trung bộ (tỉnh Quảng Nam).

Tác giả tiến hành ở Tây Nguyên cũng như Bảo Huy và cộng sự (2012) làm ở Quảng Nam đều cho kết quả mô hình AGB tối ưu theo 4 biến số DBH, H, WD và

CA; vì vậy sử dụng các mô hình đồng nhất 4 biến số để so sánh với nhau. Các mô hình thể hiện ở Bảng 3.20.

Bảng 3.20: Mô hình AGB theo 4 nhân tố ở Tây Nguyên và Duyên hải nam trung bộ

Vùng sinh thái	Mô hình	R ² adj. (%)	P	n	Pi	CF	AIC	S%
Tây Nguyên (Tác giả, 2013)	$\ln(\text{AGB}) = -2.297 + 1.84743 \cdot \ln(\text{DBH}) + 0.752312 \cdot \ln(\text{H}) + 0.13942 \cdot \ln(\text{CA}) + 0.75618 \cdot \ln(\text{WD})$	95.9	0.00	177	0.00	1.049	1982.1	20.5
Duyên hải nam trung bộ (Bảo Huy và cộng sự (2012))	$\ln(\text{AGB}) = -2.23222 + 0.744261 \cdot \ln(\text{DBH}^2 \cdot \text{H}) + 1.13674 \cdot \ln(\text{WD}) + 0.17046 \cdot \ln(\text{DBH}^2 \cdot \text{CA})$	98.7	0.00	90	0.00	1.026	1.408	17.2

Tiến hành so sánh như sau:

- So sánh sự thích ứng của mô hình AGB vùng Tây Nguyên với dữ liệu và mô hình vùng duyên hải nam Trung bộ: Tính S% khi đưa mô hình AGB vùng Tây Nguyên của đề tài này so với 90 dữ liệu cây mẫu ở Quảng Nam và so sánh với S% của mô hình AGB vùng này. Kiểm tra sự sai khác của ước tính AGB của hai qua mô hình từ số liệu của vùng Quảng Nam bằng tiêu chuẩn t bất cặp theo một chiều. Sử dụng t bất cặp vì hai giá trị AGB ước tính được bất cặp với từng cây mẫu, và theo một chiều để đánh giá sự sai khác đồng nhất (tăng hay giảm).
- So sánh sự thích ứng của mô hình AGB vùng duyên hải nam Trung bộ với dữ liệu và mô hình vùng Tây Nguyên: Tính S% khi đưa mô hình AGB vùng nam Trung bộ so với 177 dữ liệu cây mẫu ở Tây Nguyên và so sánh với S% của mô hình AGB vùng Tây Nguyên. Tương tự sử dụng tiêu chuẩn t bất cặp theo một chiều để kiểm tra sai khác AGB ước tính từ hai mô hình trên cơ sở dữ liệu vùng Tây Nguyên.

Kết quả so sánh được thể hiện ở Bảng 3.21.

Bảng 3.21: So sánh sự thích ứng của các mô hình AGB trong cùng kiểu rừng lá rộng thường xanh ở hai vùng sinh thái khác nhau

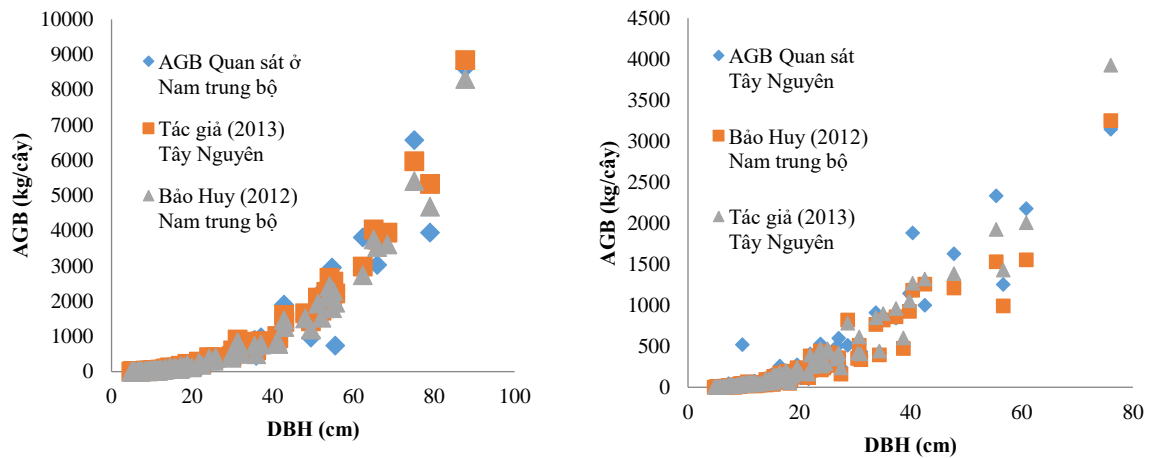
Dữ liệu cây mẫu đánh giá	Mô hình AGB = f(DBH, H, WD, CA)	S%	t	P(T<=t) một chiều
90 cây mẫu ở duyên hải nam Trung bộ	Của đề tài cho vùng Tây Nguyên (2013)	23.1	5.516	< 0.05
	Của Bảo Huy và cộng sự (2012) cho duyên hải nam Trung bộ	17.2		
117 cây mẫu ở Tây Nguyên	Của Bảo Huy và cộng sự (2012) cho duyên hải nam Trung bộ	22.9	4.532	< 0.05
	Của đề tài cho vùng Tây Nguyên (2013)	20.5		

Từ kết quả Bảng 3.21 và Hình 3.14 cho thấy:

- Sự thích ứng của mô hình AGB vùng Tây Nguyên với dữ liệu vùng duyên hải nam Trung bộ trong cùng kiểu rừng lá rộng thường xanh: Kết quả tính S% của mô hình AGB của đề tài với 90 dữ liệu cây mẫu vùng nam Trung bộ là 23.1%, trong khi đó mô hình AGB vùng này có S% = 17.2%; có nghĩa là khi đem mô hình vùng Tây Nguyên ứng dụng cho vùng nam Trung bộ thì sẽ cho biến động S% lớn hơn 4.9%. Đồng thời kết quả so sánh bằng tiêu t bất cặp, một chiều với P < 0.05 cho thấy AGB ước tính từ mô hình chính vùng sinh thái của nó là nam Trung bộ và AGB đưa từ Tây Nguyên đến có sự sai khác rõ rệt ở mức tin cậy 95%.
- Sự thích ứng của mô hình AGB vùng duyên hải nam Trung bộ với dữ liệu vùng Tây Nguyên trong cùng kiểu rừng lá rộng thường xanh: Kết quả tính S% của mô hình AGB từ vùng nam Trung bộ với 177 dữ liệu cây mẫu vùng Tây Nguyên là 22.9%, trong khi đó mô hình AGB của đề tài vùng Tây Nguyên có S% = 20.5%; có nghĩa là khi đem mô hình vùng nam Trung bộ ứng dụng cho Tây Nguyên thì sẽ cho biến động S% lớn hơn 2.4%. Đồng thời kết quả so sánh bằng tiêu chuẩn t bất cặp, một chiều với P < 0.05 cho thấy AGB ước tính từ mô hình chính vùng sinh thái của nó là Tây Nguyên và AGB đưa từ nam Trung bộ đến có sự sai khác rõ rệt ở mức tin cậy 95%.

Với kết quả đánh giá này cho thấy vùng sinh thái khác nhau cũng ảnh hưởng rõ rệt đến tích lũy sinh khối và carbon cây rừng cho dù được xếp cùng một kiểu rừng trong hệ thống phân loại rừng của Việt Nam. Vì vậy cần có chiến lược xây dựng mô

hình sinh trắc cho từng vùng sinh thái theo từng kiểu rừng ở Việt Nam khi tham gia REED+ để bảo đảm độ tin cậy của ước tính carbon rừng.



So sánh với dữ liệu vùng Nam trung bộ

So sánh với dữ liệu vùng Tây Nguyên

Hình 3.14: So sánh chéo sự thích ứng hai mô hình AGB cho rừng lá rộng thường xanh ở hai vùng sinh thái Tây Nguyên và Nam Trung bộ

3.3 SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN

3.3.1 Sinh khối và carbon tích lũy trong các bể chứa thảm mục, thảm tươi, gỗ chết và trong đất

3.3.1.1 Hàm lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC)

Đất là một bể chứa carbon trong hệ sinh thái rừng, bao gồm carbon hữu cơ (SOC – Soil Organic Carbon) và carbon vô cơ.

Theo IPCC (2003 – 2006) [69,70] carbon hữu cơ trong đất thường chỉ được tính carbon hữu cơ tồn tại trong những vật chất hữu cơ có kích thước <2mm. Tầng dày đất để xác định sự biến đổi SOC là 30 đến 50cm, nhưng cũng tùy theo quốc gia lựa chọn cách xác định.

Nghiên cứu này tập trung phân tích biến đổi carbon hữu cơ trong đất và thực tế cho thấy đối với rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên chất hữu cơ trao đổi trong đất ở tầng sâu đến 50cm, vì vậy với độ sâu 30 cm chưa xác định hết lượng carbon hữu cơ trong đất. Từ đó luận án này nghiên cứu SOC của rừng lá rộng thường xanh đến độ sâu tầng đất 50cm. Dữ liệu trong Phụ lục 14

Sử dụng 20 mẫu đất với 80 mẫu đất ở 4 tầng/phẫu diện của 20 ô tiêu chuẩn, phân tích dung trọng đất, %C trong đất; cho thấy trung bình %C trong đất dưới rừng

lá rộng thường xanh là 1.983%. Bảng 3.22 tính được lượng carbon trong đất (SOC) trung bình = 100.56 tấn C/ha. Với sai số ước lượng là 95% thì sai số biến động là ± 16.6 tấn C/ha; tức SOC (tấn/ha) = 100.6 ± 16.6 tấn C/ha. Phạm vi biến động của SOC từ 45.8 – 189.7 tấn C/ha.

Bảng 3.22: Biến động về hàm lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC) ở rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên

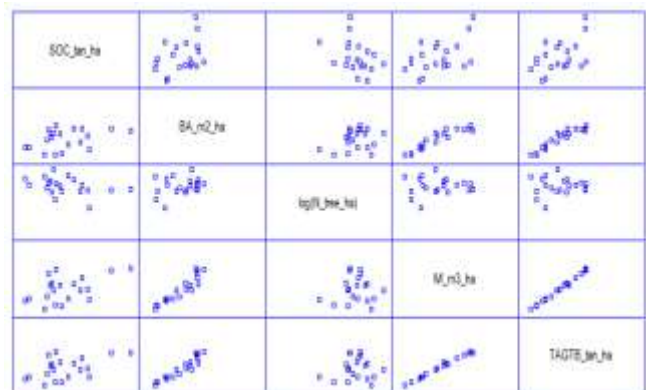
<i>SOC tấn/ha</i>	
Trung bình Mean	100.56
Sai số của số trung bình Standard Error	7.927452
Sai tiêu chuẩn mẫu Standard Deviation	35.45264
Phương sai Sample Variance	1256.89
Độ nhọn Kurtosis	0.941328
Độ lệch Skewness	0.89893
Phạm vi biến động Range	143.9
Giá trị nhỏ nhất Minimum	45.8
Giá trị lớn nhất Maximum	189.7
Tổng Sum	2011.2
Dung lượng mẫu Count	20
Sai số ước lượng Confidence Level(95.0%)	16.59235

Hàm lượng carbon hữu cơ trong đất bị chi phối bởi nhiều yếu tố, tuy nhiên đối với các thảm thực vật rừng tương đối ổn định thì hàm lượng này là khá ổn định (IPCC 2006) [70]). Luận án cũng đã tiến hành nghiên cứu mối quan hệ giữa SOC ở các nhân tố lâm phần khác nhau như N, BA, M và TAGTB. Kết quả ở Bảng 3.23 và Hình 3.15 cho thấy SOC có quan hệ với hai nhân tố M và TAGTB ở mức $P < 0.05$. Có nghĩa là

Bảng 3.23: Quan hệ giữa SOC với các nhân tố điều tra lâm phần

Correlations					
	SOC_tan_ha	BA_m2_ha	log(N_tree_ha)	M_m3_ha	TAGTB_tan_ha
SOC_tan_ha		0.3752 (20)	-0.3745 (20)	0.4979 (20)	0.4899 (20)
BA_m2_ha	0.3752 (20)		0.1037 (20)	0.0255 (20)	0.0283 (20)
log(N_tree_ha)	-0.3745 (20)	0.2692 (20)		0.0617 (20)	0.0601 (20)
M_m3_ha	0.4979 (20)	0.9288 (20)	0.0617 (20)		0.9963 (20)
TAGTB_tan_ha	0.4899 (20)	0.9437 (20)	0.0601 (20)	0.9963 (20)	
	0.0283 (20)	0.0000 (20)	0.0012 (20)	0.0000 (20)	

Correlation (Sample Size)



Hình 3.15: Đám mây điểm quan hệ giữa SOC với các nhân tố BA, N, M và TAGTB

khi thay đổi tổng trữ lượng hoặc sinh khối trên mặt đất của lâm phần thì SOC thay đổi.

Lựa chọn lập mô hình SOC = f(TAGTB) để làm cơ sở xác định hàm lượng carbon trong đất theo sinh khối ở phần trên mặt đất, kết quả ở Bảng 3.24. Mô hình quan hệ này đạt P = 0.01, tuy nhiên hệ số quan hệ không cao, chứng tỏ SOC quan hệ không cao với các yếu tố sinh khối lâm phần và đôi khi khá ổn định ở các trạng thái rừng khác nhau.

Bảng 3.24: Mô hình quan hệ SOC với sinh khối trên mặt đất (TAGTB)

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	AIC	S%	Mã hàm
SOC = f(TAGTB)	$SOC = \sqrt{6181.72 + 0.104573 * TAGTB^2}$	24.3	0.01	1017.74	29.1%	3-86

3.3.1.2 Sinh khối (Bhg) và carbon (Chg) trong thảm tươi

IPCC (2003) [69] cho bề thảm tươi vào nhóm thực vật trên mặt đất. Tuy nhiên do đặc thù thảm tươi khác với thực vật thân gỗ cho nên việc ước tính như IPCC sẽ gây sai số lớn. Do đó luận án thử nghiệm tách riêng thảm tươi để ước tính sinh khối và carbon trên lâm phần.

Thảm tươi được xác định là cây bụi, thân thảo, dây leo dưới tán rừng. Trên cơ sở thu thập số liệu sinh khối tươi trên 20 ô tiêu chuẩn điển hình, phân tích sinh khối khô và carbon, quy đổi ra sinh khối khô và carbon trên ha cho từng ô tiêu chuẩn.

Từ số liệu xử lý trung gian về sinh khối và carbon trong thảm tươi (Phụ lục 15), tiến hành mô tả các chỉ tiêu thống kê ở Bảng 3.25.

Bảng 3.25: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm tươi

Chỉ tiêu thống kê	Bhg	Chg
Trung bình Mean	0.62	0.23
Sai số của số trung bình Standard Error	0.19	0.07
Trung vị Median	0.32	0.11
Sai tiêu chuẩn mẫu Standard Deviation	0.83	0.30
Phương sai Sample Variance	0.70	0.09
Độ nhọn Kurtosis	3.09	2.84
Độ lệch Skewness	1.98	1.91
Phạm vi biến động Range	2.97	1.06
Giá trị nhỏ nhất Minimum	0.00	0.00
Giá trị lớn nhất Maximum	2.97	1.06

Chỉ tiêu thống kê	Bhg	Chg
Tổng Sum	12.35	4.59
Dung lượng mẫu Count	20.00	20.00
Sai số ước lượng Confidence Level(95.0%)	0.39	0.14

Trong đó: Sinh khối khô thảm tươi ký hiệu: Bhg (tấn/ha), carbon trong thảm tươi ký hiệu Chg (tấn/ha)

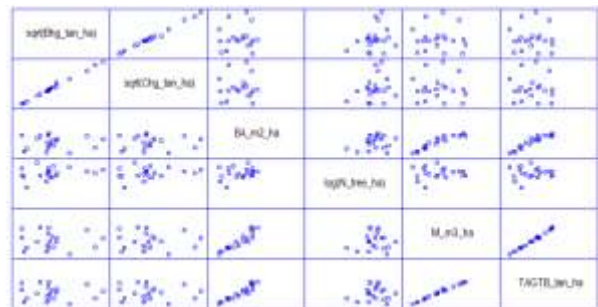
Bảng 3.25 cho thấy biến động sinh khối trong thảm tươi là 3 tấn/ha và carbon là 1.1 tấn/ha. Trung bình có 0.62 tấn sinh khối/ha và 0.23 tấn C trong thảm tươi/ha. Qua số liệu thu thập ở 20 ô tiêu chuẩn về sinh khối và carbon của thảm tươi, tính tỷ lệ bình quân carbon/sinh khối là 0.38, hệ số này theo IPCC (2006) là 0.47 (tính như cây thân gỗ). Với đặc điểm thảm tươi bao gồm nhưng cây bụi, cây thân thảo có hàm lượng nước trong thân cao, do đó có thể sử dụng hệ số tính toán được để xác định carbon cho thảm tươi.

Nghiên cứu quan hệ giữa Bhg và Chg với các nhân tố lâm phần như N, M, BA, TAGTB cho thấy không có quan hệ rõ rệt với $P > 0.05$ ở Bảng 3.26 và Hình 3.16.

Với kết quả này cho thấy sinh khối và carbon của thảm tươi biến động “ngẫu

Bảng 3.26: Quan hệ giữa Bhg, Chg với các nhân tố lâm phần N, BA, M và TAGTB

Correlation	log(Bhg, tấn/ha)	log(Chg, tấn/ha)	BA, m ² /ha	log(M, m ² /ha)	M, m ² /ha	TAGTB, m ² /ha
log(Bhg, tấn/ha)	10.9997	2.3298	0.2713	0.0284	0.0111	
log(Chg, tấn/ha)	0.9997	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
BA, m ² /ha	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	
log(M, m ² /ha)	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
M, m ² /ha	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
TAGTB, m ² /ha	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000



Hình 3.16: Đám mây điểm quan hệ giữa Bhg, Chg với N, BA, M và TAGTB

nhiên” ở các lâm phần khác nhau. Vì vậy có thể sử dụng giá trị bình quân. Trong trường hợp cần giám sát chính xác bề này, thu thập sinh khối tươi trong ô tiêu chuẩn và phân tích xác định tỷ lệ sinh khối khô/tươi, %C để xác định.

3.3.1.3 Sinh khối (Bli) và carbon(Cli) trong thảm mục cho lâm phần

Thảm mục (litter) được xác định theo IPCC (2006) là bao gồm tất cả sinh khối không sống với kích thước lớn hơn sinh khối trong đất hữu cơ (2mm) và nhỏ hơn đường kính xác định gỗ chết (10cm), nằm trên bề mặt đất rừng.

Trên cơ sở đo tính sinh khối trên ô mẫu, phân tích sinh khối khô và carbon, quy đổi ra sinh khối khô và carbon trên ha cho từng ô tiêu chuẩn.

Sinh khối khô thảm mục Bli (tấn/ha), carbon trong sinh khối thảm mục Cli (tấn/ha) được tính toán trung bình và biến động ở Bảng 3.27.

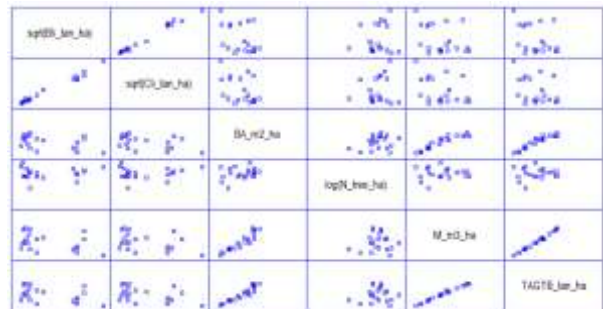
Bảng 3.27: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm mục

Chỉ tiêu thống kê	Bli	Cli
Trung bình Mean	4.31	1.42
Sai số của số trung bình Standard Error	1.09	0.36
Sai tiêu chuẩn mẫu Standard Deviation	4.86	1.59
Phương sai Sample Variance	23.64	2.54
Độ nhọn Kurtosis	0.25	1.80
Độ lệch Skewness	1.13	1.45
Phạm vi biến động Range	16.15	5.76
Giá trị nhỏ nhất Minimum	0.45	0.16
Giá trị lớn nhất Maximum	16.61	5.92
Tổng Sum	86.29	28.32
Dung lượng mẫu Count	20.00	20.00
Sai số ước lượng Confidence Level(95.0%)	2.28	0.75

Trong đó: Sinh khối khô thảm mục ký hiệu: Bli (tấn/ha), carbon trong thảm mục ký hiệu Cli (tấn/ha)

Bảng 3.28: Quan hệ giữa Bli, Cli với các nhân tố BA, N, M và TAGTB

Correlations	log(Bli_tan_ha)	log(Cli_tan_ha)	BA_m2_ha	log(N_m2_ha)	M_m2_ha	TAGTB_tan_ha
log(Bli_tan_ha)	0.8993	-0.4519	0.1548	0.2845	-0.4811	
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	
log(Cli_tan_ha)	0.9918	0.8080	0.0288	0.0348	0.0188	
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	
BA_m2_ha	-0.4519	-0.4406	0.0018	0.5854	0.4712	0.0194
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
log(N_m2_ha)	0.1548	0.0188	0.0211	0.8080	0.0000	
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	
M_m2_ha	-0.2845	-0.4058	0.0017	0.0000	0.9943	
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	
TAGTB_tan_ha	0.4811	0.4120	0.0417	0.0000	0.0000	0.8080
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
Correlations	0.7198	0.8758	0.0402	0.0000	0.0000	0.8080



Hình 3.17: Đám mây điểm quan hệ giữa Bli, Cli với BA, N, M và TAGTB

Biến động sinh khối và carbon trong thảm mục lớn hơn nhiều gấp 5 lần so với thảm tươi. Trung bình có 4.13 tấn sinh khối/ha và 1.42 tấn C trong thảm mục/ha. Quá trình hình thành thảm mục là do thực vật tại chỗ chết, cành nhánh rơi rụng cũng như lá cây, hoa quả. Xem xét mối quan hệ giữa Bli và Cli với các nhân tố lâm phần như BA, N, M và TAGTB cho thấy mối quan hệ không rõ, với $P > 0.05$ (Bảng 3.28 và Hình 3.17). Như vậy biến động của sinh khối và carbon trong thảm mục là khá “ngẫu nhiên” ở các trạng thái rừng khác nhau; vì vậy có thể sử dụng giá trị bình quân này để xác định cho lâm phần. Trong thực tế giám sát carbon đối với bể chứa này, cần đo tính sinh khối trên ô mẫu và dựa vào tỷ lệ khô/tươi, %C để ước tính.

Tỷ lệ carbon/sinh khối của thảm mục qua tính toán cho rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên là 0.35, còn theo IPCC tỷ lệ này được tính như thân gỗ là 0.47.

3.3.1.4 Sinh khối (*Bdw*) và carbon (*Cdw*) trong gỗ chết (*Dead Wood - DW*) cho lâm phần

Gỗ chết được xác định cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng, theo IPCC (2006) nó có đường kính > 10cm được đo tính trong ô mẫu phụ, trong phạm vi đề tài này chủ yếu thu thập gỗ chết nằm. Trên cơ sở phân tích sinh khối khô và carbon, quy đổi ra sinh khối khô và carbon trên ha cho từng ô tiêu chuẩn.

Sinh khối khô gỗ chết *Bdw* (tấn/ha), carbon trong sinh khối gỗ chết *Cdw* (tấn/ha) được tính toán trung bình và biến động trong Bảng 3.29.

Bảng 3.29: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong gỗ chết

<i>Chỉ tiêu thống kê</i>	<i>Bdw</i>	<i>Cdw</i>
Trung bình Mean	1.34	0.70
Sai số của số trung bình Standard Error	0.64	0.33
Sai tiêu chuẩn mẫu Standard Deviation	2.87	1.50
Phương sai Sample Variance	8.24	2.24
Độ nhọn Kurtosis	4.49	4.70
Độ lệch Skewness	2.33	2.36
Phạm vi biến động Range	10.09	5.30
Giá trị nhỏ nhất Minimum	0.00	0.00
Giá trị lớn nhất Maximum	10.09	5.30
Tổng Sum	26.79	13.93
Dung lượng mẫu Count	20.00	20.00
Sai số ước lượng Confidence Level(95.0%)	1.34	0.70

Trong đó: Sinh khối khô gỗ chết ký hiệu: Bdw (tấn/ha), carbon trong gỗ ký hiệu Cdw (tấn/ha)

Bảng 3.29 cho thấy sinh khối gỗ chết trung bình là 1.34 tấn/ha và 0.7 tấn carbon tương ứng. Gỗ chết là do thành thực sinh lý ngã đổ tự nhiên hoặc tác động bên ngoài như gió bão, chặt đốn ngã đổ. Vì vậy sinh khối và carbon của cây gỗ chết biến động khá “ngẫu nhiên” với sự thay đổi ở các lâm phần khác nhau ($P > 0.05$) ở Bảng 3.30 và Hình 3.18. Vì vậy có thể chấp nhận giá trị bình quân để tính cho lâm phần. Tỷ lệ carbon/sinh khối gỗ chết là 0.53 cao hơn so với bề thảm tươi và thảm mục do lượng

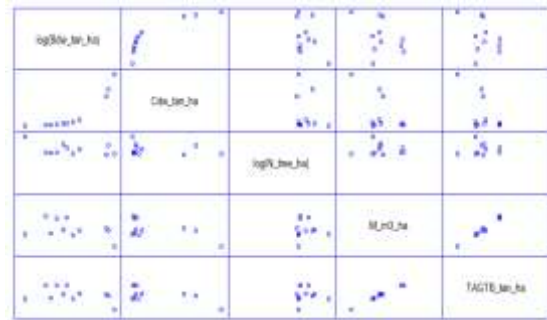
nước trong cây gỗ chết ít hơn thảm tươi và thảm mục, theo IPCC tỷ lệ này cũng như các bề thảm tươi, thảm mục là 0.47.

Trong thực tế, nếu cần tính chính xác sinh khối và carbon cho bề này phải thu thập số liệu để tính tỷ lệ sinh khối khô/tươi và %C để xác định.

Qua tính toán các tỷ lệ carbon/sinh khối của 3 bề chứa là thảm tươi, thảm mục và

Bảng 3.30: Quan hệ giữa Bdw, Cdw với các nhân tố lâm phần N, M và TAGTB

Correlations	logBdw_tan_ha	Cdw_tan_ha	logN_tan_ha	M_tan_ha	TAGTB_tan_ha
logBdw_tan_ha	0.8788	-0.2142	-0.3919	-0.1865	
	(11)	(11)	(11)	(11)	
Cdw_tan_ha	0.8788	0.0059	0.2344	0.2274	
	(11)	(11)	(11)	(11)	
logN_tan_ha	-0.4142	-0.2264	0.5072	0.6717	0.0918
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
M_tan_ha	-0.3919	-0.5624	-0.3441	0.8979	0.9922
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
TAGTB_tan_ha	-0.2344	0.0717	0.8979	0.9922	0.0000
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
Correlation	0.9274	0.0514	0.4581	0.4000	



Hình 3.18: Đám mây điểm quan hệ giữa Bdw, Cdw với các nhân tố N, M và TAGTB

gỗ chết cho thấy tỷ lệ này thay đổi ở các bề chứa. Trong khi đó theo IPCC hệ số chuyển đổi cho 3 bề chứa này từ sinh khối sang carbon là như nhau bằng 0.47, như vậy nếu sử dụng một hệ số chung theo IPCC sẽ gây sai số trong ước tính carbon lâm phần.

3.3.2 Mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần

Trên thế giới các mô hình sinh khối hầu như chỉ lập cho cây cá thể; tuy nhiên sinh khối, carbon của lâm phần có quan hệ chặt chẽ với nhau và với các nhân tố điều tra lâm phần khác cũng như các nhân tố sinh thái. Do đó thiết lập mô hình cho các quan hệ này góp phần xác định cũng như giám sát sự thay đổi sinh khối, carbon lâm phần linh hoạt hơn. Với ý nghĩa đó đã lựa chọn và xây dựng các mô hình sinh trắc cho lâm phần.

Sử dụng số liệu điều tra của 20 ô tiêu chuẩn điển hình và 222 ô tiêu chuẩn ngẫu nhiên tiến hành tính sinh khối (TAGTB) và carbon (TAGTC) lâm phần theo ô mẫu. Việc tính toán giá trị lâm phần dựa vào các mô hình sinh trắc cây cá thể với hai biến DBH và H, phân bố N/DBH, tương quan H/DBH. Bộ dữ liệu thiết lập hệ thống mô hình trong Phụ lục 11 và Phụ lục 12.

3.3.2.1 Mô hình quan hệ giữa sinh khối và carbon lâm phần trên và dưới mặt đất và toàn bộ

Từ 242 bộ dữ liệu về sinh khối, carbon cây rừng trên, dưới mặt đất của lâm phần và 20 bộ dữ liệu tổng sinh khối, carbon lâm phần, đã xây dựng được 8 mô hình quan hệ ở Bảng 3.31.

Bảng 3.31: Mô hình quan hệ giữa sinh khối và carbon lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
1	TBGTB =f(TAGTB)	$TBGTB = \exp(-1.5706 + 0.900601 \cdot \ln(TAGTB))$	98.81	0.0	242	0.0	1.001	-1186.9	3.5%	3-87
2	TBGTC =f(TAGTC)	$TBGTC = \exp(-1.78523 + 0.913472 \cdot \ln(TAGTC))$	99.11	0.0	242	0.0	1.001	-1218.0	3.2%	3-88
3	TAGTC =f(TAGTB)	$TAGTC = 1/(-0.0000831732 + 2.28519/TAGTB)$	99.92	0.0	242	0.0		1358.3	1.3%	3-89
4	TBGTC =f(TBGTB)	$TBGTC = \exp(-0.94429 + 1.0153 \cdot \ln(TBGTB))$	99.96	0.0	242	0.0	1.000	-1318.1	0.6%	3-90
5	TTB =f(TAGTB)	$TTB = \exp(0.174958 + 0.988877 \cdot \ln(TAGTB))$	99.99	0.0	242	0.0	1.000	-1320.7	0.4%	3-91
6	TTC =f(TAGTB)	$TTC = 1/(0.000107689 + 2.01555/TAGTB)$	99.94	0.0	242	0.0		-4133.9	1.2%	3-92
7	TB =f(TAGTB)	$TB = \exp(3.25769 + 0.151118 \cdot \sqrt{TAGTB})$	98.05	0.0	20	0.0	1.003	-51.5	6.1%	3-93
8	TC =f(TAGTB)	$TC_{tha} = (9.20388 + 0.0238783 \cdot TAGTB)^2$	85.16	0.0	20	0.0		62.2	12.1%	3-94

Các mô hình lựa chọn đều có hệ số xác định R²_{adj} cao, giá trị đại số AIC thấp, đối với dạng hàm logarit neper thì có CF tiến đến 1 cho thấy các mô hình lý thuyết này có thể sử dụng để ước lượng sinh khối hoặc carbon từ các bề có thể dễ dàng đo đếm sang các bề khó đo đếm.

Bảng 3.31 chỉ ra biến động S% của các mô hình từ 0.4% đến 12.1%. Biến động thấp nhất ở mô hình 3-91 quan hệ giữa tổng sinh khối rừng với tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất, điều này cho thấy giữa sinh khối thân cây trên mặt đất có quan hệ chặt chẽ với các bề sinh khối khác trên mặt đất. Biến động cao nhất ở mô hình 3-94 quan hệ giữa tổng carbon toàn lâm phần với tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất với S% = 12.1%.

Biến động S% tính toán trong Bảng 3.31 mới chỉ là biến động trực tiếp khi xây dựng mô hình lý thuyết lâm phần, ngoài ra còn phải cộng dồn thêm biến động ở các hàm sinh trắc cây cá thể để tính số liệu trung gian khi thiết lập mô hình cho lâm phần. Ví dụ với mô hình (3-94) quan hệ $TBGTB = f(TAGTB)$, thì để có dữ liệu đầu vào lập mô hình lâm phần cần có hai mô hình $AGB = f(DBH, H)$ với $S\% = 28.2\%$ và $BGB = f(DBH, H)$ với $S\% = 43.5\%$; đồng thời mô hình lâm phần 3-94 có $S\% = 3.5\%$; như vậy tích lũy biến động của 3 mô hình cá thể và lâm phần là $S\% = 28.2\% + 43.5\% + 3.5\% = 75.2\%$. Kết quả tính biến động tích lũy của các mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần được trình bày ở Bảng 3.32.

Bảng 3.32: Tích lũy biến động của các mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	S%
1	TBGTB=f(TAGTB)	$TBGTB = \exp(-1.5706 + 0.900601 \cdot \ln(TAGTB))$	75.2%
2	TBGTC=f(TAGTC)	$TBGTC = \exp(-1.78523 + 0.913472 \cdot \ln(TAGTC))$	89.7%
3	TAGTC=f(TAGTB)	$TAGTC = 1/(-0.0000831732 + 2.28519/TAGTB)$	61.8%
4	TBGTC=f(TBGTB)	$TBGTC = \exp(-0.94429 + 1.0153 \cdot \ln(TBGTB))$	54.8%
5	TTB=f(TAGTB)	$Total_TB_TTB_ = \exp(0.174958 + 0.988877 \cdot \ln(TAGTB))$	72.1%
6	TTC=f(TAGTB)	$Total_TC_TTC_ = 1/(0.000107689 + 2.01555/TAGTB)$	115.9%
7	TB=f(TAGTB)	$Total_B_t_ha_TB_ = \exp(3.25769 + 0.151118 \cdot \sqrt{TAGTB})$	77.8%
8	TC=f(TAGTB)	$Total_C_t_ha_TC_ = (9.20388 + 0.0238783 \cdot TAGTB)^2$	126.8%

Kết quả ở Bảng 3.32 cho thấy các hàm sinh trắc lâm phần chuyển đổi giữa sinh khối và carbon, giữa trên và dưới mặt đất và toàn bộ lâm phần có biến động tích lũy khá lớn, từ 54.8% đến 126.8%, bởi vì các mô hình này tích lũy biến động của ít nhất là 2 đến 3 mô hình cây cá thể cộng với biến động của chính mô hình lâm phần. Vì vậy các mô hình này chỉ nên áp dụng khi không có yêu cầu độ tin cậy cao, sử dụng trong dự báo tổng thể về các bể chứa carbon rừng cho từng khu vực.

3.3.2.2 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ trên mặt đất theo các nhân tố điều tra lâm phần truyền thống

Điều tra tài nguyên rừng truyền thống ở Việt Nam cũng như nhiều quốc gia khác đều tiếp cận xác định các nhân tố lâm phần chính như mật độ (N), tổng tiết diện ngang (BA) và trữ lượng gỗ lâm phần (M). Vì vậy có nhu cầu sử dụng các dữ liệu lâm phần sẵn có để chuyển đổi sang sinh khối và carbon lâm phần; hoặc đo tính các nhân tố lâm phần đơn giản như N và BA để ước tính được TAGTB, TAGTC.

Sử dụng 242 bộ số liệu về sinh khối, carbon trên và dưới mặt đất với các nhân tố điều tra lâm phần BA, M và N để xây dựng mô hình ước tính tổng sinh khối (TAGTB) và carbon (TAGTC) của cây gỗ trên mặt đất. Kết quả xây dựng được 8 mô hình dự báo sinh khối, carbon cây rừng trên mặt đất của lâm phần với các nhân tố điều tra lâm phần ở Bảng 3.33.

Bảng 3.33 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
TAGTB=f(BA)	$TAGTB = (-1.00912 + 2.79271 * \sqrt{BA})^2$	91.00	0.0	242	0.0		1299.7	11.2%	3-95
TAGTB=f(M)	$TAGTB = \exp(-0.472653 + 1.0101 * \ln(M))$	99.89	0.0	242	0.0	1.00	-1306.7	1.2%	3-96
TAGTB=f(M,BA)	$\ln(TAGTB) = -0.357928 + 0.944029 * \ln(M) + 0.0777409 * \ln(BA)$	99.93	0.0	242	0.0	1.00	-1310.6	0.9%	3-97
TAGTB=(M,BA,N)	$\ln(TAGTB) = -0.117662 - 0.0266822 * \ln(N) + 0.15179 * \ln(BA) + 0.889834 * \ln(M)$	99.95	0.0	242	0.0	1.00	-1311.4	0.8%	3-98
TAGTC=f(BA)	$TAGTC = \exp(0.811789 + 1.08168 * \ln(BA))$	90.40	0.0	242	0.0	1.01	13.5	12.4%	3-99
TAGTC=f(M)	$TAGTC = \exp(-1.31048 + 1.0133 * \ln(M))$	99.98	0.0	242	0.0	1.00	-1319.8	0.5%	3-100
TAGTC=f(M,BA)	$\ln(TAGTC) = -1.36193 - 0.0348642 * \ln(BA) + 1.04293 * \ln(M)$	99.99	0.0	242	0.0	1.00	-1319.0	0.4%	3-101
TAGTC=f(M,BA,N)	$\ln(TAGTC) = -1.29078 - 0.0129349 * \ln(BA) + 1.02688 * \ln(M) - 0.00790176 * \ln(N)$	99.99	0.0	242	0.0	1.00	-1317.2	0.3%	3-102

Các mô hình ước tính sinh khối, carbon cây trên mặt đất được xây dựng theo các nhân tố điều tra từ biến số đơn giản đến đa biến phức tạp theo 3 nhân tố điều tra lâm

phần. Quy luật biến động của các mô hình cũng giống như những mô hình cây cá thể là biến động giảm dần khi tăng số biến số độc lập của mô hình.

Tích lũy biến động của các mô hình lâm phần được cộng thêm biến động từ các mô hình cây cá thể; kết quả ở Bảng 3.34. Tổng hợp biến động tích lũy cho thấy S% từ 39.4% đến 58.5%. Biến động như vậy là trung bình để ước tính sinh khối và carbon của cây rừng toàn lâm phần trên mặt đất. Từ các mô hình này, có thể dễ dàng ước tính nhanh sinh khối và carbon lâm phần trên mặt đất theo các biến số lâm phần đơn giản như N và BA hoặc bổ sung thêm M.

Bảng 3.34: Tích lũy biến động S% các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	S%
1	TAGTB=f(BA)	$TAGTB = (-1.00912 + 2.79271*\sqrt{BA})^2$	39.4%
2	TAGTB=f(M)	$TAGTB = \exp(-0.472653 + 1.0101*\ln(M))$	43.2%
3	TAGTB=f(M,BA)	$\ln(TAGTB) = -0.357928 + 0.944029*\ln(M) + 0.0777409*\ln(BA)$	42.9%
4	TAGTB=f(M,BA,N)	$\ln(TAGTB) = -0.117662 - 0.0266822*\ln(N) + 0.15179*\ln(BA) + 0.889834*\ln(M)$	42.8%
1	TAGTC=f(BA)	$TAGTC = \exp(0.811789 + 1.08168*\ln(BA))$	58.5%
2	TAGTC=f(M)	$TAGTC = \exp(-1.31048 + 1.0133*\ln(M))$	46.6%
3	TAGTC=f(M,BA)	$\ln(TAGTC) = -1.36193 - 0.0348642*\ln(BA) + 1.04293*\ln(M)$	46.5%
4	TAGTC=f(M,BA,N)	$\ln(TAGTC) = -1.29078 - 0.0129349*\ln(BA) + 1.02688*\ln(M) - 0.00790176*\ln(N)$	46.4%

3.3.2.3 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Việc thu thập số liệu để ước tính sinh khối, carbon dưới mặt đất là công việc rất khó khăn, hầu như trên thế giới rất ít công trình nghiên cứu và xây dựng mô hình này. Chủ yếu sử dụng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006) để tính toán xác định, với phần dưới mặt đất ước khoảng bằng 20% trên mặt đất. Do đó xây dựng mô hình ước tính

nó theo các nhân tố điều tra lâm phần truyền thống trên mặt đất sẽ hỗ trợ cho việc cung cấp dữ liệu của bể chứa carbon dưới mặt đất rừng.

Kết quả đã xây dựng được 10 mô hình ước tính sinh khối, carbon dưới mặt đất rừng (TBGTB) và (TBGTC) theo các biến số N, BA và M trong Bảng 3.35

Bảng 3.35 Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	R2 adj (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%	Mã hàm
TBGTB=f(M)	$TBGTB = \exp(-2.00413 + 0.911098 \cdot \ln(M))$	99.0	0.0	242	0.0	1.001	-1209.0	3.3%	3-103
TBGTB=f(BA)	$TBGTB = \exp(-0.1759 + 0.996996 \cdot \ln(BA))$	94.1	0.0	242	0.0	1.006	-650.4	8.7%	3-104
TBGTB=f(M,BA)	$\ln(TBGTB) = -1.65094 + 0.239332 \cdot \ln(BA) + 0.707706 \cdot \ln(M)$	99.5	0.0	242	0.0	1.000	-1262.8	2.3%	3-105
TBGTB=f(N,BA)	$\ln(TBGTB) = 0.632919 + 1.09883 \cdot \ln(BA) - 0.169515 \cdot \ln(N)$	96.4	0.0	242	0.0	1.004	-907.8	6.3%	3-106
TBGTB=f(M,BA,N)	$\ln(TBGTB) = -2.17894 + 0.0586359 \cdot \ln(N) + 0.0766035 \cdot \ln(BA) + 0.826803 \cdot \ln(M)$	99.6	0.0	242	0.0	1.000	-1274.5	2.1%	3-107
TBGTC=f(M)	$TBGTC = \exp(-2.98891 + 0.926797 \cdot \ln(M))$	99.3	0.0	242	0.0	1.001	-1245.5	2.7%	3-108
TBGTC=f(BA)	$TBGTC = \exp(-1.11522 + 1.00991 \cdot \ln(BA))$	93.6	0.0	242	0.0	1.006	-574.3	9.2%	3-109
TBGTC=f(M,BA)	$\ln(TBGTC) = -2.69936 + 0.196207 \cdot \ln(BA) + 0.760055 \cdot \ln(M)$	99.7	0.0	242	0.0	1.000	-1281.0	1.9%	3-110
TBGTC=f(N,BA)	$\ln(TBGTC) = -0.214115 + 1.12337 \cdot \ln(BA) - 0.188856 \cdot \ln(N)$	96.3	0.0	242	0.0	1.004	-894.4	6.4%	3-111
TBGTC=f(M,BA,N)	$\ln(TBGTC) = -3.12708 + 0.0643853 \cdot \ln(BA) + 0.856531 \cdot \ln(M) + 0.0474991 \cdot \ln(N)$	99.7	0.0	242	0.0	1.000	-1288.0	1.7%	3-112

Kết quả tính biến động S% của các mô hình sinh khối, carbon dưới mặt đất của lâm phần nhìn chung cao hơn so với các mô hình sinh khối, carbon cây rừng trên mặt đất của lâm phần S% biến động từ 1.7% đến 9.2%. Nguyên nhân chủ yếu là do dữ liệu đầu vào số liệu sinh khối dễ thường biến động do không thể lấy hết được toàn bộ hệ rễ đối với những cây cỡ đường kính lớn, thường bị đứt sâu dưới mặt đất không phát hiện được.

Biến động của các mô hình dạng 3 biến số thấp hơn nhiều so với các mô hình đơn giản một biến số. Bảng 3.36 chỉ ra biến động tích lũy của 10 mô hình đã xây dựng được như sau.

Bảng 3.36: Tích lũy biến động các mô hình ước tính sinh khối, carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	S%
1	TBGTB=f(M)	$TBGTB = \exp(-2.00413 + 0.911098*\ln(M))$	60.6%
2	TBGTB=f(BA)	$TBGTB = \exp(-0.1759 + 0.996996*\ln(BA))$	52.2%
3	TBGTB=f(M,BA)	$\ln(TBGTB) = -1.65094 + 0.239332*\ln(BA) + 0.707706*\ln(M)$	59.6%
4	TBGTB=f(N,BA)	$\ln(TBGTB) = 0.632919 + 1.09883*\ln(BA) - 0.169515*\ln(N)$	49.8%
5	TBGTB=f(M,BA,N)	$\ln(TBGTB) = -2.17894 + 0.0586359*\ln(N) + 0.0766035*\ln(BA) + 0.826803*\ln(M)$	59.4%
1	TBGTC=f(M)	$TBGTC = \exp(-2.98891 + 0.926797*\ln(M))$	56.9%
2	TBGTC=f(BA)	$TBGTC = \exp(-1.11522 + 1.00991*\ln(BA))$	63.4%
3	TBGTC=f(M,BA)	$\ln(TBGTC) = -2.69936 + 0.196207*\ln(BA) + 0.760055*\ln(M)$	69.9%
4	TBGTC=f(N,BA)	$\ln(TBGTC) = -0.214115 + 1.12337*\ln(BA) - 0.188856*\ln(N)$	60.6%
5	TBGTC=f(M,BA,N)	$\ln(TBGTC) = -3.12708 + 0.0643853*\ln(BA) + 0.856531*\ln(M) + 0.0474991*\ln(N)$	69.7%

Qua kết quả tính tích lũy biến động cho thấy, mô hình sinh khối, carbon dưới mặt đất của lâm phần với các nhân tố điều tra có biến động khá lớn.

3.3.2.4 Mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Tổng sinh khối, carbon phần thân cây gỗ trên và dưới mặt đất của lâm phần là nhân tố quan trọng vì sinh khối lâm phần chủ yếu trong cây gỗ. Với 242 bộ dữ liệu đã tính toán trung gian tiến hành xây dựng 8 mô hình ước tính theo các nhân tố điều tra lâm phần, kết quả thống kê trong Bảng 3.37.

Bảng 3.37: Mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	P	n	Pi	CF	AIC	S%	Mã hàm
TTB=f(BA)	$TB \tan_ha_ = \exp(1.76049 + 1.0782 \cdot \ln(BA))$	92.3	0.0	242	0.0	1.01	-286.2	10.9%	3-113
TTB=f(M)	$TTB = 1/(0.0000216543 + 1.34273/M)$	99.9	0.0	242	0.0		-4520.5	1.1%	3-114
TTB=f(BA,M)	$\ln(TTB \tan_ha) = -0.151331 + 0.0961787 \cdot \ln(BA) + 0.917273 \cdot \ln(M)$	99.9	0.0	242	0.0	1.00	-1316.4	0.6%	3-115
TTB=f(BA,M,N)	$TTB = -2.84232 + 1.13955 \cdot BA + 0.654013 \cdot M - 0.00411238 \cdot N$	99.9	0.0	242	0.0		427.9	0.7%	3-116
TTC=(BA)	$TTC = \exp(0.945471 + 1.07418 \cdot \ln(BA))$	90.8	0.0	242	0.0	1.01	-62.3	12.0%	3-117
TTC=f(M)	$TTC = \exp(-1.15081 + 1.00425 \cdot \ln(M))$	99.9	0.0	242	0.0	1.00	-1322.0	0.2%	3-118
TTC=(BA,M)	$\ln(TTC) = -1.16661 - 0.0107098 \cdot \ln(BA) + 1.01335 \cdot \ln(M)$	99.9	0.0	242	0.0	1.00	-1320.2	0.1%	3-119
TTC=f(BA,M,N)	$\ln(TTC) = -1.14771 - 0.00488403 \cdot \ln(BA) + 1.00909 \cdot \ln(M) - 0.0020992 \cdot \ln(N)$	99.9	0.0	242	0.0	1.00	-1318.2	0.1%	3-120

Trên cơ sở 8 mô hình ở Bảng 3.37, tính tích lũy % của các mô hình ở Bảng 3.38. Kết quả cho thấy tổng biến động của các mô hình từ 72.3% đến 98.5% là cao. Điều này cho thấy ước tính tổng sinh khối và carbon trên và dưới mặt đất một lần thông qua mô hình lâm phần sẽ mắc biến động khá cao, chỉ nên áp dụng trong ước tính nhanh, giám sát carbon tổng thể.

Bảng 3.38: Tích lũy biến động S% các mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	S%
TTB=f(BA)	$TTB = \exp(1.76049 + 1.0782 \cdot \ln(BA))$	82.6%
TTB=f(M)	$TTB = 1/(0.0000216543 + 1.34273/M)$	72.8%
TTB=f(BA,M)	$\ln(TTB \tan_ha) = -0.151331 + 0.0961787 \cdot \ln(BA) + 0.917273 \cdot \ln(M)$	72.3%

Dạng hàm	Hàm	S%
TTB=f(BA,M,N)	$TTB = -2.84232 + 1.13955*BA + 0.654013*M - 0.00411238*N$	72.4%
TTC=(BA)	$TTC = \exp(0.945471 + 1.07418*\ln(BA))$	98.5%
TTC=f(M)	$TTC = \exp(-1.15081 + 1.00425*\ln(M))$	86.7%
TTC=(BA,M)	$\ln(TTC) = -1.16661 - 0.0107098*\ln(BA) + 1.01335*\ln(M)$	86.6%
TTC=f(BA,M,N)	$\ln(TTC) = -1.14771 - 0.00488403*\ln(BA) + 1.00909*\ln(M) - 0.0020992*\ln(N)$	86.6%

3.3.2.5 Mô hình ước tính tổng 5 bể sinh khối và 6 bể carbon theo nhân tố điều tra lâm phần

Trong lâm phần, sinh khối có ở 5 bể chứa, trong khi đó carbon tích lũy ở 6 bể do có thêm carbon trong đất. Giám sát carbon lâm phần toàn diện là ước tính được sinh khối và carbon trong cả 5 bể chứa này.

Sử dụng dữ liệu tính toán sinh khối, carbon lâm phần của 20 ô tiêu chuẩn điển hình để xây dựng các mô hình ước tính sinh khối, carbon của các bể chứa theo các nhân tố điều tra. Với TB là tổng sinh khối của 5 bể chứa cây gỗ trên mặt đất, dưới mặt đất, trong thảm mục, thảm tươi và gỗ chết; và TC là tổng carbon tích lũy trong 6 bể chứa, gồm 5 bể chứa như sinh khối cộng thêm carbon hữu cơ trong đất. Kết quả ước tính trình bày trong Bảng 3.39.

Bảng 3.39: Mô hình ước tính tổng sinh khối, carbon ở các bể chứa theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	R2 adj (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%	Mã hàm
TB=f(BA)	$TB_t_ha = \exp(2.89391 + 0.446106*\sqrt{BA})$	91.3	0.0	20	0.0	1.015	-43.0	13.6%	3-121
TB=f(M)	$TB = \exp(3.25659 + 0.123656*\sqrt{M})$	97.7	0.0	20	0.0	1.004	-51.1	6.5%	3-122
TB=(BA,N)	$\ln(TB_t_ha) = 4.15956 + 0.0453244*BA - 0.000171577*N$	93.8	0.0	20	0.0	1.011	-44.5	10.9%	3-123
TC=f(BA)	$TC = \exp(4.4547 + 0.0253355*BA)$	70.7	0.0	20	0.0	1.022	-38.5	16.3%	3-124
TC=f(M)	$TC_t_ha = (9.2274 + 0.0158962*M)^2$	85.1	0.0	20	0.0		62.3	12.1%	3-125

Dạng hàm	Hàm	R2 adj (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%	Mã hàm
TC=f(M,N)	$TC_{t_ha} = 37.8303 + 0.467592 * M + 27927.7 * 1/N$	88.0	0.0	20	0.0		134.6	11.3%	3-126

Tổng sinh khối lâm phần (TB) có quan hệ chặt chẽ với trữ lượng rừng (M), biến động với S% = 6.5%; khi trữ lượng thay đổi sinh khối của lâm phần cũng thay đổi. Vì vậy, biến động của mô hình này là thấp nhất so với các mô hình 2 biến hoặc dạng 1 biến với nhân tố BA. Điều này cũng hoàn toàn phù hợp với quy luật lâm sinh do BA là chỉ tiêu thuyết minh cấu trúc sinh khối theo bề mặt ngang của lâm phần, còn M phản ánh cả cấu trúc sinh khối theo bề mặt ngang lẫn theo chiều thẳng đứng.

Tổng trữ lượng carbon của 5 bể chứa cũng có quan hệ chặt chẽ với trữ lượng rừng và với cả mật độ cây rừng trong lâm phần, với S% bé nhất là 11.3%. Vì hai nhân tố này phản ánh được cấu trúc, trữ lượng của các trạng thái rừng khác nhau.

Bảng 3.40: Tích lũy biến động của các mô hình ước tính tổng sinh khối carbon theo nhân tố điều tra lâm phần

Dạng hàm	Hàm	S%	S%
TB=f(BA)	$TB_{t_ha} = \exp(2.89391 + 0.446106 * \sqrt{BA})$	13.60%	85.3%
TB=f(M)	$TB_{t_ha} = \exp(3.25659 + 0.123656 * \sqrt{M})$	6.50%	78.2%
TB=(BA,N)	$\ln(TB_{t_ha}) = 4.15956 + 0.0453244 * BA - 0.000171577 * N$	10.90%	82.6%
TC=f(BA)	$TC_{t_ha} = \exp(4.4547 + 0.0253355 * BA)$	16.30%	88.0%
TC=f(M)	$TC = (9.2274 + 0.0158962 * M)^2$	12.10%	98.6%
TC=f(M,N)	$TC_{t_ha} = 37.8303 + 0.467592 * M + 27927.7 * 1/N$	11.30%	97.8%

Qua kết quả tính tích lũy biến động ở 6 mô hình ở Bảng 3.40 cho thấy biến động các mô hình là lớn từ 78%-97%. Như vậy, trong thực tiễn nếu áp dụng các mô hình này sẽ có biến động cao do tích lũy biến động qua nhiều hàm ước lượng trung gian. Biến động các mô hình này có thể chấp nhận được trong trường hợp cần ước tính nhanh tổng sinh khối, carbon cho lâm phần.

Với 40 mô hình ước tính sinh khối và carbon cho lâm phần đã xây dựng, có thể sử dụng trong thực tế để tính toán sinh khối, carbon lâm phần cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên. Theo quy luật chung, khi số biến số trong mô hình tăng thì sai số của ước tính sẽ giảm. Do đó, tùy thuộc vào yêu cầu đo tính xác định sinh khối, carbon cụ thể mà lựa chọn mô hình cho phù hợp.

Một điểm lưu ý khi sử dụng các mô hình này là biến động thực tế khi áp dụng các mô hình này sẽ là tổng biến động mô hình của lâm phần và biến động của các mô hình cây cá thể tính toán số liệu trung gian để xây dựng mô hình cho lâm phần.

Do đó cần hạn chế sử dụng các mô hình lâm phần được thiết lập thông qua nhiều mô hình cây cá thể trung gian. Ví dụ nên ước tính lần lượt sinh khối và carbon lâm phần trên và dưới mặt đất riêng biệt theo các biến số N, BA, M sau đó tổng hợp lại để có tổng sinh khối và carbon trên và dưới mặt đất; hơn là sử dụng mô hình ước tính tổng của chúng (TTB và TTC).

3.3.3 Cấu trúc sinh khối, carbon lâm phần

Sinh khối và carbon của cây gỗ trong lâm phần thay đổi theo các yếu tố điều kiện hoàn cảnh (phản ánh qua cấp năng suất) và giai đoạn sinh trưởng (non – thành thực) hoặc mức độ khai thác, tác động biểu hiện qua tổng sinh khối của chúng. Vì vậy để ước tính chính xác hơn sinh khối và carbon trong cây gỗ ở cấp lâm phần cần phân chia lâm phần theo 2 yếu tố: Cấp năng suất (hay còn gọi là cấp chiều cao) và cấp sinh khối của lâm phần; trên cơ sở đó xác định đặc điểm cấu trúc và ước tính CO₂ hấp thụ hay tích lũy theo thời gian.

3.3.3.1 Phân chia cấp năng suất rừng (Cấp chiều cao)

Cấp năng suất rừng phản ánh năng lực sản xuất của rừng dưới các điều kiện địa hình, khí hậu, đất đai khác nhau. Có nhiều phương pháp phân chia cấp năng suất, trong đó phương pháp dựa vào đường cong chiều cao đường kính để phân cấp cho thấy phản ánh tốt năng lực sản xuất của rừng dưới những điều kiện yếu tố địa hình, khí hậu, đất đai, đá mẹ ... khác nhau. Trong luận án này, sử dụng phương pháp phân cấp năng suất rừng dựa trên quan hệ H/DBH.

Để phân chia cấp chiều cao lâm phần dựa vào biến động chiều cao ở một đường kính cơ sở, từ đó phân chia đường cong chiều cao thành các cấp cao thấp khác nhau, từ đó xác định được các phương trình đường cong chiều cao cho các cấp.

Sử dụng 42 cây ở cỡ đường kính 20-30cm, xác định được $H_{\min} = 13\text{m}$; $H_{\max} = 25\text{m}$; phân chia rừng thành 3 cấp năng suất thì cự ly chiều cao mỗi cấp sẽ là 4m. Từ đây tính được chiều cao theo từng cấp năng suất ở cấp kính khảo sát.

Sử dụng mô hình 3-82 theo dạng: $\sqrt{H} = a + b \ln(\text{DBH})$; để lập các đường cong chiều cao theo từng cấp năng suất; cố định tham số a và thay đổi tham số b theo giá trị chiều cao chỉ thị cho từng cấp ở cấp kính khảo sát. Phương trình H/DBH chung:

$$H = (0.825232 + 1.04505 * \ln(\text{DBH}))^2 \quad 3-82$$

Xác định tham số bi cho các phương trình 3 cấp chiều cao:

$$b_i = (\sqrt{H_i} - 0.825232) / \ln(\text{DBH}) \quad 3-127$$

Với H_i là chiều cao chỉ thị cho từng cấp ở cấp kính khảo sát, DBH là đường kính bình quân của cấp kính khảo sát = 25cm.

Bảng 3.41 Chiều cao chỉ thị H_i cho các cấp năng suất ở DBH = 25cm và tham số bi của các đường cong chiều cao theo cấp năng suất

Cấp năng suất	H_i (m)	b_i
GH	25.0	1.296965
Cấp I	23.0	1.233536
GH	21.0	1.167284
Cấp II	19.0	1.097795
GH	17.0	1.024542
Cấp III	15.0	0.946837
GH	13.0	0.863755

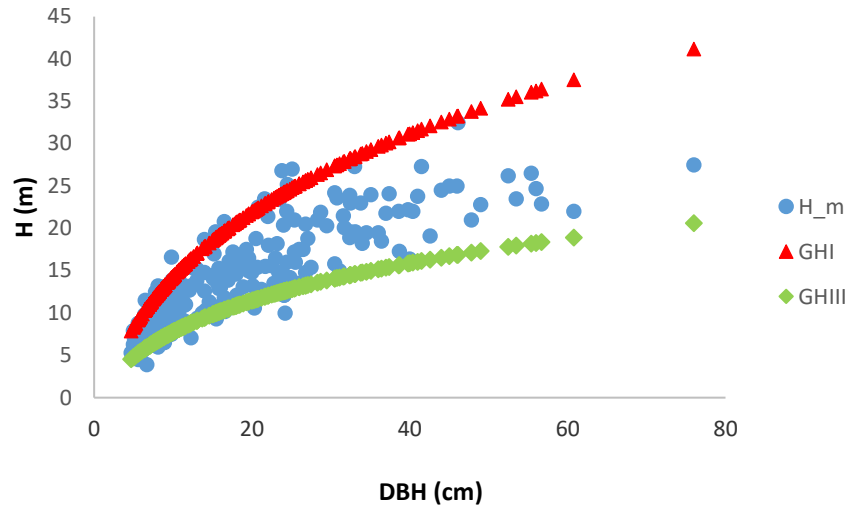
Mô hình tương quan chiều cao đường kính trung bình của 3 cấp được xây dựng ở Bảng 3.42

Bảng 3.42: Mô hình H/DBH trung bình của 3 cấp chiều cao

Cấp	Mô hình	Mã hàm
I (Tốt)	$H = (0.825232 + 1.233536 * \ln(\text{DBH}))^2$	3-128
II (Trung bình)	$H = (0.825232 + 1.097795 * \ln(\text{DBH}))^2$	3-129
III (Xấu)	$H = (0.825232 + 0.946837 * \ln(\text{DBH}))^2$	3-130

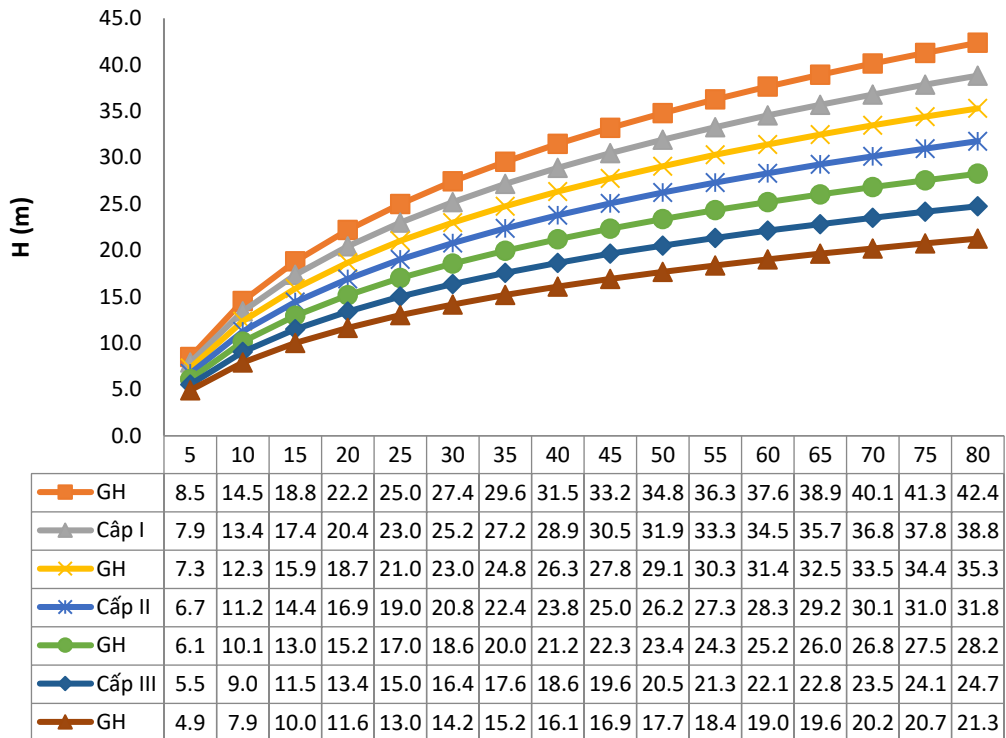
Từ các mô hình xây dựng được, tiến hành kiểm tra đường cong chiều cao xây dựng được với dữ liệu thực nghiệm. Qua Hình 3.19 cho thấy đồ thị đám mây điểm

dữ liệu thực nghiệm H/DBH nằm trong giới hạn 2 đường cong chiều cao của cấp thấp nhất và cao nhất, chứng tỏ hệ thống cấp chiều cao xây dựng được phù hợp với biến động hoàn cảnh của kiểu rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên.



Hình 3.19: Đồ thị đám mây điểm H/DBH và giới hạn trên và dưới của hệ thống cấp chiều cao phân chia

Từ kết quả xây dựng đường cong chiều cao sẽ xây dựng được biểu phân cấp chiều cao cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên ở Hình 3.19.



Hình 3.20: Biểu cấp chiều cao và đồ thị cấp chiều cao rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

3.3.3.2 Phân chia cấp sinh khối rừng

Lâm phần trong thực tế đang ở các mức thành thực hoặc đã qua các mức độ tác động khác nhau, do đó đã có thay đổi carbon trong các bể chứa, vì vậy cần phân chia thành các cấp tương đối đồng nhất, nó không chỉ phản ánh sinh khối theo cấp mà còn dùng để làm đối tượng đồng nhất cho việc rút mẫu đo tính carbon trên thực tế (Bảo Huy và cộng sự (2013) [9]). Trên cơ sở lý luận này, luận án tiến hành phân chia lâm phần thành các cấp sinh khối.

Sử dụng kết quả phân cấp năng suất rừng để kiểm tra và xác định cấp năng suất cho 20 ô tiêu chuẩn điển hình kết quả có 5 ô cấp năng suất I, 11 ô tiêu chuẩn cấp năng suất II và 4 ô còn lại thuộc cấp năng suất 3. Từ dữ liệu 20 ô tiêu chuẩn đã xác định cấp năng suất, tiến hành thay mô hình 3 cấp chiều cao tương ứng cho các ô tiêu chuẩn để xác định chiều cao theo cấp kính 20 ô tiêu chuẩn ứng với từng cấp năng suất. Từ đó tính toán các chỉ tiêu lâm phần cho từng ô mẫu (Phụ lục 16).

Các giá trị sinh khối và carbon được tính toán dựa vào các mô hình cây cá thể theo 2 biến số DBH và H.

Để phân cấp sinh khối rừng tiến hành tính toán mô tả các chỉ tiêu thống kê về sinh khối cây rừng trên mặt đất cho lâm phần, kết quả tính toán ở Bảng 3.43.

Bảng 3.43 Mô tả các chỉ tiêu sinh khối trên mặt đất lâm phần

	<i>TAGTB (t_ha)</i>
Mean (trung bình mẫu)	237.6
Standard Error – sai số trung bình	27.1
Standard Deviation – sai tiêu chuẩn mẫu	121.3
Sample Variance – Phương sai	14716.0
Kurtosis – độ nhọn phân bố	-0.8
Skewness - độ lệch phân bố	0.1
Range – phạm vi biến động	444.7
Minimum – giá trị nhỏ nhất	25.3
Maximum – giá trị lớn nhất	469.9
Sum	4751.9
Count – dung lượng mẫu	20
Confidence Level(99.0%) – sai số biến động	77.6

Qua bảng mô tả thống kê cho thấy sinh khối cây rừng trên mặt đất bình quân 237.6 tấn/ha; với mức ý nghĩa $P = 99\%$ biến động sinh khối cây rừng trên mặt đất của lâm phần là ± 77.6 tấn/ha; phạm vi biến động sinh khối là khá lớn là 444.7 tấn/ha. Dựa vào các mô tả thống kê tiến hành phân cấp sinh khối lâm phần như sau:

Lấy giá trị bình quân sinh khối và giá trị biến động ở mức 99% để xác định phạm vi của cấp sinh khối trung bình, cấp 2 là 238 ± 77.6 tấn/ha = 160 tấn/ha – 315 tấn/ha. Phạm vi cấp sinh khối 3 sẽ là từ giá trị sinh khối thấp nhất đến giới hạn dưới cấp sinh khối 2: 25 tấn/ha – 160 tấn/ha. Phạm vi cấp sinh khối 1 từ giới hạn trên cấp sinh khối 2 đến giá trị sinh khối lớn nhất: 315 tấn/ha – 470 tấn/ha. Kết quả phân cấp sinh khối trình bày trong

Bảng 3.45.

Ngoài ra trong thực tiễn thường tiếp cận theo trữ lượng, do đó các cấp sinh khối cũng được tính tương ứng với cấp M. Từ 242 số liệu về tỷ lệ tổng sinh khối cây trên mặt đất của lâm phần và trữ lượng lâm phần (hệ số BCEF (tấn/m^3) = TAGTB/M), tính toán xác định các chỉ tiêu thống kê cho thấy hệ số BCEF với mức tin cậy là 95% biến động là 0.001. Như vậy hệ số BCEF = 0.66 ± 0.001 có biến động là rất nhỏ (Bảng 3.44), vì vậy có thể lấy giá trị bình quân của hệ số BCEF để chuyển đổi tổng sinh khối trên mặt đất sang trữ lượng M/ha: $M = \text{TAGTB}/\text{BCEF}$.

Bảng 3.44: Mô tả các chỉ tiêu thống kê hệ số BCEF

<i>BCEF</i>	
Mean (trung bình mẫu)	0.66
Standard Error – sai số trung bình	0.00
Standard Deviation – sai tiêu chuẩn mẫu	0.01
Sample Variance – Phương sai	0.00
Kurtosis – độ nhọn phân bố	5.17
Skewness - độ lệch phân bố	1.90
Range – phạm vi biến động	0.09
Minimum – giá trị nhỏ nhất	0.64
Maximum – giá trị lớn nhất	0.72
Sum	159.64
Count – dung lượng mẫu	242
Confidence Level(95.0%) – sai số biến động	0.001

Bảng 3.45: Phân cấp sinh khối lâm phần thành 3 cấp

Cấp sinh khối	TAGTB (tấn /ha)		M (m ³ /ha)	
	Min	Max	Min	Max
Cấp 1 (Tốt)	315	470	477	712
Cấp 2 (Trung bình)	160	315	242	477
Cấp 3 (Kém)	25	160	38	242

Để kiểm tra sai khác phân cấp sinh khối lâm phần dựa vào giá trị bình quân, sử dụng phân tích ANOVA để tiến hành kiểm tra, kết quả phân tích ANOVA cho thấy có sự sai khác sinh khối giữa 3 cấp phân chia

Bảng 3.46 Kết quả phân tích ANOVA phân cấp sinh khối lâm phần

SUMMARY					
Groups	Count	Sum	Average	Variance	
1	6	2281.574	380.2623	2517.274	
2	7	1717.273	245.3247	2048.368	
3	7	753.0361	107.5766	2308.572	

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	240875.5	2	120437.7	52.8672	5.04E-08	3.591531
Within Groups	38728.01	17	2278.118			
Total	279603.5	19				

Bảng 3.46 cho thấy $F_{\text{tính}} = 52.86 > F_{\text{bảng}(0.05, 2, 17)} = 3.59$ cho thấy có sự sai khác rõ ràng về giá trị bình quân sinh khối của 3 cấp sinh khối đã phân chia, như vậy việc phân chia lâm phần thành 3 cấp sinh khối là hoàn toàn phù hợp.

Kết quả phân tích ANOVA cũng chỉ ra cấp sinh khối 1 có 6 ô với sinh khối bình quân là 380 tấn/ha; cấp 2 có 7 ô với sinh khối bình quân là 245.3 tấn/ha và cấp 3 có 7 ô với sinh khối bình quân là 107.6 tấn/ha.

3.3.3.3 Cấu trúc sinh khối và carbon cho từng đơn vị phân chia (cấp chiều cao và cấp sinh khối)

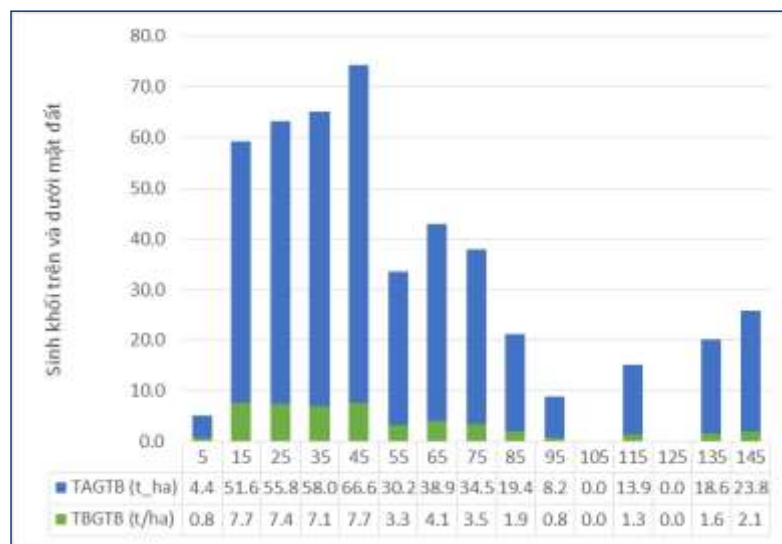
Cấu trúc sinh khối và carbon cây rừng được xác định là phân bố sinh khối/carbon cây rừng trên và dưới mặt đất theo cấp kính, cự ly cấp kính là 10 cm.

Cấu trúc sinh khối/carbon theo cấp DBH được ước lượng theo từng đơn vị phân chia lâm phần là cấp sinh khối (có 3 cấp) và cấp chiều cao H (có 3 cấp).

Để mô tả cấu trúc sinh khối của lâm phần, sử dụng 20 ô tiêu chuẩn điển hình để tính toán các chỉ tiêu:

- Sắp xếp các ô theo từng cấp sinh khối và cấp chiều cao
- Sắp xếp phân bố N/DBH và tính bình quân/ha
- Sử dụng phương trình H/DBH cho từng cấp chiều cao để xác định H theo cấp kính
- Sử dụng các hàm allometric equations cây cá thể theo 2 biến số DBH và H đã lập để tính sinh khối/carbon trên và dưới mặt đất cho từng cấp kính và tổng cho lâm phần
- Tính tổng sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất TTB (tấn/ha)
- Tính tổng carbon cây rừng trên và dưới mặt đất TTC (tấn/ha)

Như vậy, ứng với 3 cấp chiều cao và 3 cấp sinh khối sẽ có tổ hợp 9 đối tượng được phân chia theo cấp chiều cao và cấp sinh khối. Kết quả tính toán cấu trúc sinh khối theo cấp chiều cao trong Phụ lục 17. Dưới đây là cấu trúc của 3 đơn vị đại diện: Cấp chiều cao I – Cấp sinh khối 1 (I-1); Cấp chiều cao II – Cấp sinh khối 2 (II-2) và Cấp chiều cao III – Cấp sinh khối 3 (III-3)



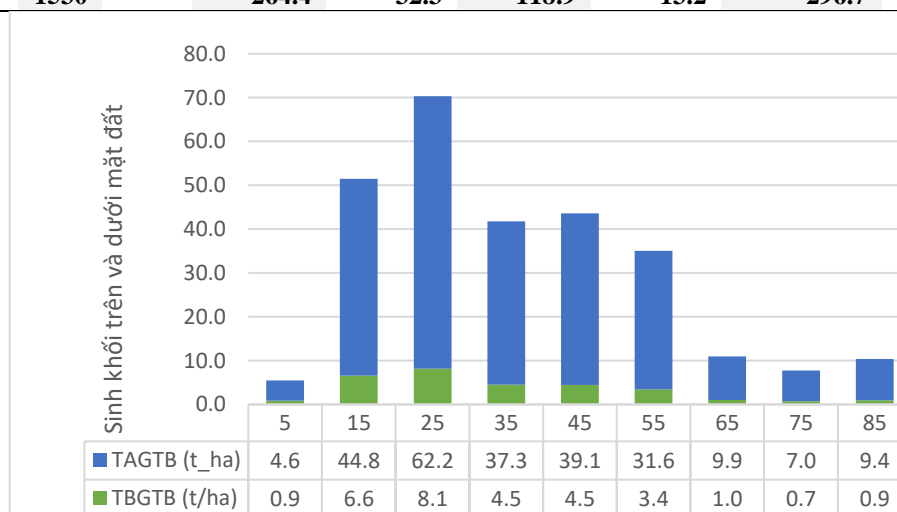
Hình 3.21: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp I-1

Qua kết quả Hình 3.21 và cho thấy, ở cấp sinh khối và cấp chiều cao tốt nhất (I-1), phân bố sinh khối có dạng hai đỉnh, một ở ở cấp đường kính 45cm và một ở cấp đường kính thành thực trên 135 cm. Đây là kiểu lâm phần có sinh khối và năng suất cao nhất. Kiểu cấu trúc này phản ánh đây là kiểu lâm phần khá thành thực, có trữ

lượng sinh khối cao, tuy nhiên thiếu tái sinh và một số cây quá thành thực ở cấp kính lớn. Phân bố sinh khối dưới mặt đất khá tương đồng với phần trên mặt đất. Khối lượng sinh khối khá cao lên đến 473 tấn/ha ứng với tích lũy 217 tấn carbon. Đây là kiểu lâm phần đạt gần tối đa sinh khối và carbon của kiểu rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên.

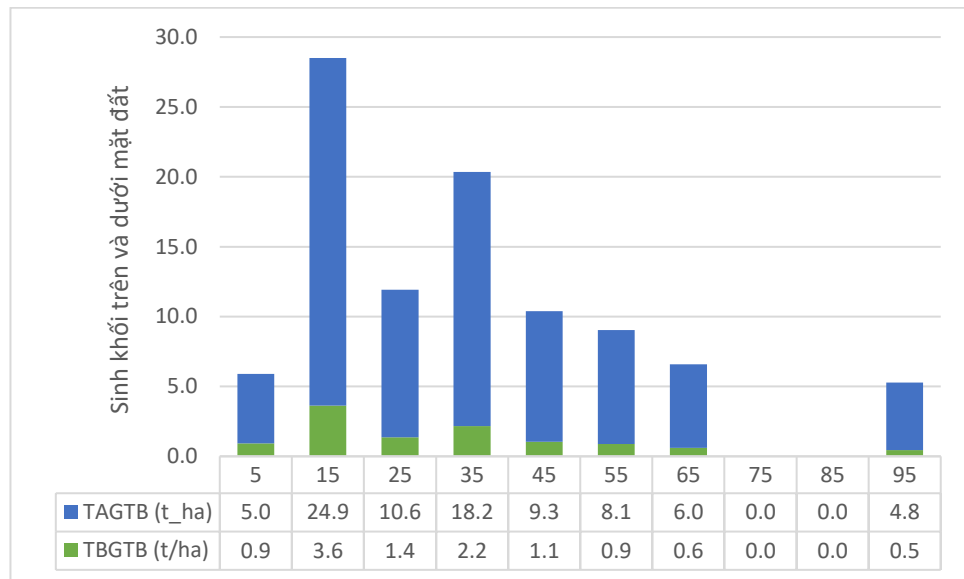
Bảng 3.47 Cấu trúc sinh khối theo cấp năng suất rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên. Cấp II-2

Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
5	803	6.7	4.6	0.9	1.9	0.3	5.5	2.3
15	453	14.4	44.8	6.6	19.9	2.6	51.4	22.5
25	179	19.0	62.2	8.1	27.9	3.3	70.3	31.2
35	47	22.4	37.3	4.5	16.8	1.9	41.8	18.7
45	27	25.0	39.1	4.5	17.7	1.9	43.6	19.6
55	14	27.3	31.6	3.4	14.3	1.4	35.0	15.7
65	3	29.2	9.9	1.0	4.5	0.4	10.9	4.9
75	1	31.0	7.0	0.7	3.2	0.3	7.7	3.5
85	1	32.5	9.4	0.9	4.3	0.4	10.3	4.7
95	0	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
105	0	35.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
115	0	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
125	0	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
135	0	38.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
145	0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
155	1	40.5	18.5	1.6	8.4	0.7	20.1	9.0
Tổng	1530		264.4	32.3	118.9	13.2	296.7	132.1



Hình 3.22: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp II-2

Cấu trúc sinh khối ở lâm phần cấp năng suất II cấp sinh khối 2 (II-2), là kiểu có sinh khối và năng suất trung bình; có dạng một đỉnh lệch trái; sinh khối trung bình là 296 tấn/ ha ứng với tích lũy 132 tấn carbon/ha. Phân bố sinh khối, carbon dưới mặt đất khá tương đồng với trên mặt đất, tạo thành đỉnh rõ rệt. Lượng sinh khối tập trung nhiều nhất ở cấp kính 25cm. Sở dĩ có một đỉnh này là do các lâm phần này đã qua khai thác, do đó sinh khối ở các cấp đường kính càng lớn sẽ giảm dần.



Hình 3.23: Cấu trúc sinh khối trên và dưới mặt đất lâm phần cấp III-3

Đối với lâm phần cấp năng suất và cấp sinh khối thấp nhất kiểu III-3, sinh khối bình quân là 97 tấn/ha, ứng với carbon là 42 tấn/ha. Đây là lâm phần đã qua tác động mạnh, phân bố trên điều kiện hoàn cảnh không thuận lợi. Cấu trúc sinh khối của đối tượng có dạng nhấp nhô nhiều đỉnh cả phần trên và dưới mặt đất. Ở lâm phần này vừa bị thiết hụt tái sinh và tác động mạnh ở các cấp đường kính 25cm, 75cm, 85cm. Sinh khối tập trung chủ yếu ở các cấp kính từ 15-45cm, đây là lâm phần thể hiện sự thiếu ổn định, sinh khối và năng suất thấp.

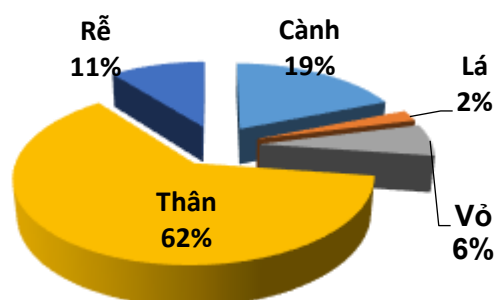
Đồng thời để phản ánh cấu trúc carbon rừng không chỉ chung cho phần trên và dưới mặt đất mà còn chi tiết cho từng bộ phận của cây rừng như thân, cành, lá, vỏ và rễ; sử dụng các mô hình cây cá thể của từng bộ phận và tính cho lâm phần. Kết quả thể hiện cho lâm phần trung bình ở cấp chiều cao II và cấp sinh khối 2 ở

Bảng 3.48.

Bảng 3.48: Cấu trúc phân bố carbon của 5 bộ phận cây rừng trong lâm phần trung bình Cấp II-2

DBH (cm)	H (m)	N/ha	TCbr (tấn/ha)	TCI (tấn/ha)	TCba (tấn/ha)	TCst (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)	TBGTC (tấn/ha)	TTC (tấn/ha)
5	7	803	0.29	0.13	0.14	1.31	1.87	0.33	2.20
15	14	453	3.52	0.81	1.35	13.53	19.20	2.63	21.83
25	19	179	5.29	0.78	1.86	18.71	26.63	3.31	29.94
35	22	47	3.33	0.36	1.11	11.10	15.89	1.86	17.74
45	25	27	3.62	0.31	1.16	11.54	16.61	1.85	18.47
55	27	14	3.00	0.21	0.93	9.22	13.35	1.44	14.79
65	29	3	0.96	0.06	0.29	2.87	4.17	0.44	4.61
75	31	1	0.69	0.03	0.20	2.01	2.95	0.30	3.25
85	33	1	0.95	0.04	0.27	2.68	3.94	0.39	4.33
95	34	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	35	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	36	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	38	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	39	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	40	1	2.00	0.05	0.52	5.03	7.60	0.68	8.28
Tổng lâm phần		1530	23.64	2.77	7.82	77.99	112.21	13.23	125.44

Như vậy trong lâm phần, carbon tích lũy cao nhất ở thân cây gỗ, chiếm 62%, tiếp đến là cành 19%, rễ 11%, vỏ 6% và lá 2%.

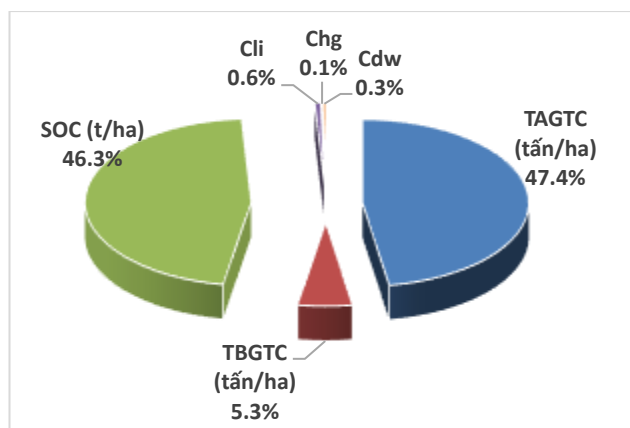
**Hình 3.24: Cấu trúc carbon của 5 bộ phận cây trong lâm phần trung bình cấp II-2****Bảng 3.49 Tổng hợp carbon các bể chứa theo cấp năng suất và sinh khối**

Cấp sinh khối (tấn/ha)	Bể chứa Carbon (tấn/ha)	Cấp năng suất H		
		I	II	III
Cấp 1 315-470	TAGTC	196.8	162.5	128.1
	TBGTC	20.5	17.2	13.9
	SOC	158.0	140.6	123.6
	Cl _i	1.4	1.4	1.4
	Ch _g	0.2	0.2	0.2
	Cd _w	0.7	0.7	0.7
	TC	377.6	322.6	267.9
	Tổng CO ₂	1385.8	1184.1	983.3
Cấp 2 160-315	TAGTC	143.7	118.9	94.0
	TBGTC	15.7	13.2	10.7
	SOC	127.5	116.2	105.4
	Cl _i	1.4	1.4	1.4
	Ch _g	0.2	0.2	0.2
	Cd _w	0.7	0.7	0.7
	TC (t/ha)	289.2	250.6	212.4
	Tổng CO ₂	1061.5	919.8	779.5
Cấp 3 25-160	TAGTC	57.0	47.3	37.5
	TBGTC	6.6	5.5	4.5
	SOC	88.2	85.7	83.5
	Cl _i	1.4	1.4	1.4
	Ch _g	0.2	0.2	0.2
	Cd _w	0.7	0.7	0.7
	TC	154.1	140.9	127.8
	Tổng CO ₂	565.5	517.0	469.1

Bảng 3.49 chỉ ra cấu trúc và năng lực tích lũy carbon của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Tổng carbon trong 6 bể chứa thấp nhất là 127 tấn/ha ứng với hấp thụ 469 tấn CO₂/ha; cao nhất là 377 tấn carbon/ha ứng với hấp thụ 1385 tấn CO₂/ha. Theo quy luật carbon giảm khi cấp năng suất càng kém trong cùng một cấp sinh khối và carbon tăng khi cấp sinh khối rừng ổn định thành thực trong cùng một cấp năng suất.

Hình 3.25 biểu thị tỷ lệ % carbon tích lũy trong 6 bể chứa của lâm phần ở cấp sinh khối và chiều cao trung bình (II-2). Cấu trúc phân bố carbon trong lâm phần cao nhất ở trong cây gỗ phần trên mặt đất (47.4%), thứ hai là carbon hữu cơ trong đất SOC (46.3%), carbon trong rễ cây rừng chiếm 5.3%; còn lại carbon trong các bể thảm mục, thảm tươi, gỗ chết có tỷ lệ rất thấp, từ 0.1% đến 0.6%; tổng của 3 bể chứa ngoài gỗ này là 1%. Trong đó carbon hữu cơ trong đất khá ổn định ở các cấp sinh khối,

chiều cao khác nhau, có nghĩa là khi rừng bị suy thoái thì lượng SOC có giảm sút nhưng không thất thoát hoàn toàn. Với tỷ lệ carbon của 3 bể chứa ngoài gỗ là rất thấp, do đó cần cân nhắc việc đo tính giám sát các bể chứa này, có thể bỏ qua nếu quá tốn kém.



Hình 3.25: Tỷ lệ carbon các bể chứa trong lâm phần ở cấp năng suất, sinh khối trung bình (II-2)

3.3.4 Dự báo tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO₂ của lâm phần

Dự báo tăng trưởng sinh khối, carbon của rừng không những có ý nghĩa quan trọng trong quản lý lâm sinh, mà đặc biệt trong giai đoạn hiện nay quốc tế cần các quốc gia có phương pháp tính toán và dự báo phù hợp nhằm giám sát và đánh giá phát thải hay hấp thụ CO₂ khi thực hiện REDD+. Theo IPCC (2006) chủ yếu có hai phương pháp giám sát thay đổi bể chứa carbon và hấp thụ/phát thải CO₂ rừng đó là phương pháp theo dõi tăng thêm hoặc mất đi của carbon rừng (Gain – Loss method) hoặc phương pháp thay đổi trữ lượng carbon tại các thời điểm (Stock Difference method), các phương pháp này đều đòi hỏi có đo tính rừng thường xuyên ở các thời điểm và tính toán lại carbon.

Luận án này cũng góp phần chỉ ra tăng trưởng của sinh khối và lượng CO₂ hấp thụ hàng năm của các lâm phần, đồng thời cũng đưa ra phương pháp để theo dõi hấp thụ CO₂ rừng trên cơ sở các mô hình allometric equations ở cấp lâm phần cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên.

Từ dữ liệu 224 cây cá thể giải tích xác định tuổi A và DBH, H đã xây dựng mô hình ước tính tuổi cây $A=f(DBH,H)$:

$$SQRT(A_year) = -0.828254 + 0.112779 * \ln(DBH^{20}/H)$$

Với $R^2_{adj}=69.8\%$; $CF=1.466$; $AIC=1017.7$ và $S\%=33.4$

Kết hợp với kết quả nghiên cứu cấu trúc sinh khối, carbon theo cấp kính cho 9 tổ hợp gồm 3 cấp sinh khối và 3 cấp năng suất; trên cơ sở đó tính tăng trưởng bình quân hàng năm của sinh khối và carbon theo từng cấp kính thông qua mô hình A theo hai nhân tố DBH và H, sau đó tổng hợp có được tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO_2 lâm phần.

Tăng trưởng sinh khối và carbon bình quân hàng năm cho từng cấp kính được tính theo công thức 2.9 và 2.10:

$$\Delta TTB = \frac{TTB}{A} \quad 2-9 \quad 2-9$$

$$\Delta TTC = \frac{TTC}{A} \quad 2-10 \quad 2-10$$

Trong đó:

ΔTTB , ΔTTC : Tăng trưởng bình quân sinh khối hoặc carbon (trên và dưới mặt đất cây gỗ), tấn/ha/năm theo từng cấp kính.

TTB, TTC: Tổng sinh khối hoặc carbon của cây gỗ trên và dưới mặt đất, tấn/ha/năm theo từng cấp kính.

A: Tuổi theo cấp kính và cấp chiều cao cây rừng được tính theo mô hình $A = f(DBH, H)$ đã lập.

Kết quả tính toán xác định được 9 tổ hợp tăng trưởng sinh khối, carbon của 3 cấp năng suất, 3 cấp sinh khối ở Phụ lục 18

Sau đây là kết quả đại diện của 3 lâm phần có năng suất và sinh khối cao, trung bình và thấp (I-1), (II-2) và (III-3).

Bảng 3.50 Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất I, cấp sinh khối 1 (I-1)

Cấp kính TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	ΔTTB (t/ha/năm)	ΔTTC (t/ha/năm)
5	667	7.9	7	5.2	2.2	0.7	0.3
15	447	17.4	25	59.2	26.6	2.4	1.1
25	137	23.0	37	63.2	28.8	1.7	0.8
35	63	27.2	46	65.1	29.9	1.4	0.7
45	39	30.5	54	74.3	34.2	1.4	0.6
55	11	33.3	61	33.6	15.5	0.6	0.3
65	10	35.7	67	43.0	19.9	0.6	0.3
75	6	37.8	72	38.0	17.6	0.5	0.2
85	3	39.8	77	21.3	9.9	0.3	0.1

Cấp kính TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
95	1	41.5	81	9.0	4.2	0.1	0.1
105	0	43.1	85	0.0	0.0	0.0	0.0
115	1	44.6	89	15.2	7.0	0.2	0.1
125	0	46.0	93	0.0	0.0	0.0	0.0
135	1	47.3	96	20.2	9.4	0.2	0.1
145	1	48.5	99	25.9	12.0	0.3	0.1
Tổng	1387			473.1	217.3	10.4	4.7

Kết quả tính toán ở Bảng 3.53 cho thấy, tăng trưởng bình quân hàng năm về sinh khối của lâm phần cấp năng suất và cấp sinh khối tốt nhất là 10.4 tấn/ha/năm và 4.7 tấn/ha/năm carbon.

Bảng 3.51: Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất II, cấp sinh khối 2 (II-2)

cấp kính TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
5	803	6.7	7	5.5	2.3	0.8	0.3
15	453	14.4	25	51.4	22.5	2.1	0.9
25	179	19.0	37	70.3	31.2	1.9	0.8
35	47	22.4	47	41.8	18.7	0.9	0.4
45	27	25.0	55	43.6	19.6	0.8	0.4
55	14	27.3	61	35.0	15.7	0.6	0.3
65	3	29.2	67	10.9	4.9	0.2	0.1
75	1	31.0	73	7.7	3.5	0.1	0.0
85	1	32.5	77	10.3	4.7	0.1	0.1
95	0	33.9	82	0.0	0.0	0.0	0.0
105	0	35.2	86	0.0	0.0	0.0	0.0
115	0	36.4	90	0.0	0.0	0.0	0.0
125	0	37.5	93	0.0	0.0	0.0	0.0
135	0	38.6	97	0.0	0.0	0.0	0.0
145	0	39.5	100	0.0	0.0	0.0	0.0
155	1	40.5	103	20.1	9.0	0.2	0.1
Tổng	1530			296.7	132.1	7.6	3.3

Tăng trưởng bình quân hàng năm ở lâm phần cấp năng suất, sinh khối trung bình (II-2) về sinh khối là 7.6 tấn/ha/năm và carbon là 3.3 tấn/ha/năm.

Bảng 3.52 Tăng trưởng sinh khối, carbon cấp năng suất III, cấp sinh khối 3 (III-3)

Cấp kính TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	Δ TTB (t/ha/năm)	Δ TTC (t/ha/năm)
5	1022	5.5	7	5.9	2.4	0.8	0.3
15	304	11.5	25	28.5	12.1	1.1	0.5
25	37	15.0	38	11.9	5.1	0.3	0.1
35	28	17.6	47	20.3	8.8	0.4	0.2
45	8	19.6	55	10.4	4.5	0.2	0.1
55	4	21.3	62	9.0	3.9	0.1	0.1
65	2	22.8	68	6.6	2.9	0.1	0.0
75	0	24.1	73	0.0	0.0	0.0	0.0
85	0	25.3	78	0.0	0.0	0.0	0.0
95	1	26.4	82	5.3	2.3	0.1	0.0
Tổng	1406			97.9	42.0	3.2	1.4

Ở cấp năng suất, cấp sinh khối thấp nhất có sự suy giảm mạnh về tăng trưởng bình quân hàng năm về sinh khối và carbon. Tăng trưởng bình quân hàng năm về sinh khối là 3.2 tấn/ha/năm và carbon là 1.4 tấn/ha/năm. Chênh lệch này chỉ còn thấp hơn một nửa so với cấp trung bình (II-2).

Qua kết quả phân tích trên cho thấy, sai khác cấp năng suất, cấp sinh khối sẽ có sự sai khác khá lớn về tăng trưởng bình quân hàng năm về sinh khối và carbon. Như vậy để dự báo khả năng hấp thụ CO₂ cần phải phân cấp năng suất và cấp sinh khối để hạn chế sai số khi dự báo.

Với cách tiếp cận tính tăng trưởng sinh khối và carbon này, các chỉ tiêu sinh khối, carbon, tuổi đều được thông qua các mô hình, do vậy dễ dàng theo dõi tăng trưởng định kỳ trên cơ sở thể số cây thay đổi theo cấp kính ở thời điểm điều tra là dự báo được tăng trưởng sinh khối và carbon cho từng lâm phần.

Tổng hợp kết quả tính toán tăng trưởng sinh khối và carbon 9 đơn vị của lâm phần ở rừng lá rộng thường xanh khu vực Tây Nguyên có thể xác định được lượng hấp thụ CO₂ hàng năm 9 đơn vị phân chia như sau:

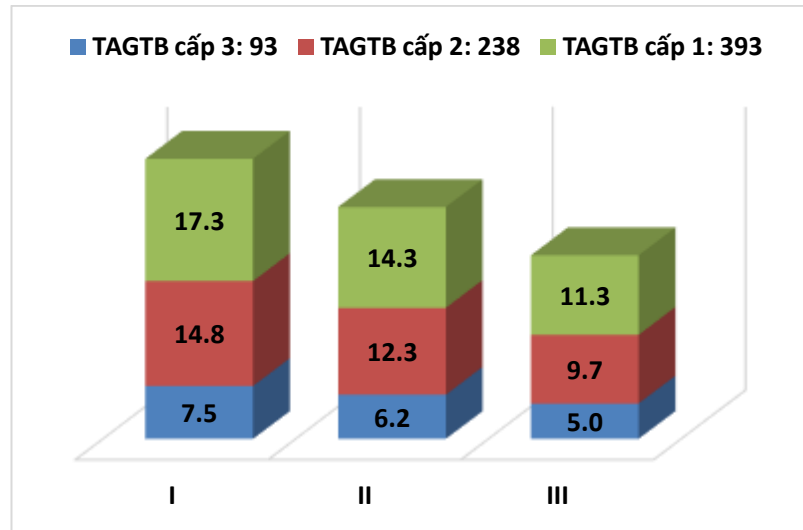
Bảng 3.53: Tăng trưởng sinh khối, carbon và khả năng hấp thụ CO₂ ở 9 đơn vị phân chia (3 cấp sinh khối – 3 cấp năng suất) của rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên

Cấp sinh khối / TAGTB (tấn/ha)	Giá trị tích lũy, hấp thụ	Cấp năng suất H		
		I	II	III
1 315 – 470	TAGTC (tấn/ha)	196.8	162.5	128.1
	TBGTC (tấn/ha)	20.5	17.2	13.9
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	10.4	8.8	7.2
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	4.7	3.9	3.1
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	17.3	14.3	11.3
2 160 - 315	TAGTC (tấn/ha)	143.7	118.9	94.0
	TBGTC (tấn/ha)	15.7	13.2	10.7
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	8.9	7.6	6.2
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	4.0	3.3	2.6
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	14.8	12.3	9.7
3 25 - 160	TAGTC (tấn/ha)	57.0	47.3	37.5
	TBGTC (tấn/ha)	6.6	5.5	4.5
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	4.6	3.9	3.2
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	2.0	1.7	1.4
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	7.5	6.2	5.0

Với $CO_2 = 3.67C$

Bảng 3.53 cho thấy khả năng hấp thụ CO₂ ở rừng lá rộng thường xanh khu vực Tây Nguyên ở cấp năng suất, cấp sinh khối thấp nhất (III-3) là 5.0 tấn/ha/năm; và cao nhất ở cấp năng suất và sinh khối tốt nhất (I-1) là 17.3tấn/ha/năm.

Bảng 3.53 cũng chỉ ra biến động tăng trưởng sinh khối của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên từ 3.2 đến 10.4tấn/ha/năm, trong khi đó theo IPCC (2006) biến động này ở rừng nhiệt đới ẩm ở mức 3.4 – 13.0 tấn/ha/năm. Như vậy phạm vi biến động tăng trưởng về sinh khối của lâm phần luận án này phù hợp với các nghiên cứu của quốc tế, nhưng biến động có biên độ hẹp hơn do đó phù hợp với điều kiện thực tế rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên hơn.



Hình 3.26: Hấp thụ CO₂ (tấn/ha/năm) rừng lá rộng thường xanh theo cấp sinh khối và cấp chiều cao

Cấp năng suất là chỉ tiêu phản ánh năng lực sản xuất của cây rừng dưới các điều kiện khí hậu, địa hình, đất đai... Như vậy có nghĩa là ở cấp năng suất tốt cây rừng trong lâm phần cho năng suất sinh học là cao nhất. Hình 3.26 cho thấy ở cấp năng suất I là tốt nhất, và khả năng hấp thụ CO₂ ở cấp này cũng nhiều nhất, năng lực này suy giảm dần ở cấp II và cấp III.

Khả năng hấp thụ CO₂ ở các cấp sinh khối cho thấy, biến động về hấp thụ CO₂ ở 1 và cấp 2 là không lớn lắm. Ở cấp sinh khối 1 lâm phần đã ổn định, vì vậy khả năng hấp thụ CO₂ là tốt nhất. Sự chênh lệch khá lớn về khả năng hấp thụ CO₂ giữa cấp sinh khối 2 và 3 cho thấy, rừng ở cấp sinh khối 3 sinh trưởng kém hơn mặt khác các đối tượng này do bị tác động mạnh ở nhiều cấp độ khác nhau nên năng lực hấp thụ CO₂ bị suy giảm mạnh.

Dự báo tăng trưởng sinh khối, carbon và khả năng hấp thụ CO₂ của lâm phần có ý nghĩa lớn trong bối cảnh thế giới tăng cường giám sát biến đổi nồng độ CO₂ trong môi trường nhằm hạn chế biến đổi khí hậu. Đây là cơ sở để quốc tế cũng như các quốc gia đưa ra các hoạch định chiến lược giảm thiểu khí phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng. Kết quả luận án này sẽ góp phần cho dự báo và giám sát thay đổi khả năng hấp thụ CO₂ cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên, đồng thời là tham khảo để xây dựng mô hình cho các kiểu rừng khác ở Tây Nguyên và Việt Nam.

3.4 PHÂN LOẠI ẢNH SPOT 5 VÀ GIS TRONG ƯỚC TÍNH – GIÁM SÁT SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG

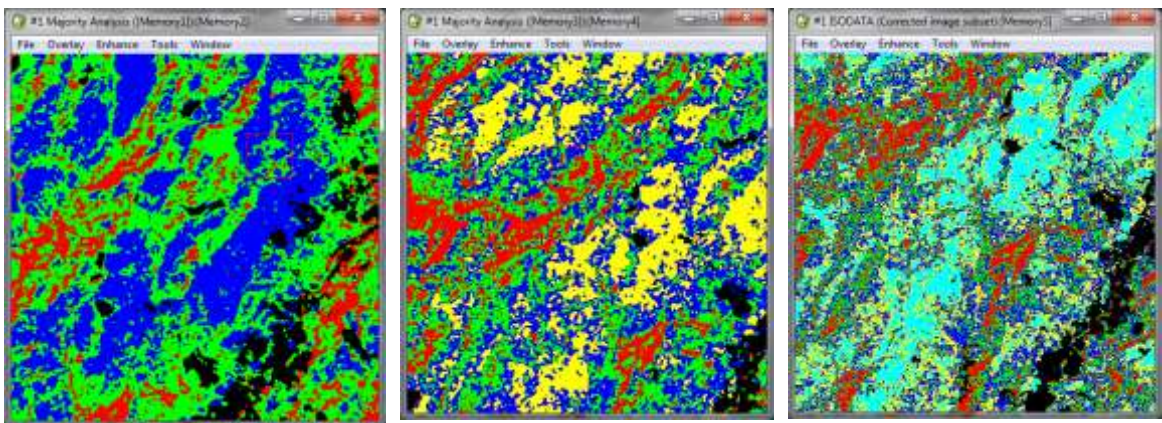
Để thử nghiệm ứng dụng ảnh vệ tinh SPOT 5 trong ước tính giám sát sinh khối và carbon rừng, đã tiến hành nghiên cứu:

- Phân loại ảnh vệ tinh theo phi giám định (Unsupervised) theo phương pháp ISODATA và thử nghiệm mối quan hệ giữa sinh khối lâm phần (TAGTB) của các ô mẫu mặt đất với các chỉ số ảnh theo các lớp phân loại.
- Phân loại ảnh vệ tinh có giám định (Supervised) theo phương pháp Maximum Likelihood, trong đó ảnh được phân loại thành 3 cấp TAGTB theo các ô mẫu mặt đất.

Sử dụng 140 ô mẫu 1000m² hình tròn đã xác định TAGTB (tấn/ha) để nghiên cứu quan hệ với chỉ số ảnh và 69 ô mẫu độc lập để đánh giá độ tin cậy, sai số của hai phương pháp thử nghiệm.

3.4.1 Phân loại ảnh vệ tinh SPOT 5 bằng phương pháp phi giám định và lập mối quan hệ sinh khối, carbon lâm phần với các lớp phân loại

Như đã trình bày trong mục 2.5.7.5 về phương pháp phân loại phi giám định, nghiên cứu đã chia ảnh SOPT thành 3 lớp, 4 lớp và 5 lớp trên cơ sở quan điểm rừng có thể phân chia từ 3 đến 5 khối đồng nhất về sinh khối rừng. (Hình 3.27)



Phân loại phi giám định thành 3 lớp

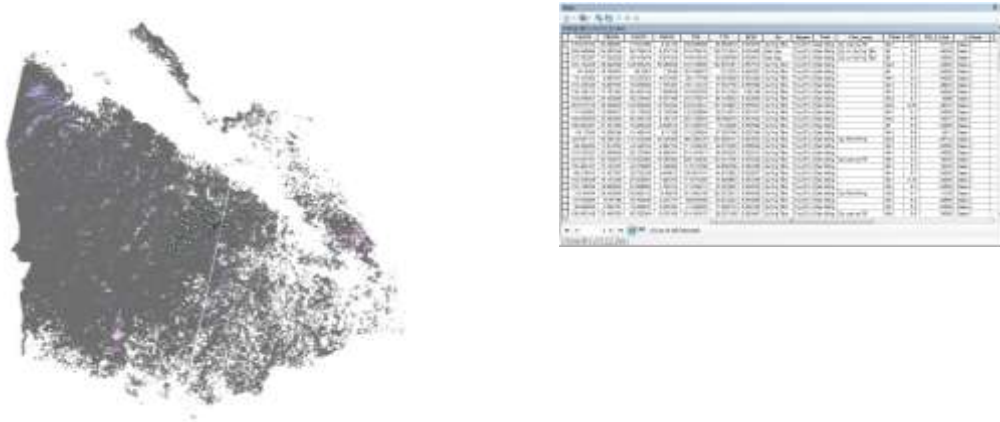
Phân loại phi giám định thành 4 lớp

Phân loại phi giám định thành 5 lớp

Hình 3.27 Phân loại phi giám định 3 lớp, 4 lớp và 5 lớp trong ENVI

Sau khi phân loại ảnh thành các hệ thống lớp khác nhau, chuyển đổi dữ liệu dạng raster thành vector với các lớp nói trên và chồng với lớp tọa độ 140 ô mẫu đã tính

toán sinh khối trên mặt đất (TAGTB); tạo được cơ sở dữ liệu quan hệ giữa sinh khối ứng với các class đã phân loại khác nhau ở Hình 3.28.



Hình 3.28: Chồng xếp 140 ô mẫu lên 3 hệ thống phân loại ảnh phi giám định

Trên cơ sở dữ liệu TAGTB theo 3 hệ thống phân loại 3-4-5 class, thử nghiệm lập mô hình quan hệ: $TAGTB = f(3_Class, 4_Class, 5_Class)$. Phương pháp xây dựng mô hình thực hiện theo quy trình xây dựng mô hình hồi quy dựa vào chỉ số C_p để chọn số class, phương pháp ước lượng và chọn hàm tối ưu dựa 7 chỉ tiêu đã trình bày trong mục 2.5.4.

Kết quả luận án đã xây dựng được 7 mô hình tối ưu về quan hệ TAGTB với từng lớp riêng và dạng tổ hợp các lớp tạo thành dạng 2 biến và 4 biến được tổng hợp ở Bảng 3.54.

Bảng 3.54: Mô hình tối ưu quan hệ TAGTB với hệ thống class trong phân loại ảnh phi giám định

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	CF	AIC	S%	S'%	P(T<=t) one-tail	Mã hàm
TAGTB=f(Id_3)	$\ln(TAGTB)/Id_3_Class = 4.92939 - 4.55766*\ln(Id_3_Class) + 0.202136*(Id_3_Class^2)$	94.8	1.05	-333.8	39.8	10.0	0.02	3-132
TAGTB=f(Id_4)	$\ln(TAGTB)/Id_4_Class = 4.93751 - 4.05836*\ln(Id_4_Class) + 0.129053*(Id_4_Class^2)$	95.9	1.03	-374.8	46.9	16.0	0.08	3-133
TAGTB=f(Id_5)	$\ln(TAGTB)/Id_5_Class = 4.92213 - 3.66916*\ln(Id_5_Class) + 0.0857119*Id_5_Class^2$	96.7	1.03	-390.6	61.7	28.1	0.40	3-134

Dạng hàm	Hàm	R ² adj (%)	CF	AIC	S%	S'%	P(T<=t) one-tail	Mã hàm
TAGTB=f(Id_3_4 class)	$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_3_Class} = 4.95427 - 3.60624*\ln(\text{Id_3_Class}) + 0.0395272*\text{Id_4_Class}^2$	93.3	1.06	-296.9	45.8	6.3	0.08	3-135
TAGTB=f(Id_3_5class)	$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_3_Class} = 4.9753 - 3.75463*\ln(\text{Id_3_Class}) + 0.0322547*\text{Id_5_Class}^2$	93.6	1.06	-304.4	43.9	0.7	0.00	3-136
TAGTB=f(Id_4_5class)	$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_4_Class} = 4.87108 - 3.5329*\ln(\text{Id_4_Class}) + 0.0500584*(\text{Id_5_Class}^2)$	94.5	1.05	-332.9	45.8	1.4	0.02	3-137
TAGTB=f(Id_3_4_5class)	$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_4_Class} = 4.9368 - 3.41084*\ln(\text{Id_4_Class}) + 0.0144115*\text{Id_3_Class}*\text{Id_5_Class}^2$	94.6	1.04	-336.9	50.5	9.8	0.08	3-138

Sử dụng 69 ô mẫu độc lập không tham gia lập mô hình để đánh giá sai số của các hệ thống phân loại ảnh. Chồng ghép tọa độ 69 ô mẫu độc lập lên các lớp ảnh phân chia và kiểm tra biến động S% và sai số tương đối (S'%) 7 mô hình. Đồng thời sử dụng tiêu chuẩn t bất cặp theo một chiều để kiểm tra sai khác giữa TAGTB ước lượng từ mô hình thông qua các lớp ảnh với dữ liệu TAGTB của 69 ô độc lập không tham gia lập mô hình.

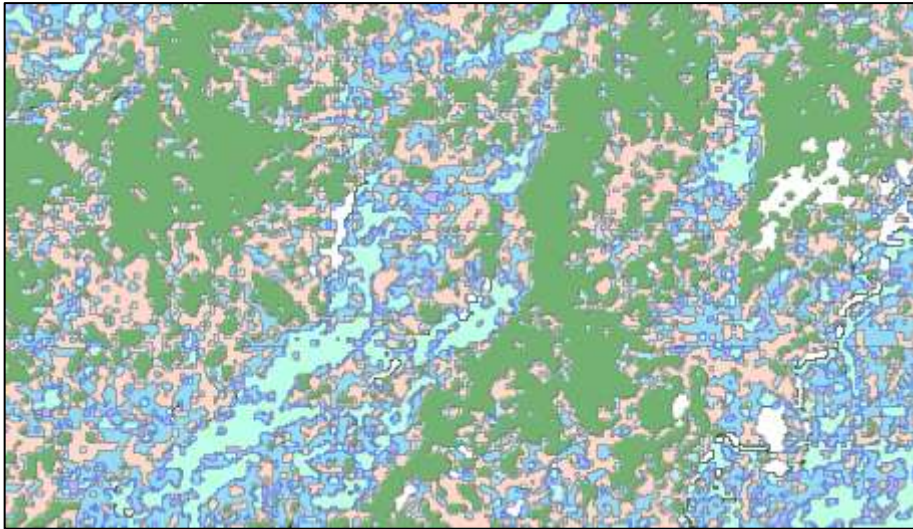
Bảng 3.54 cho thấy 3 mô hình 3-132, 3-136, 3-137 có P(T<=t) one-tail < 0.05, có nghĩa là có sự sai khác giữa giá trị sinh khối ước tính qua ảnh với thực tế ở mức tin cậy 95%, do đó các mô hình này không phù hợp.

Kết quả lựa chọn cho thấy mô hình quan hệ TAGTB (mô hình 3-135) với tổ hợp hai hệ thống phân loại ảnh thành 3 và 4 lớp có độ tin cậy cao nhất; với biến động S% = 45.8% là bé nhất, sai số tương đối S'% = 6.3% là bé nhất; đồng thời qua kiểm tra bằng tiêu chuẩn t bất cặp một chiều có P > 0.05, có nghĩa chưa có sự sai khác giữa sinh khối ước lượng qua phân loại ảnh thành 3 và 4 lớp chồng xếp với dữ liệu đánh giá độc lập.

Như vậy phân loại ảnh phí giám định thành 3 và 4 lớp chồng xếp và lập quan hệ với TAGTB để lập bản đồ, dữ liệu sinh khối rừng từ ảnh SPOT 5 có độ tin cậy cao,

sai số tương đối rất thấp với $S\% = 6.3\%$ và không có sai khác giữa giá trị sinh khối ước tính qua ảnh với thực tế ở mức tin cậy 95%.

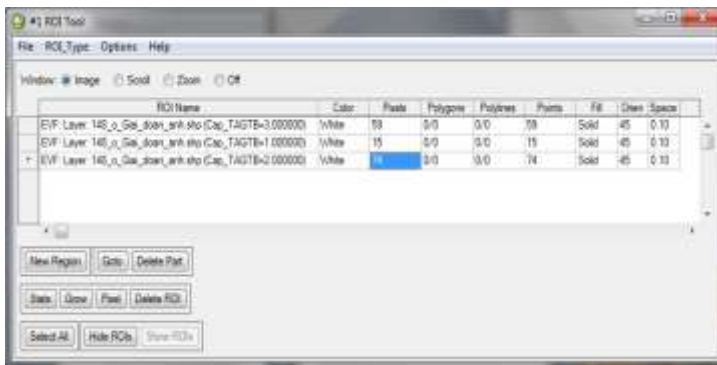
Trên cơ sở này chồng ghép 2 hệ thống phân loại 3 và 4 class sau đó sử dụng mô hình quan hệ TAGTB với tổ hợp class lập được bản đồ sinh khối và carbon rừng.



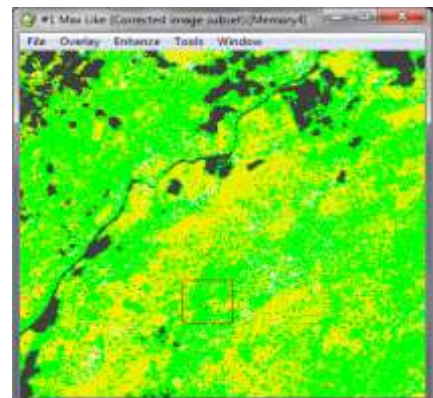
Hình 3.29: Tổ hợp chồng xếp hệ thống phân loại ảnh phi giám định với 3 và 4 class có quan hệ chặt chẽ với TAGTB

3.4.2 Phân loại ảnh có giám định để phân chia rừng theo cấp sinh khối

Trên cơ sở kết quả phân cấp sinh khối ở mục 3.3.3.2 đã xác định được 3 cấp sinh khối cho rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây nguyên. Dựa vào kết quả phân cấp này tiến hành phân loại ảnh theo 3 cấp sinh khối.



140 ô mẫu tạo thành ROI để phân loại ảnh theo cấp sinh khối



Ảnh SPOT 5 được phân chia thành 3 cấp sinh khối trên cơ sở 140 ô mẫu hiện trường đã phân cấp sinh khối TAGTB

Hình 3.30: Ảnh đã được phân loại giám định thành 3 cấp sinh khối dựa vào 140 ô mẫu hiện trường

Sử dụng 140 ô mẫu đa phân chia thành 3 cấp sinh khối để phân loại ảnh SOPT 5. Sử dụng chức năng phân loại trong Envi: Classification/Supervised/Maximum Likelihood. Chọn ảnh và chọn mặt nạ có rừng và chọn vùng điểm quan tâm (ROI) để phân loại cấp sinh khối theo file 140 ô mẫu đã được phân cấp TAGTB (Hình 3.30). Kết quả phân loại được rừng thành 3 cấp sinh khối TAGTB trên ảnh Sử dụng 69 ô mẫu độc lập không tham gia phân loại để kiểm định kết quả phân loại. Các ô này được bố trí ngẫu nhiên, tính TAGTB và phân thành 3 cấp sinh khối tương đồng. Việc đánh giá dựa trên sai số giữa các pixel đã được phân loại thành 3 cấp sinh khối theo phương pháp Maximum Likelihood và điểm ô mẫu trên thực tế. Kết quả đánh giá dựa trên các tiêu chí thống kê độ chính xác toàn bộ (overall accuracy), độ chính xác của người sản xuất (Producer accuracy) và độ chính xác của người sử dụng (User accuracy). Công việc này được thực hiện trong phần mềm Envi. Sử dụng chức năng đánh giá trong Envi: Post Classification / Confusion matrix.

Kết quả kiểm tra phương pháp phân loại cấp sinh khối rừng có giám định độ tin cậy toàn bộ là 33.8% với hệ số Kapa rất thấp = -0.1787 (Hình 3.31). Với độ tin cậy không cao, cho thấy phương pháp phân loại ảnh theo phương pháp có giám định thành các cấp sinh khối không đủ tin cậy để ước tính sinh khối, carbon qua ảnh. Phương pháp cũng thường được dùng để phân loại thảm phủ rừng, lập bản đồ hiện trạng, trạng thái rừng trong nước và trên thế giới.

Confusion Matrix: C:\N1-VT GIS Tri Tuy Duc\7 - Phan loai co giam dinh theo cap sinh khoi\Floai co giam dinh 3 cap TAGTB

Overall Accuracy = (23/68) 33.8235%
Kappa Coefficient = -0.1787

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	Xtra	Cap_TAGTB	Xtra	Cap_TAGTB	
Unclassified	0	0	0	0	0
Cap_TAGTB 1	1	0	0	0	1
Cap_TAGTB 2	3	12	16	31	31
Cap_TAGTB 3	3	23	10	36	36
Total	7	35	26	68	68

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	Xtra	Cap_TAGTB	Xtra	Cap_TAGTB	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cap_TAGTB 1	14.29	0.00	0.00	0.00	1.47
Cap_TAGTB 2	42.86	34.29	61.54	45.59	45.59
Cap_TAGTB 3	42.86	65.71	30.46	52.94	52.94
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	Cap_TAGTB	Xtra	Cap_TAGTB	Xtra
Cap_TAGTB 1	0.00	85.71	0/1	6/7
Cap_TAGTB 2	61.29	65.71	19/31	23/35
Cap_TAGTB 3	72.22	61.54	26/36	16/36

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	Cap_TAGTB	Xtra	Cap_TAGTB	Xtra
Cap_TAGTB 1	14.29	100.00	1/7	1/7
Cap_TAGTB 2	34.29	38.71	12/35	12/31
Cap_TAGTB 3	30.46	27.78	10/36	10/36

Hình 3.31: Ma trận độ tin cậy của phân loại có giám định

Như vậy qua kết quả thử nghiệm ứng dụng ảnh vệ tinh SPOT 5 để ước tính giám sát sinh khối carbon rừng theo 2 phương pháp, đi đến kết luận: Phương pháp phân loại ảnh vệ tinh SPOT 5 phi giám định thành 3 và 4 lớp, chồng xếp hai hệ thống lớp này tạo ra một hệ thống phân loại mới đã phát hiện được quan hệ rất tốt với giá trị sinh khối lâm phần trên mặt đất. Từ đây ước tính và lập được bản đồ sinh khối qua mô hình quan hệ TAGTB với hệ thống tổ hợp 3-4 class với độ tin cậy lên đến 93.7% qua đánh giá bằng rút mẫu độc lập đủ lớn (64 ô mẫu đánh giá độc lập).

Mô hình ước tính TAGTB theo hệ thống 3-4 class theo phân loại ảnh SPOT 5 phi giám định:

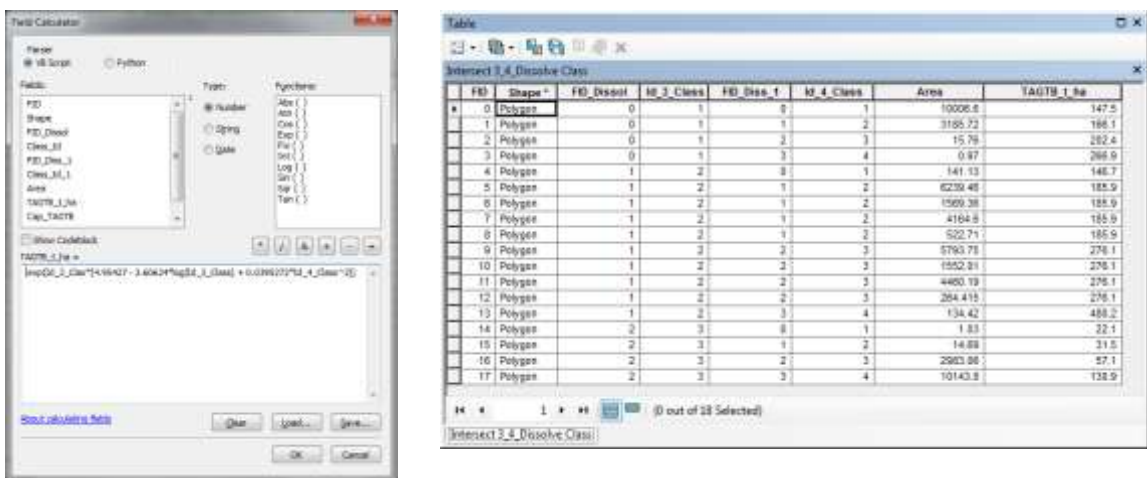
$$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_3_Class} = 4.95427 - 3.60624 * \ln(\text{Id_3_Class}) + 0.0395272 * \text{Id_4_Class}^2 \quad 3-135$$

3.4.3 Quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng GIS

Từ kết quả phân loại phi giám định cho thấy sinh khối cây rừng trên mặt đất có quan hệ chặt chẽ với tổ hợp 3 lớp và 4 lớp. Sử dụng phương pháp này để tạo lập cơ sở dữ liệu và bản đồ sinh khối, carbon rừng.

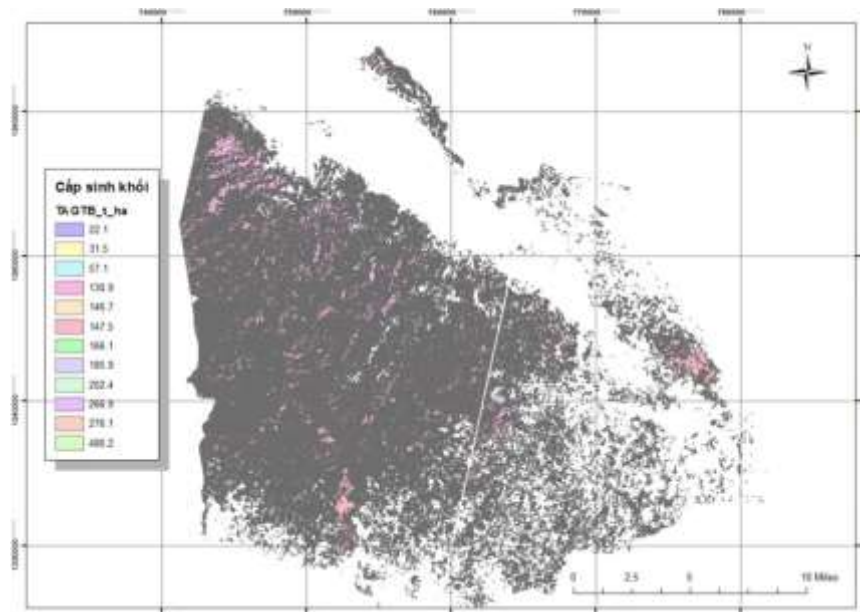
Tiến hành chồng các lớp với 3 class và 4 class có quan hệ với TAGTB, thêm các trường dữ liệu về sinh khối, diện tích ... và sử dụng mô hình để tính TAGTB theo tổ hợp của 3-4 lớp trong ArcGIS:

$$\ln(\text{TAGTB})/\text{Id_3_Class} = 4.95427 - 3.60624 * \ln(\text{Id_3_Class}) + 0.0395272 * \text{Id_4_Class}^2 \quad 3-135$$



Hình 3.32: TAGTB được tính qua mô hình cho từng tổ hợp polygon của hệ thống 3 và 4 class trong ArcGIS

Từ đây đưa ra bản đồ sinh khối được lập từ ảnh SPOT 5 theo hệ thống phân loại phi giám định với 3 - 4 class tổ hợp (Hình 3.33).



Hình 3.33: Bản đồ sinh khối các tổ hợp 3 lớp và 4 lớp ảnh SPOT 5

Trong thực tế cần quản lý rừng theo từng trạng thái, khối trạng thái, cấp trữ lượng, sinh khối khác nhau; mặc khác không thể quản lý theo dạng pixel hoặc tổ hợp các polygon vì số lượng polygon rất nhiều. Do đó, dựa vào cấp sinh khối để gộp và xây dựng bản đồ theo cấp sinh khối.

Kết quả nghiên cứu phân chia cấp sinh khối, thống nhất cấp sinh khối trong nghiên cứu lâm phần: Cấp 1 (Cao) > 315 tấn/ha; Cấp 2 (TB): 160 – 315 tấn/ha và Cấp 3 (Thấp): < 160 tấn/ha.

Sử dụng chức năng lọc của ArcGIS để gán cấp sinh khối 1, 2 và 3 như Hình 3.34.

Cấp sinh khối và sinh khối trung bình cho từng cấp được tính trong ArcGIS. Sau đó gộp các polygon cùng cấp sinh khối bằng lệnh Dissolve để hình thành bản đồ theo cấp sinh khối.

Từ đây mở các trường sinh khối, carbon lâm phần trên và dưới mặt đất và sử dụng các mô hình quan hệ giữa TBGTB, TAGTC, TBGTC = f(TAGTB) để tính các giá trị sinh khối, carbon toàn lâm phần.

Tính tổng sinh khối TTB và tổng carbon TTC của vùng nghiên cứu:

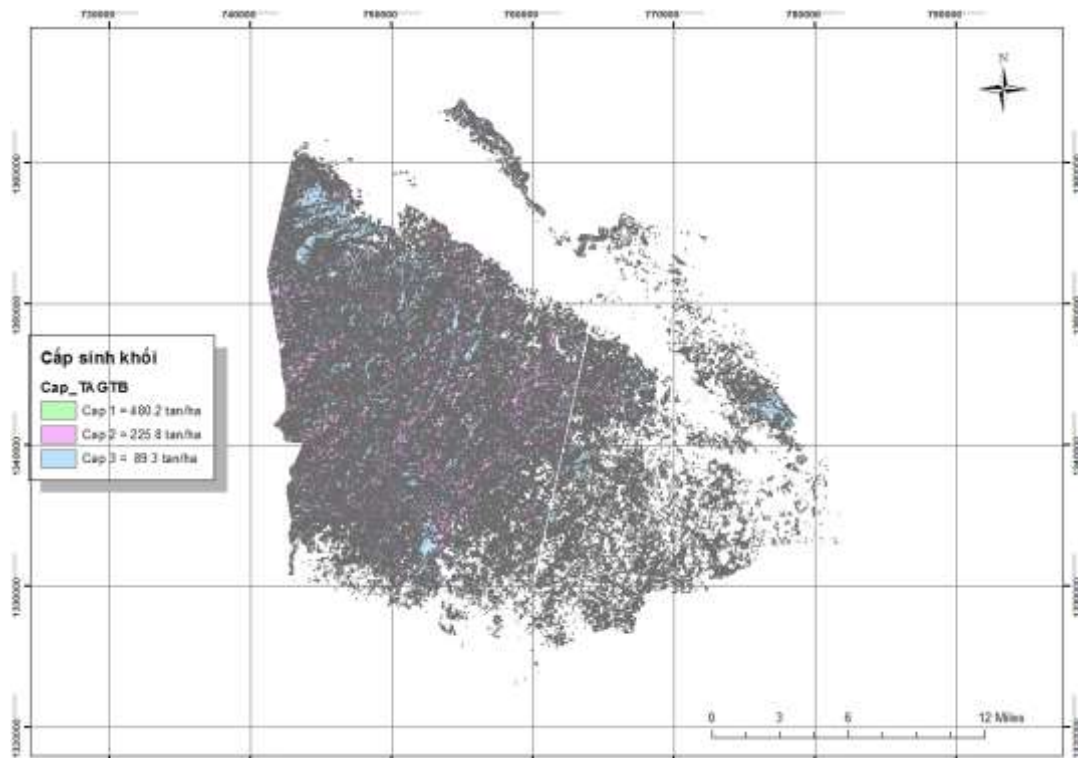
$$TTB = TTB/ha * Area \text{ (Diện tích của từng cấp sinh khối)}$$

$TTC = TTC/ha * Area.$

Shape	FID_Dissol	id_3_Class	FID_Diss_1	id_4_Class	Area	TAGTB_1_ha	Cap_TAGTB	TAGTB_TB
Polygon	1	2	3	4	134.42	480.2	1	480.2
Polygon	0	1	1	2	3185.72	188.1	2	225.8
Polygon	0	1	2	3	15.78	202.4	2	225.8
Polygon	0	1	3	4	0.97	266.9	2	225.8
Polygon	1	2	1	2	8239.48	185.9	2	225.8
Polygon	1	2	1	2	1569.38	185.9	2	225.8
Polygon	1	2	1	2	4164.6	185.9	2	225.8
Polygon	1	2	1	2	522.71	185.9	2	225.8
Polygon	1	2	2	3	5793.75	276.1	2	225.8
Polygon	1	2	2	3	1552.01	276.1	2	225.8
Polygon	1	2	2	3	4460.19	276.1	2	225.8
Polygon	1	2	2	3	264.415	276.1	2	225.8
Polygon	0	1	0	1	10095.6	147.5	3	89.3
Polygon	1	2	0	1	141.13	148.7	3	89.3
Polygon	2	3	0	1	1.03	22.1	3	89.3
Polygon	2	3	1	2	14.69	31.5	3	89.3
Polygon	2	3	2	3	2983.08	57.1	3	89.3
Polygon	2	3	3	4	10143.8	130.9	3	89.3

Hình 3.34: Gắn 3 cấp sinh khối trong ArcGIS

Kết quả có được bản đồ cấp sinh khối và các giá trị sinh khối, carbon trung bình trên hecta ở trên dưới mặt đất và tổng sinh khối và carbon của toàn khu vực tại thời điểm điều tra như sau:



Hình 3.35: Bản đồ cấp sinh khối vùng Tuy Đức tỉnh Đắk Nông

Cơ sở dữ liệu sinh khối và carbon rừng được quản lý trong ArcGIS trình bày trong Bảng 3.55. Kết quả cho thấy tại thời điểm giải đoán ảnh SPOT trên khu vực nghiên cứu diện tích có sinh khối rừng là 51193 ha, lưu giữ được 9.5 triệu tấn sinh khối ứng với 4.1 triệu tấn carbon và 15.2 triệu tấn CO₂ tương đương.

Tại thời điểm giám sát rừng tiếp theo chỉ cần phân loại lại rừng bằng ảnh theo 3-4 lớp, từ đó sử dụng các mô hình quan hệ với các lớp phân loại sẽ cập nhật được lượng sinh khối, carbon thay đổi theo thời gian.

Bảng 3.55: Cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon rừng trong GIS tại thời điểm chụp của ảnh vệ tinh SOPT 5

Cấp SK	TAGTB	Diện tích (ha)	TBGTB	TAGTC	TBGTC	TTB	TTC	TTB	TTC	CO ₂
	trung bình (tấn/ha)		trung bình (tấn/ha)	trung bình (tấn/ha)	trung bình (tấn/ha)	trung bình (tấn/ha)	trung bình (tấn/ha)	(tấn)	(tấn)	(tấn)
1	480	134	54	214	22	534	236	71,560	31,669	116,226
2	226	27,769	27	100	11	253	111	7,037,118	3,088,410	11,334,463
3	89	23,290	12	39	5	101	44	2,348,670	1,019,743	3,742,457
Tổng		51,193						9,457,349	4,139,822	15,193,146

3.5 GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM – GIS VÀ MÔ HÌNH SINH TRẮC TRONG ĐO TÍNH, GIÁM SÁT CO₂ PHÁT THẢI/HẤP THỤ

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu thiết lập hệ thống mô hình sinh trắc cây cá thể, lâm phần và giải pháp sử dụng ảnh vệ tinh trong đo tính, giám sát sinh khối, carbon rừng; căn cứ vào năng lực, nguồn lực thực tế của các đối tượng áp dụng, đề xuất giải pháp ứng dụng cho 3 nhóm đối tượng chính: i) Cộng đồng dân cư tham gia giám sát carbon rừng trong chương trình REDD+, ii) Cán bộ kỹ thuật lâm nghiệp chuyên nghiệp của các chủ rừng, các cấp quản lý và iii) Các chuyên gia lâm nghiệp, viễn thám – GIS.

Mỗi nhóm đối tượng sẽ áp dụng các mô hình, công nghệ khác nhau nhưng cùng đi đến kết quả chung là quản lý được CO₂ phát thải/hấp thụ trong khu rừng mình quản lý.

Tiến trình chung được chia thành 4 bước chính (Hình 3.36):

- Phân loại ảnh vệ tinh
- Thu thập dữ liệu rừng

- Sử dụng các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon
- Quản lý và cập nhật thông tin hấp thụ và phát thải CO₂ rừng trong GIS

3.5.1 Phân loại ảnh vệ tinh

Ảnh viễn thám sử dụng có độ phân giải trung bình đến cao là thích hợp. Đề tài đã sử dụng ảnh SPOT 5 với độ phân giải 10x10m.

Tiến hành phân loại ảnh phi giám định để tạo thành các polygon tương đối đồng nhất chỉ số DN của ảnh trên cơ sở tổ hợp 2 hệ thống 3-4 class. Lập bản đồ phân cấp tổ hợp class để cung cấp cho các đối tượng sử dụng. Đây là các đơn vị phân loại rừng cơ bản để rút mẫu điều tra mặt đất.

Công việc này cần tiến hành bởi chuyên gia ảnh viễn thám và ở quy mô cấp tỉnh đến vùng.

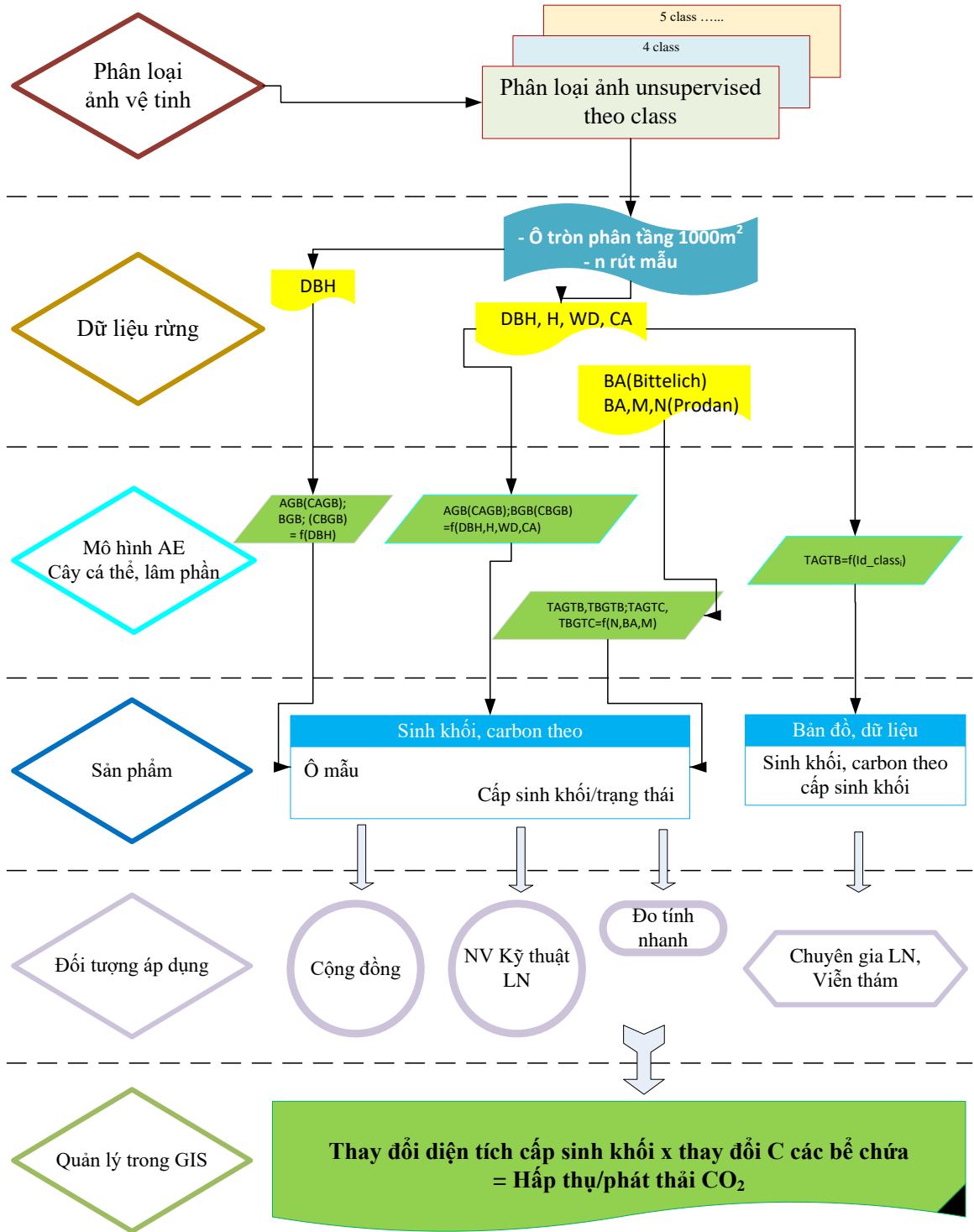
3.5.2 Thu thập dữ liệu rừng

Cơ sở dữ liệu mặt đất là một trong những yếu tố quan trọng quyết định độ chính xác của các kết quả đo tính, giám sát thay đổi sinh khối và carbon.

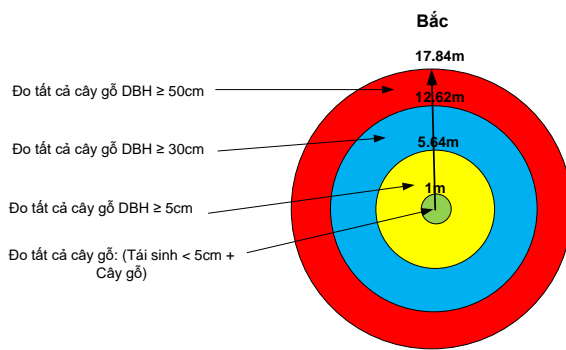
Tùy thuộc quy mô điều tra đo tính, yêu cầu độ tin cậy để áp dụng các phương pháp điều tra khác nhau và phù hợp cho từng đối tượng tham gia.

Dựa trên bản đồ phân cấp class, tiến hành rút mẫu theo hệ thống phân loại cấp sinh khối. Số lượng ô mẫu cần bảo đảm sai số < 10% theo yêu cầu của IPCC.

Ô mẫu đề nghị là dạng ô phân tầng hình tròn, diện tích 1000m² (Hình 3.37); vì ô này dễ lập trên thực địa, đặc biệt là địa hình dốc, giảm chi phí đo đếm vì phân tầng cấp kính điều tra; số lượng cây nhỏ nhiều sẽ đo trong diện tích ô phụ nhỏ và ngược lại.



Hình 3.36: Tiến trình đo tính, giám sát sinh khối, carbon theo từng đối tượng ứng dụng



Hình 3.37: Ô mẫu phân tầng (Bảo Huy 2012)

Thu thập dữ liệu ô mẫu cần phân chia thành nhóm đối tượng tham gia điều tra theo khả năng kỹ thuật như sau:

i) Đối với người dân, cộng đồng địa phương: Xác định vị trí ô mẫu, lập ô mẫu, xác định loài và đo DBH.

ii) Đối với cán bộ kỹ thuật: Tùy theo

yêu cầu và độ chính xác mà cán bộ kỹ thuật có thể đo đếm thu thập số liệu trên ô tiêu chuẩn từ 2 đến 4 nhân tố: DBH, H, CA và WD.

iii) Đối với chuyên gia lâm nghiệp, viễn thám: Điều tra đầy đủ các chỉ tiêu: DBH, H, CA và WD.

Ngoài ra để ước lượng sinh khối trên diện rộng với yêu cầu độ tin cậy không cao, các phương pháp điều tra nhanh có thể được sử dụng như phương pháp Bittelich để xác định BA hoặc phương pháp Prodan (ô mẫu 6 cây) cung cấp chỉ tiêu N, BA, M.

3.5.3 Sử dụng mô hình sinh trắc (Allometric Equation) cây rừng và lâm phần

Tùy theo đối tượng, số liệu điều tra thu thập được trên ô mẫu để lựa chọn mô hình sinh trắc tương ứng đã được xây dựng trong luận án này; làm cơ sở ước tính sinh khối, carbon cây rừng hoặc lâm phần ở khu vực điều tra tại thời điểm đo tính.

i) Đối với người dân, cộng đồng:

Sử dụng các mô hình xác định sinh khối, carbon cây rừng với một biến số DBH để tính toán sinh khối, carbon cho đối tượng điều tra. Để thuận tiện cho việc tính toán đơn giản cho cộng đồng, nên lập biểu tra AGB, BGB, C(AGB), CBGB) theo cấp kính.

Dựa vào số cây theo cỡ kính và số liệu sinh khối, carbon bảng tra, diện tích ô mẫu, diện tích khu điều tra có thể tính được sinh khối, carbon cho từng cấp sinh khối, tổng hợp cho khu vực; suy ra được lượng CO₂ tương đương thời điểm điều tra.

ii) Đối với cán bộ kỹ thuật lâm nghiệp:

Với dạng mô hình sinh trắc một biến số DBH thường có biến động cao, vì vậy dựa vào số liệu thu thập trong ô tiêu chuẩn, cần sử dụng mô hình ít nhất là hai biến

DBH và H; tốt nhất là 4 biến DBH, H, WD và CA để ước tính sinh khối và carbon cây rừng, suy ra cho ô, lâm phần, cấp sinh khối.

Ngoài ra trong điều tra nhanh trên quy mô rộng, không đòi hỏi độ tin cậy cao thì từ dữ liệu đo nhanh như BA, N có thể sử dụng các mô hình ước tính sinh khối, carbon lâm phần theo các biến số này.

iii) Đối với chuyên gia lâm nghiệp, viễn thám:

Từ dữ liệu thu thập được về DBH, H, CA, WD, sử dụng các mô hình sinh trắc có biến số tương ứng để ước tính sinh khối ô mẫu (TAGTB).

Sử dụng mô hình sinh trắc ước tính TAGTB=f(Id_3, Id_4) theo các tổ hợp các lớp ảnh đã xây dựng để lập bản đồ sinh khối theo các cấp phân chia. Đồng thời sử dụng các mô hình ước tính sinh khối, carbon lâm phần thông qua TAGTB để ước tính toàn bộ sinh khối và carbon lâm phần.

3.5.4 Ứng dụng GIS trong giám sát CO₂ rừng hấp thụ và phát thải

Tất cả dữ liệu ước tính sinh khối, carbon của ô mẫu, theo cấp sinh khối ở từng thời điểm đo tính do các đối tượng thực hiện, cần cung cấp cho cơ quan chuyên môn cấp huyện đến tỉnh để quản lý và cập nhật trong hệ thống GIS.

Trên cơ sở GIS và kết hợp với các mô hình sinh trắc trong đó các nhóm sinh khối, carbon có quan hệ với nhau, do đó chỉ cần cập nhật nhóm sinh khối cây gỗ trên mặt đất

TAGTB là có thể tự động cập nhật dữ liệu sinh khối, carbon toàn bộ hệ thống trong phần mềm ArcGIS. Từ đây theo dõi được hấp thụ và phát thải CO₂ cho từng khu vực, quốc gia theo phương pháp so sánh bể carbon giữa hai thời điểm với nhau theo công thức (IPCC, 2006):

$$\Delta C_B = \frac{C_{t2} - C_{t1}}{t_2 - t_1}$$



Hình 3.38: Cập nhật dữ liệu tổng carbon rừng khi TAGTB thay đổi thông qua kết hợp mô hình sinh trắc trong ArcGIS

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Với mục tiêu đóng góp vào cơ sở lý luận và thực tiễn để giám sát lượng CO₂ hấp thụ cho đối tượng là rừng lá rộng thường xanh ở khu vực Tây Nguyên, nghiên cứu có các kết luận và kiến nghị sau:

KẾT LUẬN

1. Cơ sở khoa học lựa chọn mô hình sinh trắc tối ưu:

Lựa chọn số biến số tham gia mô hình: Sử dụng tiêu chuẩn Cp của Mallows để lựa chọn số biến số tốt nhất cho mô hình sinh trắc. Sử dụng chỉ số này đề tài đã xác định thêm biến CA là quan trọng trong các mô hình sinh trắc.

Phương pháp ước lượng: Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số, mô hình cho hệ số xác định cao và biến động thấp. Trong trường hợp cần điều chỉnh các tham số của mô hình thích hợp với dữ liệu quan sát và giảm biến động, sử dụng thêm trọng số là giải pháp tốt.

Việc lựa chọn hàm thích hợp cần dựa vào tổng hợp 7 tiêu chuẩn với thứ tự ưu tiên là giá trị S% bé nhất, vì nó phản ánh sai lệch giữa quan sát và ước lượng qua hàm nhỏ nhất; tiếp theo cần ưu tiên tiêu chuẩn AIC_{min} và $CF = 1$; R^2_{adj} và t chỉ là tiêu chí tham khảo đầu tiên để định hướng chọn hàm hơn là chỉ tiêu quyết định; hai đồ thị Normal P-P và residuals là khảo sát trực quan nhất để thấy rõ sự thích hợp của hàm ước lượng.

2. Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng:

2.1. Mô hình ước tính sinh khối, carbon 4 bộ phận rừng trên mặt đất: Mô hình sinh trắc về thân cây có biến động thấp nhất, và tiếp đến là vỏ; đối với lá và cành có biến động lớn.

Trong cây rừng, carbon tích lũy cao nhất ở thân cây với tỷ lệ 61%, tiếp theo là ở cành 22%, rễ 10%, vỏ 6% và lá chỉ chiếm 1% trong tổng carbon của cây.

2.2. Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây trên mặt đất: Dạng 4 biến số DBH, H, WD và CA có biến động S% thấp nhất (13.9% - 20.5%), có thể ứng dụng trong yêu cầu độ chính xác cao.

2.3 Mô hình ước tính sinh khối, carbon dưới mặt đất: Đối với mô hình ước tính sinh khối BGB biến động từ 32.9%-43.5% và carbon C(BGB) là 38.4%-54.2%. Mức

biến động này là cao so với các mô hình sinh khối, carbon trên mặt đất. Nên xác định sinh khối, carbon cây rừng dưới mặt đất thông qua sinh khối và carbon trên mặt đất, các mô hình này có mức biến động thấp hơn. Quan hệ BGB-AGB có biến động là 33.7% và C(BGB)-C(AGB) là 38.3%.

2.4. Mô hình theo họ thực vật và khối lượng thể tích:

Sử dụng mô hình theo họ thực vật giảm mức biến động từ 1%-7% và mô hình theo nhóm khối lượng thể tích mức biến động giảm từ 0.3%-10% so với mô hình chung loài. Có sự sai khác rõ rệt giữa sinh khối ước tính qua thoe họ thực vật, nhóm WD; vì vậy tiếp cận mô hình theo hướng chi thực vật và nhóm WD sẽ tăng độ tin cậy.

Áp dụng mô hình sinh trắc cho từng vùng sinh thái, kiểu rừng làm giảm biến động từ 7% đến 25% ước tính sinh khối, carbon rừng so với sử dụng mô hình rừng nhiệt đới toàn cầu.

3. Sinh khối, carbon lâm phần:

3.1. Carbon hữu cơ trong đất dưới tán rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên khá ổn định chiếm tỷ lệ 46.3% trong tổng lượng carbon rừng. Trung bình là 100 tấn C/ha.

3.2. Sinh khối, carbon của thảm mục, thảm tươi, gỗ chết biến động ngẫu nhiên, có thể sử dụng giá trị bình quân để tính toán trong điều tra. Carbon trong thảm tươi trung bình là 0.23 tấn/ha, thảm mục 1.42 tấn/ha và gỗ chết là 0.7 tấn/ha. Tỷ lệ các bể này thấp dưới 1% so với toàn lâm phần.

3.3. Mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cho lâm phần sử dụng nhiều mô hình cây cá thể trung gian gây biến động lớn kết quả ước tính. Nên ước tính sinh khối, carbon cây rừng trên và dưới mặt đất sau đó tổng hợp lại để hạn chế biến động.

3.4. Phân cấp năng suất và sinh khối để đo tính giám sát thay đổi sinh khối, carbon cho lâm phần đạt độ chính xác hơn. Luận án này cũng đã phân chia 3 cấp năng suất và 3 cấp sinh khối.

3.5. Cấu trúc sinh khối, carbon thể hiện trữ lượng sinh khối, carbon trên và dưới mặt đất theo cấp kính. Tổng quát có dạng một đỉnh theo như quy luật phân bố BA và M theo cấp kính, cấp sinh khối bị tác động thể hiện dạng nhiều đỉnh.

Trong cây gỗ của lâm phần carbon tích lũy cao nhất ở thân cây gỗ, chiếm 62%, tiếp đến là cành 19%, rễ 11%, vỏ 6% và lá 2%.

Cấu trúc phân bố carbon trong lâm phần cao nhất ở trong cây gỗ phần trên mặt đất (47.4%), thứ hai là carbon hữu cơ trong đất SOC (46.3%), carbon trong rễ cây rừng chiếm 5.3%; còn lại carbon trong các bể thảm mục, thảm tươi, gỗ chết có tỷ lệ rất thấp, từ 0.1% đến 0.6%; tổng của 3 bể chứa ngoài gỗ này là 1%.

Tổng carbon trong 6 bể chứa thấp nhất là 127 tấn/ha ứng với hấp thụ 469 tấn CO₂/ha; cao nhất là 377 tấn carbon/ha ứng với hấp thụ 1385 tấn CO₂/ha. Theo quy luật carbon giảm khi cấp năng suất càng kém trong cùng một cấp sinh khối và carbon tăng khi cấp sinh khối rừng ổn định thành thực trong cùng một cấp năng suất.

3.6. Khả năng hấp thụ CO₂ của rừng lá rộng thường xanh khu vực Tây Nguyên bình quân là 12.3 tấn/ha/năm, cao nhất là 17.3 tấn/ha/năm và thấp nhất là 5tấn/ha/năm.

4. Phân loại ảnh vệ tinh SPOT 5 và sử dụng GIS trong giám sát CO₂:

Phân loại ảnh có giám định theo 3 cấp sinh khối có độ tin cậy toàn bộ rất thấp, 33.8%.

Phương pháp phân loại phi giám định và thiết mối quan hệ giữa TAGTB với tổ hợp biến 3 lớp và 4 lớp phân loại để lập bản đồ sinh khối rừng có sai số 6.3%. Phương pháp này bảo đảm độ tin cậy để giám sát biến động CO₂ qua ảnh SPOT 5.

Phối hợp kết quả lập bản đồ sinh khối trên cơ sở phân loại ảnh SPOT 5 phi giám định với các mô hình sinh khối carbon lâm phần trong GIS là cơ sở để giám sát phát thải/hấp thụ CO₂ theo thời gian và không gian.

5. Giải pháp ứng dụng công nghệ viễn thám- GIS và mô hình sinh trắc trong đo tính, giám sát carbon rừng:

Giải pháp ứng dụng được xây dựng cho 3 nhóm đối tượng chính: i) Cộng đồng dân cư tham gia giám sát carbon rừng trong chương trình REDD+, ii) Cán bộ kỹ thuật lâm nghiệp chuyên nghiệp của các chủ rừng, các cấp quản lý và iii) Các chuyên gia

lâm nghiệp, viễn thám – GIS. Theo tiến trình 3 bước: i) Phân loại ảnh vệ tinh thành các tổ hợp class; ii) Thu thập dữ liệu rừng; iii) Sử dụng các mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, carbon; iv) Quản lý và cập nhật thông tin hấp thụ và phát thải CO₂ rừng trong GIS.

KIẾN NGHỊ

- Sử dụng cơ sở khoa học của luận án này để thiết lập các mô hình sinh trắc cho các kiểu rừng, vùng sinh thái khác ở Việt Nam.

- Kiểm nghiệm mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng, lâm phần để áp dụng vào thực tiễn trong khu vực nghiên cứu.

- Sử dụng phương pháp nghiên cứu cấu trúc, tăng trưởng sinh khối, carbon lâm phần trong luận án này để nghiên cứu cho các kiểu rừng, vùng sinh thái khác ở Việt Nam.

- Ứng dụng phương pháp phân loại ảnh phi giám định kết hợp với mô hình hồi quy quan hệ sinh khối với các lớp ảnh để lập bản đồ và dữ liệu carbon rừng. Cần mở rộng nghiên cứu với các loại ảnh vệ tinh khác.

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

Huỳnh Nhân Trí, Bảo Huy (2014): *Cơ sở khoa học xây dựng mô hình sinh trắc (Allometric Equation) để ước tính sinh khối và carbon rừng*. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Bộ NN & PTNT.

Bảo Huy, Võ Hùng, Nguyễn Thị Thanh Hương, Cao Thị Lý, Phạm Tuấn Anh, Huỳnh Nhân Trí, Nguyễn Đức Định (2014): *Sinh khối và carbon của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên Việt Nam*. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Bộ NN & PTNT số 1(2014).

Huỳnh Nhân Trí, Bảo Huy (2013): *Xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối theo họ thực vật của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên*. Tạp chí Rừng và Môi trường, số 60 (2013): 32-39. ISSN 1859 – 1248.

Huỳnh Nhân Trí (2009): *Nghiên cứu xác định tăng trưởng định kỳ rừng tự nhiên*. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Bộ NN & PTNT số 138(2009): 103-108.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Lê Huy Bá, Nguyễn Thị Phú, Nguyễn Đức An (2001): Môi trường khí hậu thay đổi mối hiểm họa của toàn cầu. NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh.
2. Võ Đại Hải (2007): Kết quả nghiên cứu khả năng hấp thụ carbon rừng mỡ trồng thuần loài tại vùng trung tâm bắc bộ, Việt nam. Viện Khoa Học Lâm Nghiệp Việt Nam.
3. Võ Đại Hải (2008), Nghiên cứu khả năng hấp thụ và giá trị thương mại Carbon của một số dạng rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài Viện Khoa Học Lâm Nghiệp Việt Nam.
4. Phạm Xuân Hoàn (2005): Cơ chế phát triển sạch và cơ hội thương mại carbon trong lâm nghiệp. Nxb Nông nghiệp.
5. Bảo Huy, 2009. GIS và Viễn thám trong quản lý tài nguyên rừng và môi trường. NXB Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh.
6. Bảo Huy (5/2009) Ước lượng năng lực hấp thụ CO₂ của bìi lời đỏ (*Litsea glutinosa*) trong mô hình Nông Lâm kết hợp bìi lời đỏ - sắn ở huyện Mang Yang, tỉnh Gia Lai – Tây Nguyên, Việt Nam. Trung tâm nghiên cứu nông lâm kết hợp thế giới (ICRAF) và Mạng lưới giáo dục Nông lâm kết hợp Đông Nam Á (SEANAFE).
7. Bảo Huy (2009) Phương pháp nghiên cứu ước tính trữ lượng carbon của rừng tự nhiên làm cơ sở tính toán lượng CO₂ phát thải từ suy thoái và mất rừng ở Việt Nam. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Bộ NN & PTNT số 1/2009: 85-91.
8. 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.
9. Bảo Huy, Nguyễn Thị Thanh Hương, Võ Hùng, Cao Thị Lý, Nguyễn Đức Định, Huỳnh Nhân Trí và người khác (2012): Xác định lượng CO₂ hấp thụ của rừng lá rộng thường xanh làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu phát thải từ suy thoái và mất rừng. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ trọng điểm cấp Bộ, Bộ Giáo dục và Đào tạo.
10. Bảo Huy, Nguyễn Thị Thanh Hương, Võ Hùng, Cao Thị lý, Nguyễn Đức

Định (2012): Xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối và carbon cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Tạp chí Rừng và Môi trường, Số 51 (2012): 21-30. ISSN 1859 – 12489.

11. 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.

12. Lê Văn Khoa và cộng sự (2001): Khoa học môi trường. NXB Giáo dục.

13. 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).

14. Michael Netzer, Winrock International – Thông tin cập nhật được từ các diễn đàn/hội nghị/hội thảo của các tổ chức/nhà khoa học về các vấn đề liên quan đến REDD và biến đổi khí hậu toàn cầu.

15. NEDO và MONRE: Giới thiệu cơ chế phát triển sạch trong hợp tác giữa Nhật Bản và Việt Nam.

16. Vũ Tấn Phương (2006). Nghiên cứu trữ lượng carbon thảm tươi và cây bụi: Cơ sở để xác định đường carbon cơ sở trong các dự án trồng rừng/tái trồng rừng theo cơ chế phát triển sạch ở Việt Nam. Tạp chí NN & PTNT.

17. Vũ Tấn Phương 2012, Xác định trữ lượng Carbon và phân tích hiệu quả kinh tế rừng trồng thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) theo cơ chế phát triển sạch ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ.

18. Ngô Đình Quế, 2007. Khả năng hấp thụ CO₂ của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.

19. Vương Văn Quỳnh (2012): Phương pháp hiệu chỉnh ảnh hưởng của địa hình trong tính toán trữ lượng rừng từ ảnh SPOT-5 phục vụ kiểm kê rừng tỉnh Hà Tĩnh”. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn – Kỳ 2 – tháng 6/2012.

20. RUPES (Rewarding Upland Poor for Environment Services) (2004): Chiến lược mới nhằm đền đáp cho người nghèo vùng cao Châu á để bảo tồn và cải thiện môi trường của chúng ta. World Agroforestry Center, ICRAF.

21. Nguyễn Thịnh Triều (2009): Nghiên cứu khả năng hấp thụ và giá trị thương mại carbon của một số dạng rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam. Luận án Tiến

sỹ. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.

22. UNEP: Cơ chế phát triển sạch – Clean Development Mechanism.

Tiếng Anh

23. Achard, F., Eva, H., and Mayaux, P. 2001, 'Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data: Production and accuracy assessment issues', *Int. J. Remote Sens.* 22: 2741–2762.

24. Angelsen, A. (ed), 2008: Moving ahead with REDD: Issues, options and implications. CIFOR, Bogor, Indonesia.

25. Angelsen, A. (ed.) 2008: Moving ahead with REDD: Issues, options and implications. CIFOR, Bogor, Indonesia.

26. Arild Angelsen and Sven Wunder (2003): Exploring the Forest – Poverty link. Key concept, issues and research implications. CIFOR Occasional Paper No. 40.

27. Aronoff. S.. 1989. Geographic information systems: A management perspective. WDI Publications, Ottawa, Canada.

28. Avery, T. and Berlin, G. (1992). Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation (5th edition). Toronto: Maxwell Macmillan.

29. Baccini, A., Friedl, M.A., Woodcock, C.E. & Warbington, R. 2004. Forest biomass estimation over regional scales using multisource data. *Geophysical Research Letters* 31: 1–4.

30. Basuki, T.M., P.E. van Laake, Skidmore, A.K., Hussi, Y.A. (2009): Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257 (2009) 1684–1694.

31. Brown, J. F., Loveland, T. R., Ohlen, D. O., and Zhu, Z. 1999. The global land-cover characteristics database: the user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 1069–1074.

32. Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 3(116): 363–372.

33. Brown, S. and Iverson, L. R., 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resources Review* 4:366-384.

34. Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. FAO Forestry paper – 134. ISBN 92-5-103955-0. Available on web site: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#Contents>
35. Brown, S., Gillespie, A.J.R., and Lugo, A.E., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.
36. Brown, S., Iverson, L. R., Prasad, A., 2001. Geographical Distribution of Biomass Carbon in Tropical Southeast Asian Forests: A database. University of Illinois.
37. Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., Kauppi, P., 1996. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific- Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 773–797.
38. Campbell, J. E, Jeremie C. M., Richard, A. N., Jerald L. S., 2008. Comparison of regression coefficient and GIS-based methodologies for regional estimates of forest soil carbon stocks. *Environmental Pollution*, 2(152): 267-273.
39. Chave, J., Andalo, C.; et al. (2005): *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Oecologia* (2005) 145: 87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
40. Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359(2004): 409–420. DOI 10.1098/rstb.2003.1425.
41. CIFOR, *Ion activities: A research for practical and strategic approach*. Carbon Forestry, Center for International Forestry Research.
42. Curran, P.J. and P.M. Atkinson. 1998. Geostatistics and remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 22: 61-78.
43. Daniel Murdiyarso (2005): *Sustaining local livelihood through*

carbon sequestrat.

44. Daniel, C. and Wood, F. (1980): *Fitting Equations to Data*, Rev. Ed., NY: Wiley & Sons, Inc.

45. De Jong*.B.H.J., Hellier. A., Castillo-Santiago. M.A and Tipper. R C.P. 86100 Admin. de Correos 2, Col Atasta, Villahermosa, Tabasco, Mexico.(2005) Application of the 'climafor' approach to estimate baseline carbon emissions of a forest conservation project in the Selva Lacandona, Chiapas,Mexico.

46. Dietz, J., Kuyah, S., 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. World Agroforestry Center (ICRAF).

47. Dong, J., Kaufmann, R.K., Myneni, R.B., Tucker, C.J., Kauppi, P., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V. & Hughes, M.K. 2003. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. *Remote Sensing of Environment* 84: 393–410.

48. Donoghue, D.N. M., Watt, P.J., Dunford, R.W., Wilson, J., Staples,S., Smith, S., Batts, A., and Wooding, M.J. An evaluation of the use of satellite data for monitoring *Picea sitchensis* plantation forest establishment and growth. Heriot Watt University, Edinburgh.

49. Efromovich, S. 1999. *Nonparametric curve estimation – methods, theory, and applications*. Springer-Verlag. New York. 411p.

50. Esteve Corbera (2005): *Bringing development into Carbon forestry market: Challenges and outcome of small – scale carbon forestry activities in Mexico*. Carbon Forestry, Center for International Forestry Research, CIFOR.

51. FAO, 2010. *Managing forests for climate change*. I1960E/1/11.10. <http://www.fao.org/forestry>.

52. FAO, working with countries to tackle climate change through sustainable forest management.

53. Fazakas, Z., Nilsson, M. & Olsson, H. 1999. Regional forest biomass and wood volume estimation using satellite data and ancillary data. *Agricultural and Forest Meteorology* 98–99.

54. FCCC, 1997 – 2011: Framework Convention on Climate Change. United Nations.
55. Federation of Community Forest Users, Nepal (FECOFUN).
56. Foody, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80: 185–201.
57. Franklin, S. E. 2001. *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Lewis Publishers, New York. 425p.
58. Franklin, S.E. and McDermid, G.J. 1993. Empirical relation between digital SPOT HRV and CASI spectral response and lodgepole pine (*Pinus contorta*) forest stand parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 4(12): 2331-2348.
59. Franklin, S.E. and Wulder, M.A. 2002. Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas. *Progress in Physical Geography*, 26: 173–205.
60. Gong, P. and Xu, B. 2003. Remote sensing of forests over time: change types, methods, and opportunities. In M.A. Wulder and S.E. Franklin (Eds.), *Methods and Applications for Remote Sensing of Forests: Concepts and Case Studies* (pp. 301–333). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 519p.
61. Häme, T., Salli, A., Andersson, K. & Lohi, A. 1996. Boreal forest biomass estimation over extensive areas using medium resolution optical satellite data. In: Roos, J. (ed.) *The Finnish research programme on climate change: final report*. Publications of the Academy of Finland 4/96. The Finnish Academy, Helsinki. pp. 421–426.
62. Henry, M., Besnardd, A. Asantee, W.A., Eshunf, J., Adu-Bredug, S., Valentinic, R., Bernouxb, M., Saint-Andréh, L. (2010): Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* 260 (2010) 1375–1388.
63. Houghton, R.A. 1994. The worldwide extent of land-use change. *Bioscience*, 44, 305–313.
64. Huy, B., 2011. *Technical Manuals for Participatory Carbon Monitoring*

(PCM). UN-REDD Vietnam program.

65. Huy, B., 2011. Technical Manuals for Participatory Forest Carbon Measurement. Paper of the International Workshop on "Linking community monitoring with National MRV for REDD+". Organized by CIGA-REDD, UNAM. Mexico City 12-14 September 2011.

66. 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, May 2008, ISSN 0859-9742.

67. Huy, B., Hung, V., Huong, N.T.T., 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.

68. ICRAF. (2007): Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA).

69. IPCC— 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 295 pp. IUCN (12/2007) Climate change briefing. Forests and livelihoods. Reducing emissions from deforestation and ecosystem degradation (REDD).

70. IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., (eds). Published: IGES, Japan.

71. Johannes, D; Shem, K., (2011): Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. CIFOR

72. Ketterings, Q.M., Richard, C., Meine van N., Ambagau, Y., Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146(2001): 199-209

73. Krankina, O.N. 1999. NPP boreal forest: Siberian Scots pine forests, Russia, 1968-1974. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.

74. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation (3th edition). John Wiley & Sons, New York.
75. Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., and Moran, E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, 198: 149–167.
76. Ludeke, A. K., Maggio, R. C., and Reid, L. M., 1990. An Analysis of Anthropogenic Deforestation Using Logistic Regression and GIS cted by the logistic. *Journal of Environmental Management* 31(1990): 247-259.
77. MacDicken K.G. (1997): A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development.
78. Mäkelä, H., Pekkarinen, A., 2004. Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data, *Forest ecology and management*, 2-3(196): 245 - 255.
79. Mallinis, G. and Koutsias, N. 2008. Spectral and spatial-based classification for broad-scale land cover mapping based on logistic regression. *Sensors*, 8: 8067-8085.
80. Mallows, C.L. (1973): Some Comments on CP. *Technometrics* 15 (4): 661–675. doi:10.2307/1267380. JSTOR 1267380.
81. Nguyen, Thị Thanh Hương (2009). Classification of natural broad-leaved evergreen forests based on multi-data for forest inventory in the Central Highlands of Vietnam. Doctoral thesis. Freiburg University, Germany.
82. Nguyen, V. L. 2008. Use of GIS modeling in assessment of forestry land's potential in Thua Thien Hue province of Central Vietnam. Doctoral thesis. Department of Mathematic-natural science. Georg-August-Universität zu Göttingen. Germany. 202p.
83. Pearson, T., R.H.; Sandra, L. B. and Richard, A. B. (2007): Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. USDA Forest Service's Northern Global Change Research Programrbon.
84. Phuong, V.T., Inoguchi, A., Birigazzi, L., Henry, M., Sola, G.,

Introduction and Background of the study, Vietnam, in (Eds) Inoguchi, A., Henry, M. Birigazzi, L. Sola, G. Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam (Part A), UN-REDD Programme, Hanoi, Viet Nam.

85. Picard, N., Saint-Andre, L., Henry, M., (2012): Manual for buiding tree volume and biomass allometric equations. CIRAD, FAO.

86. Poso, S., Wang, G., and Tuominen, S. 1999. Weighting alternative estimates when using multisource auxiliary data for forest inventory. *Silva Fennica*, 33(1): 41–50.

87. Quirine, M.K, Richard, C., Meine, van N., Yakub, A., Cheryl, A.P. (2001): Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146 (2001) 199-2009.

88. Rauste, Y., Häme, T., Pulliainen, J., Heiska, K. & Hallikainen, M. 1994. Radar-based forest biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 15(14): 2797–2808.

89. Rauste, Y., Häme, T., Pulliainen, J., Heiska, K. & Hallikainen, M. 2005. Multi-temporal JERS SAR data in boreal forest biomass mapping. *Remote Sensing of Environment* 97(2): 263–275.

90. Rauste, Y., Häme, T., Pulliainen, J., Heiska, K. & Hallikainen, M. 2006. Techniques for wide-area mapping of forest biomass using radar data. *VTT Publications* 591: 103 pp.

91. Salovaara, K.J., Thessler, S., Malik, R.N., and Tuomisto, H. 2005. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 97: 39 – 51.

92. Silvia H Petrova, Erin Swails, Michael Netzer, Sarah M Walker, and Sandra Brown 2010 Manual technical issues related to implementing REDD+ programs in Mekong countries.

93. Smith, J.E.; Heath, L.S.; Jenkins, J.C. (2003): Forest volume-to-biomass models and estimates of mass for live and standing dead trees of U.S. forests. *Gen.*

Tech. Rep. NE-298. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 57 p.

94. Snowdon, P., 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. Greenhouse Office, Australian.

95. Souza, C.J., Firestone, L., Silva, L.M., and Roberts, D. 2003. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 87: 494–506.

96. Subedi, B.P., Pandey, S. S., Ajay, P., Rana, E. B., et al. (2010): Guidelines for measuring carbon stocks in community-managed forests. Asia Network for Sustainable Agriculture and Bioresources (ANSAB) Federation of Community Forest, Users, Nepal (FECOFUN). International Centre for Integrated, Mountain Development (ICIMOD).

97. Thessler, S., Sesnie, S., Bendaña, Z.S.R., Ruokolainen, K., Tomppo, E., and Finegan, B. 2008. Using k-nn and discriminant analyses to classify rain forest types in a Landsat TM image over northern Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2485–2494.

98. Thomas E., Bao H., Budhita K., et al., 2011. REED+, Governance, and Community Forestry. RECOFTC, IIED, REDD-Net.

99. Tokola, T., Pitkanen, J., Partinen, S. and Muinonen, E. 1996. Point accuracy of a non-parametric method in estimation of forest characteristics with different satellite materials. *International Journal of Remote Sensing*, 17(12): 2333:2351.

100. Tomppo, E., Goulding, C., and Katila, M. 1999. Adapting Finnish multi-source forest inventory techniques to the New Zealand preharvest inventory. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14: 182–192.

101. Torres, A.B., Lovett, J.C., (2012): Using basal area to estimate above ground carbon stocks in forests. *Forestry* 2013 (86): 267–281; doi:10.1093/forestry/cps084.

102. Trisurat, Y., Eiumnoh, A., Murat, S., Hussain, M.Z. & Shrestha, R.P. 2000. Improvement of tropical vegetation mapping using a remote sensing

technique: a case of Khao Yai National Park, Thailand. *International Journal of Remote Sensing*, 21: 2031–2042.

103. Turner, D.P., Guzy, M., Lefsky, M.A., Ritts, W.D., van Tuyl, S. & Law, B.E. 2004. Monitoring forest carbon sequestration with remote sensing and carbon cycle modeling. *Environmental Management* 33(4): 457–466.

104. UNFCCC, 1992. United Nation Framework Convention on Climate Change. United Nation.

105. UN-REDD, 2011: Measurement, Reporting & Verification (MRV) Framework Document. UN-REDD Vietnam Programme.

106. Walker, S.M., Pearson, T.R.H, Casarim, F.M., Harris, N., Petrova, S., Grais, A., Swails, E., Netzer, M., Goslee, K.M., and van Brown, S., (2012): Winrock's Standard Operating Procedures for Terrestrial Carbon Measurement, Version 2012. USAID, Lower Emissions in Asia's Project.

107. Xia, C., Huang, G. & Han, A. 2005. MODIS-based estimation of biomass and carbon stock of forest ecosystems in Northeast China. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International:* 3016–3019.

108. Xiaolu Z., 2004. Simulating Forest Growth and Carbon Dynamics of the Lake Abitibi Model Forest in Northeastern Ontario. Ontario Forest Research Institute, Canada.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1 Danh lục thực vật

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
1	An Túc	<i>Styrax annamensis</i>	Styraceae
2	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae
3	Ba Soi Lá Lớn (Mã rặng)	<i>Macaranga indica</i>	Euphorbiaceae
4	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae
5	Bằng Lăng ổi	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	Lithraceae
6	Bằng Lăng Tím	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Lithraceae
7	Bình Linh 5 lá	<i>Vitex quinata</i>	Verbenaceae
8	Bình Linh 3 Lá	<i>Vitex trifolia</i>	Verbenaceae
9	Bình Linh Cánh	<i>Vitex pubescen</i>	Verbenaceae
10	Bồ Hòn	<i>Sapindus mukorossi</i>	Sapindaceae
11	Bồ Quả	<i>Uvaria sp.</i>	Annonaceae
12	Bộp	<i>Actinodaphne sp.</i>	Lauraceae
13	Bời Lời	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae
14	Bời Lời Vàng	<i>Litsea pierrei</i>	Lauraceae
15	Bứa	<i>Garcinia oblongifolia</i>	Clusiaceae
16	Bứa Lá Lớn	<i>Garcinia cowa</i>	Clusiaceae
17	Bứa Lá Nhỏ	<i>Garcinia sp1</i>	Clusiaceae
18	Bưởi Bung	<i>Acronychia pedunculata</i>	Rutaceae
19	Cà Chít	<i>Shorea obtusa</i>	Dipterocarpaceae
20	Cám	<i>Parinari annamense</i>	Chrysobalanaceae
21	Cánh Lò	<i>Betula alnoides</i>	Betulaceae
22	Cánh Kiến	<i>Mallotus philippinensis</i>	Euphorbiaceae
23	Cắm Lai	<i>Dalbergia bariaensis</i>	Fabaceae
24	Cắm Thị	<i>Diospyros maritima</i>	Ebenaceae
25	Cây (Kơ nia)	<i>Irvingia malayana</i>	Irvingiaceae
26	Cò Ke	<i>Grewia paniculata</i>	Tiliaceae
27	Cóc (Cóc chuột)	<i>Lannea coromandelica</i>	Anacardiaceae
28	Cóc Rừng	<i>Spondias pinnata</i>	Anacardiaceae
29	Cồng Nước	<i>Calophyllum dongnaiense</i>	Calophyllaceae
30	Cồng Tía	<i>Calophyllum calaba</i>	Calophyllaceae
31	Côm	<i>Elaeocarpus sp.</i>	Elaeocarpaceae
32	Cồng	<i>Calophyllum sp.</i>	Calophyllaceae
33	Cuống Vàng	<i>Gonocaryum lobbianum</i>	Icacinaceae
34	Cơm Ngươi	<i>Adisia sp.</i>	Myrsinaceae

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
35	Chạc Khế	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	Meliaceae
36	Chàm (Nhàu)	<i>Morinda sp.</i>	Rubiaceae
37	Chay	<i>Artocarpus masticata</i>	Moraceae
38	Chân Chim	<i>Schefflera octophylla</i>	Araliaceae
39	Chè Rừng	<i>Camelia sp.</i>	Theaceae
40	Chẹo tía	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	Juglandaceae
41	Chín Chín	<i>Garcinia sp2</i>	Clusiaceae
42	Chò Chai	<i>Hopea recopei</i>	Dipterocarpaceae
43	Chò Chi	<i>Parashorea sp.</i>	Dipterocarpaceae
44	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae
45	Chôm Chôm Rừng	<i>Nephelium sp.</i>	Sapindaceae
46	Chua Khét	<i>Glenniea philippinesis</i>	Sapindaceae
47	Chua Khế	<i>Heynea trijuga</i>	Meliaceae
48	Chùm Hôi	<i>Clausena eliptica</i>	Rutaceae
49	Dâu Da (Dâu Đát)	<i>Baccaurea sapinda.</i>	Euphorbiaceae
50	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae
51	Dẻ Đá	<i>Lithocarpus sp.</i>	Fagaceae
52	Dẻ Đá Trung Bộ	<i>Lithocarpus annamensis</i>	Fagaceae
53	Dẻ Gai	<i>Quecus sp.</i>	Fagaceae
54	Dẻ Trắng	<i>Lithocarpus dealbatus</i>	Fagaceae
55	Dền	<i>Xylopia vielana</i>	Annonaceae
56	Dủ Dẻ	<i>Rauwenhoffia sinensis</i>	Annonaceae
57	Dúi (Duối)	<i>Streblus ilicifolius</i>	Moraceae
58	Dung	<i>Symplocos sp.</i>	Symplocaceae
59	Đa	<i>Ficus sp.</i>	Moraceae
60	Đu Đủ Rừng	<i>Trevesia palmata</i>	Araliaceae
61	Gáo lá tròn (Gáo vàng)	<i>Adina cordifolia</i>	
62	Gỗ Đỏ (Cà te)	<i>Afzelia xylocarpa</i>	Caesalpiniaceae
63	Gỗ Mật	<i>Sindora siamensis</i>	Caesalpiniaceae
64	Gòn	<i>Bombax anceps</i>	Bombacaceae
65	Gội	<i>Amoora gigantea</i>	Meliaceae
66	Giang Quảng Đông	<i>Ternstroemia kwantungensis</i>	Theaceae
67	Giổi Lông	<i>Michelia balansae</i>	Magnoliaceae
68	Giổi Xanh (dầu gió)	<i>Michelia mediocris</i>	Magnoliaceae
69	Hồng Đào (Xoan mộc)	<i>Toona sureni</i>	Meliaceae
70	Hồng Tùng (Thông chằng)	<i>Dacrydium elatum</i>	Betulaceae
71	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae
72	Huỳnh	<i>Heriteria cochinchinensis</i>	Sterculiaceae

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
73	Kiền Kiền	<i>Hopea pierre</i>	Dipterocarpaceae
74	Kháo	<i>Phoebe lanceolata</i>	Lauraceae
75	Kháo Hoa Nhỏ	<i>Machilus parviflora</i>	Lauraceae
76	Kháo Xanh	<i>Machilus sp.</i>	Lauraceae
77	Lim Xẹt	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	Caesalpiniaceae
78	Lòng Máng	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	Sterculiaceae
79	Lòng Máng Lá Lớn	<i>Pterospermum diversifolium</i>	Sterculiaceae
80	Lộc Vừng	<i>Barringtonia acutangula</i>	Lecythidaceae
81	Lôi	<i>Crypteronia paniculata</i>	Crypteroniaceae
82	Mã Tiền	<i>Strychnos nux - vomica</i>	Loganiaceae
83	Mà Ca	<i>Buchanania arborescens</i>	Anacardiaceae
84	Máu Chó	<i>Knema poilanei</i>	Myristicaceae
85	Mật Nhân (Bá bệnh)	<i>Eurycoma longifolia</i>	Simaroubaceae
86	Me Rừng	<i>Phyllanthus emblica</i>	Euphorbiaceae
87	Mít Nài	<i>Artocarpus melinoxyla</i>	Moraceae
88	Mít Ràng	<i>Ormosia balansae</i>	Fabaceae
89	Mò Cua (Sĩa)	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae
90	Mò Giấy	<i>Cryptocarya sp1</i>	Lauraceae
91	Mỡ	<i>Manglietia sp.</i>	Magnoliaceae
92	Muồng	<i>Cassia sp.</i>	Caesalpiniaceae
93	Muồng Đen	<i>Cassia siamea</i>	Caesalpiniaceae
94	Nanh Chó	<i>Cryptocarya sp2</i>	Lauraceae
95	Nen	<i>Vaccinium sp.</i>	Ericaceae
96	Ngái	<i>Ficus hispida</i>	Moraceae
97	Ngát To	<i>Gironniera nervosa</i>	Ulmaceae
98	Ngát Vàng	<i>Gironniera subaequalis</i>	Ulmaceae
99	Ngâu Rừng	<i>Aglaia annamensis</i>	Meliaceae
100	Ngọc Lan Sp	<i>Michelia sp.</i>	Magnoliaceae
101	Nhãn Dê	<i>Lepisanthes rubiginosa</i>	Sapindaceae
102	Nhãn Rừng	<i>Walsura elata</i>	Sapindaceae
103	Nhàu	<i>Morinda sp.</i>	Rubiaceae
104	Nhàu Rừng, R' Nhao	<i>Morinda citrifolia L. var. bracteata</i>	Rubiaceae
105	Nhoc (Quần Đầu)	<i>Polyalthia cerasoides</i>	Annonaceae
106	Nhội	<i>Bischofia javanica</i>	Euphorbiaceae
107	Ô Đước	<i>Cinnamomum curvifolium</i>	Lauraceae
108	Ô Đước Nam	<i>Lindera myrrha</i>	Lauraceae
109	Phượng Rừng(muồng hoa đào)	<i>Cassia javanica</i>	Caesalpiniaceae/
110	Quau	<i>Stereospermum cylindricum</i>	Bignoniaceae

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
111	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae
112	Râm	<i>Anogeisus acuminata</i>	Combretaceae
113	Re Bàu	<i>Cinnamomum bejolghota</i>	Lauraceae
114	Re Hương (Xá xị)	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	Lauraceae
115	Sao	<i>Hopea odorata</i>	Dipterocarpaceae
116	Săng Mã Nguyên	<i>Carallia brachiata</i>	Rhizophoraceae
117	Sâm	<i>Memecylon edule</i>	Melastomataceae
118	Sầu (Sầu Tía)	<i>Sandoricum koetjape</i>	Meliaceae
119	Sầu Hồng	<i>Sandoricum sp.</i>	Meliaceae
120	Sến	<i>Donella Sp.</i>	Sapotaceae
121	Sến Me	<i>Madhuca cochinchinensis</i>	Sapotaceae
122	Sến Mủ	<i>Shorea roxburghii</i>	Dipterocarpaceae
123	Sò Đo Thuyền (Sò đo thuyền)	<i>Oroxylum indicum</i>	Bignoniaceae
124	Sòi Tía	<i>Sapium discolor</i>	Euphorbiaceae
125	Sóng Rắn	<i>Albizia sp.</i>	Mimosaceae
126	Sổ	<i>Dillenia sp</i>	Dilleniaceae
127	Son Huyết	<i>Melanorhea laccifera</i>	Anacardiaceae
128	Súm Chè	<i>Adinandra sp.</i>	Theaceae
129	Sung	<i>Ficus racemosa</i>	Moraceae
130	Sung Bọng	<i>Ficus sp.</i>	Moraceae
131	Sung	<i>Semecarpus sp.</i>	Anacardiaceae
132	Tam Thụ	<i>Trigonostemon sp.</i>	Euphorbiaceae
133	Táo Rừng	<i>Zizyphus eonoplia</i>	Rhamnaceae
134	Tạc	<i>Xylosma sp.</i>	Flacourtiaceae
135	Táo	<i>Vatica sp.</i>	Dipterocarpaceae
136	Tung	<i>Tetrameles nudiflora</i>	Tetramelaceae
137	Tùng	<i>Cupressus sp.</i>	Cupressaceae
138	Tứ	<i>Tetradium sp</i>	Rutaceae
139	Thàn Mát	<i>Milletia sp.</i>	Fabaceae
140	Thành Nghạnh	<i>Cratoxylon prunifolium</i>	Hypericaceae
141	Thâu Lĩnh	<i>Alphonsea sp.</i>	Annonaceae
142	Thăng Lăng (Thần Lăn)	<i>Quassia amara</i>	Simaroubaceae
143	Thầu Tấu (Dâu đất)	<i>Aporosa microcalyx</i>	Euphorbiaceae
144	Thị	<i>Diospyros sp.</i>	Ebenaceae
145	Thị Mâm (Thị Lá Lớn)	<i>Diospyros ehretioides</i>	Ebenaceae
146	Thông Lông Gà (bach tùng)	<i>Dacrycarpus imbricatus</i>	Podocarpaceae
147	Thừng mực (Lông Múc)	<i>Wrightia balance</i>	Apocynaceae
148	Thừng Mực Lông	<i>Wrightia pubescens</i>	Apocynaceae

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
149	Trà Hoa	<i>Camelia vietnamensis</i>	Theaceae
150	Trám	<i>Canarium sp1</i>	Burceraceae
151	Trám Đen	<i>Canarium tramdenum</i>	Burceraceae
152	Trám Hồng	<i>Canarium bengalensis</i>	Burceraceae
153	Trám Lá Đỏ	<i>Canarium subulatum</i>	Burceraceae
154	Trám Mốc	<i>Canarium sp2</i>	Burceraceae
155	Trám Trắng	<i>Canarium album</i>	Burceraceae
156	Trang (Bông Trang, Đơn)	<i>Ixora coccinea</i>	Rubiaceae
157	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae
158	Trâm Đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae
159	Trâm Mốc	<i>Syzygium cuminii</i>	Myrtaceae
160	Trâm Núi	<i>Syzygium levinei</i>	Myrtaceae
161	Trâm Sắn	<i>Syzygium polyanthum</i>	Myrtaceae
162	Trâm Trắng(Trâm Hoa Nhỏ)	<i>Syzygium hancei</i>	Myrtaceae
163	Trôm	<i>Sterculia sp.</i>	Sterculiaceae
164	Trúng Cá	<i>Muntingia calabura</i>	Elaeocarpaceae
165	Trường Trắng	<i>Arytera sp.</i>	Sapindaceae
166	Vải Rừng	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae
167	Vạng Trúng	<i>Endospermum sinensis</i>	Euphorbiaceae
168	Vàng Nghệ	<i>Garcinia handburyi</i>	Clusiaceae
169	Vàng Tâm	<i>Manglietia conifera</i>	Magnoliaceae
170	Vối Thuộc	<i>Schima wallichii</i>	Theaceae
171	Vùng	<i>Careya sphaerica</i>	Lecythidaceae
172	Xoài Rừng	<i>Mangifera foetida</i>	Anacardiaceae
173	Xoan (Xuong)	<i>Melia sp.</i>	Meliaceae
174	Xoan Đào	<i>Prunus arborea</i>	Rosaceae
175	Xoan Mộc	<i>Toona sureni</i>	Meliaceae
176	Xoay	<i>Dialium cochinchinensis</i>	Fabaceae
177	Xương Cá	<i>Xylocarpus granata</i> Koen.	Meliaceae
178	Plo*	<i>Sp1</i>	
179	Pô Dô*	<i>Sp2</i>	
180	Tom La Hoa*	<i>Sp3</i>	
181	Tom Lú*	<i>Sp4</i>	
182	Mlo (Dp)*	<i>Sp5</i>	
183	Krao*	<i>Sp6</i>	

Phụ lục 2: Bộ dữ liệu AGB (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX 1.1	55.4	107.51	26.5	2337.025	0.409815
TX 1.2	6.7	5.31	3.9	10.250	0.554999
TX 1.3	8.6	7.07	8.0	8.253	0.165454
TX 1.4	7	4.15	9.5	10.991	0.340564
TX 1.5	9.4	24.63	8.0	40.301	0.589714
TX 1.6	6.1	7.07	5.5	6.286	0.396757
TX 1.7	5.1	2.54	7.1	9.550	0.597379
TX 1.8	19.3	33.18	17.5	202.164	0.464852
TX 1.9	13	6.61	13.8	49.301	0.34858
TX 1.10	12.1	3.80	12.7	70.946	0.492138
TX 1.11	13.1	16.62	9.4	54.591	0.345519
TX 1.12	27.1	44.18	18.8	600.137	0.516943
TX 1.13	27.5	50.27	15.4	245.613	0.279698
TX 2.1	8.3	5.73	7.0	7.600	0.181741
TX 2.2	9	7.55	12.4	21.773	0.294315
TX 2.3	8.6	22.06	9.9	18.111	0.409759
TX 2.4	7.2	4.52	7.6	21.848	0.43498
TX 2.5	7.1	2.84	10.4	6.315	0.237443
TX 2.6	9.7	593.96	10.7	34.128	0.467349
TX 2.7	60.8	248.85	22.0	2179.452	0.356089
TX 3.1	24	26.79	20.4	429.489	0.408579
TX 3.2	12.6	7.07	15.3	42.597	0.279052
TX 3.3	8.8	1.77	13.1	35.997	0.458431
TX 3.4	15.1	35.26	14.1	153.513	0.556194
TX 3.5	11.1	20.27	12.6	69.439	0.56939
TX 3.6	7.7	9.57	9.4	18.353	0.52155
TX 3.7	56.7	185.06	22.9	1255.815	0.273562
TX 3.8	9.9	15.21	11.0	36.212	0.368782
TX 3.9	5.3	4.15	6.9	9.524	0.599963
TX 4.1	5.7	12.57	8.7	11.268	0.416339
TX 4.2	8.2	2.01	11.9	15.503	0.344142
TX 4.3	8.8	11.34	10.5	27.885	0.611307
TX 4.4	7.6	7.07	10.2	22.541	0.602884
TX 4.5	11.9	22.90	12.8	75.341	0.578963
TX 4.6	17.1	19.63	16.1	175.762	0.596185
TX 4.7	24.4	37.39	16.0	472.565	0.483858
TX 4.8	40.4	116.90	22.0	1882.407	0.606583
TX 5.1	15.4	24.63	9.8	50.091	0.298777
TX 5.2	10.8	10.18	9.7	30.334	0.319359

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX 5.3	12.2	18.10	8.8	36.606	0.276693
TX 5.4	14.1	19.63	10.3	45.970	0.292498
TX 5.5	8.8	4.91	9.6	16.835	0.318364
TX 5.6	9.4	7.07	9.1	21.201	0.306635
TX 5.7	6.5	1.77	8.0	10.132	0.352126
TX 5.8	6.5	2.27	7.5	7.257	0.340609
TX 5.9	5	1.77	7.9	5.049	0.338689
TX 6.1	26.8	21.24	20.5	369.487	0.43438
TX 6.2	15	17.35	14.4	45.172	0.267057
TX 6.3	18.3	26.42	15.3	133.427	0.322715
TX 6.4	8.7	7.07	6.5	13.972	0.291266
TX 6.5	8.9	9.08	6.5	13.526	0.361767
TX 6.6	8.6	14.52	9.5	33.365	0.488709
TX 6.7	6.8	3.46	6.3	11.071	0.458628
TX 6.8	76	124.69	27.5	3149.311	0.455898
TX 7.1	47.8	51.53	21.0	1631.125	0.54954
TX 7.2	26.8	35.26	14.8	501.430	0.64116
TX 7.3	6.8	7.07	6.9	15.414	0.622296
TX 7.4	10.1	4.91	12.5	52.914	0.692048
TX 7.5	7.3	10.75	9.4	15.998	0.595932
TX 7.6	11.4	11.34	10.9	32.180	0.45837
TX 7.7	16.5	15.90	11.8	58.987	0.390175
TX 7.8	5.9	4.15	7.4	7.014	0.57357
TX 7.9	6.4	7.55	7.4	11.599	0.546811
TX 7.1	5.8	4.15	5.3	6.183	0.421798
TX 7.11	8.9	11.34	8.8	31.531	0.598466
TX 7.12	11.5	7.55	13.2	62.030	0.486156
TX 7.13	7	6.16	7.8	14.655	0.694888
TX 7.14	7.5	6.61	9.0	16.397	0.671759
TX-8.1	38.6		22.0	865.312	0.527258
TX-8.2	28.3		21.0	285.913	0.407048
TX-8.3	24.4		22.0	319.290	0.548767
TX-8.4	34.5		19.5	648.050	0.60235
TX-8.5	16.6		10.2	55.805	0.403801
TX-8.6	11.6		11.0	47.414	0.561938
TX-8.7	33.1		19.6	672.252	0.586438
TX-8.8	24		14.6	448.501	0.50103
TX-8.9	31.6		21.5	437.663	0.462032
TX-8.10	12.3	12.57	13.2	18.214	0.513
TX-8.11	7.6	9.62	9.4	17.751	0.573125
TX-8.12	13	11.34	15.2	54.413	0.354212

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX-8.13	8	12.57	9.8	32.073	0.545875
TX-8.14	15.8	9.62	15.3	99.200	0.621393
TX-8.15	9.3	15.21	7.3	24.878	0.517371
TX-8.16	6.4	7.55	9.8	11.202	0.639562
TX-8.17	9.7	16.62	7.7	24.965	0.456457
TX - 9.1	11	10.75	8.3	27.917	0.450814
TX - 9.2	17.8	13.85	15.5	128.072	0.50707
TX - 9.3	13.7	5.31	10.0	77.072	0.640708
TX - 9.4	11.2	8.04	11.6	40.922	0.539503
TX - 9.5	10.2	6.16	10.2	23.734	0.475826
TX - 9.6	11.3	12.57	13.1	40.870	0.618142
TX - 9.7	20.3	24.63	10.6	117.409	0.607633
TX - 9.8	10.2	4.91	8.9	24.445	0.580758
TX - 9.9	15.5	15.90	10.7	61.573	0.457222
TX - 9.10	10.1	4.91	12.8	28.261	0.492546
TX - 9.11	8.1	1.13	6.0	13.438	0.658207
TX - 9.12	11.6	10.75	9.0	53.629	0.629429
TX - 9.13	5.2	3.14	4.7	2.929	0.374539
TX - 9.14	8.2	5.31	8.3	22.354	0.706304
TX - 9.15	8.3	5.73	7.3	19.351	0.579954
TX - 10.1	15.8	17.35	12.9	140.207	0.576443
TX - 10.2	7.9	7.55	9.9	21.226	0.528032
TX - 10.3	35.1	32.17	24.0	864.855	0.631246
TX - 10.4	16.5	18.10	20.8	261.820	0.575423
TX - 10.5	18.5	13.20	15.6	88.899	0.410248
TX - 10.6	39.8	66.48	22.2	1147.054	0.540655
TX - 10.7	7.9	8.04	10.5	19.223	0.502397
TX - 10.8	7.9	9.08	8.4	16.272	0.560247
TX - 10.9	18.4	15.90	16.7	118.311	0.442631
TX - 10.10	10.8	8.04	10.6	28.315	0.461097
TX - 10.11	9	14.52	11.5	37.080	0.561092
TX - 10.12	15.4	15.90	19.6	133.958	0.615549
TX - 10.13	30.8	67.93	23.6	526.127	0.464387
TX - 10.14	16.9	23.76	14.5	129.378	0.645172
TX - 10.15	24.5	11.34	25.2	341.147	0.451671
TX - 11.1	18.9	20.43	13.1	167.450	0.520427
TX - 11.2	8.1	5.73	8.9	21.042	0.555732
TX - 11.3	20.1	10.75	13.2	150.392	0.594804
TX - 11.4	7	12.57	8.2	16.577	0.530494
TX - 11.5	16.5	38.48	15.0	210.267	0.735796
TX - 11.6	21.7	26.42	15.5	102.792	0.339867

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX - 11.7	10.6	28.27	10.8	65.300	0.716913
TX - 11.8	22.1	28.27	18.0	200.858	0.491917
TX - 11.9	23.2	33.18	18.2	402.251	0.722759
TX - 11.10	5.6	2.01	8.8	5.011	0.394944
TX - 11.11	6.4	3.46	6.1	6.059	0.424637
TX - 11.12	10.2	12.57	9.5	41.373	0.725073
TX - 11.13	19.6	5.31	15.0	276.585	0.881902
TX 12.1	18.3	8.04	4.3	65.387	0.563724
TX 12.2	19.6	16.62	16.5	265.514	0.767253
TX 12.3	36.4	0.00	18.5	733.625	0.426409
TX 12.4	10	4.91	11.6	34.395	0.59845
TX 12.5	4.7	1.13	5.3	3.879	0.622374
TX 12.6	22	28.27	21.4	410.092	0.756496
TX 12.7	32.4		23.9	944.313	0.745743
TX 12.8	5.6	2.27	4.5	5.881	0.480032
TX 12.9	15.9	7.07	19.2	138.549	0.682778
TX 12.10	17.6	16.62	17.2	180.400	0.750539
TX 13.1	9	2.01	7.8	15.753	0.610803
TX 13.2	7.5	6.16	8.7	17.973	0.660112
TX 13.3	8.3		9.2	29.062	0.729697
TX 13.4	37.4	24.63	24.1	844.723	0.616765
TX 13.5	26.5		17.5	413.367	0.846001
TX 14.1	9.3	6.16	11.2	42.235	0.877302
TX 14.2	6.6	3.80	6.5	9.757	0.631896
TX 14.3	9.9	13.20	13.9	35.433	0.609798
TX 14.4	10.7	17.35	14.1	60.935	0.744325
TX 14.5	6.5	1.77	11.5	14.790	0.680626
TX 14.6	28.7	47.78	21.9	513.954	0.874462
TX 14.7	42.6	120.76	19.1	1003.170	0.641629
TX 14.8	22.8	26.42	13.5	348.677	0.822662
TX 15.1	5.6	26.42	5.5	7.260	0.490524
TX 15.2	11	9.08	12.0	52.679	0.735018
TX 15.3	9.5	4.15	9.7	21.944	0.393018
TX 15.4	9.8	18.10	16.6	519.879	0.534596
TX 15.5	34.4	16.62	11.3	425.123	0.622382
TX 15.6	38.7	18.10	17.3	494.316	0.450778
TX-16.1	7.8	3.14	12.5	25.546	0.507365
TX-16.2	23.5	40.72	23.4	359.730	0.586411
TX-16.3	23.8	16.62	26.8	527.984	0.705641
TX-16.4	14	8.04	18.7	37.895	0.609488
TX-16.5	7.7	1.77	9.4	19.753	0.668705

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX-16.6	7	7.07	7.4	14.518	0.568877
TX-16.7	25.1	12.57	27.0	456.476	0.641733
TX-17.1	24.8	12.57	14.2	461.890	0.664499
TX-17.2	24.1	26.42	12.1	285.528	0.628056
TX-17.3	8.9	10.18	10.3	23.809	0.544949
TX-17.4	6.5	5.31	9.7	10.041	0.413384
TX-17.5	8.7	5.73	11.3	20.665	0.455341
TX 18.1	18.1	13.85	12.1	172.573	0.714894
TX 18.2	25.5	33.18	16.0	420.132	0.764905
TX 18.3	9.8	4.91	7.5	41.851	0.726575
TX 18.4	16.2	9.08	10.5	58.094	0.73233
TX-19.1	14.6	18.86	11.3	115.239	0.712448
TX-19.2	31.1	33.18	15.0	435.185	0.475393
TX-19.3	12.3	8.04	7.1	61.913	0.720719
TX-19.4	33.8	67.93	23.0	913.087	0.581146
TX-19.5	10	13.85	8.3	26.909	0.486684
TX-19.6	10.5	7.55	8.6	21.352	0.481708
TX-19.7	7.6	5.31	6.3	19.662	0.584242
TX-19.8	11.2	11.34	8.4	34.679	0.563716
TX-20.1	23.7	41.85	13.4	244.166	0.731825
TX-20.2	18	47.78	14.6	184.716	0.54174
TX-20.3	22.5	13.20	15.6	263.731	0.726156
TX-20.4	7.2	3.46	8.5	17.050	0.553962
TX-20.5	5	4.15	6.3	5.284	0.614466
TX-20.6	30.5	13.85	15.8	533.197	0.564914
TX-20.7	7.3	12.57	10.0	44.516	0.682057
TX-20.8	8.1	5.73	13.2	28.223	0.572577
TX-20.9	6.5	8.04	8.1	9.497	0.482766
TX 1.1 TA	7		8.5	13.809	0.32553
TX 1.2 TA	17		13.9	201.449	0.462805
TX 1.3 TA	36		19.5	762.392	0.294329
TX 1.4 TA	26		17.5	554.339	0.344983
TX 1.5 TA	41		23.8	1385.514	0.297823
TX 1.6 TA	34		18.3	716.656	0.335975
TX 2.1 TA	20		14.8	126.215	0.234998
TX 2.2 TA	8.5		9.0	18.291	0.303735
TX 2.3 TA	14		12.6	51.981	0.264676
TX 2.4 TA	6.5		8.8	7.113	0.219294
TX 3.1 TA	17		14.8	182.061	0.33021
TX 3.2 TA	26		13.5	274.375	0.356696
TX 3.3 TA	7		7.1	17.980	0.590316

Code of sampling tree	DBH	Ca	H	AGB	WD
TX 3.4 TA	33		27.3	611.540	0.211828
TX 3.5 TA	37		21.8	660.012	0.223101
TX 3.6 TA	56		24.7	1859.989	0.272446
TX 3.7 TA	8.5		10.5	25.300	0.303097
TX 3.8 TA	45		25.0	1497.705	0.319477
TX 4.1 TA	9.8		12.5	44.601	0.353211
TX 4.2 TA	25.4		21.0	435.142	0.368562
TX 4.3 TA	53.5		23.5	2159.174	0.447259
TX 4.4 TA	49		22.8	1600.491	0.424902
TX 4.5 TA	15.2		17.0	99.900	0.22389
TX 4.6 TA	32.5		23.0	844.711	0.40411
TX 5.1 TA	8.5		12.4	18.775	0.2034
TX 5.2 TA	16		13.0	79.314	0.328864
TX 5.3 TA	8		7.8	12.797	0.286305
TX 5.4 TA	14		14.8	52.156	0.196699
TX 6.1 TA	9		11.6	57.017	0.597168
TX 6.2 TA	46		25.0	1359.854	0.356043
TX 6.3 TA	52.5		26.2	1580.652	0.310429
TX 6.4 TA	23		16.5	230.559	0.320224
TX 6.5 TA	30.5		24.2	678.611	0.32042
TX 6.6 TA	18		16.5	222.766	0.507788

Phụ lục 3: Bộ dữ liệu CAGB (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	C(AGB)	DBH	Ca	H	WD
TX 1.1	929.5159	55.4	107.5132	26.5	0.409815
TX 1.2	3.842638	6.7	5.309292	3.9	0.554999
TX 1.3	2.957917	8.6	7.068583	8	0.165454
TX 1.4	4.292144	7	4.154756	9.5	0.340564
TX 1.5	15.82152	9.4	24.63009	8	0.589714
TX 1.6	2.447051	6.1	7.068583	5.5	0.396757
TX 1.7	3.70439	5.1	2.54469	7.1	0.597379
TX 1.8	77.75218	19.3	33.18307	17.5	0.464852
TX 1.9	19.86568	13	6.605199	13.8	0.34858
TX 1.10	28.88677	12.1	3.801327	12.7	0.492138
TX 1.11	21.77677	13.1	16.61903	9.4	0.345519
TX 1.12	243.1392	27.1	44.17865	18.8	0.516943
TX 1.13	92.81495	27.5	50.26548	15.4	0.279698
TX 2.1	2.948897	8.3	5.725553	7	0.181741
TX 2.2	8.787371	9	7.547676	12.4	0.294315
TX 2.3	7.316491	8.6	22.06183	9.9	0.409759
TX 2.4	8.578309	7.2	4.523893	7.6	0.43498

Code of sampling tree	C(AGB)	DBH	Ca	H	WD
TX 2.5	2.473927	7.1	2.835287	10.4	0.237443
TX 2.6	13.34612	9.7	593.9574	10.7	0.467349
TX 2.7	856.2892	60.8	248.8456	22	0.356089
TX 3.1	175.9844	24	26.78648	20.4	0.408579
TX 3.2	17.12012	12.6	7.068583	15.3	0.279052
TX 3.3	14.52457	8.8	1.767146	13.1	0.458431
TX 3.4	57.91732	15.1	35.25652	14.1	0.556194
TX 3.5	27.36045	11.1	20.2683	12.56	0.56939
TX 3.6	7.627287	7.7	9.566228	9.4	0.52155
TX 3.7	513.3616	56.7	185.0575	22.9	0.273562
TX 3.8	14.80161	9.9	15.20531	11	0.368782
TX 3.9	3.823999	5.3	4.154756	6.9	0.599963
TX 4.1	4.491474	5.7	12.56637	8.7	0.416339
TX 4.2	6.195094	8.2	2.010619	11.9	0.344142
TX 4.3	10.6619	8.8	11.34115	10.5	0.611307
TX 4.4	9.22084	7.6	7.068583	10.2	0.602884
TX 4.5	29.75334	11.9	22.90221	12.8	0.578963
TX 4.6	71.95796	17.1	19.63495	16.1	0.596185
TX 4.7	186.8059	24.4	37.39281	16	0.483858
TX 4.8	715.2714	40.4	116.8987	22	0.606583
TX 5.1	19.26716	15.4	24.63009	9.8	0.298777
TX 5.2	11.66636	10.8	10.17876	9.7	0.319359
TX 5.3	14.17915	12.2	18.09557	8.8	0.276693
TX 5.4	18.39604	14.1	19.63495	10.3	0.292498
TX 5.5	6.591625	8.8	4.908739	9.6	0.318364
TX 5.6	8.061231	9.4	7.068583	9.1	0.306635
TX 5.7	3.905259	6.5	1.767146	8	0.352126
TX 5.8	2.816574	6.5	2.269801	7.5	0.340609
TX 5.9	1.951976	5	1.767146	7.9	0.338689
TX 6.1	149.4657	26.8	21.23717	20.5	0.43438
TX 6.2	17.66528	15	17.34945	14.4	0.267057
TX 6.3	50.82144	18.3	26.42079	15.3	0.322715
TX 6.4	5.472215	8.7	7.068583	6.5	0.291266
TX 6.5	5.424908	8.9	9.079203	6.5	0.361767
TX 6.6	12.61878	8.6	14.52201	9.5	0.488709
TX 6.7	4.351084	6.8	3.463606	6.3	0.458628
TX 6.8	1204.439	76	124.6898	27.5	0.455898
TX 7.1	699.9264	47.8	51.52997	21	0.54954
TX 7.2	246.5771	26.8	35.25652	14.8	0.64116
TX 7.3	7.673475	6.8	7.068583	6.9	0.622296
TX 7.4	25.90847	10.1	4.908739	12.5	0.692048

Code of sampling tree	C(AGB)	DBH	Ca	H	WD
TX 7.5	7.379668	7.3	10.7521	9.4	0.595932
TX 7.6	16.47765	11.4	11.34115	10.9	0.45837
TX 7.7	30.38154	16.5	15.90431	11.8	0.390175
TX 7.8	3.072704	5.9	4.154756	7.4	0.57357
TX 7.9	5.841662	6.4	7.547676	7.4	0.546811
TX 7.1	2.949619	5.8	4.154756	5.3	0.421798
TX 7.11	15.59206	8.9	11.34115	8.8	0.598466
TX 7.12	31.52028	11.5	7.547676	13.2	0.486156
TX 7.13	7.410858	7	6.157522	7.8	0.694888
TX 7.14	6.291778	7.5	6.605199	9	0.671759
TX-8.1	483.9536	38.6		22	0.527258
TX-8.2	159.1937	28.3		21	0.407048
TX-8.3	176.8676	24.4		22	0.548767
TX-8.4	357.6221	34.5		19.5	0.60235
TX-8.5	32.22929	16.6		10.2	0.403801
TX-8.6	27.47285	11.6		11	0.561938
TX-8.7	332.4756	33.1		19.6	0.586438
TX-8.8	234.1429	24		14.6	0.50103
TX-8.9	234.7181	31.6		21.5	0.462032
TX - 10.1	74.40139	15.8	17.34945	12.9	0.576443
TX - 10.2	10.67946	7.9	7.547676	9.9	0.528032
TX - 10.3	481.1661	35.1	32.16991	24	0.631246
TX - 10.4	134.0088	16.5	18.09557	20.8	0.575423
TX - 10.5	50.91663	18.5	13.20254	15.6	0.410248
TX - 10.6	600.3674	39.8	66.4761	22.2	0.540655
TX - 10.7	9.750208	7.9	8.042477	10.5	0.502397
TX - 10.8	8.890916	7.9	9.079203	8.4	0.560247
TX - 10.9	64.00261	18.4	15.90431	16.7	0.442631
TX - 10.10	15.40304	10.8	8.042477	10.6	0.461097
TX - 10.11	18.54638	9	14.52201	11.5	0.561092
TX - 10.12	74.99786	15.4	15.90431	19.6	0.615549
TX - 10.13	295.6034	30.8	67.92909	23.6	0.464387
TX - 10.14	69.69539	16.9	23.75829	14.5	0.645172
TX - 10.15	179.0824	24.5	11.34115	25.2	0.451671
TX - 11.1	85.15653	18.9	20.42821	13.1	0.520427
TX - 11.2	9.921628	8.1	5.725553	8.9	0.555732
TX - 11.3	82.48083	20.1	10.7521	13.2	0.594804
TX - 11.4	8.772856	7	12.56637	8.2	0.530494
TX - 11.5	106.6132	16.5	38.48451	15	0.735796
TX - 11.6	59.25498	21.7	26.42079	15.5	0.339867
TX - 11.7	31.88404	10.6	28.27433	10.8	0.716913

Code of sampling tree	C(AGB)	DBH	Ca	H	WD
TX - 11.8	109.1382	22.1	28.27433	18	0.491917
TX - 11.9	212.2191	23.2	33.18307	18.2	0.722759
TX - 11.10	2.785426	5.6	2.010619	8.8	0.394944
TX - 11.11	3.386269	6.4	3.463606	6.1	0.424637
TX - 11.12	21.75923	10.2	12.56637	9.5	0.725073
TX - 11.13	139.5802	19.6	5.309292	15	0.881902
TX 12.1	34.0863	18.3	8.042477	4.3	0.563724
TX 12.2	146.7123	19.6	16.61903	16.5	0.767253
TX 12.3	401.6082	36.4		18.5	0.426409
TX 12.4	19.20098	10	4.908739	11.6	0.59845
TX 12.5	2.066306	4.7	1.130973	5.3	0.622374
TX 12.6	226.3702	22	28.27433	21.4	0.756496
TX 12.7	528.4263	32.4		23.9	0.745743
TX 12.8	3.079315	5.6	2.269801	4.5	0.480032
TX 12.9	73.40767	15.9	7.068583	19.2	0.682778
TX 12.10	96.87636	17.6	16.61903	17.2	0.750539
TX 1.1 TA	5.561555	7		8.5	0.32553
TX 1.2 TA	80.09821	17		13.9	0.462805
TX 1.3 TA	327.048	36		19.5	0.294329
TX 1.4 TA	228.5207	26		17.5	0.344983
TX 1.5 TA	549.7224	41		23.8	0.297823
TX 1.6 TA	308.6802	34		18.25	0.335975
TX 2.1 TA	50.87131	20		14.8	0.234998
TX 2.2 TA	7.456122	8.5		9	0.303735
TX 2.3 TA	21.69949	14		12.6	0.264676
TX 2.4 TA	2.934746	6.5		8.8	0.219294
TX 3.1 TA	72.19616	17		14.8	0.33021
TX 3.2 TA	116.2691	26		13.5	0.356696
TX 3.3 TA	7.372931	7		7.1	0.590316
TX 3.4 TA	246.6288	33		27.3	0.211828
TX 3.5 TA	244.1308	37		21.8	0.223101
TX 3.6 TA	719.005	56		24.7	0.272446
TX 3.7 TA	8.335085	8.5		10.5	0.303097
TX 3.8 TA	632.6458	45		25	0.319477
TX 4.1 TA	18.77108	9.8		12.5	0.353211
TX 4.2 TA	183.8145	25.4		21	0.368562
TX 4.3 TA	951.8482	53.5		23.5	0.447259
TX 4.4 TA	663.08	49		22.8	0.424902
TX 4.5 TA	37.47965	15.2		17	0.22389
TX 4.6 TA	342.3483	32.5		23	0.40411
TX 5.1 TA	7.762964	8.5		12.4	0.2034

Code of sampling tree	C(AGB)	DBH	Ca	H	WD
TX 5.2 TA	34.28581	16		13	0.328864
TX 5.3 TA	5.611456	8		7.8	0.286305
TX 5.4 TA	22.84296	14		14.8	0.196699
TX 6.1 TA	23.16938	9		11.6	0.597168
TX 6.2 TA	580.3119	46		25	0.356043
TX 6.3 TA	647.4848	52.5		26.2	0.310429
TX 6.4 TA	91.50844	23		16.5	0.320224
TX 6.5 TA	281.9819	30.5		24.2	0.32042
TX 6.6 TA	91.46319	18		16.5	0.507788

Phụ lục 4: Bộ dữ liệu BGB (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	BGB	DBH	Ca	H	WD
TX 7.1	175.8218	47.8	51.52997	21	0.54954
TX 7.2	48.552	26.8	35.25652	14.8	0.64116
TX - 11.7	10.76643	10.6	28.27433	10.8	0.716913
TX 15.1	1.05556	5.6	26.42079	5.5	0.490524
TX - 9.7	61.3376	20.3	24.63009	10.6	0.607633
TX 14.4	10.1574	10.7	17.34945	14.1	0.744325
TX-8.17	4.76	9.7	16.61903	7.7	0.456457
TX 12.2	50.45703	19.6	16.61903	16.5	0.767253
TX 7.7	6.148	16.5	15.90431	11.8	0.390175
TX - 9.9	24.0994	15.5	15.90431	10.7	0.457222
TX-8.15	3.4498	9.3	15.20531	7.3	0.517371
TX - 10.11	5.547648	9	14.52201	11.5	0.561092
TX - 9.2	33.756	17.8	13.85442	15.5	0.50707
TX-19.5	4.6865	10	13.85442	8.3	0.486684
TX 14.3	6.615	9.9	13.20254	13.9	0.609798
TX-8.10	8.4582	12.3	12.56637	13.2	0.513
TX-8.13	5.2224	8	12.56637	9.8	0.545875
TX - 9.6	10.9368	11.3	12.56637	13.1	0.618142
TX - 11.4	1.267864	7	12.56637	8.2	0.530494
TX - 11.12	6.486653	10.2	12.56637	9.5	0.725073
TX 7.6	3.3522	11.4	11.34115	10.9	0.45837
TX 7.11	3.3215	8.9	11.34115	8.8	0.598466
TX-8.12	9.912	13	11.34115	15.2	0.354212
TX-19.8	6.04494	11.2	11.34115	8.4	0.563716
TX 7.5	2.1504	7.3	10.7521	9.4	0.595932
TX - 9.1	6.3948	11	10.7521	8.3	0.450814
TX - 9.12	10.824	11.6	10.7521	9	0.629429
TX-17.3	3.5532	8.9	10.17876	10.3	0.544949
TX-8.11	2.6726	7.6	9.621128	9.4	0.573125

Code of sampling tree	BGB	DBH	Ca	H	WD
TX-8.14	28.5476	15.8	9.621128	15.3	0.621393
TX - 10.8	3.78918	7.9	9.079203	8.4	0.560247
TX 15.2	7.75523	11	9.079203	12	0.735018
TX - 9.4	6.6555	11.2	8.042477	11.6	0.539503
TX - 10.10	3.310325	10.8	8.042477	10.6	0.461097
TX 12.1	21.05246	18.3	8.042477	4.3	0.563724
TX-19.3	13.65265	12.3	8.042477	7.1	0.720719
TX-20.9	2.9834	6.5	8.042477	8.1	0.482766
TX 7.9	0.873	6.4	7.547676	7.4	0.546811
TX 7.12	4.7483	11.5	7.547676	13.2	0.486156
TX-8.16	1.3272	6.4	7.547676	9.8	0.639562
TX - 10.2	2.50848	7.9	7.547676	9.9	0.528032
TX-19.6	2.08396	10.5	7.547676	8.6	0.481708
TX 7.3	2.4376	6.8	7.068583	6.9	0.622296
TX-16.6	2.25112	7	7.068583	7.4	0.568877
TX 7.14	2.2032	7.5	6.605199	9	0.671759
TX 7.13	1.5436	7	6.157522	7.8	0.694888
TX - 9.5	5.4054	10.2	6.157522	10.2	0.475826
TX 13.2	4.11662	7.5	6.157522	8.7	0.660112
TX 14.1	5.8842	9.3	6.157522	11.2	0.877302
TX - 9.15	3.536	8.3	5.725553	7.3	0.579954
TX - 11.2	2.413277	8.1	5.725553	8.9	0.555732
TX-17.5	3.51375	8.7	5.725553	11.3	0.455341
TX-20.8	7.119	8.1	5.725553	13.2	0.572577
TX - 9.3	21.0444	13.7	5.309292	10	0.640708
TX - 9.14	4.2328	8.2	5.309292	8.3	0.706304
TX-17.4	1.14504	6.5	5.309292	9.7	0.413384
TX-19.7	3.12666	7.6	5.309292	6.3	0.584242
TX 7.4	3.90145	10.1	4.908739	12.5	0.692048
TX - 9.8	4.1712	10.2	4.908739	8.9	0.580758
TX - 9.10	3.6764	10.1	4.908739	12.8	0.492546
TX 12.4	4.50414	10	4.908739	11.6	0.59845
TX 18.3	5.5693	9.8	4.908739	7.5	0.726575
TX 7.8	1.4763	5.9	4.154756	7.4	0.57357
TX 7.1	0.8008	5.8	4.154756	5.3	0.421798
TX 15.3	2.65677	9.5	4.154756	9.7	0.393018
TX-20.5	1.13344	5	4.154756	6.3	0.614466
TX 14.2	2.48262	6.6	3.801327	6.5	0.631896
TX - 11.11	1.274055	6.4	3.463606	6.1	0.424637
TX - 9.13	0.56	5.2	3.141593	4.7	0.374539
TX-16.1	2.2491	7.8	3.141593	12.5	0.507365

Code of sampling tree	BGB	DBH	Ca	H	WD
TX 12.8	1.31223	5.6	2.269801	4.5	0.480032
TX - 11.10	0.7218	5.6	2.010619	8.8	0.394944
TX 13.1	9.27964	9	2.010619	7.8	0.610803
TX 14.5	2.11295	6.5	1.767146	11.5	0.680626
TX-16.5	5.4918	7.7	1.767146	9.4	0.668705
TX - 9.11	2.1252	8.1	1.130973	6	0.658207
TX 12.5	0.4916	4.7	1.130973	5.3	0.622374
TX 12.3	117.7522	36.4	0	18.5	0.426409
TX-8.1	84.37505	38.6		22	0.527258
TX-8.2	35.79174	28.3		21	0.407048
TX-8.3	66.36059	24.4		22	0.548767
TX-8.4	68.06191	34.5		19.5	0.60235
TX-8.5	19.08008	16.6		10.2	0.403801
TX-8.6	5.371238	11.6		11	0.561938
TX-8.7	51.91962	33.1		19.6	0.586438
TX-8.8	81.13668	24		14.6	0.50103
TX-8.9	83.54679	31.6		21.5	0.462032
TX-1Đ.1R	34.03781	20.5		18.8	0.602097
TX-1Đ.2R	51.50979	25.4		17.2	0.490355
TX-1Đ.3R	75.91208	29.5		20.3	0.308001
TX-1Đ.4R	87.26443	32.5		19.6	0.503905
TX-1Đ.5R	78.87877	40		16.4	0.738635
TX-1Đ.6R	13.03441	23.4		14.8	0.37443
TX-1Đ.7R	31.07043	20.7		15.4	0.766716
TX-1Đ.8R	19.88086	15.6		13.6	0.672095
TX-1Đ.9R	28.60588	15.5		9.3	0.870172
TX-1Đ.10R	127.1794	31.7		20.1	0.929551
TX-1Đ.11R	80.1758	44		24.5	0.398193
TX-1Đ.12R	52.66605	32.4		18.9	0.790022
TX-1Đ.13R	26.67919	24.1		12.1	0.689319
TX-1Đ.14R	84.97884	24.2		10	0.714224
TX-1Đ.15R	90.90687	41.5		27.3	0.55253
TX-1Đ.16R	10.08695	21.2		12.8	0.32958
TX-1Đ.17R	95.59329	46.1		32.5	0.550625
TX2.2R	47.52657	20.8		22.5	0.596232
TX2.3R	12.13464	21.6		23.5	0.170826

Phụ lục 5: Bộ dữ liệu CBGB (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	C(BGB)	DBH	Ca	H	WD
TX 7.1	86.83905	47.8	51.52997	21	0.54954
TX 7.2	23.04532	26.8	35.25652	14.8	0.64116

Code of sampling tree	C(BGB)	DBH	Ca	H	WD
TX - 11.7	5.020384	10.6	28.27433	10.8	0.716913
TX 12.2	19.84475	19.6	16.61903	16.5	0.767253
TX 7.7	2.931314	16.5	15.90431	11.8	0.390175
TX - 10.11	2.261221	9	14.52201	11.5	0.561092
TX - 11.4	0.625437	7	12.56637	8.2	0.530494
TX - 11.12	3.403547	10.2	12.56637	9.5	0.725073
TX 7.6	1.261288	11.4	11.34115	10.9	0.45837
TX 7.11	1.622739	8.9	11.34115	8.8	0.598466
TX 7.5	0.753905	7.3	10.7521	9.4	0.595932
TX - 10.8	1.897621	7.9	9.079203	8.4	0.560247
TX - 10.10	0.743499	10.8	8.042477	10.6	0.461097
TX 12.1	11.22728	18.3	8.042477	4.3	0.563724
TX 7.9	0.284589	6.4	7.547676	7.4	0.546811
TX 7.12	2.380752	11.5	7.547676	13.2	0.486156
TX - 10.2	1.165942	7.9	7.547676	9.9	0.528032
TX 7.3	1.211761	6.8	7.068583	6.9	0.622296
TX 7.14	1.057536	7.5	6.605199	9	0.671759
TX 7.13	0.595648	7	6.157522	7.8	0.694888
TX - 11.2	1.047845	8.1	5.725553	8.9	0.555732
TX 7.4	1.61399	10.1	4.908739	12.5	0.692048
TX 12.4	2.25207	10	4.908739	11.6	0.59845
TX 7.8	0.708624	5.9	4.154756	7.4	0.57357
TX 7.1	0.359546	5.8	4.154756	5.3	0.421798
TX - 11.11	0.692576	6.4	3.463606	6.1	0.424637
TX 12.8	0.62987	5.6	2.269801	4.5	0.480032
TX - 11.10	0.341772	5.6	2.010619	8.8	0.394944
TX 12.5	0.19664	4.7	1.130973	5.3	0.622374
TX 12.3	63.58618	36.4		18.5	0.426409
TX-8.1	45.81406	38.6		22	0.527258
TX-8.2	14.22967	28.3		21	0.407048
TX-8.3	34.56183	24.4		22	0.548767
TX-8.4	25.61222	34.5		19.5	0.60235
TX-8.5	9.143431	16.6		10.2	0.403801
TX-8.6	3.10941	11.6		11	0.561938
TX-8.7	24.25856	33.1		19.6	0.586438
TX-8.8	40.21303	24		14.6	0.50103
TX-8.9	41.70236	31.6		21.5	0.462032
TX-1D.1R	16.46681	20.5		18.8	0.602097
TX-1D.2R	23.70581	25.4		17.2	0.490355
TX-1D.3R	29.39268	29.5		20.3	0.308001
TX-1D.4R	37.59402	32.5		19.6	0.503905

Code of sampling tree	C(BGB)	DBH	Ca	H	WD
TX-1Đ.5R	35.62875	40		16.4	0.738635
TX-1Đ.6R	6.386517	23.4		14.8	0.37443
TX-1Đ.7R	5.84926	20.7		15.4	0.766716
TX-1Đ.8R	9.070189	15.6		13.6	0.672095
TX-1Đ.9R	12.65039	15.5		9.3	0.870172
TX-1Đ.10R	61.56657	31.7		20.1	0.929551
TX-1Đ.11R	42.68677	44		24.5	0.398193
TX-1Đ.12R	22.97011	32.4		18.9	0.790022
TX-1Đ.13R	7.899769	24.1		12.1	0.689319
TX-1Đ.14R	39.73424	24.2		10	0.714224
TX-1Đ.15R	43.13787	41.5		27.3	0.55253
TX-1Đ.16R	3.40901	21.2		12.8	0.32958
TX-1Đ.17R	31.46973	46.1		32.5	0.550625
TX2.2R	23.13118	20.8		22.5	0.596232
TX2.3R	5.096549	21.6		23.5	0.170826

Phụ lục 6 : Bộ dữ liệu sinh khối các bộ phận thân cây (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX 1.1	55.4	26.5	0.409815	701.4199	35.18183	1379.032	221.391
TX 1.2	6.7	3.9	0.554999	3.6992	0.487217	5.119867	0.9436
TX 1.3	8.6	8	0.165454	2.4016	1.2176	3.9468	0.6867
TX 1.4	7	9.5	0.340564	1.027	0.587667	8.272	1.104
TX 1.5	9.4	8	0.589714	13.5108	4.371667	20.84333	1.5753
TX 1.6	6.1	5.5	0.396757	1.6769	0.6776	3.392	0.5395
TX 1.7	5.1	7.1	0.597379	2.595367	0.33034	5.677	0.94736
TX 1.8	19.3	17.5	0.464852	43.97667	9.159467	131.3252	17.70267
TX 1.9	13	13.8	0.34858	6.8226	1.565667	37.0522	3.860533
TX 1.10	12.1	12.7	0.492138	23.56027	2.1312	39.77747	5.4768
TX 1.11	13.1	9.4	0.345519	18.65333	5.375333	28.23333	2.329167
TX 1.12	27.1	18.8	0.516943	211.9855	8.676267	328.3938	51.0815
TX 1.13	27.5	15.4	0.279698	68.26743	10.70187	151.8879	14.756
TX 2.1	8.3	7	0.181741	1.2369	0.213413	4.234	1.9159
TX 2.2	9	12.4	0.294315	3.6352	0.636533	15.89227	1.608567
TX 2.3	8.6	9.9	0.409759	1.086667	0.439947	14.9184	1.6656
TX 2.4	7.2	7.6	0.43498	1.74	11.16	7.887233	1.060667
TX 2.5	7.1	10.4	0.237443	0.735467	0.2679	4.7038	0.6076
TX 2.6	9.7	10.7	0.467349	7.682	1.5006	21.829	3.11619
TX 2.7	60.8	22	0.356089	1011.29	72.352	992.266	103.5448
TX 3.1	24	20.4	0.408579	92.90667	5.9384	281.843	48.80127

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX 3.2	12.6	15.3	0.279052	4.7702	2.7196	29.07507	6.032
TX 3.3	8.8	13.1	0.458431	4.879533	0.833333	24.246	6.037967
TX 3.4	15.1	14.1	0.556194	50.92967	8.4899	83.519	10.57467
TX 3.5	11.1	12.56	0.56939	19.08253	2.334267	41.3492	6.6729
TX 3.6	7.7	9.4	0.52155	3.042	1.699933	11.82287	1.788
TX 3.7	56.7	22.9	0.273562	431.7173	41.19267	735.702	47.20267
TX 3.8	9.9	11	0.368782	9.357267	4.3648	20.18933	2.301
TX 3.9	5.3	6.9	0.599963	1.220833	0.984533	6.517	0.801267
TX 4.1	5.7	8.7	0.416339	3.023733	0.192573	7.4772	0.57456
TX 4.2	8.2	11.9	0.344142	0.6018	0.334467	12.0396	2.5276
TX 4.3	8.8	10.5	0.611307	6.1146	0.9218	20.2293	0.6192
TX 4.4	7.6	10.2	0.602884	4.226667	1.265	16.42667	0.622533
TX 4.5	11.9	12.8	0.578963	17.12957	1.411	54.5689	2.231867
TX 4.6	17.1	16.1	0.596185	31.6506	5.9856	132.2071	5.9192
TX 4.7	24.4	16	0.483858	174.4157	10.3596	256.343	31.447
TX 4.8	40.4	22	0.606583	897.3965	49.164	850.6034	85.24293
TX 5.1	15.4	9.8	0.298777	13.62443	6.210433	26.99947	3.2568
TX 5.2	10.8	9.7	0.319359	7.1451	2.691733	18.3804	2.1164
TX 5.3	12.2	8.8	0.276693	11.93303	2.324	20.0787	2.2698
TX 5.4	14.1	10.3	0.292498	10.428	5.304	26.83333	3.4047
TX 5.5	8.8	9.6	0.318364	3.296	1.129333	10.61413	1.795733
TX 5.6	9.4	9.1	0.306635	3.9501	2.992333	12.76	1.498333
TX 5.7	6.5	8	0.352126	2.4698	0.819167	6.0384	0.804533
TX 5.8	6.5	7.5	0.340609	1.216233	0.306533	4.884867	0.849167
TX 5.9	5	7.9	0.338689	0.476667	0.438667	3.690667	0.442667
TX 6.1	26.8	20.5	0.43438	83.08447	6.522533	262.6016	17.2788
TX 6.2	15	14.4	0.267057	5.5924	1.9404	33.70133	3.9376
TX 6.3	18.3	15.3	0.322715	37.33427	9.9169	73.96667	12.20907
TX 6.4	8.7	6.5	0.291266	3.350067	1.3275	7.748	1.546667
TX 6.5	8.9	6.5	0.361767	3.042133	1.3329	7.8096	1.341667
TX 6.6	8.6	9.5	0.488709	5.588	8.2745	17.39733	2.1056
TX 6.7	6.8	6.3	0.458628	2.428333	0.7266	6.941667	0.9744
TX 6.8	76	27.5	0.455898	980.9884	20.5975	2037.673	110.0516
TX 7.1	47.8	21	0.54954	469.7676	31.5384	938.2761	191.5425
TX 7.2	26.8	14.8	0.64116	198.7986	9.579	265.719	27.33325
TX 7.3	6.8	6.9	0.622296	3.9707	1.1961	9.103054	1.143857
TX 7.4	10.1	12.5	0.692048	2.4892	0.33252	45.63584	4.456781
TX 7.5	7.3	9.4	0.595932	2.9592	1.0526	11.49113	0.494871
TX 7.6	11.4	10.9	0.45837	4.1356	2.36	22.42879	3.255664
TX 7.7	16.5	11.8	0.390175	6.1875	3.6204	43.02619	6.153098

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX 7.8	5.9	7.4	0.57357	1.1637	0.6094	4.744823	0.495938
TX 7.9	6.4	7.4	0.546811	2.289	1.0406	7.220342	1.048999
TX 7.1	5.8	5.3	0.421798	1.7518	0.9048	3.060592	0.465498
TX 7.11	8.9	8.8	0.598466	4.8379	1.2183	21.83244	3.642602
TX 7.12	11.5	13.2	0.486156	11.343	3.8376	42.06798	4.781668
TX 7.13	7	7.8	0.694888	1.694	0.4776	10.93505	1.548502
TX 7.14	7.5	9	0.671759	2.02245	0.984	12.48137	0.908772
TX-8.1	38.6	22	0.527258	121.2047	14.21907	661.2818	68.60632
TX-8.2	28.3	21	0.407048	35.20831	4.727096	208.9622	37.01588
TX-8.3	24.4	22	0.548767	43.67357	4.446582	242.2165	28.95328
TX-8.4	34.5	19.5	0.60235	71.1464	9.877157	533.7654	33.26076
TX-8.5	16.6	10.2	0.403801	1.459682	0.784679	44.23822	9.322125
TX-8.6	11.6	11	0.561938	8.419448	1.901781	34.87879	2.213736
TX-8.7	33.1	19.6	0.586438	133.986	16.67311	476.1769	45.41582
TX-8.8	24	14.6	0.50103	69.16394	11.83284	329.3197	38.1845
TX-8.9	31.6	21.5	0.462032	69.98284	9.646803	318.173	39.85995
TX-8.10	12.3	13.2	0.513	3.7605	4.07	6.5688	3.815
TX-8.11	7.6	9.4	0.573125	4.251	1.1732	11.2005	1.126
TX-8.12	13	15.2	0.354212	6.305	3.312	39.936	4.86
TX-8.13	8	9.8	0.545875	7.7679	1.5618	19.968	2.775
TX-8.14	15.8	15.3	0.621393	15.264	7.9765	67.84526	8.114071
TX-8.15	9.3	7.3	0.517371	6.3315	2.176	13.875	2.4956
TX-8.16	6.4	9.8	0.639562	1.3354	0.3054	8.5224	1.0384
TX-8.17	9.7	7.7	0.456457	7.4576	1.93	13.8182	1.7596
TX - 9.1	11	8.3	0.450814	7.0006	3.4542	16.5048	0.9576
TX - 9.2	17.8	15.5	0.50707	22.5576	7.8475	88.15095	9.515856
TX - 9.3	13.7	10	0.640708		2.782	70.06	4.23
TX - 9.4	11.2	11.6	0.539503		9.4208	27.9292	3.5724
TX - 9.5	10.2	10.2	0.475826	2.8853		18.8244	2.024
TX - 9.6	11.3	13.1	0.618142	2.6432	1.268	35.4406	1.5184
TX - 9.7	20.3	10.6	0.607633	16.571	4.488	91.53022	4.819786
TX - 9.8	10.2	8.9	0.580758	4.3076	1.0976	17.415	1.625
TX - 9.9	15.5	10.7	0.457222	9.996	2.257	49.31984	
TX - 9.10	10.1	12.8	0.492546	2.8492	1.7	19.7392	3.9728
TX - 9.11	8.1	6	0.658207	3.277	1.533	7.8705	0.7578
TX - 9.12	11.6	9	0.629429	13.7632	3.71	33.748	2.408
TX - 9.13	5.2	4.7	0.374539	0.45	0.8064	1.4654	0.2076
TX - 9.14	8.2	8.3	0.706304	3.815	2.562	14.848	1.1286
TX - 9.15	8.3	7.3	0.579954	3.57	2.3364	12.3172	1.1277
TX - 10.1	15.8	12.9	0.576443	40.44599	4.711876	85.54802	9.501171

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX - 10.2	7.9	9.9	0.528032	3.925574	2.21774	13.84958	1.232974
TX - 10.3	35.1	24	0.631246	108.2702	29.60266	667.6211	59.36062
TX - 10.4	16.5	20.8	0.575423	30.97869	13.79324	201.338	15.71014
TX - 10.5	18.5	15.6	0.410248	8.611573	3.554774	71.14807	5.584262
TX - 10.6	39.8	22.2	0.540655	224.2605	42.9165	804.6947	75.18202
TX - 10.7	7.9	10.5	0.502397	1.945213	0.981631	14.36891	1.927016
TX - 10.8	7.9	8.4	0.560247	2.422586	1.119878	11.7077	1.021932
TX - 10.9	18.4	16.7	0.442631	18.31016	5.437177	79.12683	15.43709
TX - 10.10	10.8	10.6	0.461097	2.533057	1.446278	22.63445	1.701202
TX - 10.11	9	11.5	0.561092	6.328416	3.615567	25.00576	2.130176
TX - 10.12	15.4	19.6	0.615549	8.836896	4.60425	110.5394	9.977001
TX - 10.13	30.8	23.6	0.464387	67.66477	18.3223	392.3547	47.78495
TX - 10.14	16.9	14.5	0.645172	20.2529	11.65966	92.36597	5.09917
TX - 10.15	24.5	25.2	0.451671	37.44971	11.84448	251.2813	40.57206
TX - 11.1	18.9	13.1	0.520427	46.39881	16.76832	96.44547	7.836976
TX - 11.2	8.1	8.9	0.555732	6.687703	2.56127	10.94836	0.845026
TX - 11.3	20.1	13.2	0.594804	14.92749	7.771836	116.6458	11.04719
TX - 11.4	7	8.2	0.530494	4.526713	1.650326	9.07661	1.322899
TX - 11.5	16.5	15	0.735796	55.3082	13.37582	131.1181	10.46509
TX - 11.6	21.7	15.5	0.339867	9.124434	5.763306	81.03823	6.86583
TX - 11.7	10.6	10.8	0.716913	15.83227	5.818864	39.16553	4.483319
TX - 11.8	22.1	18	0.491917	24.41829	16.0224	152.2025	8.214547
TX - 11.9	23.2	18.2	0.722759	60.57732	17.26464	317.6119	6.797541
TX - 11.10	5.6	8.8	0.394944	0.441159	0.526759	3.665073	0.378066
TX - 11.11	6.4	6.1	0.424637	0.673512	0.410861	4.579185	0.395759
TX - 11.12	10.2	9.5	0.725073	4.308808	2.640775	30.71074	3.712752
TX - 11.13	19.6	15	0.881902	44.86548	7.344245	201.6758	22.69999
TX 12.1	18.3	4.3	0.563724	23.19072	3.16472	35.86276	3.16917
TX 12.2	19.6	16.5	0.767253	63.77635	10.33328	175.2583	16.14614
TX 12.3	36.4	18.5	0.426409	190.3349	13.3342	397.741	132.2144
TX 12.4	10	11.6	0.59845	2.55035	0.91476	28.46181	2.46848
TX 12.5	4.7	5.3	0.622374	0.64022	0.029585	2.93944	0.269706
TX 12.6	22	21.4	0.756496	62.37378	8.8296	316.9469	21.94194
TX 12.7	32.4	23.9	0.745743	275.4078	21.4082	594.0671	53.43034
TX 12.8	5.6	4.5	0.480032	1.39035	0.5753	3.18353	0.732297
TX 12.9	15.9	19.2	0.682778	11.6332	3.44085	116.6002	6.874911
TX 12.10	17.6	17.2	0.750539	28.08456	8.47996	129.2469	14.58897
TX 13.1	9	7.8	0.610803		0.03123	13.9192	1.80277
TX 13.2	7.5	8.7	0.660112	2.34495	1.0788	13.0318	1.51788
TX 13.3	8.3	9.2	0.729697	8.13024	0.90627	17.95932	2.06658

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX 13.4	37.4	24.1	0.616765	110.9909	34.22001	637.7749	61.73671
TX 13.5	26.5	17.5	0.846001	76.184	6.90648	285.5198	44.75656
TX 14.1	9.3	11.2	0.877302	5.83092	2.78388	31.7898	1.83084
TX 14.2	6.6	6.5	0.631896	1.38359	0.71442	7.1688	0.49023
TX 14.3	9.9	13.9	0.609798	1.73152	0.5741	30.55104	2.57652
TX 14.4	10.7	14.1	0.744325	16.93208	3.24228	37.2701	3.49044
TX 14.5	6.5	11.5	0.680626	0.16149	0.2078	13.4193	1.0014
TX 14.6	28.7	21.9	0.874462	124.6426	17.65148	348.3834	23.27706
TX 14.7	42.6	19.1	0.641629	243.4207	15.3816	687.7231	56.64454
TX 14.8	22.8	13.5	0.822662	42.568	9.0475	280.8481	16.21377
TX 15.1	5.6	5.5	0.490524	1.2233	1.0398	4.63423	0.36294
TX 15.2	11	12	0.735018	6.84544	5.7986	36.17295	3.86156
TX 15.3	9.5	9.7	0.393018	1.70716	3.93846	14.98752	1.3104
TX 15.4	9.8	16.6	0.534596	44.77636	0.06338	389.5709	85.46871
TX 15.5	34.4	11.3	0.622382	98.46824	1.07088	299.2031	26.38097
TX 15.6	38.7	17.3	0.450778	27.3581	0.51129	394.5291	71.91759
TX-16.1	7.8	12.5	0.507365	2.7168	1.7196	18.647	2.463
TX-16.2	23.5	23.4	0.586411	76.23	7.8656	242.2553	33.37933
TX-16.3	23.8	26.8	0.705641	68.94306	8.56056	413.052	37.42873
TX-16.4	14	18.7	0.609488	18.3968	3.26264	7.8532	8.38245
TX-16.5	7.7	9.4	0.668705	1.41284	0.33425	16.3163	1.68925
TX-16.6	7	7.4	0.568877	1.8432	1.23903	9.5718	1.8636
TX-16.7	25.1	27	0.641733	92.33	14.86944	313.0054	36.27087
TX-17.1	24.8	14.2	0.664499	184.0224	16.29528	211.4393	50.13265
TX-17.2	24.1	12.1	0.628056	107.8811	11.15148	139.2905	27.20475
TX-17.3	8.9	10.3	0.544949	2.85632	1.7994	16.15216	3.0012
TX-17.4	6.5	9.7	0.413384	1.81412	0.8775	6.6933	0.65619
TX-17.5	8.7	11.3	0.455341	1.3875	1.10432	16.42612	1.74678
TX 18.1	18.1	12.1	0.714894	32.12775	6.85812	118.4704	15.11717
TX 18.2	25.5	16	0.764905	64.7024	14.75496	298.1409	42.53367
TX 18.3	9.8	7.5	0.726575	13.3136	1.7492	24.10264	2.686
TX 18.4	16.2	10.5	0.73233	7.58898	3.4986	40.98084	6.025803
TX-19.1	14.6	11.3	0.712448	30.38676	8.21104	65.12793	11.51324
TX-19.2	31.1	15	0.475393	85.8783	10.23568	303.3403	35.73096
TX-19.3	12.3	7.1	0.720719	26.00416	1.2864	28.86279	5.76
TX-19.4	33.8	23	0.581146	105.5496	13.1104	665.2517	129.1749
TX-19.5	10	8.3	0.486684	3.37466	3.027	17.58964	2.9175
TX-19.6	10.5	8.6	0.481708	3.43368	0.97728	14.75232	2.1885
TX-19.7	7.6	6.3	0.584242	5.8971	3.05842	9.99682	0.70992
TX-19.8	11.2	8.4	0.563716	5.2409	2.5676	23.5688	3.3014

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX-20.1	23.7	13.4	0.731825	30.69856	7.56972	184.4564	21.44088
TX-20.2	18	14.6	0.54174	40.85375	13.3664	105.1604	25.33571
TX-20.3	22.5	15.6	0.726156	21.9792	11.58831	197.3833	32.78042
TX-20.4	7.2	8.5	0.553962	2.34	3.43575	9.4282	1.84624
TX-20.5	5	6.3	0.614466	0.78645	0.60658	3.25376	0.6368
TX-20.6	30.5	15.8	0.564914	143.5213	15.8802	324.8656	48.92945
TX-20.7	7.3	10	0.682057	10.61478	3.616	27.30518	2.98053
TX-20.8	8.1	13.2	0.572577	5.49687	1.97098	18.3855	2.37006
TX-20.9	6.5	8.1	0.482766	1.70112	0.78156	5.62212	1.392
TX 1.1 TA	7	8.5	0.32553	2.4296	1.15304	8.76	1.46599
TX 1.2 TA	17	13.9	0.462805	73.7466	10.77	108.418	8.514
TX 1.3 TA	36	19.5	0.294329	338.8235	17.84784	370.4106	35.31024
TX 1.4 TA	26	17.5	0.344983	284.6557	13.1264	225.5185	31.038
TX 1.5 TA	41	23.8	0.297823	606.0897	21.3928	657.147	100.8843
TX 1.6 TA	34	18.25	0.335975	294.6056	34.60425	344.175	43.27134
TX 2.1 TA	20	14.8	0.234998	30.9024	9.6338	77.64018	8.0385
TX 2.2 TA	8.5	9	0.303735	2.928	2.3408	11.91106	1.1116
TX 2.3 TA	14	12.6	0.264676	6.597	2.0752	39.3225	3.9858
TX 2.4 TA	6.5	8.8	0.219294	0.30624	0.46233	5.69712	0.64768
TX 3.1 TA	17	14.8	0.33021	76.0035	4.4385	87.26396	14.355
TX 3.2 TA	26	13.5	0.356696	114.2576	7.11315	141.6372	11.36688
TX 3.3 TA	7	7.1	0.590316	4.87344	1.01808	11.2422	0.846
TX 3.4 TA	33	27.3	0.211828	74.7831	7.7058	451.4651	77.58576
TX 3.5 TA	37	21.8	0.223101	251.7994	19.49373	361.1777	27.54064
TX 3.6 TA	56	24.7	0.272446	619.6264	26.78112	990.8227	222.7587
TX 3.7 TA	8.5	10.5	0.303097	4.93068	1.266	15.9824	3.12128
TX 3.8 TA	45	25	0.319477	438.7328	16.26156	880.5032	162.2078
TX 4.1 TA	9.8	12.5	0.353211	7.5973	2.69646	31.6576	2.6494
TX 4.2 TA	25.4	21	0.368562	64.47272	6.465	331.1849	33.01926
TX 4.3 TA	53.5	23.5	0.447259	496.1034	70.035	1388.268	204.768
TX 4.4 TA	49	22.8	0.424902	372.3404	13.67072	1102.925	111.5549
TX 4.5 TA	15.2	17	0.22389	19.14464	7.0554	66.2088	7.491
TX 4.6 TA	32.5	23	0.40411	175.5389	15.0732	606.7936	47.30544
TX 5.1 TA	8.5	12.4	0.2034	1.77375	0.7768	14.76288	1.4617
TX 5.2 TA	16	13	0.328864	6.1552	4.8851	62.33	5.9436
TX 5.3 TA	8	7.8	0.286305	2.538	1.52684	7.84736	0.8848
TX 5.4 TA	14	14.8	0.196699	6.20622	2.51532	39.8097	3.62496
TX 6.1 TA	9	11.6	0.597168	5.9202	2.313	41.24625	7.5376
TX 6.2 TA	46	25	0.356043	65.7564	28.794	1011.368	253.936
TX 6.3 TA	52.5	26.2	0.310429	98.66184	40.492	1157.05	284.448

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Bbr	Bl	Bst	Bba
TX 6.4 TA	23	16.5	0.320224	44.385	5.267	157.9751	22.93148
TX 6.5 TA	30.5	24.2	0.32042	97.4688	10.4223	486.1738	84.54594
TX 6.6 TA	18	16.5	0.507788	13.485	1.8244	178.8746	28.5822

Phụ lục 7 : Bộ dữ liệu carbon các bộ phận thân cây (kg/tree) với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg
TX 1.1	55.4	26.5	0.409815	254.0699	13.22193	580.8158	81.40822
TX 1.2	6.7	3.9	0.554999	1.264014	0.190428	2.034561	0.353634
TX 1.3	8.6	8	0.165454	0.861123	0.415257	1.445096	0.23644
TX 1.4	7	9.5	0.340564	0.401537	0.211406	3.288255	0.390946
TX 1.5	9.4	8	0.589714	5.093483	1.735523	8.416347	0.576169
TX 1.6	6.1	5.5	0.396757	0.653224	0.260234	1.328866	0.204728
TX 1.7	5.1	7.1	0.597379	1.054431	0.127904	2.182491	0.339564
TX 1.8	19.3	17.5	0.464852	15.71088	3.54166	52.59875	5.900889
TX 1.9	13	13.8	0.34858	2.586345	0.584925	15.31975	1.374653
TX 1.10	12.1	12.7	0.492138	9.356352	0.835208	16.82093	1.874283
TX 1.11	13.1	9.4	0.345519	7.519854	2.126243	11.23797	0.892695
TX 1.12	27.1	18.8	0.516943	87.6484	3.424006	133.2034	18.86343
TX 1.13	27.5	15.4	0.279698	24.65659	4.699029	57.9755	5.483831
TX 2.1	8.3	7	0.181741	0.458219	0.077331	1.709097	0.70425
TX 2.2	9	12.4	0.294315	1.401096	0.219001	6.599965	0.567309
TX 2.3	8.6	9.9	0.409759	0.414922	0.159934	6.183823	0.557813
TX 2.4	7.2	7.6	0.43498	0.695545	4.175153	3.333258	0.374353
TX 2.5	7.1	10.4	0.237443	0.259096	0.090841	1.912879	0.211111
TX 2.6	9.7	10.7	0.467349	2.911127	0.515893	8.854299	1.0648
TX 2.7	60.8	22	0.356089	400.8144	25.37522	392.7557	37.3438
TX 3.1	24	20.4	0.408579	38.64432	2.291524	115.4451	19.60344
TX 3.2	12.6	15.3	0.279052	1.75032	0.964836	12.17352	2.231446
TX 3.3	8.8	13.1	0.458431	1.922472	0.318083	9.888565	2.395455
TX 3.4	15.1	14.1	0.556194	19.38656	2.236229	32.39227	3.902259
TX 3.5	11.1	12.56	0.56939	7.615552	0.810433	16.46941	2.465048
TX 3.6	7.7	9.4	0.52155	1.251395	0.631975	5.069151	0.674765
TX 3.7	56.7	22.9	0.273562	171.4454	16.2886	307.4561	18.17148
TX 3.8	9.9	11	0.368782	3.715997	1.57304	8.648424	0.864153
TX 3.9	5.3	6.9	0.599963	0.473971	0.338216	2.739696	0.272116
TX 4.1	5.7	8.7	0.416339	1.190916	0.075871	2.992835	0.231852
TX 4.2	8.2	11.9	0.344142	0.221211	0.125917	4.883514	0.964453
TX 4.3	8.8	10.5	0.611307	2.421861	0.323413	7.692423	0.224207

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg
TX 4.4	7.6	10.2	0.602884	1.603923	0.460692	6.890611	0.265614
TX 4.5	11.9	12.8	0.578963	6.33682	0.512571	21.97736	0.926589
TX 4.6	17.1	16.1	0.596185	12.03964	2.100046	55.23317	2.585104
TX 4.7	24.4	16	0.483858	69.4699	3.828312	102.7047	10.80297
TX 4.8	40.4	22	0.606583	349.4568	18.93296	314.6677	32.21403
TX 5.1	15.4	9.8	0.298777	5.093579	2.297454	10.77861	1.09752
TX 5.2	10.8	9.7	0.319359	2.533942	0.978172	7.426643	0.727599
TX 5.3	12.2	8.8	0.276693	4.512714	0.792287	8.047228	0.826919
TX 5.4	14.1	10.3	0.292498	4.315693	2.064747	10.72983	1.285775
TX 5.5	8.8	9.6	0.318364	1.248602	0.443909	4.233166	0.665947
TX 5.6	9.4	9.1	0.306635	1.426683	1.100318	4.960554	0.573676
TX 5.7	6.5	8	0.352126	0.973392	0.336983	2.274859	0.320025
TX 5.8	6.5	7.5	0.340609	0.494602	0.124457	1.896478	0.301038
TX 5.9	5	7.9	0.338689	0.177706	0.157347	1.448768	0.168155
TX 6.1	26.8	20.5	0.43438	33.51617	2.666991	108.336	4.94648
TX 6.2	15	14.4	0.267057	1.96794	0.699812	13.64794	1.349593
TX 6.3	18.3	15.3	0.322715	14.28463	3.66342	28.49409	4.379304
TX 6.4	8.7	6.5	0.291266	1.313314	0.519547	3.063752	0.575603
TX 6.5	8.9	6.5	0.361767	1.096759	0.501798	3.331075	0.495277
TX 6.6	8.6	9.5	0.488709	1.864858	2.833881	7.209091	0.71095
TX 6.7	6.8	6.3	0.458628	0.91864	0.263381	2.825667	0.343396
TX 6.8	76	27.5	0.455898	407.7834	7.083925	756.4695	33.10181
TX 7.1	47.8	21	0.54954	240.5612	16.31901	357.0467	85.99953
TX 7.2	26.8	14.8	0.64116	99.46309	4.823308	128.9661	13.3246
TX 7.3	6.8	6.9	0.622296	2.050325	0.524237	4.496033	0.60288
TX 7.4	10.1	12.5	0.692048	1.229425	0.164233	22.24686	2.267953
TX 7.5	7.3	9.4	0.595932	1.4489	0.499619	5.257652	0.173496
TX 7.6	11.4	10.9	0.45837	2.316821	1.233763	11.22159	1.70548
TX 7.7	16.5	11.8	0.390175	2.215588	1.726176	23.13751	3.302272
TX 7.8	5.9	7.4	0.57357	0.605871	0.30294	1.937512	0.226381
TX 7.9	6.4	7.4	0.546811	1.169716	0.538441	3.705155	0.428351
TX 7.1	5.8	5.3	0.421798	0.803392	0.404305	1.544371	0.19755
TX 7.11	8.9	8.8	0.598466	2.555032	0.579572	10.87652	1.580928
TX 7.12	11.5	13.2	0.486156	6.051218	2.149877	20.9575	2.361684
TX 7.13	7	7.8	0.694888	0.950814	0.259385	5.424254	0.776404
TX 7.14	7.5	9	0.671759	1.063787	0.390232	4.40252	0.435239
TX-8.1	38.6	22	0.527258	69.91086	6.632801	373.8351	33.57481
TX-8.2	28.3	21	0.407048	18.99046	1.969346	121.0309	17.20299
TX-8.3	24.4	22	0.548767	25.3001	1.931565	135.7634	13.87246
TX-8.4	34.5	19.5	0.60235	37.93091	5.037321	298.2342	16.41966

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg
TX-8.5	16.6	10.2	0.403801	0.829824	0.422921	25.56969	5.406856
TX-8.6	11.6	11	0.561938	4.88328	1.09162	20.2297	1.268249
TX-8.7	33.1	19.6	0.586438	63.20442	7.793136	241.3655	20.11261
TX-8.8	24	14.6	0.50103	39.94217	5.764217	172.244	16.19251
TX-8.9	31.6	21.5	0.462032	40.17015	4.240353	172.6803	17.62729
TX-8.10	12.3	13.2	0.513	18.2143			
TX - 10.1	15.8	12.9	0.576443	22.09565	2.191022	45.19502	4.919706
TX - 10.2	7.9	9.9	0.528032	1.885453	0.764899	7.642197	0.386907
TX - 10.3	35.1	24	0.631246	55.9757	13.54322	386.9532	24.69402
TX - 10.4	16.5	20.8	0.575423	13.10089	5.811091	107.0313	8.065588
TX - 10.5	18.5	15.6	0.410248	3.871763	1.883319	42.11254	3.049007
TX - 10.6	39.8	22.2	0.540655	93.96514	17.14514	454.1697	35.08745
TX - 10.7	7.9	10.5	0.502397	1.011705	0.308134	7.547988	0.88238
TX - 10.8	7.9	8.4	0.560247	1.221953	0.616941	6.671046	0.380976
TX - 10.9	18.4	16.7	0.442631	10.13101	2.65008	42.26955	8.951966
TX - 10.10	10.8	10.6	0.461097	0.992199	0.574462	13.17325	0.663128
TX - 10.11	9	11.5	0.561092	3.062953	1.50263	13.0105	0.970295
TX - 10.12	15.4	19.6	0.615549	4.243477	2.19899	63.80335	4.752045
TX - 10.13	30.8	23.6	0.464387	36.85023	6.887353	231.5285	20.33728
TX - 10.14	16.9	14.5	0.645172	10.21759	4.726826	52.56547	2.185504
TX - 10.15	24.5	25.2	0.451671	16.32058	5.452012	141.5719	15.7379
TX - 11.1	18.9	13.1	0.520427	25.50543	5.905801	49.72728	4.018018
TX - 11.2	8.1	8.9	0.555732	2.722564	1.276537	5.531111	0.391416
TX - 11.3	20.1	13.2	0.594804	8.19967	3.847059	64.79672	5.637381
TX - 11.4	7	8.2	0.530494	2.382862	0.650228	5.257173	0.482594
TX - 11.5	16.5	15	0.735796	24.25818	6.539438	70.60711	5.208477
TX - 11.6	21.7	15.5	0.339867	5.221914	2.971561	47.43978	3.621725
TX - 11.7	10.6	10.8	0.716913	7.135604	3.106691	19.78251	1.859232
TX - 11.8	22.1	18	0.491917	12.35321	6.533935	86.70977	3.541291
TX - 11.9	23.2	18.2	0.722759	31.08222	9.003512	169.033	3.100358
TX - 11.10	5.6	8.8	0.394944	0.194375	0.26949	2.145534	0.176027
TX - 11.11	6.4	6.1	0.424637	0.365044	0.215784	2.626163	0.179279
TX - 11.12	10.2	9.5	0.725073	2.299611	1.259122	16.36268	1.837812
TX - 11.13	19.6	15	0.881902	22.74231	2.403037	105.5773	8.857538
TX 12.1	18.3	4.3	0.563724	10.35929	1.624451	20.56012	1.542435
TX 12.2	19.6	16.5	0.767253	33.1637	5.510738	99.3189	8.718918
TX 12.3	36.4	18.5	0.426409	109.119	7.200468	209.4902	75.79854
TX 12.4	10	11.6	0.59845	1.462116	0.500099	15.93861	1.300148
TX 12.5	4.7	5.3	0.622374	0.315821	0.012624	1.626392	0.111469
TX 12.6	22	21.4	0.756496	30.35732	4.944576	181.7057	9.362626

Code of sampling tree	DBH	H	WD	Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg
TX 12.7	32.4	23.9	0.745743	146.875	11.70386	344.5589	25.28858
TX 12.8	5.6	4.5	0.480032	0.732297	0.264638	1.804106	0.278273
TX 12.9	15.9	19.2	0.682778	6.203986	1.812296	62.18287	3.208521
TX 12.10	17.6	17.2	0.750539	14.04228	4.579178	69.7933	8.461603
TX 1.1 TA	7	8.5	0.32553	0.971364	0.457599	3.588165	0.544428
TX 1.2 TA	17	13.9	0.462805	28.61657	4.189741	43.77111	3.520789
TX 1.3 TA	36	19.5	0.294329	152.0862	7.748062	152.4041	14.80953
TX 1.4 TA	26	17.5	0.344983	114.3646	5.492498	96.13279	12.53083
TX 1.5 TA	41	23.8	0.297823	265.4911	8.972392	233.7382	41.5208
TX 1.6 TA	34	18.25	0.335975	133.9589	15.05624	143.0013	16.66371
TX 2.1 TA	20	14.8	0.234998	12.90024	3.813851	31.34532	2.811899
TX 2.2 TA	8.5	9	0.303735	1.09312	1.041427	4.902219	0.419357
TX 2.3 TA	14	12.6	0.264676	2.650442	0.82357	16.56942	1.656061
TX 2.4 TA	6.5	8.8	0.219294	0.129341	0.199799	2.344756	0.26085
TX 3.1 TA	17	14.8	0.33021	29.8649	1.887668	34.80292	5.640671
TX 3.2 TA	26	13.5	0.356696	46.12871	3.025181	62.45923	4.655963
TX 3.3 TA	7	7.1	0.590316	2.024867	0.422004	4.58285	0.343211
TX 3.4 TA	33	27.3	0.211828	29.67863	3.095919	183.5958	30.25845
TX 3.5 TA	37	21.8	0.223101	95.73314	7.870116	131.2987	9.228814
TX 3.6 TA	56	24.7	0.272446	214.9253	10.54966	411.6771	81.8529
TX 3.7 TA	8.5	10.5	0.303097	1.719937	0.486293	4.948276	1.180578
TX 3.8 TA	45	25	0.319477	190.8918	6.995659	364.9772	69.78118
TX 4.1 TA	9.8	12.5	0.353211	3.30557	1.152076	13.27757	1.035863
TX 4.2 TA	25.4	21	0.368562	26.40853	2.831924	142.1498	12.42431
TX 4.3 TA	53.5	23.5	0.447259	204.667	30.33477	633.9756	82.87081
TX 4.4 TA	49	22.8	0.424902	153.6087	5.706855	464.7421	39.02232
TX 4.5 TA	15.2	17	0.22389	7.184871	2.876113	23.93903	3.479643
TX 4.6 TA	32.5	23	0.40411	60.19951	6.129768	260.4453	15.57369
TX 5.1 TA	8.5	12.4	0.2034	0.693501	0.305237	6.148305	0.61592
TX 5.2 TA	16	13	0.328864	2.605701	2.015343	27.24188	2.422891
TX 5.3 TA	8	7.8	0.286305	1.15902	0.692766	3.398984	0.360686
TX 5.4 TA	14	14.8	0.196699	2.128368	0.911927	18.492	1.310672
TX 6.1 TA	9	11.6	0.597168	2.401744	0.929282	16.85435	2.984003
TX 6.2 TA	46	25	0.356043	28.35261	13.00811	433.1943	105.7569
TX 6.3 TA	52.5	26.2	0.310429	42.83085	18.01497	479.6085	107.0305
TX 6.4 TA	23	16.5	0.320224	18.26747	1.940528	59.90664	11.3938
TX 6.5 TA	30.5	24.2	0.32042	40.1151	4.800389	203.4304	33.63602
TX 6.6 TA	18	16.5	0.507788	5.364915	0.761598	75.89895	9.43773

Phụ lục 8: Bộ dữ liệu V, A, DBH, H với các nhân tố cây rừng

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 6.8	76	27.5	106	4.469582
TX 14.7	42.6	19.1	81	1.159482
TX-8.4	34.5	19.5	73	0.968177
TX 1.1	55.4	26.5	71	3.365011
TX 4.8	40.4	22	71	1.402286
TX - 10.13	30.8	23.6	71	0.967081
TX 7.1	47.8	21	64	2.082073
TX-16.7	25.1	27	62	0.641775
TX 18.2	25.5	16	62	0.467719
TX-8.1	38.6	22	58	1.419548
TX 14.6	28.7	21.9	54	0.753664
TX-19.4	33.8	23	54	1.319185
TX 13.5	26.5	17.5	53	0.39624
TX-8.9	31.6	21.5	52	0.77152
TX - 10.3	35.1	24	52	1.182638
TX - 10.12	15.4	19.6	52	0.205163
TX-17.2	24.1	12.1	51	0.275447
TX-19.2	31.1	15	51	0.700783
TX - 10.15	24.5	25.2	50	0.641043
TX - 10.6	39.8	22.2	49	1.653467
TX 6.1	26.8	20.5	48	0.604543
TX 1.12	27.1	18.8	46	0.635261
TX-16.2	23.5	23.4	46	0.467102
TX-16.3	23.8	26.8	46	0.646204
TX - 11.9	23.2	18.2	44	0.458093
TX 4.6	17.1	16.1	43	0.221755
TX 4.7	24.4	16	42	0.52979
TX - 11.13	19.6	15	42	0.265567
TX 12.2	19.6	16.5	41	0.251772
TX - 11.6	21.7	15.5	40	0.255782
TX 15.4	9.8	16.6	40	0.913635
TX 18.3	9.8	7.5	40	0.03959
TX 6.2	15	14.4	39	0.126195
TX 7.2	26.8	14.8	39	0.485873
TX-8.8	24	14.6	39	0.462531
TX 12.6	22	21.4	39	0.461178
TX 3.7	56.7	22.9	38	2.689344
TX 12.7	32.4	23.9	38	0.887222
TX 14.8	22.8	13.5	38	0.369559
TX - 11.8	22.1	18	37	0.331474
TX-20.6	30.5	15.8	37	0.678628

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 3.1	24	20.4	36	0.689813
TX 4.5	11.9	12.8	35	0.094253
TX 12.3	36.4	18.5	35	1.025439
TX 15.5	34.4	11.3	35	0.537712
TX-20.1	23.7	13.4	35	0.298934
TX - 11.3	20.1	13.2	34	0.217523
TX-16.4	14	18.7	34	0.152071
TX-8.5	16.6	10.2	33	0.130076
TX 13.4	37.4	24.1	33	1.132036
TX 2.7	60.8	22	32	2.786568
TX 12.1	18.3	4.3	32	0.070622
TX-8.7	33.1	19.6	31	0.896122
TX-17.1	24.8	14.2	31	0.399719
TX-8.2	28.3	21	30	0.587031
TX-8.3	24.4	22	30	0.512113
TX - 10.14	16.9	14.5	30	0.158188
TX 15.6	38.7	17.3	30	1.032921
TX2.2R	20.8	22.5	30	
TX - 10.9	18.4	16.7	29	0.216896
TX - 11.1	18.9	13.1	29	0.204375
TX-19.1	14.6	11.3	29	0.109125
TX - 11.5	16.5	15	28	0.196141
TX 14.1	9.3	11.2	28	0.041967
TX-20.2	18	14.6	28	0.23533
TX-20.3	22.5	15.6	28	0.337364
TX 12.9	15.9	19.2	27	0.181447
TX 3.4	15.1	14.1	26	0.150162
TX - 10.1	15.8	12.9	26	0.172539
TX 12.10	17.6	17.2	25	0.200225
TX 18.1	18.1	12.1	25	0.188202
TX 3.3	8.8	13.1	24	0.052889
TX 7.7	16.5	11.8	24	0.124118
TX - 9.7	20.3	10.6	24	0.165917
TX-8.10	12.3	13.2	23	0.093754
TX 14.3	9.9	13.9	23	0.066241
TX 1.8	19.3	17.5	22	0.28251
TX 3.5	11.1	12.56	22	0.07262
TX 13.3	8.3	9.2	22	0.026415
TX-19.3	12.3	7.1	22	0.052314
TX - 10.2	7.9	9.9	21	0.031676
TX-17.3	8.9	10.3	21	0.042013

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 2.6	9.7	10.7	20	0.046708
TX-8.14	15.8	15.3	20	0.151667
TX - 10.5	18.5	15.6	20	0.194909
TX - 10.11	9	11.5	20	0.054698
TX 3.2	12.6	15.3	19	0.104192
TX 7.12	11.5	13.2	19	0.09614
TX - 9.2	17.8	15.5	19	0.19171
TX - 11.12	10.2	9.5	19	0.068136
TX 13.2	7.5	8.7	19	0.024736
TX 14.4	10.7	14.1	19	0.069937
TX 15.2	11	12	19	0.065253
TX 1.13	27.5	15.4	18	0.543042
TX 4.1	5.7	8.7	18	0.017959
TX 4.3	8.8	10.5	18	0.033092
TX-8.11	7.6	9.4	18	0.018553
TX - 10.4	16.5	20.8	18	0.384888
TX - 10.10	10.8	10.6	18	0.056794
TX 15.3	9.5	9.7	18	0.04145
TX-16.1	7.8	12.5	18	0.039857
TX-19.8	11.2	8.4	18	0.055061
TX 3.9	5.3	6.9	17	0.010862
TX 4.4	7.6	10.2	17	0.027247
TX 7.5	7.3	9.4	17	0.021805
TX - 9.3	13.7	10	17	0.095708
TX 13.1	9	7.8	17	0.026596
TX 1.10	12.1	12.7	16	0.080826
TX 6.3	18.3	15.3	16	0.229201
TX 7.4	10.1	12.5	16	0.07909
TX 7.8	5.9	7.4	16	0.009959
TX - 9.9	15.5	10.7	16	0.12312
TX - 9.11	8.1	6	16	0.015401
TX - 10.8	7.9	8.4	16	0.027239
TX-16.5	7.7	9.4	16	0.027289
TX-20.7	7.3	10	16	0.051461
TX 2.2	9	12.4	15	0.053998
TX 2.3	8.6	9.9	15	0.036408
TX 3.6	7.7	9.4	15	0.022669
TX 3.8	9.9	11	15	0.054746
TX - 11.2	8.1	8.9	15	0.030307
TX - 11.4	7	8.2	15	0.018646
TX - 11.7	10.6	10.8	15	0.070835

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 12.4	10	11.6	15	0.057802
TX 14.2	6.6	6.5	15	0.012944
TX 1.5	9.4	8	14	0.035345
TX 1.11	13.1	9.4	14	0.081713
TX 2.5	7.1	10.4	14	0.01981
TX 7.11	8.9	8.8	14	0.044869
TX-8.12	13	15.2	14	0.123194
TX-8.17	9.7	7.7	14	0.034161
TX - 9.4	11.2	11.6	14	0.066964
TX - 9.12	11.6	9	14	0.062504
TX - 9.14	8.2	8.3	14	0.025253
TX - 11.10	5.6	8.8	14	0.012637
TX-16.6	7	7.4	14	0.017581
TX-19.7	7.6	6.3	14	0.019181
TX 7.6	11.4	10.9	13	0.059683
TX-8.6	11.6	11	13	0.06947
TX-17.5	8.7	11.3	13	0.038749
TX-19.5	10	8.3	13	0.039475
TX-19.6	10.5	8.6	13	0.043756
TX-20.4	7.2	8.5	13	0.02375
TX 6.5	8.9	6.5	12	0.021587
TX 7.3	6.8	6.9	12	0.017636
TX - 9.6	11.3	13.1	12	0.064101
TX - 9.8	10.2	8.9	12	0.035538
TX-17.4	6.5	9.7	12	0.01857
TX 2.1	8.3	7	11	0.023297
TX 6.6	8.6	9.5	11	0.035599
TX 7.1	5.8	5.3	11	0.009414
TX - 9.1	11	8.3	11	0.041061
TX - 10.7	7.9	10.5	11	0.032925
TX - 11.11	6.4	6.1	11	0.012139
TX 2.4	7.2	7.6	10	0.018132
TX 5.2	10.8	9.7	10	0.057554
TX 6.4	8.7	6.5	10	0.026601
TX 7.9	6.4	7.4	10	0.015617
TX-8.13	8	9.8	10	0.033935
TX - 9.5	10.2	10.2	10	0.044491
TX - 9.15	8.3	7.3	10	0.02381
TX 15.1	5.6	5.5	10	0.009317
TX 1.9	13	13.8	9	0.106295
TX 4.2	8.2	11.9	9	0.034984

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 5.4	14.1	10.3	9	0.091739
TX 6.7	6.8	6.3	9	0.015136
TX-8.15	9.3	7.3	9	0.030167
TX 1.2	6.7	3.9	8	0.009225
TX 5.3	12.2	8.8	8	0.072567
TX 5.5	8.8	9.6	8	0.03334
TX 7.13	7	7.8	8	0.019208
TX - 9.10	10.1	12.8	8	0.05361
TX 12.8	5.6	4.5	8	0.007808
TX-20.8	8.1	13.2	8	0.043164
TX 1.3	8.6	8	7	0.023854
TX 1.4	7	9.5	7	0.024289
TX 1.6	6.1	5.5	7	0.008549
TX 5.1	15.4	9.8	7	0.090367
TX 7.14	7.5	9	7	0.021489
TX - 9.13	5.2	4.7	7	0.005345
TX 12.5	4.7	5.3	7	0.007262
TX 14.5	6.5	11.5	7	0.021654
TX-20.5	5	6.3	7	0.008509
TX 5.6	9.4	9.1	6	0.041613
TX 5.7	6.5	8	6	0.017148
TX-20.9	6.5	8.1	6	0.017325
TX 1.7	5.1	7.1	5	0.009503
TX 5.8	6.5	7.5	5	0.014342
TX 5.9	5	7.9	5	0.010897
TX-8.16	6.4	9.8		0.01889
TX 18.4	16.2	10.5		0.065853
TX 1.1 TA	7	8.5		0.02691
TX 1.2 TA	17	13.9		0.234263
TX 1.3 TA	36	19.5		1.258493
TX 1.4 TA	26	17.5		0.653709
TX 1.5 TA	41	23.8		2.206501
TX 1.6 TA	34	18.25		1.024408
TX 2.1 TA	20	14.8		0.330387
TX 2.2 TA	8.5	9		0.039215
TX 2.3 TA	14	12.6		0.148568
TX 2.4 TA	6.5	8.8		0.025979
TX 3.1 TA	17	14.8		0.264268
TX 3.2 TA	26	13.5		0.397081
TX 3.3 TA	7	7.1		0.019044
TX 3.4 TA	33	27.3		2.131284

Code of sampling tree	DBH	H	A-year	V_m3
TX 3.5 TA	37	21.8		1.618896
TX 3.6 TA	56	24.7		3.636771
TX 3.7 TA	8.5	10.5		0.05273
TX 3.8 TA	45	25		2.756078
TX 4.1 TA	9.8	12.5		0.089628
TX 4.2 TA	25.4	21		0.898586
TX 4.3 TA	53.5	23.5		3.103947
TX 4.4 TA	49	22.8		2.595715
TX 4.5 TA	15.2	17		0.29572
TX 4.6 TA	32.5	23		1.501557
TX 5.1 TA	8.5	12.4		0.07258
TX 5.2 TA	16	13		0.189531
TX 5.3 TA	8	7.8		0.027409
TX 5.4 TA	14	14.8		0.202389
TX 6.1 TA	9	11.6		0.06907
TX 6.2 TA	46	25		2.840578
TX 6.3 TA	52.5	26.2		3.727266
TX 6.4 TA	23	16.5		0.493328
TX 6.5 TA	30.5	24.2		1.517302
TX 6.6 TA	18	16.5		0.352262
TX-1D.1R	20.5	18.8		
TX-1D.2R	25.4	17.2		
TX-1D.3R	29.5	20.3		
TX-1D.4R	32.5	19.6		
TX-1D.5R	40	16.4		
TX-1D.6R	23.4	14.8		
TX-1D.7R	20.7	15.4		
TX-1D.8R	15.6	13.6		
TX-1D.9R	15.5	9.3		
TX-1D.10R	31.7	20.1		
TX-1D.11R	44	24.5		
TX-1D.12R	32.4	18.9		
TX-1D.13R	24.1	12.1		
TX-1D.14R	24.2	10		
TX-1D.15R	41.5	27.3		
TX-1D.16R	21.2	12.8		
TX-1D.17R	46.1	32.5		
TX2.3R	21.6	23.5		

Phụ lục 9 :Cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon và các biến số theo họ thực vật

Họ Fagaceae:

Code of sampling tree	DBH	H	AGB_kg
TX 1.12	27.1	18.8	600.137
TX 3.1	24	20.4	429.489
TX 3.3	8.8	13.1	35.997
TX 3.4	15.1	14.1	153.513
TX 3.5	11.1	12.56	69.439
TX 3.9	5.3	6.9	9.524
TX 4.7	24.4	16	472.565
TX 4.8	40.4	22	1882.407
TX 7.4	10.1	12.5	52.914
TX-8.17	9.7	7.7	24.965
TX - 9.9	15.5	10.7	61.573
TX - 9.11	8.1	6	13.438
TX - 10.4	16.5	20.8	261.820
TX - 10.6	39.8	22.2	1147.054
TX - 10.11	9	11.5	37.080
TX - 11.5	16.5	15	210.267
TX - 11.7	10.6	10.8	65.300
TX 12.3	36.4	18.5	733.625
TX 12.5	4.7	5.3	3.879
TX-16.4	14	18.7	37.895
TX-16.5	7.7	9.4	19.753
TX-16.6	7	7.4	14.518
TX-20.4	7.2	8.5	17.050
TX 1.2 TA	17	13.9	201.449
TX 1.4 TA	26	17.5	554.339
TX 1.6 TA	34	18.25	716.656
TX 3.1 TA	17	14.8	182.061
TX 4.3 TA	53.5	23.5	2159.174
TX 4.5 TA	15.2	17	99.900

Họ Lauraceae

Code of sampling tree	DBH	Dt_m	H	WD	AGB
TX 1.11	13.1	4.6	9.4	0.345519	54.59117
TX 3.6	7.7	3.49	9.4	0.52155	18.3528
TX 6.5	8.9	3.4	6.5	0.361767	13.5263

Code of sampling tree	DBH	Dt_m	H	WD	AGB
TX 7.7	16.5	4.5	11.8	0.390175	58.98719
TX 7.12	11.5	3.1	13.2	0.486156	62.03025
TX-8.1	38.6		22	0.527258	865.3119
TX-8.16	6.4	3.1	9.8	0.639562	11.2016
TX - 10.9	18.4	4.5	16.7	0.442631	118.3112
TX - 11.1	18.9	5.1	13.1	0.520427	167.4496
TX - 11.2	8.1	2.7	8.9	0.555732	21.04236
TX - 11.3	20.1	3.7	13.2	0.594804	150.3923
TX - 11.10	5.6	1.6	8.8	0.394944	5.011057
TX 14.5	6.5	1.5	11.5	0.680626	14.78999
TX 15.1	5.6	5.8	5.5	0.490524	7.26027
TX-16.1	7.8	2	12.5	0.507365	25.5464
TX-16.2	23.5	7.2	23.4	0.586411	359.7302
TX-19.3	12.3	3.2	7.1	0.720719	61.91335
TX-19.6	10.5	3.1	8.6	0.481708	21.35178
TX-20.6	30.5	4.2	15.8	0.564914	533.1966
TX 1.3 TA	36		19.5	0.294329	762.3922
TX 5.3 TA	8		7.8	0.286305	12.797

Họ Myrtaceae

Code of sampling tree	DBH	WD	H	Dt_m	AGB
TX 1.2	6.7	0.554999	3.9	2.6	10.24988
TX 1.7	5.1	0.597379	7.1	1.8	9.550067
TX 1.8	19.3	0.464852	17.5	6.5	202.164
TX 1.10	12.1	0.492138	12.7	2.2	70.94573
TX 3.8	9.9	0.368782	11	4.4	36.2124
TX 7.2	26.8	0.64116	14.8	6.7	501.4299
TX-8.3	24.4	0.548767	22	x	319.29
TX-8.4	34.5	0.60235	19.5	x	648.0497
TX-8.7	33.1	0.586438	19.6	x	672.2519
TX-8.8	24	0.50103	14.6	x	448.5009
TX-8.9	31.6	0.462032	21.5	x	437.6626
TX-8.13	8	0.545875	9.8	4	32.0727
TX - 9.2	17.8	0.50707	15.5	4.2	128.0719
TX - 9.3	13.7	0.640708	10	2.6	77.072
TX - 9.8	10.2	0.580758	8.9	2.5	24.4452
TX 13.2	7.5	0.660112	8.7	2.8	17.97343
TX-17.1	24.8	0.664499	14.2	4	461.8896
TX 18.4	16.2	0.73233	10.5	3.4	58.09422
TX-19.4	33.8	0.581146	23	9.3	913.0866
TX-19.8	11.2	0.563716	8.4	3.8	34.6787

Code of sampling tree	DBH	WD	H	Dt_m	AGB
TX-20.7	7.3	0.682057	10	4	44.51649
TX 1.1 TA	7	0.32553	8.5		13.80863
TX 4.2 TA	25.4	0.368562	21		435.1419
TX 4.4 TA	49	0.424902	22.8		1600.491
TX 4.6 TA	32.5	0.40411	23		844.7111
TX 6.1 TA	9	0.597168	11.6		57.01705
TX 6.6 TA	18	0.507788	16.5		222.7662

Phụ lục 10: 20 bộ dữ liệu ô tiêu chuẩn điển hình

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTC	Total_T B (TTB)	Total_T C (TTC)	Total_B (TB)	Total C (TC)
TX1	1180	29.4	213.4	146.88	17.94	61.79	7.28	164.82	69.07	174.11	147.37
TX2	610	10.2	100.9	67.00	8.12	29.40	3.32	75.12	32.72	84.15	122.16
TX3	1932	18.8	155.9	101.37	14.06	44.70	5.63	115.43	50.33	123.63	98.72
TX4	1372	19.2	180.5	118.49	15.27	52.25	6.19	133.76	58.44	144.87	113.33
TX5	2200	9.3	51.3	33.43	5.64	14.28	2.18	39.07	16.46	56.69	95.34
TX6	1522	42.8	487.0	325.39	36.57	143.40	15.14	361.96	158.54	488.88	273.57
TX7	1920	44.1	357.1	242.29	30.21	103.27	12.25	272.50	115.52	273.70	228.21
TX8	1065	42.5	539.4	352.15	40.75	158.61	16.86	392.91	175.47	393.95	365.61
TX9	1054	44.1	519.2	346.17	39.33	152.76	16.25	385.50	169.01	386.38	332.76
TX10	935	34.0	364.7	239.78	29.28	106.25	11.99	269.06	118.24	278.03	204.22
TX11	983	26.7	276.2	184.52	21.72	80.77	8.92	206.24	89.69	208.22	211.95
TX12	1025	34.5	294.2	199.71	23.93	85.57	9.77	223.64	95.34	225.05	227.33
TX13	985	11.5	98.0	64.53	8.54	28.22	3.44	73.07	31.67	84.93	133.31
TX14	1415	44.0	434.5	291.37	34.56	126.87	14.16	325.93	141.04	327.27	264.70
TX15	370	17.3	172.3	118.25	12.81	50.79	5.32	131.06	56.11	132.12	190.24
TX16	1485	48.9	531.1	352.67	41.50	155.47	17.06	394.17	172.53	396.11	261.15
TX17	3330	38.9	281.5	187.27	26.15	80.32	10.43	213.42	90.75	214.10	174.93
TX18	2375	24.0	175.0	115.65	16.48	49.84	6.55	132.12	56.39	133.01	160.99
TX19	1335	37.7	350.5	247.91	25.42	103.88	10.58	273.33	114.46	276.73	208.77
TX20	1780	37.8	338.9	227.03	28.03	98.39	11.41	255.06	109.79	275.91	198.10

Phụ lục 11: 222 bộ dữ liệu ô tiêu chuẩn ngẫu nhiên

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTC	Total_TB (TTB)	Total_TC (TTC)
A1	1800	48.2	346.9	240.12	29.13	100.42	11.83	269.25	112.25
A2	1530	23.4	161.3	111.23	13.90	46.53	5.61	125.13	52.14
A3	1470	39.3	302.9	205.67	26.07	87.33	10.54	231.74	97.87
A4	1300	91.9	855.8	619.85	58.61	255.57	24.65	678.46	280.22
A5	1750	62.0	543.2	373.15	42.94	158.68	17.62	416.09	176.30
A6	910	26.8	200.7	138.82	16.64	58.21	6.77	155.46	64.98
A7	1160	35.3	279.1	190.89	23.49	80.76	9.54	214.38	90.30
A8	1580	52.6	473.2	321.02	38.10	137.85	15.59	359.12	153.44
A9	1360	18.7	132.9	90.00	11.83	38.15	4.75	101.84	42.90
A10	2420	50.8	367.7	247.35	33.14	105.31	13.29	280.48	118.60
A11	1540	34.9	302.6	201.86	25.86	87.35	10.47	227.72	97.82
A13	1230	63.9	749.8	511.06	53.44	222.45	22.34	564.50	244.79
A14	890	25.7	229.5	153.26	19.36	66.39	7.86	172.63	74.24
B1	1030	36.8	339.0	226.49	28.21	98.23	11.48	254.70	109.71
B2	670	25.8	264.3	178.61	20.40	77.55	8.40	199.01	85.95
B3	1640	53.4	554.4	375.05	42.38	162.88	17.48	417.43	180.37
B4	2000	39.8	347.7	232.32	29.48	100.52	11.95	261.79	112.46
B5	1180	27.3	240.3	160.51	20.34	69.48	8.25	180.84	77.72
B6	1280	72.6	775.3	524.33	58.73	227.96	24.28	583.06	252.25
B7	1570	47.9	471.7	316.93	37.51	137.65	15.38	354.44	153.03
C1	1240	47.8	502.1	336.54	38.88	147.15	16.01	375.42	163.17
C2	1640	46.6	432.0	287.73	35.47	125.43	14.46	323.20	139.90
C3	1460	26.2	231.9	152.80	20.18	66.78	8.14	172.98	74.93
C4	1430	25.3	224.6	147.41	19.66	64.60	7.93	167.07	72.52
C5	1670	30.4	253.2	170.42	21.60	73.16	8.74	192.02	81.90
C6	1520	20.8	169.6	113.17	14.87	48.79	5.99	128.04	54.79
C7	2320	59.0	559.3	367.35	47.66	161.52	19.31	415.02	180.83
C8	1930	51.9	538.8	352.81	44.18	156.55	18.02	396.99	174.57
C9	1490	37.7	394.7	260.23	31.83	114.94	13.02	292.06	127.96
D4	1350	20.6	195.8	127.76	17.05	56.42	6.87	144.82	63.29
D5	1340	32.3	309.8	209.58	24.30	90.76	9.97	233.88	100.73
D6	1140	22.7	178.9	119.16	15.96	51.33	6.41	135.12	57.74
D7	750	23.6	226.4	152.80	17.88	66.15	7.34	170.69	73.49
D8	940	19.0	168.4	112.16	14.28	48.69	5.79	126.44	54.48
D9	850	32.1	367.1	242.86	28.49	107.51	11.74	271.36	119.24
D10	1270	29.5	260.9	172.32	22.36	75.29	9.05	194.67	84.34
1	1100	35.6	338.9	226.19	27.69	98.49	11.30	253.89	109.79
2	850	32.2	288.1	195.49	23.02	84.01	9.43	218.52	93.44
3	910	48.1	637.3	413.00	48.35	187.23	19.99	461.35	207.23
4	740	36.3	422.2	277.56	32.79	123.61	13.50	310.35	137.12
5	1360	25.4	277.5	176.99	23.54	80.19	9.54	200.53	89.73
6	1590	22.2	228.3	147.84	18.86	66.35	7.67	166.70	74.02
7	740	26.1	260.8	174.63	20.79	76.09	8.52	195.41	84.61
8	1460	34.0	251.1	171.13	21.81	72.30	8.80	192.94	81.11

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTC	Total_TB (TTB)	Total_TC (TTC)
13	640	12.5	108.0	70.43	9.73	30.93	3.90	80.15	34.83
15	690	30.5	292.0	194.60	23.98	84.77	9.78	218.59	94.55
16	390	27.9	260.0	179.99	19.79	76.33	8.18	199.79	84.51
21	1860	22.5	194.1	125.71	17.66	55.54	7.07	143.37	62.61
22	660	21.6	229.5	152.92	17.73	67.30	7.30	170.65	74.60
23	1300	34.1	282.9	190.43	24.01	81.73	9.73	214.44	91.47
24	1890	24.7	211.3	139.44	18.60	60.78	7.48	158.04	68.26
27	1710	48.1	471.0	313.05	38.43	136.99	15.68	351.48	152.67
29	250	14.6	180.7	118.36	13.82	53.01	5.71	132.18	58.72
30	1080	32.5	417.4	274.54	31.19	123.11	12.92	305.73	136.02
32	1100	41.6	505.3	325.06	40.37	147.35	16.54	365.43	163.89
33	1020	27.8	307.3	201.37	24.20	89.82	9.94	225.57	99.76
34	90	23.3	398.6	257.70	27.21	118.86	11.48	284.91	130.33
35	670	19.6	208.8	136.37	17.18	60.62	7.00	153.55	67.62
36	730	30.0	396.6	259.38	29.32	116.99	12.18	288.71	129.17
40	980	48.9	438.7	296.13	35.85	127.45	14.64	331.98	142.09
41	700	21.9	188.4	128.41	15.32	54.80	6.25	143.72	61.05
42	1140	23.4	218.1	145.10	18.29	63.19	7.43	163.39	70.62
43	1330	45.0	406.3	273.14	33.49	117.91	13.65	306.63	131.56
44	1630	37.4	363.6	240.87	29.76	105.67	12.13	270.62	117.81
45	1070	22.9	228.0	153.44	17.90	66.73	7.35	171.33	74.08
46	940	23.6	225.2	149.84	18.42	65.42	7.51	168.26	72.94
47	860	37.1	411.4	268.00	33.49	119.61	13.68	301.49	133.29
48	870	21.3	178.1	119.48	15.14	51.45	6.13	134.62	57.59
49	710	22.5	192.7	130.02	16.17	55.80	6.57	146.18	62.36
51	1260	39.4	352.3	233.83	30.00	101.75	12.15	263.83	113.91
I.1	460	16.5	172.6	112.44	14.41	49.97	5.86	126.85	55.83
I.2	780	25.1	262.8	171.40	21.86	76.17	8.89	193.26	85.07
I.3	1400	30.3	287.0	186.56	25.11	82.56	10.12	211.67	92.68
I.4	920	34.2	403.0	264.98	31.15	118.12	12.83	296.14	130.96
I.5	640	25.6	291.5	191.08	23.07	85.13	9.47	214.15	94.59
I.6	520	10.7	95.5	61.90	8.63	27.33	3.46	70.54	30.79
I.7	1120	27.7	259.7	168.56	22.96	74.58	9.24	191.52	83.82
I.8	260	10.5	113.1	73.74	9.33	32.81	3.80	83.07	36.61
I.9	600	34.8	411.8	269.97	32.10	120.47	13.21	302.07	133.68
I.1.1	860	39.1	446.1	292.09	35.41	130.17	14.53	327.50	144.70
I.1.2	680	14.8	140.2	91.11	12.30	40.31	4.96	103.41	45.27
I.1.3	1140	40.2	468.2	308.11	36.37	137.22	14.96	344.48	152.19
I.1.4	920	28.1	294.2	191.90	24.44	85.29	9.94	216.34	95.23
I.1.5	980	27.1	267.1	173.71	22.99	77.01	9.30	196.70	86.31
I.1.6	900	28.4	300.8	196.40	24.84	87.29	10.12	221.24	97.41
II.1	700	26.1	296.6	194.51	23.48	86.63	9.63	217.99	96.26
II.2	880	35.1	391.3	256.02	31.43	114.00	12.86	287.44	126.87
II.3	480	15.0	151.4	98.49	12.86	43.72	5.21	111.35	48.93
II.4	460	16.2	169.6	110.51	14.14	49.12	5.75	124.65	54.87
II.5	640	39.9	491.6	323.20	37.42	144.33	15.47	360.62	159.79

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTC	Total_TB (TTB)	Total_TC (TTC)
II.6	700	28.2	323.7	212.12	25.56	94.55	10.50	237.68	105.05
II.7	960	36.9	428.9	281.48	33.58	125.47	13.81	315.06	139.27
II.8	900	47.0	601.0	396.58	44.56	177.19	18.50	441.14	195.69
II.9	320	16.4	205.7	135.64	15.37	60.57	6.37	151.01	66.94
II.1.1	600	11.4	103.8	67.38	9.27	29.76	3.72	76.66	33.49
II.1.2	780	34.2	377.4	246.48	30.60	109.76	12.51	277.08	122.27
II.1.3	900	36.4	411.4	269.51	32.74	120.04	13.42	302.25	133.46
II.1.4	760	44.1	555.5	366.29	41.55	163.57	17.22	407.84	180.79
II.1.5	560	30.3	350.0	229.07	27.68	102.16	11.37	256.76	113.53
II.1.6	920	33.9	380.3	249.23	30.36	110.95	12.44	279.58	123.38
III.1	960	35.4	406.5	266.54	32.02	118.79	13.15	298.56	131.94
III.2	700	24.1	264.6	173.03	21.40	77.01	8.75	194.43	85.76
III.4	780	20.8	209.1	136.15	17.79	60.40	7.21	153.94	67.61
III.5	1040	23.6	227.0	147.65	19.70	65.38	7.95	167.35	73.34
III.6	540	19.0	194.7	126.73	16.44	56.28	6.67	143.17	62.96
III.7	720	34.4	423.6	278.95	32.07	124.52	13.27	311.02	137.79
III.8	480	7.8	66.2	42.86	6.14	18.86	2.45	49.00	21.31
III.1.1	760	33.7	384.6	251.73	30.58	112.20	12.54	282.31	124.74
III.1.2	1120	29.6	296.3	193.02	25.19	85.61	10.20	218.20	95.81
III.1.3	1060	23.6	223.1	144.94	19.58	64.14	7.89	164.53	72.03
III.1.4	660	33.4	391.0	256.39	30.60	114.35	12.59	286.99	126.93
III.1.5	460	9.0	80.2	52.00	7.24	22.96	2.90	59.25	25.86
III.1.6	700	47.7	636.2	421.59	45.86	188.40	19.13	467.46	207.53
IV.1	740	37.1	450.4	296.22	34.45	132.18	14.22	330.67	146.41
IV.2	840	18.9	181.1	117.82	15.73	52.17	6.35	133.55	58.51
IV.3	340	14.5	167.1	109.61	13.16	48.84	5.40	122.76	54.24
IV.5	220	11.2	121.4	79.13	9.99	35.23	4.07	89.12	39.30
IV.6	920	42.4	506.6	333.13	39.02	148.57	16.09	372.16	164.65
IV.7	800	38.6	466.2	306.36	35.79	136.72	14.77	342.15	151.49
IV.8	280	12.7	139.5	91.07	11.35	40.55	4.64	102.42	45.19
IV.9	920	20.2	188.2	122.16	16.66	54.03	6.70	138.81	60.73
IV.1.1	720	28.5	309.2	201.75	25.33	89.78	10.33	227.07	100.12
IV.1.2	320	16.6	185.7	121.34	14.99	54.05	6.13	136.33	60.18
IV.1.4	620	22.5	239.6	156.38	19.76	69.54	8.05	176.13	77.59
IV.1.5	960	28.5	307.3	201.07	25.02	89.38	10.21	226.09	99.60
NI.1	660	38.2	453.8	297.62	35.30	132.80	14.53	332.92	147.33
NI.2	800	28.5	325.9	213.92	25.67	95.28	10.54	239.58	105.82
NI.3	780	49.1	609.3	401.22	46.05	179.14	19.05	447.27	198.19
NII.1	820	16.5	151.8	98.56	13.49	43.57	5.42	112.05	48.99
NII.2	740	21.8	233.5	152.54	19.14	67.82	7.80	171.67	75.63
NII.3	520	6.8	55.7	36.08	5.23	15.85	2.08	41.31	17.93
NII.4	800	32.3	383.3	251.95	29.62	112.35	12.20	281.57	124.55
NII.5	660	21.6	230.9	150.86	18.94	67.07	7.72	169.80	74.80
NIII.1	700	13.9	123.2	79.82	11.21	35.21	4.49	91.03	39.70
NIII.2	680	14.0	126.3	81.94	11.37	36.18	4.56	93.31	40.74
NIV.1	500	17.3	180.3	117.43	15.10	52.18	6.14	132.53	58.31

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTTC	Total_TB (TTB)	Total_TC (TTC)
NIV.2	260	12.9	151.6	99.43	11.81	44.35	4.86	111.24	49.21
NIV.3	460	20.7	239.8	157.24	18.87	70.10	7.75	176.11	77.85
NIV.4	780	17.8	178.0	116.12	15.09	51.48	6.11	131.21	57.59
NV.1	780	25.1	268.7	175.51	22.06	78.04	9.00	197.58	87.03
NV.2	700	25.3	276.4	180.65	22.48	80.39	9.18	203.13	89.57
NV.3	700	17.9	181.2	118.10	15.33	52.41	6.22	133.43	58.62
NV.4	1180	25.5	246.0	160.06	21.32	70.89	8.61	181.39	79.49
NV.5	880	27.8	297.0	193.95	24.43	86.24	9.96	218.38	96.19
NVI.1	540	15.4	154.4	100.46	13.15	44.58	5.33	113.61	49.91
NVI.2	540	21.5	233.1	152.13	19.10	67.70	7.79	171.22	75.49
NVI.3	700	14.9	137.2	89.07	12.23	39.36	4.92	101.30	44.28
NVI.4	500	13.3	137.2	89.52	11.44	39.75	4.65	100.96	44.40
A.1	620	24.8	264.9	172.77	21.87	76.85	8.91	194.63	85.76
A.2	680	23.1	263.3	172.86	20.76	76.97	8.52	193.62	85.49
A.3	900	47.4	565.9	371.56	43.79	165.78	18.05	415.35	183.83
B.1	540	21.1	230.4	150.44	18.80	66.95	7.67	169.23	74.63
B.2	600	20.2	209.6	136.51	17.60	60.65	7.15	154.11	67.80
C.1	720	21.1	228.1	149.37	18.52	66.40	7.56	167.89	73.96
C.2	880	41.8	498.8	327.78	38.50	146.20	15.87	366.28	162.07
C.3	960	34.6	372.1	242.94	30.50	108.07	12.44	273.44	120.51
D.1	840	31.4	334.5	218.28	27.60	97.05	11.24	245.88	108.30
D.2	780	27.1	302.2	197.80	24.21	88.08	9.91	222.01	97.99
D.3	1160	35.9	414.4	272.79	32.24	121.44	13.26	305.02	134.70
A.1.1	640	26.2	293.7	192.24	23.54	85.61	9.64	215.78	95.25
A.1.2	340	21.1	279.1	184.92	20.21	82.61	8.42	205.12	91.03
A.1.3	840	18.8	182.6	118.87	15.73	52.66	6.36	134.60	59.01
A.1.4	460	22.1	275.3	181.59	20.67	81.05	8.56	202.27	89.61
A.1.5	640	28.8	339.4	222.62	26.45	99.31	10.89	249.07	110.20
B.1.1	500	18.3	193.4	126.09	16.05	56.06	6.53	142.15	62.60
B.1.2	680	34.0	415.1	273.17	31.60	121.92	13.06	304.77	134.98
B.1.3	840	21.4	212.2	138.09	18.15	61.24	7.35	156.25	68.58
B.1.4	920	40.7	330.5	227.16	27.04	96.03	11.03	254.20	107.07
C.1.1	660	26.4	302.5	198.39	23.86	88.38	9.80	222.25	98.17
C.1.2	460	19.5	220.9	144.70	17.58	64.46	7.21	162.28	71.66
C.1.3	600	22.1	241.8	158.18	19.58	70.38	8.00	177.76	78.39
C.1.4	720	22.4	235.5	153.66	19.53	68.29	7.95	173.19	76.24
C.1.5	1120	33.6	354.1	231.28	29.24	102.77	11.91	260.52	114.67
C.1.6	460	15.8	176.5	115.74	14.05	51.51	5.76	129.79	57.27
C.1.7	760	23.1	249.3	162.92	20.34	72.46	8.30	183.27	80.77
C.1.8	520	23.2	257.3	168.12	20.82	74.87	8.51	188.94	83.38
D.1.1	780	35.5	436.0	287.12	33.05	128.16	13.67	320.17	141.83
D.1.2	700	25.8	223.4	149.93	18.70	64.70	7.60	168.63	72.30
D.1.3	960	18.7	156.0	101.77	14.30	44.56	5.72	116.07	50.28
D.1.4	760	13.7	110.8	72.39	10.25	31.60	4.09	82.64	35.69
D.1.5	840	20.4	186.2	122.16	16.21	53.60	6.54	138.37	60.14
E.1.1	700	52.7	682.9	450.54	50.45	201.40	20.96	500.98	222.36

Ma so o	N	BA	M	TAGTB	TBGTB	TAGTC	TBGTC	Total_TB (TTB)	Total_TC (TTC)
E.1.2	780	29.5	317.7	207.53	26.03	92.30	10.62	233.56	102.92
E.1.3	700	38.8	323.3	221.43	26.30	93.98	10.74	247.73	104.72
E.1.4	820	29.8	301.5	198.04	24.95	87.45	10.16	222.99	97.61
E.1.5	780	17.1	147.9	96.35	13.40	42.30	5.37	109.75	47.67
E.1.6	1100	23.3	220.1	143.10	19.29	63.30	7.77	162.38	71.08
T.1.1	680	40.2	499.8	337.33	35.32	148.51	14.78	372.65	163.29
T.1.2	300	12.2	134.6	87.98	10.88	39.16	4.45	98.85	43.61
T.2.1	340	7.1	66.0	42.84	5.86	18.94	2.36	48.70	21.30
T.2.2	500	12.8	123.2	80.32	10.63	35.51	4.30	90.95	39.81
T.2.3	520	23.7	266.8	174.72	21.30	77.78	8.73	196.02	86.51
T.3.1	820	26.4	246.7	162.26	21.02	71.24	8.52	183.28	79.76
T.3.2	840	34.2	318.5	214.17	25.91	92.64	10.58	240.08	103.22
T.3.3	760	34.2	409.2	269.37	31.39	120.10	12.95	300.77	133.05
T.3.4	740	31.0	356.9	233.87	28.16	104.25	11.56	262.03	115.81
T.3.5	760	25.6	288.8	190.13	22.66	84.47	9.31	212.78	93.78
X.1.1	620	19.9	218.5	143.15	17.57	63.68	7.19	160.73	70.87
X.1.2	580	18.9	200.2	130.59	16.55	58.06	6.74	147.14	64.80
X.1.3	800	37.2	459.8	302.76	34.75	135.19	14.38	337.51	149.57
X.1.5	520	22.9	262.3	171.81	20.77	76.58	8.52	192.58	85.10
X.1.6	740	24.1	259.1	169.22	21.24	75.26	8.66	190.46	83.92
X.1.7	860	18.5	172.5	112.10	15.23	49.57	6.13	127.33	55.70
X.2.1	880	20.0	187.6	121.89	16.51	53.92	6.65	138.40	60.57
X.2.2	1120	20.2	180.6	117.18	16.30	51.72	6.53	133.48	58.25
X.2.3	800	27.0	302.3	198.33	24.07	88.25	9.86	222.41	98.12
X.2.4	1060	28.1	292.0	190.71	24.26	84.69	9.87	214.97	94.55
X.2.5	900	29.1	297.3	193.53	25.13	85.93	10.20	218.66	96.13
X.2.6	1040	20.9	200.0	130.14	17.36	57.61	7.01	147.50	64.62
X.3.1	640	16.2	158.6	103.14	13.66	45.71	5.52	116.81	51.24
X.3.2	740	18.3	180.1	117.23	15.44	51.96	6.25	132.67	58.21
X.3.3	660	34.4	403.2	264.48	31.55	117.94	12.97	296.02	130.91
X.3.4	540	25.3	287.5	188.00	22.98	83.80	9.42	210.98	93.21
X.3.5	1260	57.8	694.4	457.16	53.20	203.84	21.95	510.35	225.79
X.3.7	1040	40.1	451.0	295.37	36.00	131.54	14.75	331.37	146.29
X.3.8	1480	40.8	404.6	263.27	34.65	116.75	14.02	297.92	130.78
X.4.1	800	25.5	273.4	178.67	22.41	79.44	9.14	201.08	88.58
X.4.2	820	23.3	203.2	134.60	17.71	58.47	7.15	152.31	65.62
X.4.3	820	20.9	193.6	126.77	16.79	55.77	6.78	143.56	62.55
X.4.4	1100	34.4	315.9	208.02	27.07	91.13	10.96	235.10	102.08
X.4.5	1440	37.1	318.2	209.38	28.28	91.31	11.37	237.65	102.68
X.4.6	980	31.9	315.6	208.44	25.95	91.65	10.58	234.39	102.23

Phụ lục 12: 243 bộ dữ liệu về DBH-H

Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H
TX 1.1	55.4	26.5	TX 7.8	5.9	7.4	TX - 11.8	22.1	18	TX-20.3	22.5	15.6

Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H
TX 1.2	6.7	3.9	TX 7.9	6.4	7.4	TX - 11.9	23.2	18.2	TX-20.4	7.2	8.5
TX 1.3	8.6	8	TX 7.1	5.8	5.3	TX - 11.10	5.6	8.8	TX-20.5	5	6.3
TX 1.4	7	9.5	TX 7.11	8.9	8.8	TX - 11.11	6.4	6.1	TX-20.6	30.5	15.8
TX 1.5	9.4	8	TX 7.12	11.5	13.2	TX - 11.12	10.2	9.5	TX-20.7	7.3	10
TX 1.6	6.1	5.5	TX 7.13	7	7.8	TX - 11.13	19.6	15	TX-20.8	8.1	13.2
TX 1.7	5.1	7.1	TX 7.14	7.5	9	TX 12.1	18.3	4.3	TX-20.9	6.5	8.1
TX 1.8	19.3	17.5	TX-8.1	38.6	22	TX 12.2	19.6	16.5	TX 1.1 TA	7	8.5
TX 1.9	13	13.8	TX-8.2	28.3	21	TX 12.3	36.4	18.5	TX 1.2 TA	17	13.9
TX 1.10	12.1	12.7	TX-8.3	24.4	22	TX 12.4	10	11.6	TX 1.3 TA	36	19.5
TX 1.11	13.1	9.4	TX-8.4	34.5	19.5	TX 12.5	4.7	5.3	TX 1.4 TA	26	17.5
TX 1.12	27.1	18.8	TX-8.5	16.6	10.2	TX 12.6	22	21.4	TX 1.5 TA	41	23.8
TX 1.13	27.5	15.4	TX-8.6	11.6	11	TX 12.7	32.4	23.9	TX 1.6 TA	34	18.25
TX 2.1	8.3	7	TX-8.7	33.1	19.6	TX 12.8	5.6	4.5	TX 2.1 TA	20	14.8
TX 2.2	9	12.4	TX-8.8	24	14.6	TX 12.9	15.9	19.2	TX 2.2 TA	8.5	9
TX 2.3	8.6	9.9	TX-8.9	31.6	21.5	TX 12.10	17.6	17.2	TX 2.3 TA	14	12.6
TX 2.4	7.2	7.6	TX-8.10	12.3	13.2	TX 13.1	9	7.8	TX 2.4 TA	6.5	8.8
TX 2.5	7.1	10.4	TX-8.11	7.6	9.4	TX 13.2	7.5	8.7	TX 3.1 TA	17	14.8
TX 2.6	9.7	10.7	TX-8.12	13	15.2	TX 13.3	8.3	9.2	TX 3.2 TA	26	13.5
TX 2.7	60.8	22	TX-8.13	8	9.8	TX 13.4	37.4	24.1	TX 3.3 TA	7	7.1
TX 3.1	24	20.4	TX-8.14	15.8	15.3	TX 13.5	26.5	17.5	TX 3.4 TA	33	27.3
TX 3.2	12.6	15.3	TX-8.15	9.3	7.3	TX 14.1	9.3	11.2	TX 3.5 TA	37	21.8
TX 3.3	8.8	13.1	TX-8.16	6.4	9.8	TX 14.2	6.6	6.5	TX 3.6 TA	56	24.7
TX 3.4	15.1	14.1	TX-8.17	9.7	7.7	TX 14.3	9.9	13.9	TX 3.7 TA	8.5	10.5
TX 3.5	11.1	12.56	TX - 9.1	11	8.3	TX 14.4	10.7	14.1	TX 3.8 TA	45	25
TX 3.6	7.7	9.4	TX - 9.2	17.8	15.5	TX 14.5	6.5	11.5	TX 4.1 TA	9.8	12.5
TX 3.7	56.7	22.9	TX - 9.3	13.7	10	TX 14.6	28.7	21.9	TX 4.2 TA	25.4	21
TX 3.8	9.9	11	TX - 9.4	11.2	11.6	TX 14.7	42.6	19.1	TX 4.3 TA	53.5	23.5
TX 3.9	5.3	6.9	TX - 9.5	10.2	10.2	TX 14.8	22.8	13.5	TX 4.4 TA	49	22.8
TX 4.1	5.7	8.7	TX - 9.6	11.3	13.1	TX 15.1	5.6	5.5	TX 4.5 TA	15.2	17
TX 4.2	8.2	11.9	TX - 9.7	20.3	10.6	TX 15.2	11	12	TX 4.6 TA	32.5	23
TX 4.3	8.8	10.5	TX - 9.8	10.2	8.9	TX 15.3	9.5	9.7	TX 5.1 TA	8.5	12.4
TX 4.4	7.6	10.2	TX - 9.9	15.5	10.7	TX 15.4	9.8	16.6	TX 5.2 TA	16	13
TX 4.5	11.9	12.8	TX - 9.10	10.1	12.8	TX 15.5	34.4	11.3	TX 5.3 TA	8	7.8
TX 4.6	17.1	16.1	TX - 9.11	8.1	6	TX 15.6	38.7	17.3	TX 5.4 TA	14	14.8
TX 4.7	24.4	16	TX - 9.12	11.6	9	TX-16.1	7.8	12.5	TX 6.1 TA	9	11.6
TX 4.8	40.4	22	TX - 9.13	5.2	4.7	TX-16.2	23.5	23.4	TX 6.2 TA	46	25
TX 5.1	15.4	9.8	TX - 9.14	8.2	8.3	TX-16.3	23.8	26.8	TX 6.3 TA	52.5	26.2
TX 5.2	10.8	9.7	TX - 9.15	8.3	7.3	TX-16.4	14	18.7	TX 6.4 TA	23	16.5
TX 5.3	12.2	8.8	TX - 10.1	15.8	12.9	TX-16.5	7.7	9.4	TX 6.5 TA	30.5	24.2
TX 5.4	14.1	10.3	TX - 10.2	7.9	9.9	TX-16.6	7	7.4	TX 6.6 TA	18	16.5

Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H	Code of sampling tree	DBH	H
TX 5.5	8.8	9.6	TX - 10.3	35.1	24	TX-16.7	25.1	27	TX-1Đ.1R	20.5	18.8
TX 5.6	9.4	9.1	TX - 10.4	16.5	20.8	TX-17.1	24.8	14.2	TX-1Đ.2R	25.4	17.2
TX 5.7	6.5	8	TX - 10.5	18.5	15.6	TX-17.2	24.1	12.1	TX-1Đ.3R	29.5	20.3
TX 5.8	6.5	7.5	TX - 10.6	39.8	22.2	TX-17.3	8.9	10.3	TX-1Đ.4R	32.5	19.6
TX 5.9	5	7.9	TX - 10.7	7.9	10.5	TX-17.4	6.5	9.7	TX-1Đ.5R	40	16.4
TX 6.1	26.8	20.5	TX - 10.8	7.9	8.4	TX-17.5	8.7	11.3	TX-1Đ.6R	23.4	14.8
TX 6.2	15	14.4	TX - 10.9	18.4	16.7	TX 18.1	18.1	12.1	TX-1Đ.7R	20.7	15.4
TX 6.3	18.3	15.3	TX - 10.10	10.8	10.6	TX 18.2	25.5	16	TX-1Đ.8R	15.6	13.6
TX 6.4	8.7	6.5	TX - 10.11	9	11.5	TX 18.3	9.8	7.5	TX-1Đ.9R	15.5	9.3
TX 6.5	8.9	6.5	TX - 10.12	15.4	19.6	TX 18.4	16.2	10.5	TX-1Đ.10R	31.7	20.1
TX 6.6	8.6	9.5	TX - 10.13	30.8	23.6	TX-19.1	14.6	11.3	TX-1Đ.11R	44	24.5
TX 6.7	6.8	6.3	TX - 10.14	16.9	14.5	TX-19.2	31.1	15	TX-1Đ.12R	32.4	18.9
TX 6.8	76	27.5	TX - 10.15	24.5	25.2	TX-19.3	12.3	7.1	TX-1Đ.13R	24.1	12.1
TX 7.1	47.8	21	TX - 11.1	18.9	13.1	TX-19.4	33.8	23	TX-1Đ.14R	24.2	10
TX 7.2	26.8	14.8	TX - 11.2	8.1	8.9	TX-19.5	10	8.3	TX-1Đ.15R	41.5	27.3
TX 7.3	6.8	6.9	TX - 11.3	20.1	13.2	TX-19.6	10.5	8.6	TX-1Đ.16R	21.2	12.8
TX 7.4	10.1	12.5	TX - 11.4	7	8.2	TX-19.7	7.6	6.3	TX-1Đ.17R	46.1	32.5
TX 7.5	7.3	9.4	TX - 11.5	16.5	15	TX-19.8	11.2	8.4	TX2.2R	20.8	22.5
TX 7.6	11.4	10.9	TX - 11.6	21.7	15.5	TX-20.1	23.7	13.4	TX2.3R	21.6	23.5
TX 7.7	16.5	11.8	TX - 11.7	10.6	10.8	TX-20.2	18	14.6			

Phụ lục 13 : Cơ sở dữ liệu về ABB theo nhóm WD.

Nhóm III

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	Ca	H	AGB	BGB
TX 7.2	Trâm Đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	26.8	35.3	14.8	501.4	48.6
TX 7.4	Dẻ xanh (dẻ lá nhỏ)	<i>Quercus glauca Thunb</i>	Fagaceae	10.1	4.9	12.5	52.9	3.9
TX 7.13	Sp			7	6.2	7.8	14.7	1.5
TX 7.14	Bứa	<i>Garcinia oblongifolia</i>	Clusiaceae	7.5	6.6	9	16.4	2.2
TX - 9.3	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	13.7	5.3	10	77.1	21.0
TX - 9.11	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	8.1	1.1	6	13.4	2.1
TX - 9.14	Sp			8.2	5.3	8.3	22.4	4.2
TX - 10.14	Trám	<i>Canarium sp1</i>	Burceraceae	16.9	23.8	14.5	129.4	
TX - 11.7	Dẻ Đá Trung Bộ	<i>Lithocarpus annamensis</i>	Fagaceae	10.6	28.3	10.8	65.3	10.8
TX - 11.9	Bằng Lăng Tím	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Lithraceae	23.2	33.2	18.2	402.3	
TX - 11.12	Chạc Khế	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	Meliaceae	10.2	12.6	9.5	41.4	6.5

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	Ca	H	AGB	BGB
TX 12.9	Ma trá	<i>Celtis philippinensis</i> Blanco var. <i>wightii</i> (Planch.) Soepadmo	Ulmaceae	15.9	7.1	19.2	138.5	
TX 13.2	Trâm	<i>Syzygium</i> sp.	Myrtaceae	7.5	6.2	8.7	18.0	4.1
TX 13.3	Cò Ke	<i>Grewia paniculata</i>	Tiliaceae	8.3		9.2	29.1	
TX 14.5	Bời Lòi	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	6.5	1.8	11.5	14.8	2.1
TX 14.7	Cóc Rừng	<i>Spondias pinnata</i>	Anacardiaceae	42.6	120.8	19.1	1003.2	
TX-16.3	Thầu Tầu (Dầu đất)	<i>Aporosa microcalyx</i>	Euphorbiaceae	23.8	16.6	26.8	528.0	
TX-16.5	Dẻ	<i>Castanopsis</i> sp.	Fagaceae	7.7	1.8	9.4	19.8	5.5
TX-16.7	Cồng Nước	<i>Calophyllum dongnaiense</i>	Calophyllaceae	25.1	12.6	27	456.5	
TX-17.1	Trâm Trắng(Trâm Hoa Nhỏ)	<i>Syzygium hancei</i>	Myrtaceae	24.8	12.6	14.2	461.9	
TX 18.1	Cầm Thị	<i>Diospyros maritima</i>	Ebenaceae	18.1	13.9	12.1	172.6	
TX 18.3	Dúi (Duối)	<i>Streblus ilicifolius</i>	Moraceae	9.8	4.9	7.5	41.9	5.6
TX-19.1	Sến	<i>Donella</i> Sp.	Sapotaceae	14.6	18.9	11.3	115.2	
TX-19.3	Bời Lòi	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	12.3	8.0	7.1	61.9	13.7
TX-20.3	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	22.5	13.2	15.6	263.7	
TX-20.7	Trâm	<i>Syzygium</i> sp.	Myrtaceae	7.3	12.6	10	44.5	

Nhóm IV

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 1.5	Nhãn Rừng	<i>Walsura elata</i>	Sapindaceae	9.4	8	24.63009	40.301
TX 1.7	Trâm Đò	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	5.1	7.1	2.54469	9.550
TX 3.9	Dẻ	<i>Castanopsis</i> sp.	Fagaceae	5.3	6.9	4.154756	9.524
TX 4.3	Bằng Lãng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	8.8	10.5	11.34115	27.885
TX 4.4	Bằng Lãng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	7.6	10.2	7.068583	22.541
TX 4.5	Bằng Lãng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	11.9	12.8	22.90221	75.341
TX 4.6	Bằng Lãng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	17.1	16.1	19.63495	175.762
TX 4.8	Dẻ	<i>Castanopsis</i> sp.	Fagaceae	40.4	22	116.8987	1882.407
TX 7.3	Nhãn Rừng	<i>Walsura elata</i>	Sapindaceae	6.8	6.9	7.068583	15.414

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 7.5	Búra	<i>Garcinia oblongifolia</i>	Clusiaceae	7.3	9.4	10.7521	15.998
TX 7.8	Búra	<i>Garcinia oblongifolia</i>	Clusiaceae	5.9	7.4	4.154756	7.014
TX 7.11	Pô Đô*			8.9	8.8	11.34115	31.531
TX-8.4	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	34.5	19.5		648.050
TX-8.7	Trâm Núi	<i>Syzygium levinei</i>	Myrtaceae	33.1	19.6		672.252
TX-8.11	Sp			7.6	9.4	9.621128	17.751
TX-8.14	Vùng	<i>Careya sphaerica</i>	Lecythidaceae	15.8	15.3	9.621128	99.200
TX-8.16	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	6.4	9.8	7.547676	11.202
TX - 9.6	Sáu Hồng	<i>Sandoricum sp.</i>	Meliaceae	11.3	13.1	12.56637	40.870
TX - 9.7	Sp			20.3	10.6	24.63009	117.409
TX - 9.8	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	10.2	8.9	4.908739	24.445
TX - 9.12	Sáu Hồng	<i>Sandoricum sp.</i>	Meliaceae	11.6	9	10.7521	53.629
TX - 9.15	Sp			8.3	7.3	5.725553	19.351
TX - 10.1	Bưởi Bung	<i>Acronychia pedunculata</i>	Rutaceae	15.8	12.9	17.34945	140.207
TX - 10.3	Vàng Tâm	<i>Manglietia conifera</i>	Magnoliaceae	35.1	24	32.16991	864.855
TX - 10.4	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	16.5	20.8	18.09557	261.820
TX - 10.12	Mỡ	<i>Manglietia sp.</i>	Magnoliaceae	15.4	19.6	15.90431	133.958
TX - 11.3	Kháo	<i>Phoebe lanceolata</i>	Lauraceae	20.1	13.2	10.7521	150.392
TX 12.4	Sp			10	11.6	4.908739	34.395
TX 12.5	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	4.7	5.3	1.130973	3.879
TX 13.1	Bằng Lăng ổi	<i>Lagerstroemia calyculata</i>	Lithraceae	9	7.8	2.010619	15.753
TX 13.4	Côm	<i>Elaeocarpus sp.</i>	Elaeocarpaceae	37.4	24.1	24.63009	844.723
TX 14.2	Thị Mâm (Thị Lá Lớn)	<i>Diospyros ehretioides</i>	Ebenaceae	6.6	6.5	3.801327	9.757
TX 14.3	Lồng Máng	<i>Pterospermum heterophyllum</i>	Sterculiaceae	9.9	13.9	13.20254	35.433
TX 15.5	Bình Linh 5 lá	<i>Vitex quinata</i>	Verbenaceae	34.4	11.3	16.61903	425.123

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX-16.2	Kháo Hoa Nhỏ	<i>Machilus parviflora</i>	Lauraceae	23.5	23.4	40.71504	359.730
TX-16.4	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	14	18.7	8.042477	37.895
TX-17.2	Giang Quảng Đông	<i>Ternstroemia kwantungensis</i>	Theaceae	24.1	12.1	26.42079	285.528
TX-19.4	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	33.8	23	67.92909	913.087
TX-19.7	Thầu Tầu (Dầu đất)	<i>Aporosa microcalyx</i>	Euphorbiaceae	7.6	6.3	5.309292	19.662
TX-20.5	Bứa	<i>Garcinia oblongifolia</i>	Clusiaceae	5	6.3	4.154756	5.284
TX-20.8	Sp			8.1	13.2	5.725553	28.223
TX 3.3 TA	Cồng	<i>Calophyllum sp.</i>	Calophyllaceae	7	7.1		17.980
TX 6.1 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	9	11.6		57.017

Nhóm V

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 1.2	Trâm Trắng(Trâm Hoa Nhỏ)	<i>Syzygium hancei</i>	Myrtaceae	6.7	3.9	5.31	10.250
TX 1.12	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	27.1	18.8	44.2	600.137
TX 3.4	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	15.1	14.1	35.3	153.513
TX 3.5	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	11.1	12.6	20.3	69.439
TX 3.6	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	7.7	9.4	9.57	18.353
TX 7.1	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	47.8	21.0	51.5	1631.125
TX 7.9	Nhọ nôi	<i>Hydnocarpus kurzii (King) Warb</i>	Kiggelariaceae	6.4	7.4	7.55	11.599
TX-8.1	Bời Lồi	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	38.6	22.0		865.312
TX-8.3	Trâm Đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	24.4	22.0		319.290
TX-8.6	Chàm (Nhàu)	<i>Morinda sp.</i>	Rubiaceae	11.6	11.0		47.414

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX-8.8	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	24.0	14.6		448.501
TX-8.10	Sp			12.3	13.2	12.6	18.214
TX-8.13	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	8.0	9.8	12.6	32.073
TX-8.15	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	9.3	7.3	15.2	24.878
TX - 9.2	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	17.8	15.5	13.9	128.072
TX - 9.4	Sp			11.2	11.6	8.04	40.922
TX - 10.2	Dung	<i>Symplocos sp.</i>	Symplocaceae	7.9	9.9	7.55	21.226
TX - 10.6	Dê	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	39.8	22.2	66.5	1147.054
TX - 10.7	Ngát To	<i>Gironniera nervosa</i>	Ulmaceae	7.9	10.5	8.04	19.223
TX - 10.8	Thâu Lĩnh	<i>Alphonsea sp.</i>	Annonaceae	7.9	8.4	9.08	16.272
TX - 10.11	Dê Đá Trung Bộ	<i>Lithocarpus annamensis</i>	Fagaceae	9.0	11.5	14.5	37.080
TX - 11.1	Re Hương (Xá xì)	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	Lauraceae	18.9	13.1	20.4	167.450
TX - 11.2	Re Hương (Xá xì)	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	Lauraceae	8.1	8.9	5.73	21.042
TX - 11.4	Tứ	<i>Tetradium sp.</i>	Rutaceae	7.0	8.2	12.6	16.577
TX 12.1	Xoay	<i>Dialium cochinchinensis</i>	Fabaceae	18.3	4.3	8.04	65.387
TX 15.4	Bình Linh 3 Lá	<i>Vitex trifolia</i>	Verbenaceae	9.8	16.6	18.1	519.879
TX-16.1	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	7.8	12.5	3.14	25.546
TX-16.6	Dê	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	7.0	7.4	7.07	14.518
TX-17.3	Sp			8.9	10.3	10.2	23.809
TX-19.8	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	11.2	8.4	11.3	34.679
TX-20.2	Côm	<i>Elaeocarpus sp.</i>	Elaeocarpaceae	18.0	14.6	47.8	184.716
TX-20.4	Dê	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	7.2	8.5	3.46	17.050
TX-20.6	Bời Lồi	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	30.5	15.8	13.9	533.197
TX 6.6 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	18.0	16.5		222.766

Nhóm VI

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 1.1	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	55.4	26.5	108	2337.025
TX 1.3	Ngát To	<i>Girroniera nervosa</i>	Ulmaceae	8.6	8	7.07	8.253
TX 1.4	Ba Soi Lá Lớn (Mã rạn)	<i>Macaranga indica</i>	Euphorbiaceae	7	9.5	4.15	10.991
TX 1.6	Giôi Xanh (dầu giố)	<i>Michelia mediocris</i>	Magnoliaceae	6.1	5.5	7.07	6.286
TX 1.8	Trâm Đò	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	19.3	17.5	33.2	202.164
TX 1.9	Ba Soi Lá Lớn (Mã rạn)	<i>Macaranga indica</i>	Euphorbiaceae	13	13.8	6.61	49.301
TX 1.10	Trâm Đò	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	12.1	12.7	3.8	70.946
TX 1.11	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	13.1	9.4	16.6	54.591
TX 1.13	Vạng Trúng	<i>Endospermum sinensis</i>	Euphorbiaceae	27.5	15.4	50.3	245.613
TX 2.1	Lòng máng lá nhỏ	<i>Pterospermum grewiaefolium</i> Pierre	Sterculiaceae	8.3	7	5.73	7.600
TX 2.2	Bình Linh Cánh	<i>Vitex pubescen</i>	Verbenaceae	9	12.4	7.55	21.773
TX 2.3	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	8.6	9.9	22.1	18.111
TX 2.4	Lộc Vừng	<i>Barringtonia acutangula</i>	Lecythidaceae	7.2	7.6	4.52	21.848
TX 2.5	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	7.1	10.4	2.84	6.315
TX 2.6	Xương Cá	<i>Xylocarpus granata</i> Koen.	Meliaceae	9.7	10.7	594	34.128
TX 2.7	Tung	<i>Tetrameles nudiflora</i>	Tetramelaceae	60.8	22	249	2179.452
TX 3.1	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	24	20.4	26.8	429.489
TX 3.2	Cồng Tía	<i>Calophyllum calaba</i>	Calophyllaceae	12.6	15.3	7.07	42.597
TX 3.3	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	8.8	13.1	1.77	35.997
TX 3.7	Côm	<i>Elaeocarpus sp.</i>	Elaeocarpaceae	56.7	22.9	185	1255.815
TX 3.8	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	9.9	11	15.2	36.212
TX 4.1	Thành Nghạnh	<i>Cratoxylon prunifolium</i>	Hypericaceae	5.7	8.7	12.6	11.268

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 4.2	Máu Chó	<i>Knema poilanei</i>	Myristicaceae	8.2	11.9	2.01	15.503
TX 4.7	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	24.4	16	37.4	472.565
TX 5.1	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	15.4	9.8	24.6	50.091
TX 5.2	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	10.8	9.7	10.2	30.334
TX 5.3	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	12.2	8.8	18.1	36.606
TX 5.4	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	14.1	10.3	19.6	45.970
TX 5.5	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae	8.8	9.6	4.91	16.835
TX 5.6	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	9.4	9.1	7.07	21.201
TX 5.7	Hu Đay (trúng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	6.5	8	1.77	10.132
TX 5.8	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae	6.5	7.5	2.27	7.257
TX 5.9	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae	5	7.9	1.77	5.049
TX 6.1	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	26.8	20.5	21.2	369.487
TX 6.2	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	15	14.4	17.3	45.172
TX 6.3	Dầu đỏ	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	Dipterocarpaceae	18.3	15.3	26.4	133.427
TX 6.4	Dầu đỏ	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	Dipterocarpaceae	8.7	6.5	7.07	13.972
TX 6.5	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	8.9	6.5	9.08	13.526
TX 6.6	Dầu đỏ	<i>Dipterocarpus duperreanus</i>	Dipterocarpaceae	8.6	9.5	14.5	33.365
TX 6.7	Cò Ke	<i>Grewia paniculata</i>	Tiliaceae	6.8	6.3	3.46	11.071
TX 6.8	Bằng Lăng	<i>Lagerstroemia foribunda</i>	Lithraceae	76	27.5	125	3149.311
TX 7.6	Sung	<i>Semecarpus sp.</i>	Anacardiaceae	11.4	10.9	11.3	32.180
TX 7.7	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	16.5	11.8	15.9	58.987
TX 7.1	Plo*			5.8	5.3	4.15	6.183

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 7.12	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	11.5	13.2	7.55	62.030
TX-8.2	Chân Chim	<i>Schefflera octophylla</i>	Araliaceae	28.3	21		285.913
TX-8.5	Chân Chim	<i>Schefflera octophylla</i>	Araliaceae	16.6	10.2		55.805
TX-8.9	Trâm Đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i>	Myrtaceae	31.6	21.5		437.663
TX-8.12	Đu Đu Rừng	<i>Trevesia palmata</i>	Araliaceae	13	15.2	11.3	54.413
TX-8.17	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	9.7	7.7	16.6	24.965
TX - 9.1	Sp			11	8.3	10.8	27.917
TX - 9.5	Đu Đu Rừng	<i>Trevesia palmata</i>	Araliaceae	10.2	10.2	6.16	23.734
TX - 9.9	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	15.5	10.7	15.9	61.573
TX - 9.10	Sấu Hồng	<i>Sandoricum sp.</i>	Meliaceae	10.1	12.8	4.91	28.261
TX - 9.13	Sp			5.2	4.7	3.14	2.929
TX - 10.5	Mò Cua (Sữa)	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae	18.5	15.6	13.2	88.899
TX - 10.9	Re Hương (Xá xỉ)	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	Lauraceae	18.4	16.7	15.9	118.311
TX - 10.10	Ngát Vàng	<i>Gironniera subaequalis</i>	Ulmaceae	10.8	10.6	8.04	28.315
TX - 10.13	Mỡ	<i>Manglietia sp.</i>	Magnoliaceae	30.8	23.6	67.9	526.127
TX - 10.15	Giổi Lông	<i>Michelia balansae</i>	Magnoliaceae	24.5	25.2	11.3	341.147
TX - 11.6	Mò Cua (Sữa)	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae	21.7	15.5	26.4	102.792
TX - 11.8	Côm	<i>Elaeocarpus sp.</i>	Elaeocarpaceae	22.1	18	28.3	200.858
TX - 11.10	Kháo	<i>Phoebe lanceolata</i>	Lauraceae	5.6	8.8	2.01	5.011
TX - 11.11	Mò Cua (Sữa)	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae	6.4	6.1	3.46	6.059
TX 12.3	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	36.4	18.5		733.625
TX 12.8	Dung	<i>Symplocos sp.</i>	Symplocaceae	5.6	4.5	2.27	5.881
TX 15.1	Bời Lồi	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	5.6	5.5	26.4	7.260
TX 15.3	Sp			9.5	9.7	4.15	21.944
TX 15.6	Thùng Mực Lông	<i>Wrightia pubescens</i>	Apocynaceae	38.7	17.3	18.1	494.316
TX-17.4	Ngát To	<i>Gironniera nervosa</i>	Ulmaceae	6.5	9.7	5.31	10.041

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX-17.5	An Túc	<i>Styrax annamensis</i>	Styraceae	8.7	11.3	5.73	20.665
TX-19.2	Ngát To	<i>Gironniera nervosa</i>	Ulmaceae	31.1	15	33.2	435.185
TX-19.5	Lát	<i>Chukrasia tabularis A.Juss</i>	Meliaceae	10	8.3	13.9	26.909
TX-19.6	Bòì Lòì	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	10.5	8.6	7.55	21.352
TX-20.9	Xoan Đào	<i>Prunus arborea</i>	Rosaceae	6.5	8.1	8.04	9.497
TX 1.1 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	7	8.5		13.809
TX 1.2 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	17	13.9		201.449
TX 1.3 TA	Bòì Lòì	<i>Litsea glutinosa</i>	Lauraceae	36	19.5		762.392
TX 1.4 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	26	17.5		554.339
TX 1.5 TA	Công	<i>Calophyllum sp.</i>	Calophyllaceae	41	23.8		1385.514
TX 1.6 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	34	18.3		716.656
TX 2.1 TA	Xoan (Xương)	<i>Melia sp.</i>	Meliaceae	20	14.8		126.215
TX 2.2 TA	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae	8.5	9		18.291
TX 2.3 TA	sp			14	12.6		51.981
TX 2.4 TA	sp			6.5	8.8		7.113
TX 3.1 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	17	14.8		182.061
TX 3.2 TA	Chẹo tía	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>	Juglandaeae	26	13.5		274.375
TX 3.4 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	33	27.3		611.540
TX 3.5 TA	Nhọ nôi	<i>Hydnocarpus kurzii (King) Warb</i>	Kiggelariaceae	37	21.8		660.012
TX 3.6 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	56	24.7		1859.989
TX 3.7 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	8.5	10.5		25.300
TX 3.8 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	45	25		1497.705

Code of sampling tree	Species	Species_E	Family	DBH	H	Ca	AGB
TX 4.1 TA	Ba Bét, Ba Soi	<i>Mallotus cochinchinensis</i>	Euphorbiaceae	9.8	12.5		44.601
TX 4.2 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	25.4	21		435.142
TX 4.3 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	53.5	23.5		2159.174
TX 4.4 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	49	22.8		1600.491
TX 4.5 TA	Dẻ	<i>Castanopsis sp.</i>	Fagaceae	15.2	17		99.900
TX 4.6 TA	Trâm	<i>Syzygium sp.</i>	Myrtaceae	32.5	23		844.711
TX 5.1 TA	Xoan (Xương)	<i>Melia sp.</i>	Meliaceae	8.5	12.4		18.775
TX 5.2 TA	Xoan (Xương)	<i>Melia sp.</i>	Meliaceae	16	13		79.314
TX 5.3 TA	Quế Rừng/Re	<i>Cinnamomum iners</i>	Lauraceae	8	7.8		12.797
TX 5.4 TA	Trang (Bông Trang, Đơn)	<i>Ixora coccinea</i>	Rubiaceae	14	14.8		52.156
TX 6.2 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	46	25		1359.854
TX 6.3 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	52.5	26.2		1580.652
TX 6.4 TA	Nhọ nòi	<i>Hydnocarpus kurzii (King) Warb</i>	Kiggelariaceae	23	16.5		230.559
TX 6.5 TA	Chò Xót	<i>Schima superba</i>	Theaceae	30.5	24.2		678.611

Phụ lục 14 : Dữ liệu hàm lượng carbon trong đất ở 20 ô tiêu chuẩn khu vực Tây Nguyên

Số hiệu mẫu	Địa phương	Loại đất	Đá mẹ	Khối lượng mẫu đất (g)	Khối lượng g khô (g)	V dat uot (cm ³)	Dung trong khô đất (g/cm ³)	%C	SOC tấn/ha
TX1D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	315.0	422.5293	0.746	2.03	75.7
TX2D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất giàu mùn , nâu đỏ	Bazan	500	320.0	385.8025	0.829	2.10	86.9
TX3D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất giàu mùn , nâu đỏ	Bazan	500	321.0	425.9307	0.754	1.22	45.8
TX4D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	322.0	392.1261	0.821	1.25	51.1
TX5D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	325.0	419.8153	0.774	1.88	72.6
TX6D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	333.0	457.6659	0.728	2.15	78.2
TX 7D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	320.0	459.1368	0.697	3.22	112.2
TX8 D TB	Cty Ln M'Đrăk - Đăk Lăk	Đất xám có tầng loang lỗ đỏ vàng	Phiến sét	500	406.3	344.5306	1.179	3.22	189.7
TX 9D TB	Cty Ln M'Đrăk - Đăk Lăk	Đất xám có tầng loang lỗ đỏ vàng	Phiến sét	500	410.0	291.5170	1.409	2.32	163.4
TX 10D TB	Cty Ln Krông Bông - Đăk Lăk	Đất xám tầng mặt giàu mùn	Mắc ma axit	500	365.0	330.2510	1.105	1.48	81.6
TX 11D TB	Cty Ln Krông Bông - Đăk Lăk	Đất xám tầng mặt giàu mùn	Mắc ma axit	500	383.0	339.9048	1.127	2.16	121.4
TX 12D TB	Cty Ln K'Nát - K'Bang - Gia Lai	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Bazan	500	400.0	349.4060	1.145	2.29	131.2
TX13 D TB	Cty Ln M'Đrăk - Đăk Lăk	Đất xám sỏi sạn sâu	Phiến sét	500	404.1	358.6801	1.126	1.70	95.7

Số hiệu mẫu	Địa phương	Loại đất	Đá mẹ	Khối lượng mẫu đất (g)	Khối lượng g khô (g)	V dat uot (cm ³)	Dung trong khô đất (g/cm ³)	%C	SOC tấn/ha
TX14 D TB	Cty Ln M'Đrăk - Đăk Lăk	Đất xám sỏi sạn sâu	Phiến sét	500	441.2	312.3048	1.413	1.74	123.2
TX 15 D TB	Cty Ln M'Đrăk - Đăk Lăk	Đất xám sỏi sạn sâu	Phiến sét	500	451.3	290.3600	1.554	1.72	133.8
TX 16D TB	Cty Ln Krông Bông - Đăk Lăk	Đất xám tầng rất mỏng	Mắc ma axit	500	357.5	300.6615	1.189	1.48	87.9
TX 17D TB	Cty Ln Krông Bông - Đăk Lăk	Đất xám có tầng loang lỗ đỏ vàng	Mắc ma axit	500	382.0	336.2475	1.136	1.48	83.9
TX 18 D TB	Cty Ln K'Nát - K'Bang - Gia Lai	Đất nâu	Mắc ma axit	500	317.4	348.9184	0.910	2.29	104.3
TX 19 D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất giàu mùn , nâu đỏ	Bazan	500	328.1	369.8225	0.887	2.10	92.9
TX 20 D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đăk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	315.6	371.1952	0.850	1.88	79.7

Phụ lục 15 : Sinh khối, carbon thảm tươi, thảm mục và cây gỗ chết

Ma số	Trạng thái	DTC	Bhg	Bli	Bdw	Chg	Cli	Cdw
TX1	IIIA1	0.7	0.29	8.99	0.00	0.10	2.54	0.00
TX2	IIIA1	0.5	0.27	8.76	0.00	0.10	2.45	0.00
TX3	IIB	0.7	0.31	7.89	0.00	0.11	2.51	0.00
TX4	IIB	0.8	2.41	8.70	0.00	0.92	2.85	0.00
TX5	IIA	0.5	1.01	16.61	0.00	0.39	5.92	0.00
TX6	IIIA3	0.8	1.91	10.79	0.00	0.67	3.02	0.00
TX7	IIIA3	0.8	0.00	0.77	0.42	0.00	0.25	0.23
TX8	IIIA2	0.8	0.15	0.75	0.14	0.05	0.27	0.07
TX9	IIIA2	0.8	0.00	0.60	0.28	0.00	0.21	0.15
TX10	IIIA2	0.8	0.40	2.48	6.08	0.17	1.11	3.05
TX11	IIIA1	0.8	0.34	0.88	0.76	0.14	0.31	0.40
TX12	IIIA2	0.5	0.53	0.70	0.19	0.28	0.39	0.10
TX13	IIIA1	0.7	0.00	1.77	10.09	0.00	0.62	5.30
TX14	IIIA3	0.8	0.31	1.02	0.00	0.11	0.36	0.00
TX15	IIIA1	0.7	0.01	1.05	0.00	0.00	0.37	0.00
TX16	IIIA3	0.8	0.33	1.10	0.51	0.12	0.39	0.27
TX17	IIB	0.8	0.11	0.54	0.04	0.04	0.19	0.02
TX18	IIIA1	0.4	0.44	0.45	0.00	0.16	0.16	0.00
TX19	IIIA3	0.8	0.55	1.73	1.12	0.20	0.61	0.59
TX20	IIB	0.7	2.97	10.72	7.16	1.06	3.78	3.76

Phụ lục 16: Phân cấp sinh khối và cấp năng suất rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên.

TT	Ma OTC	N/ha	BA (m ² /ha)	M (m ³ /ha)	BGB (t/ha)	TAGTB (t_ha)	C(BGB) (t/ha)	C(AGB) (t/ha)	TB)	TC (t_ha)	Cấp H	Cấp SK
6	TX6	1522	42.6	570.8	42.2	373.3	17.5	168.4	415.5	186.0	2	1
8	TX8	1065	41.3	545.6	41.1	355.5	17.0	160.5	396.6	177.5	2	1
9	TX9	1054	43.6	733.9	51.8	469.9	21.7	218.3	521.7	240.0	1	1
14	TX14	1415	44.2	553.3	42.8	360.1	17.6	162.2	402.8	179.8	2	1
16	TX16	1485	46.6	609.4	45.6	398.5	18.9	179.6	444.2	198.5	2	1
20	TX20	1780	36.4	513.4	40.3	324.2	16.6	150.1	364.5	166.7	1	1
1	TX1	1180	28.8	266.6	21.9	178.7	8.9	77.4	200.6	86.4	3	2
7	TX7	1920	42.2	385.4	31.9	258.1	13.0	111.8	290.0	124.8	3	2
10	TX10	935	35.5	432.7	34.2	280.5	14.0	126.3	314.7	140.4	2	2

TT	Ma OTC	N/ha	BA (m2/ha)	M (m3/ha)	BGB (t/ha)	TAGTB (t_ha)	C(BGB) (t/ha)	C(AGB) (t/ha)	TB)	TC (t_ha)	Cấp H	Cấp SK
11	TX11	983	26.9	340.0	26.0	221.6	10.7	99.8	247.6	110.6	2	2
12	TX12	1025	34.2	412.5	32.7	267.4	13.4	120.4	300.1	133.8	2	2
17	TX17	3330	39.8	307.6	27.8	204.6	11.1	88.1	232.4	99.2	3	2
19	TX19	1335	32.7	454.6	36.0	306.5	16.1	140.0	342.4	156.1	2	2
2	TX2	610	8.7	109.1	8.4	71.0	3.5	32.0	79.4	35.5	2	3
3	TX3	1932	18.8	215.6	18.7	135.4	7.6	62.1	154.1	69.7	1	3
4	TX4	1372	21.0	226.0	18.9	146.0	7.7	65.5	164.9	73.2	2	3
5	TX5	2200	5.9	40.1	4.3	25.3	1.7	11.2	29.6	12.9	1	3
13	TX13	985	10.7	133.3	11.1	83.9	4.5	38.7	94.9	43.2	1	3
15	TX15	370	17.9	211.3	16.2	143.3	7.0	63.7	159.5	70.7	3	3
18	TX18	2375	24.8	230.2	20.7	148.2	8.3	66.0	168.9	74.3	2	3

Phụ lục 17 : Tổ hợp 9 cấp phân chia cấp sinh khối và cấp năng suất

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	667	7.9	4.4	0.8	1.9	0.3	5.2	2.2
20	15	447	17.4	51.6	7.7	23.5	3.1	59.2	26.6
30	25	137	23.0	55.8	7.4	25.8	3.0	63.2	28.8
40	35	63	27.2	58.0	7.1	27.0	2.9	65.1	29.9
50	45	39	30.5	66.6	7.7	31.0	3.2	74.3	34.2
60	55	11	33.3	30.2	3.3	14.1	1.4	33.6	15.5
70	65	10	35.7	38.9	4.1	18.2	1.7	43.0	19.9
80	75	6	37.8	34.5	3.5	16.1	1.5	38.0	17.6
90	85	3	39.8	19.4	1.9	9.1	0.8	21.3	9.9
100	95	1	41.5	8.2	0.8	3.8	0.3	9.0	4.2
110	105	0	43.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	1	44.6	13.9	1.3	6.5	0.6	15.2	7.0
130	125	0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	1	47.3	18.6	1.6	8.7	0.7	20.2	9.4
150	145	1	48.5	23.8	2.1	11.1	0.9	25.9	12.0
	Tổng	1387		423.8	49.3	196.8	20.5	473.1	217.3

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	803	7.9	5.255	0.997	2.272	0.380	6.251	2.652
20	15	453	17.4	52.230	7.770	23.856	3.102	60.000	26.957
30	25	179	23.0	72.832	9.635	33.685	3.925	82.466	37.610
40	35	47	27.2	43.740	5.350	20.337	2.208	49.089	22.545
50	45	27	30.5	46.018	5.306	21.453	2.211	51.323	23.664
60	55	14	33.3	37.195	4.090	17.364	1.718	41.285	19.082
70	65	3	35.7	11.681	1.235	5.457	0.522	12.916	5.979
80	75	1	37.8	8.285	0.846	3.872	0.360	9.132	4.232
90	85	1	39.8	11.113	1.102	5.194	0.471	12.215	5.665
100	95	0	41.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110	105	0	43.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120	115	0	44.6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130	125	0	46.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140	135	0	47.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150	145	0	48.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160	155	1	49.7	21.892	1.880	10.212	0.821	23.772	11.033
	Tổng	1530		310	38	144	16	348	159

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	1022	7.9	6.691	1.269	2.893	0.483	7.960	3.377
20	15	304	17.4	34.982	5.204	15.978	2.077	40.186	18.055
30	25	37	23.0	15.026	1.988	6.949	0.810	17.013	7.759
40	35	28	27.2	26.041	3.185	12.108	1.315	29.227	13.423
50	45	8	30.5	13.419	1.547	6.256	0.645	14.966	6.901
60	55	4	33.3	11.763	1.294	5.491	0.543	13.057	6.035
70	65	2	35.7	8.650	0.914	4.041	0.386	9.564	4.427
80	75	0	37.8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	85	0	39.8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	95	1	41.5	7.027	0.679	3.284	0.291	7.705	3.575
	Tổng	1406		123.599	16.080	57.001	6.551	139.679	63.552

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	667	6.7	3.820	0.718	1.611	0.273	4.538	1.884
20	15	447	14.4	44.257	6.519	19.650	2.595	50.776	22.244
30	25	137	19.0	47.644	6.238	21.400	2.534	53.883	23.934
40	35	63	22.4	49.437	5.984	22.311	2.463	55.421	24.774
50	45	39	25.0	56.606	6.458	25.606	2.683	63.065	28.289
60	55	11	27.3	25.670	2.793	11.625	1.169	28.463	12.795
70	65	10	29.2	32.967	3.447	14.938	1.453	36.414	16.391
80	75	6	31.0	29.202	2.952	13.235	1.250	32.154	14.485
90	85	3	32.5	16.436	1.612	7.449	0.686	18.049	8.135
100	95	1	33.9	6.939	0.663	3.144	0.283	7.602	3.428
110	105	0	35.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120	115	1	36.4	11.754	1.073	5.323	0.462	12.827	5.785
130	125	0	37.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140	135	1	38.6	15.684	1.377	7.097	0.596	17.061	7.693
150	145	1	39.5	20.095	1.734	9.089	0.753	21.829	9.842
	Tổng	1387		361	42	162	17	402	180

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	803	6.7	4.6	0.9	1.9	0.3	5.5	2.3
20	15	453	14.4	44.8	6.6	19.9	2.6	51.4	22.5
30	25	179	19.0	62.2	8.1	27.9	3.3	70.3	31.2
40	35	47	22.4	37.3	4.5	16.8	1.9	41.8	18.7
50	45	27	25.0	39.1	4.5	17.7	1.9	43.6	19.6
60	55	14	27.3	31.6	3.4	14.3	1.4	35.0	15.7
70	65	3	29.2	9.9	1.0	4.5	0.4	10.9	4.9
80	75	1	31.0	7.0	0.7	3.2	0.3	7.7	3.5
90	85	1	32.5	9.4	0.9	4.3	0.4	10.3	4.7
100	95	0	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110	105	0	35.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	0	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB_t_ha)	TTC (t_ha)
130	125	0	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	0	38.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	145	0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
160	155	1	40.5	18.5	1.6	8.4	0.7	20.1	9.0
	Tổng	1530		264.4	32.3	118.9	13.2	296.7	132.1

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB_t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	1022	6.7	5.854	1.101	2.469	0.418	6.955	2.887
20	15	304	14.4	30.030	4.424	13.333	1.761	34.453	15.093
30	25	37	19.0	12.831	1.680	5.763	0.682	14.512	6.446
40	35	28	22.4	22.178	2.684	10.009	1.105	24.862	11.114
50	45	8	25.0	11.408	1.302	5.160	0.541	12.709	5.701
60	55	4	27.3	9.987	1.087	4.523	0.455	11.074	4.978
70	65	2	29.2	7.337	0.767	3.324	0.323	8.104	3.648
80	75	0	31.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	85	0	32.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	95	1	33.9	5.948	0.568	2.695	0.243	6.516	2.938
	Tổng	1406		105.572	13.612	47.277	5.528	119.185	52.805

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB_t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	667	5.5	3.247	0.604	1.329	0.229	3.851	1.558
20	15	447	11.5	36.666	5.336	15.721	2.116	42.001	17.837
30	25	137	15.0	39.191	5.067	16.977	2.050	44.258	19.027
40	35	63	17.6	40.513	4.841	17.621	1.985	45.354	19.605
50	45	39	19.6	46.273	5.211	20.163	2.157	51.484	22.320
60	55	11	21.3	20.946	2.249	9.135	0.938	23.196	10.073
70	65	10	22.8	26.864	2.772	11.719	1.164	29.636	12.883
80	75	6	24.1	23.770	2.371	10.369	1.000	26.140	11.370

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
90	85	3	25.3	13.366	1.294	5.830	0.548	14.660	6.378
100	95	1	26.4	5.639	0.531	2.459	0.226	6.170	2.685
110	105	0	27.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120	115	1	28.3	9.539	0.859	4.156	0.368	10.398	4.524
130	125	0	29.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140	135	1	29.9	12.716	1.101	5.534	0.475	13.817	6.009
150	145	1	30.7	16.285	1.386	7.084	0.599	17.671	7.683
	Tổng	1387		295.015	33.622	128.095	13.856	328.637	141.952

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	803	5.5	3.907	0.727	1.599	0.275	4.634	1.874
20	15	453	11.5	37.145	5.405	15.926	2.144	42.551	18.070
30	25	179	15.0	51.162	6.615	22.162	2.677	57.777	24.839
40	35	47	17.6	30.526	3.648	13.277	1.495	34.173	14.772
50	45	27	19.6	31.979	3.601	13.935	1.491	35.581	15.425
60	55	14	21.3	25.769	2.767	11.238	1.154	28.536	12.392
70	65	3	22.8	8.074	0.833	3.522	0.350	8.907	3.872
80	75	1	24.1	5.716	0.570	2.493	0.241	6.286	2.734
90	85	1	25.3	7.655	0.741	3.339	0.314	8.395	3.653
100	95	0	26.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110	105	0	27.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120	115	0	28.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130	125	0	29.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140	135	0	29.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150	145	0	30.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160	155	1	31.4	14.979	1.255	6.512	0.544	16.234	7.056
	Tổng	1530		217	26	94	11	243	105

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	TAGTB (t_ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)
10	5	1022	5.5	5.0	0.9	2.0	0.4	5.9	2.4
20	15	304	11.5	24.9	3.6	10.7	1.4	28.5	12.1
30	25	37	15.0	10.6	1.4	4.6	0.6	11.9	5.1
40	35	28	17.6	18.2	2.2	7.9	0.9	20.3	8.8
50	45	8	19.6	9.3	1.1	4.1	0.4	10.4	4.5
60	55	4	21.3	8.1	0.9	3.6	0.4	9.0	3.9
70	65	2	22.8	6.0	0.6	2.6	0.3	6.6	2.9
80	75	0	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	85	0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	95	1	26.4	4.8	0.5	2.1	0.2	5.3	2.3
	Tổng	1406		86.9	11.1	37.5	4.5	97.9	42.0

Phụ lục 18 :Tăng trưởng bình quân hàng năm sinh khối và carbon

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	667	7.9	7	5.2	2.2	0.7	0.3
20	15	447	17.4	25	59.2	26.6	2.4	1.1
30	25	137	23.0	37	63.2	28.8	1.7	0.8
40	35	63	27.2	46	65.1	29.9	1.4	0.7
50	45	39	30.5	54	74.3	34.2	1.4	0.6
60	55	11	33.3	61	33.6	15.5	0.6	0.3
70	65	10	35.7	67	43.0	19.9	0.6	0.3
80	75	6	37.8	72	38.0	17.6	0.5	0.2
90	85	3	39.8	77	21.3	9.9	0.3	0.1
100	95	1	41.5	81	9.0	4.2	0.1	0.1
110	105	0	43.1	85	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	1	44.6	89	15.2	7.0	0.2	0.1
130	125	0	46.0	93	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	1	47.3	96	20.2	9.4	0.2	0.1
150	145	1	48.5	99	25.9	12.0	0.3	0.1
	Tổng	1387			473.1	217.3	10.4	4.7

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	803	7.9	7	6.3	2.7	0.9	0.4
20	15	453	17.4	25	60.0	27.0	2.4	1.1
30	25	179	23.0	37	82.5	37.6	2.2	1.0
40	35	47	27.2	46	49.1	22.5	1.1	0.5
50	45	27	30.5	54	51.3	23.7	1.0	0.4
60	55	14	33.3	61	41.3	19.1	0.7	0.3
70	65	3	35.7	67	12.9	6.0	0.2	0.1
80	75	1	37.8	72	9.1	4.2	0.1	0.1
90	85	1	39.8	77	12.2	5.7	0.2	0.1
100	95	0	41.5	81	0.0	0.0	0.0	0.0
110	105	0	43.1	85	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	0	44.6	89	0.0	0.0	0.0	0.0
130	125	0	46.0	93	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	0	47.3	96	0.0	0.0	0.0	0.0
150	145	0	48.5	99	0.0	0.0	0.0	0.0
160	155	1	49.7	102	23.8	11.0	0.2	0.1
	Tổng	1530			348.5	159.4	8.9	4.0

CẤP NĂNG SUẤT I CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha)	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	1022	7.9	7	8.0	3.4	1.1	0.5
20	15	304	17.4	25	40.2	18.1	1.6	0.7
30	25	37	23.0	37	17.0	7.8	0.5	0.2
40	35	28	27.2	46	29.2	13.4	0.6	0.3
50	45	8	30.5	54	15.0	6.9	0.3	0.1
60	55	4	33.3	61	13.1	6.0	0.2	0.1
70	65	2	35.7	67	9.6	4.4	0.1	0.1
80	75	0	37.8	72	0.0	0.0	0.0	0.0
90	85	0	39.8	77	0.0	0.0	0.0	0.0
100	95	1	41.5	81	7.7	3.6	0.1	0.0
	Tổng	1406			139.7	63.6	4.6	2.0

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB_t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	667	6.7	7	4.5	1.9	0.6	0.3
20	15	447	14.4	25	50.8	22.2	2.0	0.9
30	25	137	19.0	37	53.9	23.9	1.5	0.6
40	35	63	22.4	47	55.4	24.8	1.2	0.5
50	45	39	25.0	55	63.1	28.3	1.1	0.5
60	55	11	27.3	61	28.5	12.8	0.5	0.2
70	65	10	29.2	67	36.4	16.4	0.5	0.2
80	75	6	31.0	73	32.2	14.5	0.4	0.2
90	85	3	32.5	77	18.0	8.1	0.2	0.1
100	95	1	33.9	82	7.6	3.4	0.1	0.0
110	105	0	35.2	86	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	1	36.4	90	12.8	5.8	0.1	0.1
130	125	0	37.5	93	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	1	38.6	97	17.1	7.7	0.2	0.1
150	145	1	39.5	100	21.8	9.8	0.2	0.1
	Tổng	1387			402.1	179.7	8.8	3.9

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB_t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	803	6.7	7	5.5	2.3	0.8	0.3
20	15	453	14.4	25	51.4	22.5	2.1	0.9
30	25	179	19.0	37	70.3	31.2	1.9	0.8
40	35	47	22.4	47	41.8	18.7	0.9	0.4
50	45	27	25.0	55	43.6	19.6	0.8	0.4
60	55	14	27.3	61	35.0	15.7	0.6	0.3
70	65	3	29.2	67	10.9	4.9	0.2	0.1
80	75	1	31.0	73	7.7	3.5	0.1	0.0
90	85	1	32.5	77	10.3	4.7	0.1	0.1
100	95	0	33.9	82	0.0	0.0	0.0	0.0
110	105	0	35.2	86	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	0	36.4	90	0.0	0.0	0.0	0.0

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB_t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
130	125	0	37.5	93	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	0	38.6	97	0.0	0.0	0.0	0.0
150	145	0	39.5	100	0.0	0.0	0.0	0.0
160	155	1	40.5	103	20.1	9.0	0.2	0.1
	Tổng	1530			296.7	132.1	7.6	3.3

CẤP NĂNG SUẤT II CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB_t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	1022	6.7	7	7.0	2.9	1.0	0.4
20	15	304	14.4	25	34.5	15.1	1.4	0.6
30	25	37	19.0	37	14.5	6.4	0.4	0.2
40	35	28	22.4	47	24.9	11.1	0.5	0.2
50	45	8	25.0	55	12.7	5.7	0.2	0.1
60	55	4	27.3	61	11.1	5.0	0.2	0.1
70	65	2	29.2	67	8.1	3.6	0.1	0.1
80	75	0	31.0	73	0.0	0.0	0.0	0.0
90	85	0	32.5	77	0.0	0.0	0.0	0.0
100	95	1	33.9	82	6.5	2.9	0.1	0.0
	Tổng	1406			119.2	52.8	3.9	1.7

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB_t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	667	5.5	7	3.9	1.6	0.6	0.2
20	15	447	11.5	25	42.0	17.8	1.7	0.7
30	25	137	15.0	38	44.3	19.0	1.2	0.5
40	35	63	17.6	47	45.4	19.6	1.0	0.4
50	45	39	19.6	55	51.5	22.3	0.9	0.4
60	55	11	21.3	62	23.2	10.1	0.4	0.2
70	65	10	22.8	68	29.6	12.9	0.4	0.2

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 1

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
80	75	6	24.1	73	26.1	11.4	0.4	0.2
90	85	3	25.3	78	14.7	6.4	0.2	0.1
100	95	1	26.4	82	6.2	2.7	0.1	0.0
110	105	0	27.4	86	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	1	28.3	90	10.4	4.5	0.1	0.1
130	125	0	29.1	94	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	1	29.9	97	13.8	6.0	0.1	0.1
150	145	1	30.7	100	17.7	7.7	0.2	0.1
	Tổng	1387			328.6	142.0	7.2	3.1

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 2

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	803	5.5	7	4.6	1.9	0.7	0.3
20	15	453	11.5	25	42.6	18.1	1.7	0.7
30	25	179	15.0	38	57.8	24.8	1.5	0.7
40	35	47	17.6	47	34.2	14.8	0.7	0.3
50	45	27	19.6	55	35.6	15.4	0.6	0.3
60	55	14	21.3	62	28.5	12.4	0.5	0.2
70	65	3	22.8	68	8.9	3.9	0.1	0.1
80	75	1	24.1	73	6.3	2.7	0.1	0.0
90	85	1	25.3	78	8.4	3.7	0.1	0.0
100	95	0	26.4	82	0.0	0.0	0.0	0.0
110	105	0	27.4	86	0.0	0.0	0.0	0.0
120	115	0	28.3	90	0.0	0.0	0.0	0.0
130	125	0	29.1	94	0.0	0.0	0.0	0.0
140	135	0	29.9	97	0.0	0.0	0.0	0.0
150	145	0	30.7	100	0.0	0.0	0.0	0.0
160	155	1	31.4	103	16.2	7.1	0.2	0.1
	Tổng	1530			243.1	104.7	6.2	2.6

CẤP NĂNG SUẤT III CẤP SINH KHỐI 3

Cap kinh	Cap Kinh TB (cm)	N/ha	H (m)	A (năm)	TTB _t_ha	TTC (t_ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
10	5	1022	5.5	7	5.9	2.4	0.8	0.3
20	15	304	11.5	25	28.5	12.1	1.1	0.5
30	25	37	15.0	38	11.9	5.1	0.3	0.1
40	35	28	17.6	47	20.3	8.8	0.4	0.2
50	45	8	19.6	55	10.4	4.5	0.2	0.1
60	55	4	21.3	62	9.0	3.9	0.1	0.1
70	65	2	22.8	68	6.6	2.9	0.1	0.0
80	75	0	24.1	73	0.0	0.0	0.0	0.0
90	85	0	25.3	78	0.0	0.0	0.0	0.0
100	95	1	26.4	82	5.3	2.3	0.1	0.0
	Tổng	1406			97.9	42.0	3.2	1.4

Phụ lục 19: Cơ sở dữ liệu Id 3 class 4 class và 5 class xây dựng mô hình quan hệ chỉ số ảnh và sinh khối

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
10	15	B2	759814	1336089	2	179	31714	Class 2	2	74111	Class 3	3	96933	Class 3	3
13	31	D5	762760	1339803	2	210	49538	Class 3	3	93530	Class 4	4	159131	Class 5	5
3	30	D4	762154	1340708	3	128	10629	Class 1	1	37642	Class 2	2	11080	Class 1	1
145	118	IV.6	757615.9	1341036	1	333	24085	Class 2	2	66112	Class 3	3	128236	Class 4	4
65	104	III.5	758714.9	1341149	3	148	24085	Class 2	2	66381	Class 3	3	85869	Class 3	3
100	117	IV.5	757925.5	1341229	3	79.1	24085	Class 2	2	66112	Class 3	3	85907	Class 3	3
68	138	NIV.3	758101.5	1341315	3	157	48623	Class 3	3	66112	Class 3	3	128047	Class 4	4
113	103	III.4	758688.6	1341407	3	136	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	42810	Class 2	2
128	144	NV.5	758791.3	1341434	2	194	9896	Class 1	1	10172	Class 1	1	10346	Class 1	1
143	126	NI.1	757887.4	1341551	2	298	48473	Class 3	3	92441	Class 4	4	158005	Class 5	5
108	136	NIV.1	758235.9	1341598	3	117	24085	Class 2	2	36465	Class 2	2	85831	Class 3	3
124	141	NV.2	759085.8	1341638	2	181	10527	Class 1	1	10842	Class 1	1	10988	Class 1	1
119	143	NV.4	759422.5	1341669	2	160	24085	Class 2	2	37441	Class 2	2	44086	Class 2	2
107	139	NIV.4	758741.7	1341710	3	116	9811	Class 1	1	10078	Class 1	1	10262	Class 1	1
20	55	32	764332	1341824	1	325	29153	Class 2	2	68123	Class 3	3	130623	Class 4	4
104	137	NIV.2	758289.3	1341882	3	99.4	24085	Class 2	2	66112	Class 3	3	127843	Class 4	4
76	75	I.5	759426.4	1341916	2	191	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	87314	Class 3	3
43	8	A8	759554	1342093	1	321	10476	Class 1	1	31642	Class 2	2	44086	Class 2	2
54	145	NVI.1	759528.1	1342096	3	100	10476	Class 1	1	10779	Class 1	1	10918	Class 1	1
102	148	NVI.4	759848.6	1342145	3	89.5	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	87251	Class 3	3
67	130	III.2	758102.1	1342203	3	153	24085	Class 2	2	36321	Class 2	2	85471	Class 3	3
117	146	NVI.2	759298.5	1342214	3	152	24085	Class 2	2	37359	Class 2	2	44010	Class 2	2
19	52	27	764327	1342306	2	313	11129	Class 1	1	38165	Class 2	2	45275	Class 2	2
51	189	T.1.2	762629.9	1342453	3	88	48960	Class 3	3	66898	Class 3	3	129191	Class 4	4

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
47	131	NII.3	758172.4	1342491	3	36.1	24085	Class 2	2	66112	Class 3	3	85515	Class 3	3
11	7	A7	761003	1342569	2	191	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	129149	Class 4	4
95	188	T.1.1	762574.4	1342723	1	337	28630	Class 2	2	37209	Class 2	2	87141	Class 3	3
55	116	IV.3	760549.5	1342724	3	110	24085	Class 2	2	37130	Class 2	2	87123	Class 3	3
73	140	NV.1	758896.7	1342732	2	176	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	84929	Class 3	3
137	132	NII.4	757974.2	1342738	2	252	9640	Class 1	1	31642	Class 2	2	42336	Class 2	2
50	134	NIII.1	758880.4	1342830	3	79.8	24085	Class 2	2	66090	Class 3	3	84929	Class 3	3
123	192	T.2.3	762057.6	1342842	2	175	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	128991	Class 4	4
80	125	IV.1.5	758822.9	1342863	2	201	24085	Class 2	2	36151	Class 2	2	84929	Class 3	3
63	153	B.2	762140	1342898	3	137	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158583	Class 5	5
94	90	II.5	759559	1342959	1	323	24085	Class 2	2	67072	Class 3	3	129070	Class 4	4
58	115	IV.2	760752.1	1342991	3	118	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	87016	Class 3	3
101	135	NIII.2	758321.1	1343066	3	81.9	9640	Class 1	1	9902	Class 1	1	41959	Class 2	2
41	54	30	762171	1343096	2	275	28630	Class 2	2	66898	Class 3	3	87037	Class 3	3
109	162	A.1.3	762468.4	1343112	3	119	48960	Class 3	3	93010	Class 4	4	158572	Class 5	5
118	124	IV.1.4	758548.1	1343156	3	156	24085	Class 2	2	66054	Class 3	3	127534	Class 4	4
74	163	A.1.4	762248.5	1343171	2	182	48960	Class 3	3	66898	Class 3	3	128892	Class 4	4
66	152	B.1	762786.6	1343181	3	150	48960	Class 3	3	92981	Class 4	4	129040	Class 4	4
16	57	34	763265	1343228	2	258	48991	Class 3	3	92998	Class 4	4	158560	Class 5	5
48	112	III.1.5	759602.2	1343257	3	52	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	43568	Class 2	2
42	60	40	762070	1343343	2	296	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158453	Class 5	5
84	168	B.1.4	762235.9	1343371	2	227	48960	Class 3	3	66898	Class 3	3	128892	Class 4	4
147	113	III.1.6	760079.5	1343487	1	422	49030	Class 3	3	92947	Class 4	4	158500	Class 5	5
37	14	B1	765117	1343514	2	226	26842	Class 2	2	37842	Class 2	2	88229	Class 3	3
82	91	II.6	759615.6	1343537	2	212	10284	Class 1	1	10600	Class 1	1	10768	Class 1	1

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
134	164	A.1.5	762089.3	1343573	2	223	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158453	Class 5	5
49	180	D.1.4	762261.3	1343574	3	72.4	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158453	Class 5	5
60	181	D.1.5	762168.1	1343586	3	122	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158453	Class 5	5
31	65	45	763455	1343660	3	153	26842	Class 2	2	66959	Class 3	3	86889	Class 3	3
139	101	III.1	761076.3	1343693	2	267	49024	Class 3	3	66898	Class 3	3	128926	Class 4	4
114	187	E.1.6	762056.3	1343726	3	143	24085	Class 2	2	37070	Class 2	2	86877	Class 3	3
72	102	III.2	760521.8	1343784	2	173	10265	Class 1	1	31642	Class 2	2	43653	Class 2	2
130	169	C.1.1	762848.6	1343806	2	198	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	128868	Class 4	4
98	107	III.8	759552	1343814	3	42.9	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	84929	Class 3	3
116	178	D.1.2	762453.3	1343819	3	150	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	128864	Class 4	4
18	40	4	761915	1343822	2	278	10226	Class 1	1	36982	Class 2	2	43639	Class 2	2
12	56	33	763193	1343849	2	201	10225	Class 1	1	37027	Class 2	2	43582	Class 2	2
141	106	III.7	758981.3	1343850	2	279	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	84929	Class 3	3
85	196	T.3.4	763224.8	1343881	2	234	10225	Class 1	1	37027	Class 2	2	43582	Class 2	2
111	105	III.6	759087.5	1343920	3	127	48981	Class 3	3	65889	Class 3	3	127288	Class 4	4
103	186	E.1.5	762170.5	1343944	3	96.3	48960	Class 3	3	92902	Class 4	4	158453	Class 5	5
79	185	E.1.4	762341.5	1343957	2	198	48960	Class 3	3	92892	Class 4	4	158446	Class 5	5
4	58	35	763755	1343964	3	136	48991	Class 3	3	92919	Class 4	4	158470	Class 5	5
135	173	C.1.5	762313.3	1343964	2	231	48960	Class 3	3	92892	Class 4	4	158446	Class 5	5
133	194	T.3.2	763363.4	1343998	2	214	10225	Class 1	1	10523	Class 1	1	10704	Class 1	1
89	195	T.3.3	763233	1344025	2	269	10225	Class 1	1	37027	Class 2	2	10704	Class 1	1
90	159	D.3	762242.1	1344055	2	273	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	86727	Class 3	3
131	183	E.1.2	762536.3	1344056	2	208	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	86727	Class 3	3
69	193	T.3.1	763474.3	1344084	2	162	26842	Class 2	2	66933	Class 3	3	128847	Class 4	4
97	182	E.1.1	762677.9	1344087	1	451	10224	Class 1	1	10522	Class 1	1	10690	Class 1	1

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
146	151	A.3	762521.8	1344092	1	372	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	86727	Class 3	3
122	150	A.2	762713.4	1344128	2	173	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	86765	Class 3	3
7	49	22	764209	1344158	3	153	26842	Class 2	2	66959	Class 3	3	130122	Class 4	4
120	176	C.1.8	762175.7	1344168	2	168	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	86727	Class 3	3
6	66	46	762337	1344180	3	150	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	86727	Class 3	3
129	158	D.2	762577.5	1344197	2	198	24085	Class 2	2	66898	Class 3	3	128796	Class 4	4
25	53	29	762182	1344268	3	118	24085	Class 2	2	66881	Class 3	3	86727	Class 3	3
106	203	X.1.7	761976.1	1344285	3	112	48916	Class 3	3	61980	Class 3	3	128712	Class 4	4
22	39	3	762627	1344296	1	413	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	128796	Class 4	4
83	157	D.1	762815.9	1344327	2	218	24085	Class 2	2	66889	Class 3	3	128785	Class 4	4
15	64	44	764446	1344368	2	241	10899	Class 1	1	11157	Class 1	1	11309	Class 1	1
71	201	X.1.5	761935.5	1344404	2	172	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	86678	Class 3	3
86	100	II.1.6	759685.4	1344414	2	249	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	86715	Class 3	3
93	200	X.1.3	761576.1	1344424	2	303	6591	Class 1	1	10427	Class 1	1	10606	Class 1	1
35	38	2	762845	1344446	2	195	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	35949	Class 2	2
126	207	X.2.4	762516.3	1344518	2	191	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	86606	Class 3	3
57	205	X.2.2	762830.3	1344529	3	117	24085	Class 2	2	36982	Class 2	2	35949	Class 2	2
91	92	II.7	759150.1	1344574	2	281	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	86631	Class 3	3
64	198	X.1.1	761622	1344585	3	143	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	43436	Class 2	2
121	72	I.2	759127.9	1344591	2	171	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	35926	Class 2	2
26	48	21	761640	1344624	3	126	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	86603	Class 3	3
112	199	X.1.2	761493.3	1344719	3	131	24085	Class 2	2	66801	Class 3	3	122028	Class 4	4
52	120	IV.8	760998.2	1344862	3	91.1	24085	Class 2	2	61982	Class 3	3	122017	Class 4	4
59	123	IV.1.2	760650.8	1344880	3	121	6463	Class 1	1	31642	Class 2	2	35815	Class 2	2
9	36	D10	767044	1344881	2	172	6787	Class 1	1	6762	Class 1	1	6820	Class 1	1

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
56	71	I.1	760642.3	1344921	3	112	6463	Class 1	1	6517	Class 1	1	6542	Class 1	1
28	51	24	765363	1344960	3	139	6914	Class 1	1	6978	Class 1	1	7066	Class 1	1
96	93	II.8	759400.9	1344989	1	397	24085	Class 2	2	61778	Class 3	3	121885	Class 4	4
17	67	47	764669	1345012	2	268	6931	Class 1	1	6971	Class 1	1	36440	Class 2	2
34	50	23	764964	1345072	2	190	27065	Class 2	2	32547	Class 2	2	36378	Class 2	2
105	210	X.3.1	761619.3	1345112	3	103	6507	Class 1	1	6464	Class 1	1	6565	Class 1	1
5	62	42	763701	1345113	3	145	6582	Class 1	1	6564	Class 1	1	6592	Class 1	1
110	121	IV.9	761047	1345188	3	122	6463	Class 1	1	6517	Class 1	1	6542	Class 1	1
1	34	D8	767567	1345192	3	112	6787	Class 1	1	6762	Class 1	1	6956	Class 1	1
77	109	III.1.2	760502.8	1345265	2	193	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	78890	Class 3	3
53	88	II.3	761546.9	1345291	3	98.5	45494	Class 3	3	89514	Class 4	4	155115	Class 5	5
75	213	X.3.4	762133.9	1345311	2	188	45488	Class 3	3	61908	Class 3	3	121892	Class 4	4
136	96	II.1.2	760376.9	1345331	2	246	24085	Class 2	2	32193	Class 2	2	78890	Class 3	3
144	82	I.1.3	760095.9	1345394	2	308	24085	Class 2	2	61778	Class 3	3	121885	Class 4	4
0	45	13	762254	1345440	3	70.4	6519	Class 1	1	6484	Class 1	1	6493	Class 1	1
115	110	III.1.3	760771.5	1345450	3	145	6463	Class 1	1	6517	Class 1	1	6542	Class 1	1
92	215	X.3.7	762382.2	1345455	2	295	24085	Class 2	2	32168	Class 2	2	35796	Class 2	2
138	216	X.3.8	762626.8	1345498	2	263	24085	Class 2	2	61899	Class 3	3	79057	Class 3	3
2	32	D6	767827	1345511	3	119	27082	Class 2	2	32560	Class 2	2	79659	Class 3	3
88	212	X.3.3	761991.2	1345519	2	264	24085	Class 2	2	32090	Class 2	2	78990	Class 3	3
142	80	I.1.1	760107.1	1345537	2	292	24085	Class 2	2	32141	Class 2	2	78890	Class 3	3
78	86	II.1	761558	1345593	2	195	24085	Class 2	2	61854	Class 3	3	79012	Class 3	3
99	95	II.1.1	760378.4	1345600	3	67.4	6522	Class 1	1	32141	Class 2	2	35785	Class 2	2
29	42	6	763564	1345620	3	148	26814	Class 2	2	32140	Class 2	2	35789	Class 2	2
62	218	X.4.2	761649.9	1345682	3	135	6507	Class 1	1	6464	Class 1	1	6473	Class 1	1

FID_148_O	TT	Ma_so_o	X	Y	Cap_TAGTB	TAGTB	FID_3_Class	Class_3	Id_3_Class	FID_4_Class	Class_4	Id_4_Class	FID_5_Class	Class_5	Id_5_Class
140	79	I.9	761551.7	1345772	2	270	24085	Class 2	2	6463	Class 1	1	35693	Class 2	2
70	77	I.7	761197.3	1345795	2	169	6463	Class 1	1	31642	Class 2	2	35693	Class 2	2
32	44	8	765233	1345840	2	171	6582	Class 1	1	32140	Class 2	2	36238	Class 2	2
27	69	49	763809	1345900	3	130	26814	Class 2	2	62194	Class 3	3	78994	Class 3	3
125	73	I.3	760937.6	1345996	2	187	6458	Class 1	1	6426	Class 1	1	6439	Class 1	1
87	87	II.2	761244.3	1346027	2	256	6463	Class 1	1	6416	Class 1	1	35668	Class 2	2
61	219	X.4.3	761250.6	1346082	3	127	6459	Class 1	1	31642	Class 2	2	35668	Class 2	2
81	220	X.4.4	761135.2	1346344	2	208	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	35489	Class 2	2
132	221	X.4.5	760934.2	1346495	2	209	24085	Class 2	2	31642	Class 2	2	35585	Class 2	2
14	17	B4	756557	1351561	2	232	42171	Class 3	3	57189	Class 3	3	114885	Class 4	4
21	27	C7	747660	1351913	1	367	22751	Class 2	2	55577	Class 3	3	112169	Class 4	4
40	29	C9	746906	1352064	2	260	40601	Class 3	3	84832	Class 4	4	150184	Class 5	5
44	28	C8	747034	1352232	1	353	39739	Class 3	3	84647	Class 4	4	150141	Class 5	5
23	4	A4	746055	1354289	1	620	39739	Class 3	3	83361	Class 4	4	149010	Class 5	5
36	3	A3	747395	1354992	2	206	39739	Class 3	3	83361	Class 4	4	149010	Class 5	5
24	2	A2	747895	1355662	3	111	22622	Class 2	2	53615	Class 3	3	109490	Class 4	4