

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ 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**

Mã số: B2010 – 15 – 33TD

Chủ nhiệm đề tài: PGS.TS. BẢO HUY

Đăk Lăk, tháng 11 năm 2012

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ 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**

Mã số: B2010 – 15 – 33TD

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài
(ký, họ tên, đóng dấu)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ tên)

PGS.TS. BẢO HUY

Đăk Lăk, tháng 11 năm 2012

MỤC LỤC

DANH MỤC BẢNG BIỂU	viii
DANH MỤC HÌNH, BIỂU ĐỒ	x
DANH MỤC NGŨ NGHĨA CỦA CHỮ, KÝ HIỆU VIẾT TẮT	xiii
MỞ ĐẦU	1
1 ĐẶT VẤN ĐỀ, TÍNH CẤP THIẾT	1
2 TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU.....	3
2.1 Chương trình REDD ⁺	3
2.2 Cơ sở đo tính, giám sát khí phát thải gây hiệu ứng nhà kính từ suy thoái và mất rừng	5
2.3 Giám sát hấp thụ và phát thải CO ₂ từ 5 bể chứa carbon rừng	8
2.3.1 Bể chứa carbon của sinh khối trên mặt đất (Above ground biomass – AGB) ..	8
2.3.2 Ước tính sinh khối và carbon thực vật phần dưới mặt đất (Below ground biomass – BGB)	17
2.3.3 Ước tính sinh khối gỗ chết (Dead Wood – DW)	18
2.3.4 Ước tính sinh khối, carbon trong thảm mục (Litter).....	18
2.3.5 Ước tính lượng carbon hữu cơ trong đất (Soil Organic Carbon – SOC)	18
2.4 Viễn thám và GIS trong giám sát thay đổi sử dụng rừng (Activity Data) và bể chứa carbon.....	19
2.4.1 Viễn thám trong phân loại rừng, giám sát thay đổi diện tích rừng và bể chứa carbon rừng.....	19
2.4.2 Hệ thống GIS trong quản lý tài nguyên rừng và trữ lượng carbon	25
2.5 Đo tính giám sát carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng (PCM) và chi trả dịch vụ môi trường từ REDD ⁺	27
2.6 Thảo luận	28
3 ĐỐI TƯỢNG VÀ ĐẶC ĐIỂM KHU VỰC NGHIÊN CỨU.....	31
3.1 Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu.....	31
3.2 Đối tượng nghiên cứu	32
3.2.1 Sinh khối và carbon rừng nghiên cứu	32
3.2.2 Kiểu rừng, trạng thái rừng, loài cây nghiên cứu	32
3.2.3 Ảnh viễn thám.....	32
3.3 Đặc điểm khu vực nghiên cứu	33
3.3.1 Đất đai, địa hình.....	33
3.3.2 Khí hậu, thủy văn.....	33
3.3.3 Tài nguyên rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên.....	33
3.3.4 Chương trình REDD ⁺ ở Tây Nguyên.....	34
4 MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU	35

4.1	Mục tiêu nghiên cứu	35
4.2	Nội dung nghiên cứu	35
5	PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	36
5.1	Phương pháp luận, cách tiếp cận nghiên cứu	36
5.2	Phương pháp nghiên cứu cụ thể	37
5.2.1	Phương pháp thu thập, phân tích, xử lý số liệu để lập mô hình allometric equation ước tính sinh khối và carbon cho cây rừng, lâm phần	37
5.2.2	Phương pháp ước tính sinh khối, carbon lâm phần	51
5.2.3	Phương pháp nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám và GIS để ước lượng, giám sát sinh khối, carbon rừng.....	52
CHƯƠNG 1: MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON CÂY RỪNG.....		57
1	KHỐI LƯỢNG THỂ TÍCH GỖ THEO LOẠI – MỘT BIẾN SỐ TRONG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI, CARBON	57
2	MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON Ở CÁC BỘ PHẬN CÂY TRÊN MẶT ĐẤT.....	59
2.1	Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong thân cây gỗ.....	59
2.2	Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong cành cây gỗ	61
2.3	Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong lá cây rừng	62
2.4	Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong vỏ cây rừng	63
3	MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON PHẦN TRÊN MẶT ĐẤT CÂY RỪNG (AGB và C(AGB)).....	66
4	MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON PHẦN DƯỚI MẶT ĐẤT (TRONG RỄ CÂY RỪNG) (BGB, C(BGB)).....	73
5	MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỔI GIỮA SINH KHỐI, CARBON NHÂN TỐ ĐIỀU TRA CÂY CÁ THỂ.....	75
CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN.....		78
1	PHÂN CẤP CHIỀU CAO ĐỂ ƯỚC TÍNH SINH KHỐI, CARBON LÂM PHẦN	78
2	ƯỚC TÍNH CARBON HỮU CƠ TRONG ĐẤT (SOC).....	81
3	ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON TRONG THẨM MỤC, THẨM TƯƠI, GỖ CHẾT	83
3.1	Ước tính sinh khối và carbon trong thảm tươi cho lâm phần.....	83
3.2	Ước tính sinh khối và carbon trong thảm mục cho lâm phần	84
3.3	Ước tính sinh khối và carbon trong gỗ chết (Deadwood - DW) cho lâm phần	84
4	MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN VÀ MỐI QUAN HỆ VỚI CÁC NHÂN TỐ SINH THÁI	85

5	CẤU TRÚC SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN	91
5.1	Phân cấp sinh khối lâm phần	91
5.2	Cấu trúc phân bố sinh khối và carbon tích lũy trong cây rừng trên và dưới mặt đất	94
6	DỰ BÁO TĂNG TRƯỞNG SINH KHỐI VÀ HẤP THỤ CO₂ CỦA LÂM PHẦN	100
CHƯƠNG 3: VIỄN THÁM VÀ GIS TRONG ƯỚC TÍNH - GIÁM SÁT SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG.....		105
1	ỨNG DỤNG ẢNH VỆ TINH TRONG ƯỚC TÍNH VÀ GIÁM SÁT SINH KHỐI, CARBON RỪNG	106
1.1	Hiệu chỉnh hình học ảnh, phân loại ảnh thành vùng có rừng và không có rừng tự nhiên	106
1.1.1	Hiệu chỉnh hình học ảnh	106
1.1.2	Phân loại vùng có rừng và không rừng.....	107
1.2	Phân loại ảnh vệ tinh bằng phương pháp phi giám định và lập mối quan hệ sinh khối, carbon rừng với các lớp phân loại	107
1.3	Phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh (DN).....	112
1.3.1	Tạo cơ sở dữ liệu quan hệ giữa sinh khối từ ô mẫu với giá trị các band phổ.....	112
1.3.2	Phân tích hồi quy giữa giá trị ảnh và sinh khối đo tính trên ô mẫu	113
1.3.3	Thành lập bản đồ theo cấp sinh khối rừng.....	114
1.4	Phân loại ảnh có giám định để phân chia rừng theo cấp sinh khối	117
1.4.1	Phân chia cấp sinh khối TAGTB	118
1.4.2	Phân loại ảnh có giám định theo 3 cấp sinh khối.....	118
1.4.3	Đánh giá độ tin cậy của phân loại ảnh theo cấp sinh khối bằng phương pháp giám định	120
2	ỨNG DỤNG GIS TRONG QUẢN LÝ, GIÁM SÁT SINH KHỐI CARBON RỪNG.....	122
CHƯƠNG 4: HỆ THỐNG MÔ HÌNH VÀ CÔNG NGHỆ ĐO TÍNH, GIÁM SÁT CARBON RỪNG ĐỂ THAM GIA CHƯƠNG TRÌNH REDD⁺		127
1	PHÂN LOẠI RỪNG THEO CẤP SINH KHỐI BẰNG ẢNH VỆ TINH	128
1.1	Phân khối rừng và xác định diện tích	128
1.2	Phân khối rừng, xác định diện tích và sinh khối cây gỗ trên mặt đất (TAGTB).....	129
2	THIẾT KẾ Ô MẪU.....	130
2.1	Hình dạng và kích thước ô mẫu.....	130
2.2	Số ô mẫu cần thiết và cách bố trí.....	131
2.3	Điều tra nhanh lâm phần.....	132

3	LỰA CHỌN SỬ DỤNG CÁC HÀM ALLOMETRIC EQUATIONS CỦA CÂY, LÂM PHẦN VÀ HÀM CHUYỂN ĐỔI TỪ NHÂN TỔ ĐIỀU TRA RỪNG SANG CARBON RỪNG	132
3.1	Trường hợp đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng	133
3.2	Trường hợp đo tính carbon rừng bởi nhân viên kỹ thuật lâm nghiệp	134
3.3	Trường hợp ước tính nhanh sinh khối, carbon rừng.....	135
3.4	Trường hợp ước tính sinh khối và carbon lâm phần thông qua bản đồ phân cấp TAGTB	136
4	QUẢN LÝ CƠ SỞ DỮ LIỆU, BẢN ĐỒ VỀ BIẾN ĐỘNG CO₂ TRONG GIS	136
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	138
	KẾT LUẬN	138
	KIẾN NGHỊ	142
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	143
	PHỤ LỤC	149
	Phụ lục 1: Danh mục thực vật thân gỗ trong các lâm phần nghiên cứu	149
	Phụ lục 2: Khối lượng thể tích gỗ các loài nghiên cứu	154
	Phụ lục 3: Bộ dữ liệu sinh khối của 4 bộ phận cây trên mặt đất theo nhân tố điều tra cây rừng.....	156
	Phụ lục 4: Bộ dữ liệu carbon trong 4 bộ phận của cây trên mặt đất theo nhân tố điều tra cây rừng.....	160
	Phụ lục 5: Bộ dữ liệu sinh khối cây trên mặt đất (AGB) với các nhân tố điều tra cây rừng.....	163
	Phụ lục 6: Bộ dữ liệu AGB có gắn biến Ca và các nhân tố điều tra cây rừng	167
	Phụ lục 7: Bộ dữ liệu carbon cây trên mặt đất C(AGB) với các nhân tố điều tra cây rừng.....	170
	Phụ lục 8: Dữ liệu carbon trên mặt đất C(AGB) với biến DBH, H, WD, Ca	173
	Phụ lục 9: Bộ dữ liệu sinh khối dưới mặt đất (BGB) với các nhân tố điều tra cây rừng	175
	Phụ lục 10: Bộ dữ liệu carbon dưới mặt đất C(BGB) với các nhân tố điều tra cây rừng	178
	Phụ lục 11: Bộ dữ liệu C(AGB), AGB và V	180
	Phụ lục 12: Bộ dữ liệu AGB và BGB	183
	Phụ lục 13: Bộ dữ liệu C(BGB) và BGB	185
	Phụ lục 14: Bộ dữ liệu C(BGB) và BGB	187
	Phụ lục 15: Bộ dữ liệu H/DBH.....	188
	Phụ lục 16: Bộ dữ liệu V theo DBH và H	189
	Phụ lục 17: Dữ liệu dung trọng và carbon đất (SOC) các ô nghiên cứu	195
	Phụ lục 18: Dữ liệu SOC với các nhân tố sinh thái.....	197

Phụ lục 19: Dữ liệu sinh khối và carbon của thảm mục thảm tươi, gỗ chết ở các lâm phần	198
Phụ lục 20: Giá trị sinh khối, carbon và điều tra lâm phần của các ô nghiên cứu	199
Phụ lục 21: Dữ liệu tổng lượng carbon lâm phần và các nhân tố sinh thái ở các ô mẫu nghiên cứu	203
Phụ lục 22: Dữ liệu tuổi cây theo DBH và H.....	208
Phụ lục 23: Dữ liệu 61 ô mẫu sử dụng lập quan hệ sinh khối, carbon trên mặt đất với chỉ số ảnh vệ tinh SPOT5.....	210
Phụ lục 24: Dữ liệu TAGTB theo phân cấp ảnh tự động 3 lớp.....	213
Phụ lục 25: Dữ liệu TAGTB với các chỉ số DN của 4 band ảnh SPOT.....	214
THUYẾT MINH ĐỀ TÀI ĐÃ ĐƯỢC PHÊ DUYỆT.....	216

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 0.1: Diện tích rừng hiện tại của Tây Nguyên so với cả nước	33
Bảng 0.2: Thông tin vị trí và trạng thái rừng của ô mẫu nghiên cứu	39
Bảng 0.3: Các mô hình một biến được sử dụng để dò tìm hàm tối ưu.....	49
Bảng 1.1: Biến động và ước lượng khoảng WD các loài chủ yếu của rừng lá rộng thường xanh	58
Bảng 1.2: Mô hình ước tính sinh khối thân cây theo các biến số.....	59
Bảng 1.3: Mô hình ước tính carbon tích lũy trong thân cây theo các biến số.....	60
Bảng 1.4: Mô hình ước tính sinh khối trong cành cây rừng theo các biến số.....	61
Bảng 1.5: Mô hình ước tính carbon trong cành cây rừng theo các biến số.....	62
Bảng 1.6: Mô hình ước tính sinh khối lá theo các biến số	62
Bảng 1.7: Mô hình ước tính carbon trong lá theo các biến số.....	63
Bảng 1.8: Mô hình ước tính sinh khối vỏ cây theo các biến số	63
Bảng 1.9: Mô hình ước tính carbon trong vỏ cây theo các biến số	64
Bảng 1.10: Lượng carbon/CO ₂ tích lũy trong 4 bộ phận cây trên mặt đất.....	65
Bảng 1.11: Mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất với các biến số	66
Bảng 1.12: So sánh mô hình ước lượng AGB theo DBH của Brown (1997) và mô hình được xây dựng trong đề tài	69
Bảng 1.13: Mô hình ước tính carbon cây gỗ phần trên mặt đất với các biến số	71
Bảng 1.14: Tỷ lệ C(AGB)/AGB	73
Bảng 1.15: Mô hình ước tính sinh khối rễ cây theo các biến số	73
Bảng 1.16: Mô hình ước tính carbon tích lũy trong rễ cây với các biến số	74
Bảng 1.17: Carbon tích lũy và CO ₂ hấp thụ của cây rừng theo cấp kính.....	75
Bảng 1.18: Mô hình ước tính gián tiếp sinh khối và carbon thông qua sinh khối/carbon dễ đo tính	76
Bảng 1.19: Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây trên mặt đất với thể tích cây	76
Bảng 1.20: Mô hình ước tính các nhân tố điều tra cây cá thể	77
Bảng 2.1: Trung bình và biến động SOC rừng thường xanh Tây Nguyên	81
Bảng 2.2: Mô hình quan hệ SOC với các nhân tố sinh thái, sinh khối rừng.....	82
Bảng 2.3: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm tươi	83
Bảng 2.4: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm mục	84
Bảng 2.5: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong gỗ chết	85
Bảng 2.6: Mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần	87
Bảng 2.7: Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	87
Bảng 2.8: Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	88
Bảng 2.9: Mô hình ước tính tổng sinh khối cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	88

Bảng 2.10: Mô hình ước tính tổng sinh khối 4 bể chứa và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	89
Bảng 2.11: Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	89
Bảng 2.12: Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần	89
Bảng 2.13: Mô hình ước tính tổng carbon thực vật (4 bể chứa) theo nhân tố điều tra lâm phần	90
Bảng 2.14: Mô hình ước tính tổng carbon 5 bể chứa theo nhân tố điều tra lâm phần ..	90
Bảng 2.15: Mô hình quan hệ tổng carbon 5 bể chứa theo nhân tố sinh thái, sinh khối cây gỗ trên mặt đất.....	91
Bảng 2.16: Đặc trưng và biến động TAGTB của các lâm phần.....	92
Bảng 2.17: Phân chia cấp sinh khối TAGTB	92
Bảng 2.18: Phân tích ANOVA về sự sai khác các cấp sinh khối.....	93
Bảng 2.19: Phân cấp sinh khối TAGTB và quan hệ với M.....	94
Bảng 2.20: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 1 – cấp H III.....	95
Bảng 2.21: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 2 – cấp H II.....	96
Bảng 2.22: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 3 – cấp H I	97
Bảng 2.23: Lượng Carbon và CO ₂ hấp thụ trong 3 lâm phần đại diện sinh khối và năng suất.....	98
Bảng 2.24: Hấp thụ CO ₂ rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên và giá trị môi trường	99
Bảng 2.25: Mô hình ước tính A theo DBH và H.....	100
Bảng 2.26: Tăng trưởng sinh khối và carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất ở cấp sinh khối 2 – cấp H II.....	102
Bảng 2.27: Tăng trưởng sinh khối, carbon và hấp thụ CO ₂ trên các đơn vị phân loại rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên	102
Bảng 2.28: Hấp thụ CO ₂ theo cấp sinh khối và cấp H rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên	104
Bảng 3.1: Đánh giá biến động của ước lượng sinh khối trên mặt đất (TAGTB) theo 3 lớp phân chia phi giám định với các ô độc lập	109
Bảng 3.2: Đánh giá biến động của ước lượng trung bình sinh khối trên mặt đất (TAGTB) theo 3 lớp ảnh phân chia phi giám định	110
Bảng 3.3: Kết quả đánh giá sai khác S % giữa giá trị TAGTB quan sát với ước lượng được trên ảnh qua mô hình	117
Bảng 3.4: Phân cấp TAGTB.....	118
Bảng 3.5: Tổng hợp sinh khối, carbon và CO ₂ hấp thụ khu vực Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông (Năm 2012).....	125

DANH MỤC HÌNH, BIỂU ĐỒ

Hình 0.1: Tiếp cận của IPCC để tính toán phát thải/hấp thụ khí nhà kính trong lâm nghiệp	7
Hình 0.2: Ô mẫu tròn phân tầng theo cấp kính áp dụng ở Hoa Kỳ (Pearson và cộng sự, 2007).....	9
Hình 0.3: Bản đồ khu vực nghiên cứu.....	31
Hình 0.3: Sơ đồ tiếp cận nghiên cứu	37
Hình 0.4: Sơ đồ thiết kế ô mẫu phân chia theo cấp kính cây rừng và các bể chứa carbon rừng.....	38
Hình 0.5: Bản đồ phân bố ô mẫu nghiên cứu trên rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên.....	38
Hình 0.6: Thu thập và cân sinh khối gỗ chết, thảm mục.....	40
Hình 0.7: Xác định dung trọng đất tươi bằng ống dung trọng và cân điện tử – Lấy mẫu đất	41
Hình 0.8: Chặt hạ cây, phân tách các bộ phận và đào rễ cây	42
Hình 0.9: Phân chia cây chặt hạ thành 5 đoạn bằng nhau để xác định thể tích.....	42
Hình 0.10: Cân khối lượng tươi 5 bộ phận cây chặt hạ.....	43
Hình 0.11: Xác định khối lượng thể tích gỗ, vỏ tươi ngay trong rừng.....	43
Hình 0.12: Lấy mẫu 5 bộ phận bằng cân điện tử.....	44
Hình 0.13: Phân tích trong phòng thí nghiệm xác định khối lượng thể tích gỗ, sinh khối và carbon	45
Hình 0.14: Biểu đồ đánh giá sự thích hợp và tin cậy của mô hình lựa chọn.....	49
Hình 0.15: Các tiêu chuẩn thống kê để lựa chọn biến số và hàm tối ưu	51
Hình 0.16: Ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính	53
Hình 1.1: Ma trận đám mây điểm quan hệ giữa WD chung các loài với DBH và H....	58
Hình 1.2: Quan hệ giá trị dự báo Cst với quan sát theo mô hình 3 biến DBH, H và WD hoặc chỉ với DBH	60
Hình 1.3: Quan hệ giữa giá trị ước lượng sinh khối và carbon tích lũy trong vỏ qua mô hình với thực tế	64
Hình 1.4: Tỷ lệ carbon tích lũy trung bình trong 4 bộ phận cây trên mặt đất.....	65
Hình 1.5: Quan hệ AGB với các biến số khác nhau.....	67
Hình 1.6: So sánh sự phù hợp của các mô hình trong đề tài với mô hình của Brown (1997) và Chave (2005).....	69
Hình 1.7: Quan hệ giá trị dự báo AGB với quan sát và biến động phần dư (residual) của mô hình 4 biến $\log(AGB) = f(\log(DBH), \log(H), \log(Ca), \log(WD))$	70
Hình 1.8: Quan hệ giá trị ước tính C(AGB) qua mô hình có biến số khác nhau với giá trị quan sát	72
Hình 1.9: Tỷ lệ carbon tích lũy trung bình trong 5 bộ phận cây rừng.....	75
Hình 2.1: Quan hệ H/DBH	79
Hình 2.2: Đường cong và biểu cấp chiều cao.....	80

Hình 2.3: Kiểm nghiệm sự phù hợp của họ đường cong cấp chiều cao.....	80
Hình 2.4: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 1 – cấp H III.....	95
Hình 2.5: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 2 – cấp H II.....	96
Hình 2.6: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 3 – cấp H I.....	97
Hình 2.7: Tỷ lệ trung bình % C ở các bể chứa trong rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên.....	99
Hình 2.8: Quan hệ $A = f(DBH, H)$	101
Hình 2.9: Hấp thụ CO_2 (tấn/ha/năm) rừng lá rộng thường xanh theo cấp sinh khối và cấp chiều cao	103
Hình 3.1: Hiệu chỉnh hình học ảnh vệ tinh: a) ảnh trước khi hiệu chỉnh; b) ảnh sau khi hiệu chỉnh	106
Hình 3.2: Mặt nạ lớp dữ liệu (1: có dữ liệu rừng; 2: không có dữ liệu).....	107
Hình 3.3: Cài đặt thông số phân chia thành 3 lớp với 50 pixel/class trong ENVI.....	108
Hình 3.4: Phân loại phi giám định rừng thành 4 lớp khác nhau trong ENVI.....	108
Hình 3.5: Diện tích và TAGTB cho từng lớp tính trong ArcGIS trên cơ sở phân loại phi giám định.....	111
Hình 3.6: Bản đồ sinh khối rừng giải đoán từ ảnh SPOT theo phương pháp phân loại phi giám định và quan hệ với sinh khối rừng.....	112
Hình 3.7: Tạo vùng đệm buffer cho ô mẫu trên phần mềm ArcGIS.....	112
Hình 3.8: Chồng các ô mẫu lên ảnh với bán kính 17.84m	113
Hình 3.9: Chuyển các ô mẫu trên ảnh thành dữ liệu ASCII.....	113
Hình 3.10: Lập mô hình tạo ảnh sinh khối rừng Erdas	114
Hình 3.11: Chạy mô hình quan hệ $TAGTB = f(B4)$ để tạo pixel ảnh theo sinh khối .	115
Hình 3.12: Pixel ảnh đã được gán giá trị TAGTB (tấn/ha) thông qua mô hình.....	115
Hình 3.13: Công cụ phân tích thành 3 cấp TAGTB (tấn/ha) trong ArcGIS	116
Hình 3.14: Ảnh phân 3 cấp TAGTB trong ArcGIS	116
Hình 3.15: Bản đồ vector 3 cấp sinh khối rừng trên mặt đất	117
Hình 3.16: Ảnh đã được phân loại giám định thành 3 cấp sinh khối	120
Hình 3.17: Ma trận đánh giá độ tin cậy của phân loại rừng có giám định theo sinh khối	121
Hình 3.18: Cơ sở dữ liệu đầu vào từ phân loại ảnh vệ tinh được quản lý trong ArcGIS	123
Hình 3.19: Các trường dữ liệu sinh khối, carbon, CO_2 được mở trong ArcGIS	123
Hình 3.20: Tính dữ liệu TBGTB thông qua mô hình với biến TAGTB	123
Hình 3.21: Cơ sở dữ liệu, sinh khối và CO_2 hấp thụ trong một khu vực	124
Hình 3.22: Bản đồ phân cấp carbon rừng khu vực Tuy Đức, Đắk Nông.....	124
Hình 3.23: Bản đồ phân cấp carbon rừng (3 cấp phóng to)	125

Hình 4.1: Các tiến trình đo tính, giám sát sinh khối, carbon rừng và CO ₂	127
Hình 4.2: Bản đồ phân 3 lớp rừng và diện tích tương ứng.....	128
Hình 4.3: Bản đồ cấp sinh khối và dữ liệu TAGTB bình quân theo cấp	129
Hình 4.4: Ô mẫu tròn phân tầng theo cấp kính	130
Hình 4.5: Ô mẫu được bố trí ngẫu nhiên trên bản đồ (vùng dự án REDD SNV Cát Tiên và Bảo Lâm)	132
Hình 4.6: Cập nhật dữ liệu tổng carbon rừng khi TAGTB thay đổi thông qua kết hợp allometric equations trong ArcGIS.....	137

DANH MỤC NGŨ NGHĨA CỦA CHỮ, 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
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. $\text{BEF} = \text{AGB}/V$
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 ($\text{m}^2/\text{cây}$)
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)
Cli	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 ($\text{m}^3/\text{cây}$)
WD	Wood density: Khối lượng thể tích gỗ (g/cm^3) hoặc ($\text{tấn}/\text{m}^3$)
ρ	Dung trọng đất (g/cm^3)

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: **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**
- Mã số: B2010 – 15 – 33TD
- Chủ nhiệm: **PGS.TS. BẢO HUY**
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Tây Nguyên
- Thời gian thực hiện: Từ tháng 1 năm 2010 đến tháng 6 năm 2012

2. Mục tiêu:

Thiết lập được một hệ thống mô hình và công nghệ nhằm xác định lượng CO₂ hấp thụ trong các trạng thái của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên để cung cấp thông tin, cơ sở dữ liệu và phương pháp giám sát sự thay đổi của các bể chứa carbon trong hệ sinh thái rừng, làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu khí phát thải từ suy thoái và mất rừng.

3. Tính mới và sáng tạo:

Lần đầu tiên ở Việt Nam đã thiết lập được hoàn chỉnh mô hình allometric equations để ước tính sinh khối và carbon cho cây rừng và lâm phần của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên đạt độ tin cậy theo yêu cầu quốc tế của IPCC (2006) khi tham gia chương trình REDD⁺.

Đã kết hợp giữa phân loại ảnh vệ tinh và mô hình quan hệ sinh khối rừng trên mặt đất với chỉ số phân loại ảnh để ước lượng sinh khối rừng qua ảnh vệ tinh SPOT5 đạt độ tin cậy từ 72 – 93%.

Đã kết hợp hệ thống mô hình allometric equations trong hệ thống GIS để đưa ra giải pháp quản lý, giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ trong quản lý rừng khi tham gia chương trình REDD⁺.

4. Kết quả nghiên cứu:

Đã thiết lập một cách hệ thống các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng bao gồm 5 bộ phận cây (thân, cành, vỏ, lá và rễ), ước tính sinh khối và carbon của cây phần trên và dưới mặt đất. Đã đưa ra thông tin về khả năng lưu giữ carbon trong từng bộ phận cây rừng của kiểu rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên.

Đã thiết lập đầy đủ và đa dạng các mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần, các mô hình chuyển đổi giữa nhân tố trữ lượng sang sinh khối và carbon. Đã

cung cấp thông tin tích lũy carbon rừng ở 5 bề chứa carbon rừng, lượng tăng trưởng carbon và CO₂ hấp thụ theo ba cấp sinh khối ở ba cấp chiều cao của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên.

Đã xây dựng được phương pháp phân loại ảnh vệ tinh phi giám định kết hợp với quan hệ giữa sinh khối rừng và các chỉ số của các lớp ảnh để ước lượng sinh khối rừng thông qua ảnh vệ tinh SOPT5 đạt độ tin cậy.

Đã xây dựng giải pháp kết hợp mô hình allometric equations trong GIS để quản lý, giám sát biến động hấp thụ và phát thải CO₂ từ rừng.

Đã tổng hợp và đề xuất được một hệ thống mô hình và công nghệ để đo tính, giám sát carbon rừng bao gồm: Phân loại rừng theo cấp sinh khối, thiết kế ô mẫu, lựa chọn mô hình allometric equations và quản lý dữ liệu, bản đồ về biến động CO₂ trong GIS.

5. Sản phẩm: Bao gồm:

- Báo cáo khoa học tổng kết đề tài
- Ba hướng dẫn kỹ thuật:
 - + Hệ thống mô hình và công nghệ đo tính, giám sát carbon rừng để tham gia chương trình REDD⁺
 - + Hướng dẫn ứng dụng ảnh vệ tinh để ước tính, giám sát sinh khối và carbon rừng
 - + Hướng dẫn ứng dụng GIS trong quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng.

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Trong quá trình thực hiện đề tài, hệ thống mô hình, công nghệ ước tính và giám sát carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng (PCM) đã được thử nghiệm trong chương trình UN-REDD⁺ Việt Nam do Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn chủ trì với sự tư vấn của FAO và dự án REDD⁺ của tổ chức hợp tác phát triển Hà Lan (SNV) ở tỉnh Lâm Đồng. Trong giai đoạn đến kết quả đề tài sẽ được áp dụng trong hệ thống đo tính giám sát carbon rừng quốc gia.

Kết quả của đề tài cũng sẽ được chuyển giao đến các cơ quan quản lý tài nguyên rừng và môi trường các tỉnh ở Tây Nguyên để xây dựng các dự án REDD⁺ ở địa phương và định giá rừng tự nhiên về mặt môi trường.

Ký hợp đồng hoặc bán bản quyền cho các cơ quan quản lý rừng, công ty lâm nghiệp, các chủ rừng được giao rừng để các tổ chức này có thể bán tín chỉ carbon rừng khi tham gia chương trình REDD⁺.

Ngoài ra kết quả nghiên cứu sẽ được đưa vào đào tạo ở bậc đại học và sau đại học thuộc ngành Quản lý tài nguyên rừng và Môi trường, đồng thời là cơ sở để nghiên cứu cho các kiểu rừng khác trên các vùng sinh thái khác nhau của Việt Nam.

Ngày 25 tháng 06 năm 2012

Cơ quan chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

PGS.TS. Bảo Huy

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

- Project title: **DETERMINATION OF CO₂ SEQUESTRATION OF EVER-GREEN BROAD-LEAVED FOREST IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM AS A BASIS FOR PARTICIPATION IN PROGRAM OF REDUCING EMISSIONS FROM DEFORESTATION AND DEGRADATION**
- Code number: B2010 – 15 – 33TD
- Coordinator: **Assoc.Prof. Dr. BAO HUY**
- Implementing institution: Tay Nguyen University
- Duration: from January 2010 to June 2012

2. Objective(s)

The objective of the research is to establish a system of models and technology in order to determine the amount of CO₂ absorbed by the different states of the ever-green broad-leaved forests in the Central Highlands of Vietnam. This aims to provide information, database and methods to monitor changes of carbon pools in forest ecosystems as a basis for participation in the program of reducing emissions from deforestation and degradation.

3. Creativeness and innovativeness

It is the first research conducted in Viet Nam that has established a full model system of allometric equations to estimate biomass and carbon for forest stands and individual trees of evergreen broad-leaved forest in the Central Highlands of Vietnam. The results of the study have reached reliable requests of the IPCC (2006) for participating in the REDD⁺ program.

Based on relationship of spectral data from the multi-spectral bands with the above ground forest biomass stand biomass was estimated through SPOT5 data, the result reached 72-93% in accuracy.

The allometric equations imported and processed in GIS environment were used as basic for providing management solutions, monitoring CO₂ absorption and emission in forest management which are a basic for participating in REDD⁺ program.

4. Research results

The models for estimating forest biomass and carbon stored from five different parts of forest tree (stem, branches, bark, leaves and roots) including the above and below ground were systematically established. Information of carbon storage capacity each part of forest tree of the evergreen broad-leaved forests in the Central Highlands of Vietnam was provided

Various models of individual tree and forest stand biomass and carbon estimates were fully established. The conversion models of volume to biomass and carbon were performed as well. Additionally, information of carbon stored in five pools of forest, carbon growth and CO₂ absorbed in accordance with three levels of tree height was provided.

The method of analysis of satellite image characteristics which related with forest biomass was built to estimate forest biomass through satellite image SPOT5. The predicted results achieved quite high reliability.

Combination techniques the allometric equations and GIS technology were established aiming to build solutions to manage and monitor the absorption and emissions CO₂ from the forests.

A system of technology and models for carbon monitoring and measurement was synthesized and recommended. The system includes sequent steps: classification of biomass levels using satellite imagery, sample designation, allometric equations selection, data management, GIS-CO₂ change maps.

5. Products

- Scientific reports were published.
- Three technical guidelines were performed including:
 - + The system of allometric equations and technology to measure and monitor forest carbon to participate in REDD⁺ program was written.
 - + Applications of satellite images to estimate, monitor forest biomass and carbon were guided.
 - + GIS application for the management, monitoring of biomass, forest carbon was instructed.

6. Effects, transfer alternatives of results and applicability

During implementation of the project, the allometric equations and technology has been tested to apply in participatory forest carbon measurement (PCM) in the program UN-REDD⁺ Viet Nam, which hosted by the Ministry of Agriculture and Rural Development in consultation with FAO. In addition these were tested in REDD project which was supported by the Development Cooperation Organization Netherlands (SNV) in Lam Dong province. In the next phase project results will be applied in carbon monitoring and measurement at national level.

The results of the project will also be transferred to the management agencies of natural resources and environment within the provinces belonging to the Central Highlands of Vietnam. This aims to build the local REDD⁺ project as well as assess natural forests on environmental values.

The copyright of the project results will be contracted with or sold to forestry agencies such as forest management agency, forest company, and forest owner so that they can sell their carbon credit when they take part in the REDD⁺ program.

Besides research results will be put into training of undergraduate and graduate university of forest resources and environment management mayor. The results will be the basis for further studies for other forest types in various ecological zones of Vietnam.

MỞ ĐẦU

1 ĐẶT VẤN ĐỀ, TÍNH CẤP THIẾT

Vấn đề ước tính sinh khối, trữ lượng carbon rừng lưu giữ và lượng CO₂ hấp thụ hoặc phát thải trong quá trình quản lý rừng để tham gia chương trình 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) ở Việt Nam là một nhu cầu cấp thiết, nhằm cung cấp thông tin dữ liệu phát thải CO₂ từ quản lý rừng đáng tin cậy theo yêu cầu của IPCC (2006), từ đó để có thể xác định tín chỉ carbon rừng trong giảm phát thải và thu được nguồn tài chính từ dịch vụ môi trường hấp thụ CO₂ từ rừng.

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

Để cung cấp dữ liệu thay đổi bể chứa carbon rừng khi tham gia REDD⁺, theo IPCC (2006) các quốc gia có thể lựa chọn cấp độ thích hợp cho mình, bao gồm ba cấp độ (Tier) từ 1 đến 3 tương ứng với từ đơn giản, kém tin cậy đến phức tạp và có độ tin cậy cao. Nhưng ngược lại nếu áp dụng cấp độ đơn giản như Tier 1 thì việc thực hiện trên hiện trường sẽ tốn nhiều công sức, chi phí hơn vì không có mô hình ước tính carbon và công nghệ viễn thám - GIS để giám sát thay đổi carbon rừng; trong khi đó nếu xây dựng được các mô hình ước tính carbon (allometric equations) và giải pháp ứng dụng viễn thám và GIS theo yêu cầu Tier 2 – 3 thì trong thực hiện giám sát sẽ khoa học, có độ tin cậy cao hơn và giảm chi phí. Trình độ quản lý và giám sát rừng của Việt Nam đã vượt qua Tier 1, nhưng chưa đạt Tier 2-3, do đó nghiên cứu và ứng dụng khoa học kỹ thuật để đáp ứng được cấp độ cao hơn sẽ thuận lợi trong quản lý trong đó có giám sát rừng khi tham gia REDD⁺.

Việc giám sát phát thải và hấp thụ CO₂ của rừng bao gồm các lĩnh vực: i) Kỹ thuật, công nghệ đo tính giám sát trữ lượng carbon rừng ở 5 bể chứa (trong thực vật trên mặt đất, rễ cây dưới mặt đất, thảm mục, cây chết và carbon hữu cơ trong đất); ii) Kỹ thuật và công nghệ viễn thám và GIS để giám sát sự biến động diện tích các trạng thái rừng gắn với carbon rừng và iii) Giải pháp tiến hành giám sát, đo tính để cung cấp thông tin dữ liệu về hấp thụ hoặc phát thải CO₂ trong quá trình quản lý rừng.

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

Để ước tính sinh khối của cây rừng phần trên mặt đất (AGB) cho một số kiểu rừng nhiệt đới, phương pháp chặt hạ cây (destructive sampling) và lập mô hình ước tính sinh khối, carbon rừng (allometric equations) đã được thực hiện bởi Brown (1997 - 2001), MacDicken (1997), Chave và cộng sự (2005), Pearson (2007), Basuki và cộng sự (2009), Henry và cộng sự (2010), Dietz và cộng sự (2011), Johannes và cộng sự (2011). Tuy nhiên số liệu cây chặt hạ còn ít trên vùng nhiệt đới rộng lớn toàn cầu, chưa có dữ liệu đại diện cho rừng nhiệt đới Việt Nam và chưa được đánh giá sai số và độ tin cậy, do vậy chưa thể ứng dụng ở Việt Nam. Đồng thời kết quả của các nghiên cứu này chỉ mới dừng lại ở sinh khối, trong khi đó lượng carbon tích lũy chỉ được ước tính thông qua hệ số chuyển đổi CF của IPCC (2006). Các giá trị sinh khối, carbon lâm phần trên mặt đất chủ yếu được chuyển đổi từ trữ lượng rừng gỗ sang do đó có độ tin cậy thấp, chỉ đạt cấp thấp Tier 1. Đối với việc ước tính sinh khối và carbon ở các bể chứa khác như trong rễ, thảm mục, cây chết, carbon trong đất hầu như chưa có mô hình, thông số cụ thể cho từng trạng thái, kiểu rừng mà chủ yếu là các hướng dẫn đo tính hiện trường (MacDicken (1997), ICRAF (2007), Bhishma và cộng sự (2010), Bảo Huy (2011)), và sử dụng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006). Vì vậy nghiên cứu xây dựng các mô hình, phương pháp ước tính sinh khối, carbon của 5 bể chứa trong các kiểu rừng Việt Nam là cần thiết trong giai đoạn hiện nay khi tham gia chương trình REDD⁺.

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 ở Việt Nam trong gần một thập kỷ qua (Bảo Huy, 2009). Dùng ảnh viễn thám để phân khối trạng thái rừng để đo tính carbon rừng cũng được tiến hành bởi Trisurat và cộng sự (2000), Souza (2003), ICRAF (2007), Nguyễn Văn Lợi (2008), Mallinis và cộng sự (2008), Brown và cộng sự (1999), Salovaara (2005), Nguyễn Thị Thanh Hương (2011). Để ước tính trữ lượng rừng, carbon thông qua ảnh viễn thám và GIS cũng bắt đầu được nghiên cứu theo các phương pháp hồi quy, phi tham số kNN (Franklin, Franklin và McDermid (1993 - 2001), Rauste và cộng sự (1994 - 2006), Trotter (1997), Tomppo và cộng sự (1999), Lu và cộng sự (2004), Nguyễn Thị Thanh Hương (2009, 2011), ... Tuy nhiên các nghiên cứu này chỉ tập trung ở rừng trồng và rừng ôn đới. Nghiên cứu của Nguyễn Thị Thanh Hương (2009, 2011) ở rừng nhiệt đới cũng chỉ thực hiện trong một phạm vi nhỏ ở rừng thường xanh và chỉ dừng lại ở việc ước lượng trữ lượng lâm phần. 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.

Chương trình UN-REDD⁺ hướng đến tạo ra sinh kế, thu nhập cho người nghèo, các cộng đồng đang được giao đất giao rừng để quản lý bảo vệ (IUCN (2007), FAO (2010)), để việc từ chi trả tín chỉ carbon đến được cộng đồng, họ cần tham gia giám sát thay đổi các bể chứa carbon rừng. Vì vậy trong một số quốc gia đang phát triển thực hiện REDD⁺ đã bắt đầu xây dựng các hướng dẫn đo tính carbon rừng có sự tham gia (Patrick (2008), Skutsch và cộng sự (2009), Silva và cộng sự (2010), Bảo Huy (2009 – 2012)). Trên cơ sở nghiên cứu các công nghệ, kỹ thuật đo tính giám sát carbon rừng, cần phát triển bộ công cụ thích hợp, đơn giản để cộng đồng có thể tiếp cận đo tính, cung cấp dữ liệu để chuyển đổi sang sinh khối, carbon đạt yêu cầu của IPCC.

Vì vậy việc nghiên cứu đề tài: “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” sẽ góp phần giải quyết các vấn đề, nhu cầu nói trên. Tuy nhiên nó cũng được giới hạn trên đối tượng là rừng lá rộng thường xanh trong khu vực Tây Nguyên.

2 TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

2.1 Chương trình REDD⁺

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

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

Các cơ chế của REDD⁺ vẫn còn đang được đàm phán ở cấp độ của UNFCCC. Trong vài năm qua những đường nét của cơ chế này đã nổi lên, và trên cơ sở đó các nước có thể bắt đầu chuẩn bị cho việc thực hiện một chương trình quốc gia REDD⁺. Tổng quan về lịch sử của REDD⁺ như sau (FCCC, 1997 – 2011):

Năm 1997, UNFCCC đã thông qua Nghị định thư Kyoto, với mục tiêu giảm phát thải ràng buộc đối với các nước Phụ lục I – Các nước công nghiệp đã phát triển. Trong khi đó một số nước không nằm trong Phụ lục I – Các nước đang phát triển, sử dụng Cơ chế phát triển sạch trong đó có trồng rừng hoặc tái trồng rừng, còn được gọi là AR-CDM. Theo AR-CDM trồng rừng có thể được đặt ra ở các nước đang phát triển, rừng

được trồng trên đất không có rừng trước năm 1990. Do những hạn chế và phức tạp của CDM nên chỉ thực hiện ở một số ít các dự án đã được phê duyệt.

Vì sự thất bại toàn diện của ngành lâm nghiệp trong Nghị định thư Kyoto đã dẫn đến sự thành lập Liên minh các quốc gia rừng mưa. Liên minh này bao gồm 20 quốc gia từ các vùng nhiệt đới đã yêu cầu Ban Thư ký của UNFCCC thêm một mục vào chương trình nghị sự của Hội nghị lần thứ 11 (COP11) của UNFCCC tại Montréal, tháng 12 năm 2005, để thảo luận đề trình của Papua New Guinea và Costa Rica về: “Giảm phát thải từ nạn phá rừng ở các nước đang phát triển: Phương pháp tiếp cận để kích thích hành động” (REDD). Tài liệu này kêu gọi các bên xem xét việc giảm lượng khí thải từ nạn phá rừng như là một lựa chọn theo Nghị định thư Kyoto hoặc như một công cụ mới hoàn toàn. Hội nghị các bên đã chấp nhận lời kêu gọi từ Papua New Guinea và Costa Rica và kêu gọi các bên tham gia và cơ quan tư vấn khoa học và công nghệ của UNFCCC để tiếp tục phát triển các tùy chọn để thảo luận tại COP13.

Tại hội nghị lần thứ 13 (COP13) của UNFCCC ở Bali, tháng 12 năm 2007, REDD được tiếp tục thảo luận và phạm vi của nó đã được mở rộng để bao gồm việc giảm phát thải khí nhà kính từ suy thoái rừng, tăng cường trữ lượng carbon rừng và bảo tồn trữ lượng carbon rừng và quản lý bền vững rừng. Cơ chế được đổi tên chính thức cho đến hiện tại là: “Giảm phát thải từ nạn phá rừng và suy thoái rừng ở các nước đang phát triển và vai trò của bảo tồn, quản lý bền vững rừng và tăng cường trữ lượng carbon rừng ở các nước đang phát triển”, viết tắt là REDD⁺. COP13 cũng chứng kiến sự ra mắt của Chương trình UN-REDD – một chương trình hợp tác của FAO, UNDP và UNEP để thí điểm REDD⁺ ở các nước đang phát triển thông qua Quỹ đối tác carbon rừng (FCPF) của Ngân hàng Thế giới.

COP15 – Copenhagen, tháng 12 năm 2009 không cung cấp sự tiến bộ nhiều cho REDD⁺, nhưng nó đã cung cấp một định nghĩa rõ ràng hơn về MRV: Giám sát, báo cáo và thẩm định và nhu cầu thành lập một “hệ thống giám sát rừng quốc gia”, để phân tích, báo cáo lượng khí thải giảm. Đồng thời đã công nhận “nhu cầu của cộng đồng địa phương và bản địa được tham gia đầy đủ, hiệu quả và đóng góp tiềm năng kiến thức của họ trong theo dõi và báo cáo các hoạt động”

Tại COP16 ở Cancun, Mexico, tháng 12 năm 2010 đã có nhiều tiến triển hơn đã được thực hiện về các vấn đề kỹ thuật như đưa các giai đoạn thực hiện của hệ thống giám sát rừng quốc gia. Đặc biệt là một số biện pháp bảo vệ rừng đã được xác định cần được thúc đẩy và hỗ trợ “trong việc thực hiện các hoạt động REDD⁺”. Trong đó nhấn mạnh tôn trọng các kiến thức và quyền của các dân tộc bản địa và các thành viên của cộng đồng địa phương.

Cuộc họp gần đây nhất của UNFCCC, COP17 ở Durban, tháng 12 năm 2011 đã công nhận những lợi ích phụ từ REDD⁺, đặc biệt là nó có thể “thúc đẩy xóa đói giảm nghèo và lợi ích đa dạng sinh học và khả năng phục hồi hệ sinh thái”. REDD⁺ xác định cơ chế hoạt động bao gồm 5 lĩnh vực chính:

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

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

2.2 Cơ sở đo tính, giám sát khí phát thải gây hiệu ứng nhà kính từ suy thoái và mất rừng

IPCC (2006) đã phát triển một bộ hướng dẫn cho các quốc gia để điều tra giám sát phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính nói chung, trong đó có vấn đề giám sát phát thải khí CO₂ từ suy thoái và mất rừng. Có 5 bể chứa carbon quan trọng trong rừng được xác định: i) Trong thực vật trên mặt đất (Above ground biomass – ABG), bao gồm trong 4 bộ phận thân cây trên mặt đất là thân, cành, lá và vỏ cây của cây gỗ và cả thảm tươi cây bụi; ii) Trong thực vật dưới mặt đất (Below ground biomass – BGB) với chủ yếu trong rễ cây rừng; iii) Trong thảm mục (Litter); iv) Trong gỗ chết (chết đứng hoặc đã ngã đổ) (Dead wood); và v) Trong đất dưới dạng carbon hữu cơ (Soil organic carbon – SOC). Việc giám sát phát thải CO₂ từ rừng là giám sát sự thay đổi các bể chứa carbon này cùng với diện tích rừng, từ đó tính được sự gia tăng hay suy giảm bể chứa carbon hay nói khác là sự gia tăng hay giảm phát thải CO₂ từ quản lý rừng, làm cơ sở cho việc buôn bán tín chỉ carbon rừng.

Để giám sát sinh khối và CO₂ phát thải từ rừng ở cấp quốc gia, IPCC đưa ra ba cấp độ, theo đó các quốc gia có thể lựa chọn tùy theo nguồn lực:

Cấp độ 1 (Tier 1): Thích hợp với các quốc gia khi mà việc giám sát thay đổi diện tích rừng và phát thải từ rừng là chưa sẵn sàng. Sự thay đổi bể chứa carbon rừng có thể được ước tính thông qua sử dụng phương pháp “**thu-mất**”, có nghĩa là tăng trưởng carbon hàng năm dựa vào sinh trưởng trữ lượng và suy giảm carbon hàng năm dựa vào sự mất mát trữ lượng trong hệ sinh thái rừng. **Ở cấp độ này có thể dựa vào tăng trưởng trữ lượng bình quân hàng năm để xác định tăng trưởng lượng carbon rừng, xác định sinh khối dưới mặt đất thông qua sinh khối trên mặt đất nhờ hệ số chuyển đổi, hoặc có thể chuyển đổi từ trữ lượng rừng (m³/ha) sang sinh khối nhờ hệ số chuyển đổi hoặc khối lượng thể tích gỗ (wood density) và cuối cùng từ sinh khối ước tính lượng carbon và CO₂ thông qua hệ số của IPCC (2006).**

Cấp độ 2 (Tier 2): Có thể được sử dụng ở các quốc gia nơi có khả năng ước tính sự thay đổi diện tích rừng và nhân tố phát thải. Tier 2 cũng gần giống Tier 1 ở chỗ có thể sử dụng các giá trị tăng trưởng bình quân sinh khối, các hệ số chuyển đổi trữ lượng sang sinh khối; đồng thời có thể sử dụng các giá trị khối lượng thể tích gỗ của các loài cụ thể để ước tính sinh khối. Nó cũng có thể sử dụng các phương pháp khác nhau để tính toán cho các bể chứa carbon. Tier 2 được áp dụng ở các quốc gia khi mà các mô hình, dữ liệu cụ thể đã có.

Cấp độ 3 (Tier 3): Các phương pháp bậc cao và chính xác hơn được áp dụng. Tiếp cận ước tính sự thay đổi các bể chứa carbon với các phương pháp đa dạng, bao gồm các mô hình. Việc thực hiện có thể khác nhau ở các quốc gia do các phương pháp điều tra đo tính và điều kiện rừng cũng như biến động diện tích rừng. Tài liệu hóa minh bạch để có thể thẩm định và sử dụng các mô hình là mấu chốt của Tier 3. Tier 3 yêu cầu có phương pháp điều tra quốc gia chi tiết ở các bể chứa carbon khác nhau. Điều này được hỗ trợ bởi các mô hình sinh học (allometric equations) trên thế giới và được phát triển, hiệu chỉnh cho từng quốc gia để ước tính sinh khối. Ngoài ra hệ thống viễn thám và GIS được áp dụng để giám sát thay đổi diện tích rừng.

Như vậy theo yêu cầu quốc tế để tham gia chương trình REDD⁺, mỗi quốc gia cần lựa chọn cho mình phương pháp cấp độ tiếp cận khác nhau để giám sát thay đổi diện tích rừng và các bể chứa carbon. Trong đó Tier 1 là đơn giản nhất, chỉ cần áp dụng các hệ số, giá trị bình quân có sẵn về tăng trưởng rừng, sinh khối, hệ số chuyển đổi quốc tế thích hợp, tuy nhiên nó có độ tin cậy thấp nhất. Tier 2 đạt độ tin cậy cao hơn dựa vào việc xác định tỷ lệ giữa sinh khối khô với thể tích gỗ của loài, nhóm loài để ước tính sinh khối. Tier 3 có độ tin cậy cao nhất và linh hoạt trên cơ sở có thể ứng dụng các mô hình ước tính sinh khối carbon của thế giới và quốc gia có thể xây dựng, giám sát thay đổi diện tích rừng bằng công nghệ viễn thám GIS, cấp độ này đạt độ tin cậy cao nhất và khuyến khích áp dụng để bảo đảm độ tin cậy trong giám sát phát thải và buôn bán tín chỉ carbon.

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

- Phương pháp thay đổi bể chứa carbon (Stock difference method): Trường hợp này dựa vào lần điều tra đo tính trữ lượng carbon ở các bể chứa, tính toán được tăng giảm bình quân của lượng carbon theo công thức (0.1):

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (0.1)$$

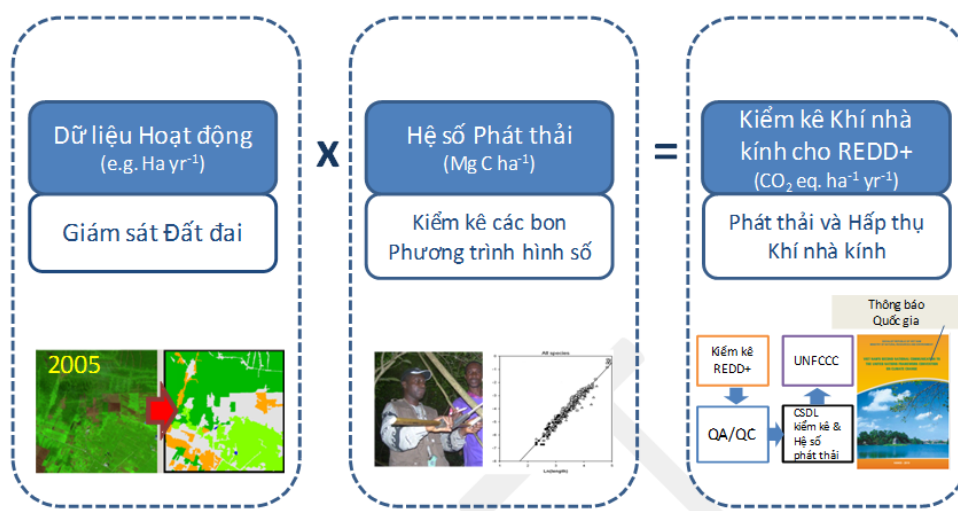
- Phương pháp tăng giảm bể chứa carbon (Gain-loss method): Trường hợp này cần có giá trị tăng giảm bình quân hằng năm của sinh khối/carbon theo công thức (0.2):

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (0.2)$$

Trong đó: - ΔC_B : Thay đổi sinh khối, carbon rừng

- Ct^* : Sinh khối/carbon ở thời điểm 1 hoặc 2
- t : Thời điểm đo tính
- ΔC_G : Tăng trưởng hàng năm sinh khối/carbon
- ΔC_L : Suy giảm hàng năm sinh khối/carbon

Như vậy để tính được phát thải hoặc hấp thụ CO_2 rừng (Emission Factor), cần xác định được lượng carbon ở trong các bể chứa ở các thời điểm, trong đó tập trung phần trên và dưới mặt đất của cây gỗ cho từng loại trạng thái rừng; chúng cần được tính toán qua các hàm sinh học (allometric equations) hoặc các hệ số chuyển đổi tùy theo áp dụng cấp độ nào (Tier). Kết hợp với sự biến đổi diện tích rừng (Activity Data) sẽ chỉ ra được lượng phát thải hoặc hấp thụ CO_2 trong từng khu vực và trên toàn lãnh thổ một quốc gia (trong đó lượng CO_2 được tính bằng 3,67C). Đây là cơ sở để tính toán chỉ carbon trong chương trình REDD⁺. Hình 0.1 minh họa cơ sở tính toán phát thải, hấp thụ cho từng khu vực, lãnh thổ.



Hình 0.1: Tiếp cận của IPCC để tính toán phát thải/hấp thụ khí nhà kính trong lâm nghiệp

(Nguồn: Tài liệu về MRV của chương trình UN-REDD Việt Nam, 2011: Activity data: Dữ liệu thay đổi diện tích rừng (ha/năm); Emission factor: Nhân tố phát thải dựa vào điều tra carbon (Carbon inventory) và hàm sinh học (Allometric equations) (tấn/ha); REDD⁺ GHG: Phát thải khí nhà kính từ REDD⁺ (GHG emissions and removals)

Từ năm 1997, để tính toán lượng phát thải trong vùng lâm nghiệp nhiệt đới, FAO đã xuất bản hướng dẫn ước tính sinh khối và thay đổi sinh khối (Brown, 1997, 2001). Snowdon (2002) khi nghiên cứu hấp thụ carbon rừng đã xác định bốn bể chứa carbon sinh thái là thực vật sống trên mặt đất, cây bụi thảm tươi, trong rễ và đất, và đưa ra phương pháp thu thập mẫu để phân tích hàm lượng carbon trong mỗi bể chứa. Jennier (2004) sử dụng nhiều kiểu dạng mô hình để lập tương quan giữa carbon hấp thụ với đường kính ngang ngực cho các loài cây rừng khác nhau ở Bắc nước Mỹ. Xiaolu (2004) nghiên cứu động thái lượng carbon tích lũy rừng thông qua ô nghiên cứu định vị. Đến năm 2006, để hướng dẫn đo tính, giám sát, thẩm định thay đổi bể

chứa carbon rừng trong chương trình REDD⁺, IPCC (2006) tổng kết đầy đủ tất cả các nghiên cứu trên thế giới để hướng dẫn các quốc gia, dự án REDD⁺ áp dụng. Năm 2007, với nhu cầu giám sát nhanh lượng carbon trong rừng để tham gia các chương trình chi trả dịch vụ môi trường rừng, Trung tâm nghiên cứu Nông Lâm kết hợp thế giới ICRAF (2007) đã phát triển các phương pháp dự báo nhanh lượng carbon lưu giữ thông qua việc giám sát thay đổi sử dụng đất bằng phân tích ảnh viễn thám, lập ô mẫu nghiên cứu sinh khối và ước tính lượng carbon tích lũy. Đồng thời các tổ chức nghiên cứu lâm nghiệp trên thế giới cũng lần lượt phát triển các phương pháp nghiên cứu, đo tính, giám sát carbon rừng như Pearson và cộng sự (2007) thuộc cơ quan phát triển nông nghiệp Hoa Kỳ đã xây dựng hướng dẫn ước tính carbon tích lũy của rừng; MacDicken và cộng sự (1997), Silva và cộng sự (2010) thuộc tổ chức hợp tác quốc tế Winrock Hoa Kỳ đưa ra hướng dẫn giám sát carbon lưu trữ trong lâm nghiệp và nông lâm kết hợp và hướng dẫn kỹ thuật trong thực hiện chương trình REDD⁺ ở các quốc gia lưu vực sông Mê Kông; Bhishma và cộng sự (2010) đưa ra hướng dẫn đo tính carbon rừng cộng đồng ở Nepal. Ở Việt Nam năm 2010, chương trình UN-REDD⁺ Việt Nam và tổ chức hợp tác phát triển Hà Lan (SNV) đã khởi xướng thí điểm đo tính carbon rừng có sự tham gia (PCM) của cộng đồng ở vùng dự án là tỉnh Lâm Đồng và đã bước đầu xây dựng tài liệu hướng dẫn PCM (Bảo Huy, 2011).

2.3 Giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ từ 5 bể chứa carbon rừng

2.3.1 Bể chứa carbon của sinh khối trên mặt đất (Above ground biomass – AGB)

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

Để giám sát hấp thụ hoặc phát thải CO₂ của bể chứa thực vật thân gỗ phần trên mặt đất được tiến hành các nghiên cứu sau:

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

2.3.1.1 Xác định hình dạng, kích thước và số ô mẫu cần thiết để ước tính sinh khối và carbon lâm phần

Nguyên tắc xác định hình dạng, kích thước ô mẫu, số lượng ô mẫu trong điều tra sinh khối, carbon rừng không khác với điều tra trữ lượng cây gỗ theo truyền thống.

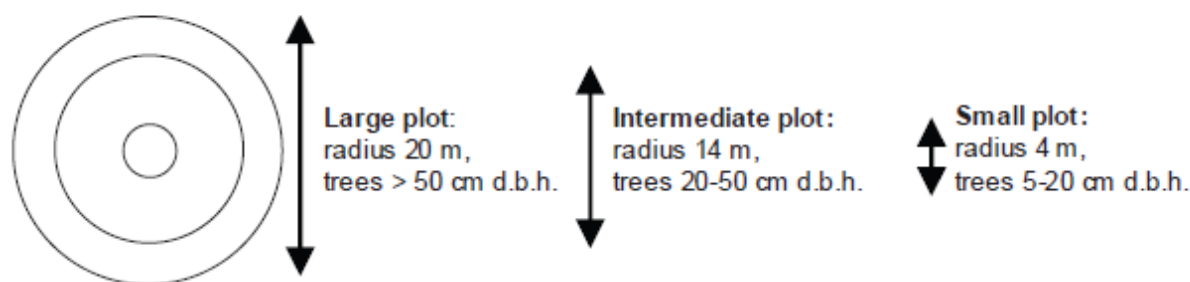
Trong đó kích thước ô mẫu càng lớn thì biến động càng nhỏ, do đó số mẫu có thể ít hơn hoặc ngược lại; còn hình dạng ô mẫu cũng có nhiều kiểu như vuông, chữ nhật, dài, tròn và có hoặc không phân tầng. Hình dạng ô mẫu thường được lựa chọn cho phù hợp với địa hình và thao tác thuận tiện trong rút mẫu (Silva, 2010). Theo Pearson và cộng sự (2007) ô mẫu cố định nên dùng để giám sát carbon đối với cây gỗ và sẽ giảm chi phí điều tra khi lặp lại, còn các bể chứa carbon khác thì nên dùng ô tạm thời.

i) Hình dạng và kích thước ô mẫu:

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

Ở Việt Nam trong điều tra tài nguyên cây gỗ, ô mẫu 500m² với dạng chữ nhật 20*25m hoặc hình tròn với bán kính R = 12,62m thường được áp dụng. Các cây gỗ có đường kính tối thiểu theo quy định sẽ được đo tính hết trong ô (thường là DBH lớn hơn 6 hoặc 10cm).

Tuy nhiên trên thế giới ô mẫu dạng dài có thể được áp dụng trên địa hình dốc để có thể tính toán dễ dàng chiều dài ô theo sườn dốc hơn là ô chữ nhật hoặc vuông. Ngoài ra ô hình tròn cũng được đề nghị áp dụng vì có thể tính toán chiều dài bán kính trên dốc theo từng cạnh thuận tiện. Việc phân tầng ô mẫu, tức là chia ô mẫu thành các ô phụ khác nhau để đo cây theo từng cấp DBH, theo nguyên tắc cấp kính càng nhỏ thì số cây càng nhiều do đó chỉ cần đo trong ô phụ có diện tích nhỏ hơn, ngược lại số cây ở các cấp kính lớn thường ít, do đó ô phụ càng rộng hơn cho đến tối đa. Vì vậy xu hướng chung đề nghị là sử dụng ô mẫu hình tròn có phân tầng (Nested Plot) (Pearson và cộng sự, 2007 (Hình 0.2); Bảo Huy, 2011; Silva và cộng sự, 2010). Bảo Huy (2011) đã áp dụng ô mẫu tròn phân tầng để xây dựng hướng đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng trong khu vực thí điểm của chương trình UN-REDD Việt Nam ở tỉnh Lâm Đồng.



Hình 0.2: Ô mẫu tròn phân tầng theo cấp kính áp dụng ở Hoa Kỳ (Pearson và cộng sự, 2007)

ii) Số lượng ô mẫu cần thiết với độ tin cậy và theo một sai số cho trước:

Phương pháp rút mẫu về cơ bản như là điều tra tài nguyên gỗ, số lượng ô 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

cây 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 75%; 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; Bảo Huy, 2010; Silva, 2010)

Việc rút mẫu đo tính sinh khối cho từng trạng thái, cấp sinh khối rừng dựa vào các tài liệu thống kê kinh điển, số ô mẫu tính cho từng trạng thái dựa vào sai tiêu chuẩn, số trung bình và một sai số cho trước (thường là 10%)

$$n = \left(\frac{z \cdot \sigma}{e \cdot \mu} \right)^2 \quad (0.3)$$

Trong đó n: số ô mẫu cho mỗi trạng thái rừng, z: giá trị biến t trong phân bố chuẩn ở mức $P = 0.95$, σ : Sai tiêu chuẩn, μ : sinh khối trung bình và e: sai số cho phép thường là 10% (lấy giá trị là 0,10).

Một đợt điều tra rút mẫu ban đầu được tiến hành để ước tính sai tiêu chuẩn của sinh khối trên mặt đất hoặc trữ lượng carbon của từng lớp trạng thái rừng và cung cấp cơ sở để tính toán số lượng ô mẫu cần thiết cho điều tra carbon rừng. Mỗi một lớp trạng thái, cấp sinh khối cần rút mẫu 10 – 15 ô ngẫu nhiên trong phạm vi một chủ rừng hoặc vùng sinh thái. Rút mẫu ngẫu nhiên là quan trọng để bảo đảm phản ánh đầy đủ các thay đổi của trạng thái rừng (MacDicken, 1997).

Trường hợp tính số ô mẫu sau đó phân phối lại cho các khối trạng thái, cấp sinh khối được đề nghị áp dụng bởi Pearson và cộng sự (2007); Bhishma và cộng sự (2010); Bảo Huy (2011):

$$n = \frac{(\sum_{i=1}^L NiSi)^2}{\frac{N^2 E^2}{t^2} + \sum_{i=1}^L NiSi^2} \quad (0.4)$$

Với: n = Tổng số ô mẫu trong vùng điều tra; i = Chỉ số của trạng thái từ 1 đến L; L = Tổng số trạng thái; Ni = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái i; Si = Sai tiêu chuẩn của trạng thái i
N = Số lượng ô mẫu tối đa trong vùng điều tra; E = Sai số cho trước, được tính = trung bình chung sinh khối/carbon/ha * sai số tương đối (ví dụ 10% = 0,10); t = Giá trị thống kê của hàm phân bố t ở mức tin cậy 95%, t thường = 2 nếu kích thước mẫu chưa biết.

$$ni = n \cdot \frac{NiSi}{\sum_{i=1}^L NiSi} \quad (0.5)$$

Với: n_i = Số ô mẫu cần thiết cho trạng thái i; i = Chỉ số của trạng thái từ 1 đến L; n = Tổng số ô mẫu trong vùng điều tra; Ni = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái i; Si = Sai tiêu chuẩn của trạng thái i; L = Tổng số trạng thái

Đây là cách tính ô mẫu có phân khối và giúp cho việc cân đối số ô mẫu theo tỷ lệ diện tích và sai tiêu chuẩn của từng khối trạng thái, phương pháp này thuận tiện trong điều chỉnh việc phân chia trạng thái để đạt được số ô mẫu tối ưu và độ tin cậy cần thiết

2.3.1.2 Thiết lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng (Allometric Equations)

Với tầm quan trọng của các bể chứa carbon trong cây gỗ trên mặt đất trong giám sát phát thải CO₂ do suy thoái và mất rừng; trong thập niên qua nhiều tổ chức trên thế giới đã có các nghiên cứu liên quan đến sinh khối rừng và lượng carbon tích lũy trong các hệ sinh thái rừng để đưa ra phương pháp luận hoặc các đề xuất về thể chế chính sách trong việc bảo vệ các khu rừng nhiệt đới vì giá trị môi trường trong tình hình biến đổi khí hậu toàn cầu. Phương pháp nghiên cứu chủ yếu là chặt hạ cây mẫu (destructive sampling) để xác định sinh khối và lập các mô hình ước tính sinh khối của cây gỗ trên mặt đất (allometric equations).

Từ năm 1997 Brown và cộng sự cũng đã bắt đầu nghiên cứu và tạo lập cơ sở dữ liệu phân bố carbon của các khu rừng nhiệt đới, từ đây đã cung cấp cơ sở dữ liệu ban đầu về khả năng hấp thụ carbon của các khu rừng trong khu vực này trên cơ sở các hàm allometric. Về phương pháp nghiên cứu hấp thụ CO₂ của hệ sinh thái rừng, MacDicken (1997) đã lập các mô hình quan hệ giữa sinh khối (biomass) với các nhân tố điều tra rừng như đường kính, chiều cao và mật độ để giám sát carbon hấp thụ trong lâm nghiệp và nông lâm kết hợp. Brown (1997), Chave và cộng sự (2004), Henry và cộng sự (2010), Dietz và cộng sự (2011) và nhiều tác giả khác đã xây dựng hướng dẫn lập các mô hình allometric equations thông qua phương pháp chặt hạ cây (destructive sampling) với thử nghiệm nhiều biến số độc lập khác nhau và phương pháp đánh giá sai số, độ tin cậy của các mô hình này ở các kiểu rừng trong các vùng sinh thái, khí hậu khác nhau trên thế giới.

Để ước tính sinh khối trên mặt đất, cần thiết lập các hàm allometric equations $y = f(x_i)$; trong đó y là sinh khối khô của thực vật trên mặt đất (AGB), x_i : là các nhân tố điều tra cây rừng thông thường để đo tính như đường kính ngang ngực (DBH), chiều cao (H), diện tích tán lá (Ca), đường kính tán lá (CD), khối lượng thể tích gỗ (Wood density).

Phương pháp chủ yếu để thiết lập các mô hình này là chặt hạ cây rừng (destructive sampling) theo cấp kính, loài, khối lượng thể tích gỗ ở các vùng sinh thái, kiểu rừng để thu thập các số liệu y và x_i , từ đây lập các mô hình toán theo các tiêu chuẩn thống kê và kiểm tra độ tin cậy của mô hình. Trong đó sinh khối cây rừng trên mặt đất bao gồm các bộ phận thân, lá, vỏ, cành; mỗi bộ phận được xác định sinh khối tươi, lấy mẫu xác định tỷ lệ sinh khối khô. Để xác định sinh khối khô, mẫu tươi được sấy ở nhiệt độ 80⁰ – 105⁰C cho đến khi không thay đổi khối lượng (Silva (2011), thường là 48 giờ. Khi đã có mô hình thì việc sử dụng là đơn giản chỉ đo các nhân tố điều tra cây rừng là suy được sinh khối khô của thực vật trên mặt đất, từ đây quy đổi ra carbon và lượng CO₂ cây hấp thụ hoặc phát thải nếu rừng bị mất. Thông thường các hàm allometric ước tính AGB thông qua các nhân tố đơn giản như DBH hoặc H, tuy nhiên đối với rừng mưa nhiệt đới, loài cây rất đa dạng và mỗi loài có khả năng lưu giữ carbon khác nhau; nếu mô hình chỉ theo biến số kích thước cây thì thường không đạt

độ tin cậy cao, trong khi đó khối lượng thể tích gỗ có thể phản ánh khả năng lưu giữ carbon của các loài khác nhau theo độ tuổi. Biến số khối lượng thể tích gỗ (WD) được IPCC (2006) định nghĩa là tỷ lệ giữa sinh khối khô với thể tích gỗ tươi không có vỏ, đơn vị g/cm^3 hoặc tấn/m^3 . Henry và cộng sự (2010) khi lập các hàm allometric equations cho rừng nhiệt đới châu Phi đã đưa biến số WD vào: $y = 0.03 \text{ DBH}^{8.16\text{E}-02} \text{CD}^{0.03} + \text{WD}^{0.04}$ trong đó CD (Crown diameter) là đường kính tán lá. Tác giả cũng cho thấy WD phụ thuộc vào điều kiện địa hình, dinh dưỡng đất, ngoài ra tác giả cũng cho thấy biến số CD dùng trong mô hình ước tính sinh khối tốt hơn là biến chiều cao đối với rừng nhiệt đới châu Phi.

Việc lựa chọn mô hình allometric equations với các biến số tham gia khác nhau sẽ dẫn đến độ tin cậy khác nhau (Chave, và cộng sự, 2004), nghiên cứu ở Panama cho thấy ngoài biến số DBH, H, thì cũng cho thấy cần có biến số WD; cũng như vậy khi lập mô hình cho rừng khộp vùng đất thấp Basuki và cộng sự (2009) cũng chỉ ra rằng khi biến số WD tham gia mô hình sẽ cho độ tin cậy cao hơn. Biến số đường kính tán (CD) hoặc diện tích tán lá (Ca) cũng được đề cập để tăng độ tin cậy của hàm ước tính sinh khối (Dietz và cộng sự (2011), Henry và cộng sự. (2010), Johannes và cộng sự (2011)). Rất nhiều tác giả cho thấy mô hình hàm mũ (Power) tỏ ra thích hợp để lập các hàm với một đến nhiều biến số: $y = \exp(a + b \cdot \ln(xi))$. Pearson (2007) đã đề nghị sử dụng hàm này cho các loài cây và kiểu rừng ở Hoa Kỳ. Một số tác giả khác sử dụng hàm parabol bậc 2 như Brown (1989, 1997), và Basuki và cộng sự (2009) khi lập mô hình sinh khối rừng khộp đã so sánh các dạng hàm của Brown (1989), Chave (2005) theo dạng hàm parabol 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.

Để áp dụng các mô hình allometric equations có biến số khối lượng thể tích gỗ (Wood Density – WD), thì IPCC (2006) dẫn theo Baker và cộng sự, 2004b; Barbosa and Fearnside, 2004; CTFT, 1989; Fearnside, 1997; Reyes và cộng sự, 1992 cũng đã đưa một danh sách dụng trọng gỗ khá phong phú các loài cây rừng nhiệt đới, danh sách này có thể được tham khảo khi ứng dụng trong các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây gỗ ở Việt Nam khi chúng ta chưa có đầy đủ dữ liệu WD cho các loài cây gỗ.

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

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

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

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-1.996 + 2.320 \cdot \ln(DBH(\text{cm}))), DBH = 5 - 40\text{cm}, n = 28 \text{ cây}, R^2 = 0.89, \text{ (Brown và cộng sự, 1989) cho rừng khô ở Ấn Độ} \quad (0.6)$$

$$AGB \text{ (kg/cây)} = 10^{(-0.535 + \log(BA(\text{cm}^2/\text{cây}))), DBH = 3 - 30\text{cm}, n = 191 \text{ cây}, R^2 = 0.94. \text{ (Martinez và cộng sự (1992) cho rừng khô ở Mexico.} \quad (0.7)$$

$$AGB = 34.4703 - 8.0671 \cdot DBH + 0.6589 \cdot DBH^2, R^2 = 0.67; \text{ Brown và cộng sự (1989)} \quad (0.8)$$

Đối 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:

$$AGB \text{ (kg/cây)} = 42.690 - 12.800 \cdot DBH + 1.242 \cdot DBH^2, R^2 = 0.84; \quad (0.9)$$

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-2.134 + 2.530 \cdot \ln(DBH)), DBH = 5 - 148\text{cm}, n = 170 \text{ cây}, R^2 = 0.97 \quad (0.10)$$

$$AGB \text{ (kg/cây)} = 38.4908 - 11.7883 \cdot DBH + 1.1926 \cdot DBH^2, R^2 = 0.78 \quad (0.11)$$

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-3.1141 + 0.9719 \cdot \ln(DBH^2H)); R^2 = 0.97 \quad (0.12)$$

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-2.4090 + 0.9522 \ln(DBH^2H \cdot WD)); R^2 = 0.99 \quad (0.13)$$

$$H = \exp(1.0710 + 0.5677 \cdot \ln(DBH)); R^2 = 0.61 \quad (0.14)$$

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

Đối với rừng nhiệt đới 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:

$$AGB \text{ (kg/cây)} = 21.297 - 6.953 \cdot DBH + 0.740 \cdot DBH^2, DBH = 4 - 112\text{cm}, n = 169 \text{ cây}, R^2 = 0.92 \text{ (Brown và Iverson (1992)).} \quad (0.15)$$

Đối 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:

$$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-1.170 + 2.119 \cdot \ln(DBH)); DBH = 2 - 52 \text{ cm}; n = 63 \text{ cây}; R^2 = 0.98 \text{ (dẫn theo Brown, 1989)} \quad (0.16)$$

Các mô hình cho rừng nhiệt đới trên thế giới nói trên được lập với nguồn dữ liệu chưa được nhiều và không được thu thập trên lãnh thổ Việt Nam 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) 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.

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

Rừng khô nhiệt đới:

$$\langle AGB \rangle_{est} = \exp(-2.187 + 0.916 \times \ln(\rho D^2 H)) \quad (0.17)$$

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} = \rho \times \exp(-0.667 + 1.784 \ln(D) \\ + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \end{aligned} \quad (0.18)$$

Rừng ẩm nhiệt đới:

$$\langle AGB \rangle_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 \times \rho D^2 H \quad (0.19)$$

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) \\ + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \end{aligned} \quad (0.20)$$

Rừng ẩm ngập mặn nhiệt đới:

$$\langle AGB \rangle_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 \times \rho D^2 H \quad (0.21)$$

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} = \rho \times \exp(-1.349 + 1.980 \ln(D) \\ + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \end{aligned} \quad (0.22)$$

Rừng ướt nhiệt đới:

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} = \exp(-2.557 + 0.940 \times \ln(\rho D^2 H)) \\ \equiv 0.0776 \times (\rho D^2 H)^{0.940} \end{aligned} \quad (0.23)$$

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} = \rho \times \exp(-1.239 + 1.980 \ln(D) \\ + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3) \end{aligned} \quad (0.24)$$

Trong đó: AGB: sinh khối khô của cây, kg; D: DBH, cm, H: chiều cao, m; ρ : khối lượng thể tích gỗ, g/cm³.

Chave đã công phu trong thu thập dữ liệu thô vùng nhiệt đới để đưa ra các mô hình cho từng kiểu rừng, tuy nhiên dữ liệu thu thập cũng chưa có đại diện ở Việt Nam, do đó các mô hình này cần có kiểm tra độ tin cậy và mức chính xác.

Riêng ở Việt Nam, cho đến nay chưa có nghiên cứu đầy đủ và hoàn chỉnh về xác định sinh khối (biomass) và carbon tích lũy trong các hệ sinh thái rừng tự nhiên ở Việt Nam cũng như công nghệ giám sát để làm cơ sở tham gia chương trình REDD⁺. Về sinh khối rừng được Nguyễn Ngọc Lung (1989) nghiên cứu đầu tiên cho rừng thông thuộc tỉnh Lâm đồng; đã đưa ra phương pháp mô hình hóa sinh khối rừng dựa vào các chỉ tiêu điều tra, giám sát rừng. Nghiên cứu hấp thụ CO₂ của rừng chủ yếu tập trung vào các loài cây rừng trồng để tham gia vào Cơ chế phát triển sạch (CDM). Ngô Đình Quế (2007) đã xác định lượng carbon tích lũy trong các khu rừng trồng các loài keo tai tượng, keo lá tràm, keo lai, thông 3 lá, thông mã vĩ, thông nhựa và bạch đàn. Võ Đại Hải (2009) nghiên cứu hấp thụ CO₂ của rừng trồng bạch đàn *Urophylla*. Vũ Tấn Phương (2006), đã có nghiên cứu xác định trữ lượng carbon của thảm tươi, cây bụi, tương ứng với trạng thái IA, IB theo hệ thống phân loại trạng thái rừng Việt Nam, để làm cơ sở xây dựng đường carbon cơ sở trong các dự án trồng rừng CDM. Như vậy ở Việt Nam một số loài cây trồng rừng chính đã được thiết lập các hàm ước tính sinh khối trên mặt đất.

Bảo Huy và Phạm Tuấn Anh (2008) với tài trợ của Tổ chức Nông Lâm kết hợp thế giới (ICRAF) đã có nghiên cứu thăm dò ban đầu về dự báo khả năng hấp thụ CO₂ của rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên. Kết quả đã xây dựng được phương pháp nghiên cứu, phân tích hàm lượng carbon trên mặt đất rừng bao gồm trong thân, vỏ, lá, cành của cây gỗ và cho lâm phần; đã đưa ra phương pháp dự báo lượng CO₂ hấp thụ cho cây rừng và trên lâm phần rừng tự nhiên. Trên cơ sở đó, năm 2009 đã phát triển phương pháp nghiên cứu các bể chứa carbon trong các hệ sinh thái rừng ở Việt Nam (Bảo Huy, 2009). Ngoài ra đối với mô hình nông lâm kết hợp ví dụ bờ loi đỏ – sắn ở Tây Nguyên, Bảo Huy (2012) cũng đã xây dựng phương pháp ước tính carbon tích lũy trong cây gỗ của mô hình.

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

Tiêu chuẩn thống kê để lựa chọn hàm phù hợp cũng là một vấn đề quan trọng để đạt độ tin cậy cao trong ước lượng sinh khối, carbon. Ngoài các tiêu chuẩn thống kê kinh điển phổ biến để lựa chọn hàm tối ưu như R^2 cao nhất và các tham số gần biến số tồn tại ở mức $P < 0.05$, thì cần sử dụng các tiêu chuẩn thống kê khác để bảo đảm mô hình tiếp cận gần nhất với dữ liệu thực tế, các tiêu chuẩn khác được Chave (2005), Basuki và cộng sự (2009) đề nghị sử dụng là:

AIC (Akaike Information Criterion) khi cần lựa chọn bao nhiêu biến số ảnh hưởng, hoặc các hàm khác nhau, AIC sẽ chỉ ra số biến số ảnh hưởng và hàm tốt nhất:

$$AIC = n \cdot \ln(RSS/n) + 2K \quad (0.25)$$

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): 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 $K = 3$.

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:

$$S\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_{ilt} - Y_i|}{Y_i} \quad (0.26)$$

$S\%$: 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. Đối với các mô hình ước tính sinh khối rừng nhiệt đới theo dạng hàm parabol của Brown (1997) cho $S\% = 43\% - 107\%$, của Chave (2005) thì $S\% = 52\% - 94\%$. Trong khi đó nếu sử dụng hàm mũ được logarit sẽ giảm được biến động này đáng kể như Basuki và cộng sự (2009) thực hiện ở rừng khộp, $S\%$ giảm xuống còn 26 – 30% chung cho các loài.

CF (Correction factor): $CF = \exp(RSE^2/2)$, CF luôn lớn hơn 1. Trong đó RSE: (Residual standard error) 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.

2.3.1.3 Ước tính sinh khối, carbon trên mặt đất của lâm phần

Về nguyên tắc trên cơ sở các hàm allometric equations có thể ước tính carbon cho cây rừng theo cấp kính, từ đây với số liệu rút mẫu theo ô tiêu chuẩn sẽ suy được sinh khối và carbon của lâm phần trên mặt đất. Trên thế giới chưa thấy có nghiên cứu lập mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần.

Brown (1989) đã chỉ ra giá trị sinh khối lâm phần/ha của các quốc gia Châu Á (Bangladesh, Cambodia, India, Malaysia, Myanmar, Phillipines, Sri Lanka) nhưng rất tiếc không có Việt Nam. Số liệu này cho thấy sinh khối /ha rất biến động (từ 10 – 470 tấn sinh khối khô/ha) tùy theo kiểu rừng khô, ẩm, hay ướt và rừng chưa bị tác động hoặc đã bị tác động.

Bảo Huy và Phạm Tuấn Anh (2008) đối với rừng tự nhiên lá rộng ở Tây Nguyên đã bước đầu lập mô hình ước tính tổng lượng carbon trên mặt đất của cây rừng (TAGTC) với nhân tố lâm phần là tổng tiết diện ngang (BA).

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 $> 200m^3$. IPCC (2006) cũng cho thấy tăng trưởng sinh khối trên mặt đất rừng mưa nhiệt đới ở châu Á biến động từ 3.4 – 13.0 tấn/ha/năm. Đối với quốc gia áp dụng Tier 1 thì IPCC (2006) cũng chỉ ra giá trị bình quân của TAGTB đối rừng mưa nhiệt đới là: Rừng mưa 300 tấn/ha, rừng ẩm nửa rụng lá 180 tấn/ha, rừng khô 130 tấn/ha, rừng cây bụi 70 tấn/ha và rừng núi cao là 140 tấn/ha; ứng với tăng trưởng từ 1- 7 tấn/ha/năm.

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): $BCEF = \exp(1.912 - 0.344 \cdot \ln(GSL))$ từ đây suy ra sinh khối lâm phần trên mặt đất $TAGTB = GSL * BCEF$ cho rừng gỗ cứng ở miền đông Hoa Kỳ.

2.3.2 Ước tính sinh khối và carbon thực vật phần dưới mặt đất (Below ground biomass – BGB)

Sinh khối dưới mặt đất của thực vật, đặc biệt là cây gỗ rất khó nghiên cứu, lý do là việc đào rễ để cân sinh khối là một việc làm tốn kém và khó thực hiện đối với các cây gỗ có kích thước lớn, rễ sâu, lan rộng. 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.

Hệ số chuyển đổi từ sinh khối trên mặt đất (AGB) sang sinh khối dưới mặt đất (BGB) của thực vật (R) (IPCC, 2006): Vì lý do đo tính sinh khối dưới mặt đất là khó khăn, do đó IPCC đã dẫn một số kết quả nghiên cứu để đưa ra hệ số chuyển đổi R từ AGB sang BGB: $BGB = R * AGB$. 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 $ABG \geq 125$ tấn/ha thì $R = 0.24$ (biến động 0.22 – 0.33). Dietz và cộng sự (2011) cũng cho thấy tỷ lệ BGB/AGB rất biến động theo đường kính cây rừng. Trong khi đó theo MacDicken (1997) thì $R = 0.2$ ($BGB = 20\% * AGB$).

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) đã chỉ ra mô hình: $TBGTB = \exp(-1.0587 + 0.8836 * \ln(TAGTB))$ với dung lượng quan sát $n = 151$ và hệ số xác định $R^2 = 0.84$.

2.3.3 Ước tính sinh khối gỗ chết (Dead Wood – DW)

Harmon và cộng sự (1993) (dẫn theo Pearson, 2007) định nghĩa gỗ chết (dead wood) bao gồm sinh khối của cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng, và theo IPCC (2006) gỗ chết được đo tính có đường kính $> 10\text{cm}$. Việc 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.

2.3.4 Ước tính sinh khối, carbon trong thảm mục (Litter)

IPCC (2006) 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 (đề nghị là 2mm) và nhỏ hơn đường kính xác định gỗ chết (10cm), nằm trên bề mặt đất rừng. Việc ước tính sinh khối thảm mục chủ yếu 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); Silva và cộng sự, (2010))

Hầu hết các nghiên cứu về hấp thụ CO_2 của thực vật trên mặt đất, trong rễ, cây chết, thảm mục trong nước và trên thế giới đều dùng lại ở ước tính sinh khối, từ đó chuyển sang carbon được sử dụng theo hệ số chuyển đổi (CF - Carbon Fraction) của IPCC (2006). IPCC đã đưa ra hệ số chuyển đổi CF như sau: Đối với tất cả thực vật trên mặt đất rừng nhiệt đới hệ số này là 0.44 đến 0.49 , trung bình là 0.47 (IPCC, 2006 dẫn theo Andreae and Merlet, 2001; Chambers và cộng sự, 2001; McGroddy và cộng sự, 2004; Lasco and Pulhin, 2003); riêng với cây thân gỗ có hệ số là 0.49 , trong đó chia ra với $\text{DBH} < 10\text{cm}$ là 0.46 và $\text{DBH} \geq 10\text{cm}$ là 0.49 (IPCC, 2006 dẫn theo Hughes và cộng sự, 2000). Có nghĩa là từ phần sinh khối tính toán sang carbon bằng cách nhân với hệ số CF (Pearson, 2007); hoặc một số tác giả đề nghị đơn giản hơn là $\text{carbon} = 50\% \text{ sinh khối}$; từ đây lượng hấp thụ hoặc phát thải $\text{CO}_2 = 3.67\text{C}$ (dẫn theo Bhishma và cộng sự (2010)).

2.3.5 Ước tính lượng carbon hữu cơ trong đất (Soil Organic Carbon – SOC)

Đất lưu giữ carbon ở hai dạng trong hữu cơ và không hữu cơ, đối với giám sát bề chứa carbon trong đất, IPCC (2006) đề nghị chủ yếu là carbon hữu cơ trong đất (SOC). Carbon hữu cơ trong đất được xác định đến độ sâu quy định tùy lựa chọn ở mỗi quốc gia và áp dụng thống nhất thông qua các chuỗi thời gian giám sát, thường là $30\text{cm} - 50\text{cm}$. Carbon hữu cơ trong đất nằm trong rễ sống và chết trong đất có đường kính nhỏ hơn 2mm (hoặc có giá trị được lựa chọn bởi từng nước như là đường kính giới hạn cho sinh khối dưới mặt đất). 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 $\% \text{C}$ trong đất; carbon trong đất/ha được tính theo Pearson và cộng sự (2007); IPCC (2006) với độ sâu tầng đất thường là $d = 30\text{cm}$.

$$SOC_{(t/ha)} = \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} * d(\text{cm}) * \%C * 100 \quad (0.27)$$

Để xác định dung trọng đất, mẫu đất đã được xác định thể tích qua ống dung trọng, được sấy khô ở 105°C 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) là LECO RC-412 multicarbon analyzer, Nelson và Sommers (1996) dẫn theo Silva (2010) là LECO CHN-2000 hoặc tương đương; nhưng phương pháp Walkley-Back lại thường được sử dụng.

2.4 Viễn thám và GIS trong giám sát thay đổi sử dụng rừng (Activity Data) và bể chứa carbon

2.4.1 Viễn thám trong phân loại rừng, giám sát thay đổi diện tích rừng và bể chứa carbon rừng

Ảnh viễn thám được sử dụng trong giám sát sinh khối và carbon là cần thiết, trước hết để phân loại rừng, để điều tra trữ lượng carbon theo khối. Điều này có nhiều phương pháp khác nhau tùy vào việc lựa chọn ứng dụng cũng như phần mềm và loại ảnh có sẵn (Silva, 2010). Các phương pháp phổ biến được sử dụng là phân loại phi giám định và có giám định, và đánh giá độ tin cậy để phân chia khối trạng thái rừng phục vụ theo dõi carbon. Ngoài ra trong chương trình REDD⁺, một vấn đề đặt ra là quản lý giám sát nguy cơ mất rừng, vì vậy thường nghiên cứu mối quan hệ giữa diện tích rừng với các nhân tố ảnh hưởng như đường giao thông, sông suối, khu dân cư, độ cao, dốc, ... và ứng dụng công nghệ viễn thám và để lập bản đồ nguy cơ. Phần mềm GEOMOD được đã được phát triển để đáp ứng nhu cầu này (Silva, 2010).

Về ứng dụng ảnh viễn thám trong giám sát hấp thụ carbon rừng cũng được coi như là một công cụ hữu hiệu. ICRAF (2007) giám sát thay đổi sử dụng đất rừng và lượng carbon tích lũy thông qua kết hợp điều tra mặt đất và ảnh viễn thám. Công nghệ viễn thám vì vậy rất cần thiết trong giám sát lượng carbon tích lũy hoặc phát thải do mất rừng, tuy nhiên cần nghiên cứu để đưa ra ứng dụng có độ tin cậy là nhu cầu đang đặt ra cho chương trình REDD⁺.

2.4.1.1 Một số ảnh viễn thám ứng dụng trong quản lý tài nguyên rừng và nghiên cứu 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). 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), Curran (1987). Trong tiếp cận công nghệ viễn thám, mục đích là áp dụng kiến thức về những gì đã biết để giải quyết những vấn đề cụ thể (Franklin, 2001).

Ảnh viễn thám đã được phát triển được sử dụng rất mạnh ở Hoa Kỳ, có các loại ảnh độ phân giải trung bình như Landsat phân giải 30m, thời gian bay chụp 16 – 17

ngày; đến ảnh có độ phân giải siêu cao như IKONOS phân giải 1-4m và QuickBird phân giải đến 0.6 – 3m và thời gian bay chụp lặp lại rất ngắn 1-5 ngày (Pearson và cộng sự 2007). Với các ảnh có độ phân giải cao thì dễ dàng phân loại các đối tượng đồng nhất, và đặc biệt là thời gian chụp ảnh lặp lại rất ngắn, ví dụ ảnh Quickbird chỉ trong 1-4 ngày, do đó có thể giám sát thay đổi diện tích, trữ lượng rừng, carbon rừng thường xuyên, tuy nhiên những ảnh này hiện có giá thành rất cao do đó rất khó tiếp cận ở Việt Nam.

Cho đến nay trên thế giới có rất nhiều dữ liệu viễn thám được sử dụng trong các hoạt động lâm nghiệp. Tùy theo mức độ chi tiết, phân giải, nguồn lực cũng mục tiêu sử dụng và yêu cầu độ chính xác để chọn lựa loại ảnh. Có thể liệt kê một số ảnh phổ biến với các đặc điểm chính như sau:

- **Ảnh vệ tinh MODIS:**

Dữ liệu ảnh MODIS với số kênh phổ là 36 kênh, ở dạng 12 bit, độ phân giải không gian là 250m, 500m và 1.000 m. MODIS có chu kỳ chụp lại cao và trong một ngày đêm có thể thu nhận được 2 ảnh ban ngày và 2 ảnh ban đêm đối với mọi vùng trên trái đất. Nó có đặc tính chụp phủ vùng rộng lớn (2.230 km), độ phân giải cao cộng với nhiều kênh thiết kế chuyên đề và tính hiệu chỉnh ảnh hưởng khí quyển đã làm tăng khả năng sử dụng ảnh MODIS trong nghiên cứu những vùng nhiệt đới nhiều mây.

- **Ảnh vệ tinh NOAA:**

Vệ tinh NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) chuyển động trong quỹ đạo đồng bộ với mặt trời và chu kỳ lặp lại là 101,4 phút, với góc nghiêng của mặt phẳng quỹ đạo so với mặt phẳng xích đạo là 98.7°. Đây là một trong những vệ tinh của Mỹ. Bộ cảm đặt trên vệ tinh NOAA thích hợp với quan sát Trái đất với độ phân giải bức xạ rất cao.

- **Ảnh vệ tinh LANDSAT:**

Vệ tinh LANDSAT là vệ tinh tài nguyên của Mỹ, do cơ quan hàng không và Vũ trụ NASA (National Aeronautics and Space Administration) quản lý. Nó được thiết kế đầu tiên như là thử nghiệm kiểm tra và đến nay đã có 7 thế hệ LANDSAT được nghiên cứu phát triển với số lượng kênh phổ và độ phân giải khác nhau. Ảnh LANDSAT ETM+ ghi phổ trên 8 kênh ở các bước sóng giống như của ảnh Landsat TM, điều khác biệt là ở LANDSAT ETM+, kênh hồng ngoại nhiệt (Thermal) có độ phân giải cao hơn 60m x 60m (LANDSAT TM: 120m x 120m) và có thêm kênh toàn sắc (Pan) với độ phân giải là 15m x 15m (LANDSAT TM: 30m x 30m). Dữ liệu của vệ tinh LANDSAT được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới như thành lập bản đồ thảm phủ, bản đồ sử dụng đất, bản đồ đất, đặc biệt là trong giám sát tài nguyên rừng và môi trường. Sự thành công của LANDSAT là nhờ vào việc kết hợp nhiều kênh phổ để quan sát mặt đất.

- **Ảnh vệ tinh ASTER:**

Ảnh vệ tinh ASTER được thu từ bộ cảm ASTER trên vệ tinh Terra, có độ trùm phủ giống như ảnh vệ tinh SPOT là 60 km x 60km. Bộ cảm ASTER được cấu thành từ 3 phụ hệ riêng rẽ, mỗi hệ phụ hoạt động trên một hệ quang riêng biệt. Với 14 kênh phổ, trong đó có 3 kênh trong dải sóng nhìn thấy và hồng ngoại gần (VNIR) với độ phân giải 15m, 6 kênh trong dải sóng hồng ngoại sóng ngắn (SWIR) với độ phân giải 30m và 5 kênh trong dải sóng hồng ngoại nhiệt (TIR) với độ phân giải 60m. Đồng thời bộ cảm ASTER luôn thu nhận ảnh lập thể dọc tuyến (Along track) nên việc xây dựng mô hình DEM ở đây là rất tốt. Các ứng dụng chính của ảnh ASTER là quan sát đất liền, biển, mặt tuyết, quá trình mây; nghiên cứu về động lực và cấu trúc của thực vật; nghiên cứu về cân bằng phóng xạ của khí quyển, mây, sự mở rộng và đặc tính tầng đối lưu; xác định nồng độ và biến động của các khí nhà kính; nghiên cứu về núi lửa và các quá trình bề mặt của trái đất.

- **Ảnh vệ tinh SPOT:**

Ảnh vệ tinh SPOT (Systeme Pour l' Observation de la Terre) được cơ quan hàng không Pháp chế tạo và phát triển. Vệ tinh đầu tiên là SPOT-1 được phóng lên quỹ đạo năm 1986, tiếp theo là các vệ tinh SPOT-2, SPOT-3, SPOT-4, SPOT-5 lần lượt vào các năm 1990, 1993, 1998 và 2002 được đưa vào hoạt động. Các bộ cảm của vệ tinh SPOT bao gồm: HRV (High Resolution Visible) sử dụng cho SPOT – 1, 2, 3; HRV (High Resolution Visible) và HRVIR (High Resolution Visible and Middle Infrared) sử dụng cho SPOT-4 và HRG (High Resolution Geometric) sử dụng cho SPOT-5. Trong các ảnh vệ tinh SPOT thì SPOT 5 mang theo công nghệ lập thể mới với một kênh toàn sắc và 4 kênh đa phổ. Độ phân giải từ 5 – 10m. Hiện nay, ảnh SPOT được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như nghiên cứu hiện trạng sử dụng đất, khai khoáng trong địa chất, thành lập bản đồ tỷ lệ 1: 30.000 đến 1:100.000, nghiên cứu về thực vật ở cấp độ khu vực, vùng, địa phương. Ảnh SPOT có thể ghi phản xạ phổ của toàn mặt đất với sự khác biệt về dữ liệu, độ phân giải cao và có khả năng nhìn nổi, nhạy cảm về hồng ngoại cho thực vật.

- **Ảnh vệ tinh IKONOS:**

Ảnh IKONOS được thu từ vệ tinh tạo ảnh vũ trụ phân giải siêu cao tần. IKONOS được phóng lên quỹ đạo vào ngày 24 tháng 9 năm 1999 bởi công ty Space Image. Độ lặp lại quỹ đạo tại một điểm trên trái đất là sau 11 ngày, độ rộng của ảnh trên mặt đất là 11 km và độ phủ là 11km x 11km. Ảnh có trên 4 kênh đa phổ với độ phân giải là 4m và kênh toàn sắc có độ phân giải là 0.6-1m.

2.4.1.2 Viễn thám trong quản lý giám sát tài nguyên rừng

Một trong những yêu cầu quan trọng của quản lý rừng là cần có thông tin khách quan về sự thay đổi diện tích và chất lượng rừng. Từ phương pháp điều tra truyền thống chủ yếu được thực hiện trên mặt đất thì nay việc phối hợp giữa điều tra mặt đất và công nghệ viễn thám đã làm giảm đáng kể nguồn nhân vật lực, đặc biệt tăng thêm

độ chính xác kết quả điều tra và thông tin về rừng được cập nhật liên tục. Trong quản lý tài nguyên rừng, ứng dụng viễn thám được thực hiện như trong thành lập bản đồ rừng, ước lượng các thuộc tính rừng hoặc phân tích thay đổi thảm phủ theo thời gian.

i) Viễn thám trong lập bản đồ phân khối rừng và thảm phủ rừng:

Một trong những áp dụng phổ biến của viễn thám trong lâm nghiệp là thành lập các bản đồ chuyên đề. Hàng loạt các nghiên cứu đã sử dụng các dữ liệu viễn thám khác nhau cùng với các thử nghiệm phương pháp khác nhau để thiết lập bản đồ hiện trạng hoặc thảm phủ, hoặc phân khối trạng thái rừng (Brown và cộng sự, 1999; Salovaara, 2005). Độ chính xác quan tâm liên quan đến mục tiêu sử dụng ảnh như là phân loại rừng hay là diện tích (Foody, 2002). Khi các lớp phân loại càng tăng khả năng sai số càng tăng, ví dụ trong một nghiên cứu phân loại rừng nhiệt đới được thực hiện ở Brazil, Souza và cộng sự (2003) đã đưa ra kết quả độ chính xác toàn bộ là 93% khi phân thành 2 loại là có rừng và không có rừng; trong khi đó độ chính xác này là 86% khi phân thành ba lớp bao gồm không rừng, rừng bị suy thoái và rừng qua khai thác chọn. Tương tự như vậy, Trisurat và cộng sự (2000) đã sử dụng phương pháp phân loại có giám định để phân loại ảnh Landsat TM thành sáu loại, kết quả đưa ra độ chính xác toàn bộ là 79%. Nguyễn T.T. Hương (2011) 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) 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, trồng cỏ, cây bụi và đất trống; độ chính xác toàn bộ trong nghiên cứu này đạt được khá cao. So sánh độ chính xác của các phương pháp được sử dụng khác nhau, Mallinis và Koutsias (2008) đã kết luận trong nghiên cứu của họ 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%).

ii) Viễn thám trong ước lượng các nhân tố điều tra rừng:

Trong các thập kỷ gần đây, cung cấp nguồn thông tin đa dạng về tài nguyên rừng thường được yêu cầu trong quản lý và giám sát tài nguyên rừng. Thông tin thu thập từ ảnh vệ tinh có thể chính xác trong một vài tình huống song không phải là tất cả. Ngược lại, một vài nhân tố điều tra có thể dễ dàng thu thập trong khi một số nhân tố lại khó khăn hoặc tốn kém thậm chí không thể tiếp cận được. Vì vậy phối hợp giữa nguồn dữ liệu được điều tra trực tiếp cùng với dữ liệu được cung cấp từ viễn thám trở nên hữu dụng đặc biệt (Nguyễn T.T. Hương, 2009).

Trong điều tra rừng, viễn thám được sử dụng như phương tiện để phân khối rừng thành các nhóm tương đối đồng nhất, đây cũng chính là bước đầu tiên trong thiết kế lấy mẫu đa giai đoạn. Vì viễn thám có mối quan hệ thống kê hoặc vật lý với nhân tố rừng, do vậy nhân tố điều tra rừng có thể được cung cấp thông qua phân loại giá trị phổ bằng các mô hình thực nghiệm hay bán thực nghiệm (Franklin 2001).

Hàng loạt các phương pháp khác nhau được sử dụng để xác định mối quan hệ giữa nhân tố điều tra với thông tin ảnh viễn thám. Phương pháp hồi quy và tương quan là hai phương pháp cổ điển được sử dụng để xây dựng mối quan hệ giữa nhân tố điều tra rừng với ảnh viễn thám như Franklin và McDermid (1993), Poso và cộng sự (1999). Hiện tại phương pháp phi tham số K-nearest neighbor (kNN) cũng đã được sử dụng trong ước lượng nhân tố điều tra rừng (Tomppo và cộng sự, 1999; Makela và Pekkarinen, 2004; Nguyễn T. T. Hương, 2011).

Trotter và cộng sự (1997) đã thử nghiệm mối quan hệ giữa trữ lượng lâm phần rừng ôn đới với 7 kênh của ảnh Landsat TM, mô hình hồi quy được sử dụng nhưng kết quả đạt được rất thấp ($R^2 = 0.29$). Tuy vậy nghiên cứu của Donoghue và cộng sự (2002) đã cho kết quả rất khả quan khi thiết lập mối quan hệ hồi quy giữa ảnh vệ tinh Landsat và SPOT với chiều cao cây và tiết diện ngang. Kết quả đạt được $R^2=0.86$, $P<0.01$ và $R^2=0.61$, $P<0.01$.

Trên đối tượng rừng ôn đới, Peterson và cộng sự (1987) phát triển hồi quy giữa chỉ số lá (LAI) với dữ liệu ảnh bằng hàm tuyến tính logistic và hàm tuyến tính. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra hàm logistic thể hiện được mối quan hệ tốt hơn với độ chính xác đạt 91% so với hàm tuyến tính đơn thuần với độ chính xác là 83%.

Một số tác giả cũng đã thử nghiệm mối quan hệ hồi quy trên lâm phần rừng nhiệt đới như Lu và cộng sự (2004), Mallinis và cộng sự (2004), Nguyễn T.T. Hương (2009),... 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. Sử dụng các band Landsat TM 2, 3, 7 thiết lập mô hình hồi quy với mật độ, sinh khối, tiết diện ngang và thể tích, Lu và cộng sự (2004) đã chỉ ra ước lượng tốt nhất đạt được từ mật độ lâm phần, tuy vậy kết quả ước lượng cũng rất thấp ($R^2_{adj}=0.3$). Với ảnh SPOT 5, ảnh thành phần chính PCA (Principle component analysis) 1,2,3 và NDVI, Nguyễn T.T. Hương (2011) đã ước lượng trữ lượng lâm phần rừng thường xanh đã bị tác động ở các mức độ khác nhau, kết quả cho thấy sử dụng ảnh SPOT5 4 band cho kết quả tốt nhất với $R^2_{adj} = 0.54$ ($P<0.000$) so với các ảnh khác như PC 1,2,3 ($R^2_{adj} = 0.48$; với $P<0.000$) và ảnh NDVI ($R^2_{adj} = 0.31$ với $P<0.000$).

Kỹ thuật kNN có thể thuận lợi hơn cách tiếp cận truyền thống là hồi quy vì nó không yêu cầu giả định về phân bố của các biến số (Tomppo và cộng sự, 1999; Linton và Härdle, 1998; Efromovich, 1999). Thuận lợi của phương pháp này là phối hợp điều tra đa dữ liệu như kết hợp dữ liệu viễn thám, ô mẫu điều tra và các biến phụ trợ và cho phép ước lượng đồng thời các biến phụ thuộc. Tiếp cận kNN được sử dụng cho phân

loại rừng (Kurzer, 2008, Thesler và cộng sự, 2008) và ước lượng các nhân tố điều tra như tiết diện ngang, trữ lượng lâm phần,...(Nguyễn T.T. Hương, 2011; Makela và Pekkarinen, 2004; Tokola và cộng sự, 1996; Tomppo và cộng sự, 1999). Tương tự như phương pháp hồi quy, phương pháp kNN có thể cho kết quả tốt ở trường hợp này song có thể chưa thỏa mãn trong một số ước lượng khác.

Tóm lại ước lượng nhân tố điều tra rừng thông qua ảnh vệ tinh đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu, tuy nhiên các nghiên cứu này chủ yếu tập trung ở rừng ôn đới và rừng trồng. Rất ít các nghiên cứu thực hiện trên rừng nhiệt đới vì tính phức tạp và điều kiện khó khăn vốn có của rừng nhiệt đới.

2.4.1.3 Viễn thám trong giám sát sinh khối, carbon rừng

Khả năng ước lượng chính xác carbon lưu trữ bởi rừng ngày càng tăng do mối quan tâm của toàn cầu về vai trò của nó trong chu kỳ carbon toàn cầu, đặc biệt là vấn đề giảm nhẹ phát thải carbonic ra khí quyển (Brown và cộng sự, 1996). Tuy vậy không phải tất cả các hoạt động đều cần đến ảnh vệ tinh chẳng hạn như việc giám sát chỉ trong phạm vi nhỏ.

Kỹ thuật viễn thám có tiềm năng hữu dụng cho giám sát thường xuyên carbon được lưu trữ bởi rừng, nhưng việc sử dụng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như phạm vi thực hiện, năng lực tài chính, nguồn nhân lực và loại dữ liệu được yêu cầu. Hướng dẫn của IPCC (IPCC 2003) 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. Theo Brown (2002) 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), do vậy sinh khối rừng có thể được ước lượng từ mối quan hệ này bằng các mô hình toán học. Một loạt tiếp cận đã được đề xuất để lượng hóa sinh khối bằng việc sử dụng hệ thống viễn thám tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào chỉ ra kỹ thuật phù hợp và có khả năng áp dụng ở cấp vùng hoặc cấp lục địa (Rosenqvist và cộng sự, 2003). Theo IPCC (2003), dữ liệu ảnh được lựa chọn cần phải theo phạm vi địa lý của vùng quan tâm và với độ phân giải phù hợp. Chẳng hạn thiết lập bản đồ ở cấp toàn cầu, độ phân giải ảnh có thể từ thấp cho đến trung bình như NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) Häme và cộng sự (1996), Dong và cộng sự (2003); hoặc sử dụng ảnh MODIS như Baccini và cộng sự (2004), Xia và cộng sự (2005). 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; Fazakas và cộng sự, 1999; Krankina và cộng sự, 2004; Turner và cộng sự, 2004). Trong thời gian gần đây lập bản đồ sinh khối rừng dựa trên ảnh radar cũng đã được khai thác bởi một số tác giả

như Rauste và cộng sự (1994), Rauste (2005), Rauste, (2006). Tuy vậy theo Achard và cộng sự (2001), thách thức trong phát triển các mô hình ước lượng 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.

Nói chung phương pháp ước lượng carbon dựa trên ảnh viễn thám cũng tương tự như các nhân tố điều tra rừng khác, đa số các nghiên cứu sử dụng hồi quy phi tuyến hoặc tuyến tính, một số thử nghiệm với phương pháp kNN cũng đã được thực hiện trên đối tượng là rừng trồng hoặc rừng ôn đới. Kết quả các ước lượng cũng rất khác nhau tùy thuộc vào loại dữ liệu được sử dụng, kiểu rừng và phương pháp áp dụng. Do vậy cần có nghiên cứu phát triển phương pháp kỹ thuật để đưa công nghệ này vào ứng dụng trong chương trình REDD⁺.

2.4.2 Hệ thống GIS trong quản lý tài nguyên rừng và trữ lượng carbon

2.4.2.1 Quản lý tài nguyên rừng bằng GIS

Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là dựa trên hệ thống máy tính để lưu trữ và thao tác thông tin địa lý (Aronoff, 1989). Cũng giống như viễn thám, GIS đã là một công cụ hỗ trợ mạnh trong chức năng quản lý tài nguyên rừng. GIS bắt đầu từ những năm 1960 và 1970, và ngày càng phát triển đầy đủ và toàn diện hơn khi có công nghệ viễn thám phát triển với nguồn dữ liệu không gian đa dạng của các thể hệ và chủng loại vệ tinh. GIS được sử dụng đầu tiên là để thiết lập bản đồ số với nhiều tiêu chí được thể hiện trong bộ dữ liệu thuộc tính của bản đồ đó. Theo Franklin (2001), tiềm năng GIS đóng góp trong việc quản lý rừng bền vững là rất lớn, nó là công cụ lý tưởng để giải quyết các vấn đề như: Tập hợp cơ sở dữ liệu không gian tham chiếu trên tất cả các quy mô có liên quan; cung cấp cho người sử dụng với nhiều công cụ phân tích trong tay để tích lũy thông tin và từ đó có thể thực hiện các phân tích không gian để cung cấp thông tin cần thiết.

Theo Franklin và Wulder (2002), sự hiểu biết về mức độ và tốc độ thay đổi rừng hiện nay là không đủ bởi vì (i) giám sát rừng dài hạn với diện tích lớn để đáp ứng với tình trạng chuyển đổi rừng với bản đồ luôn phải được cập nhật là trong giai đoạn mới bắt đầu (Franklin và Wulder, 2002) và (ii) sự thay đổi đa dạng tài nguyên rừng đã làm khó khăn trong việc phát hiện với độ chính xác đáng tin cậy (Gong và Xu, 2003). Như vậy, các nhà nghiên cứu và các nhà hoạch định chính sách đã thiếu dữ liệu định lượng, dữ liệu thống kê không gian về sự thay đổi đó. Để khắc phục tình trạng thiếu hụt này, cộng đồng khoa học GIS đã bắt đầu khám phá những cách thức mới để phát hiện, mô tả đặc điểm, và theo dõi rừng thay đổi thông qua sự tích hợp viễn thám và công nghệ GIS (Kasischke và cộng sự, 2004).

Tuy vậy GIS không phải là quá trình đơn giản, bởi lẽ nó là một tập hợp lớn sự phức tạp được gộp lại dưới cái tên GIS. Nó bao gồm các đối tượng địa lý như vùng, điểm và đường với những thuộc tính của nó, có tham chiếu hoặc không tham chiếu đến

các thành phần không gian và cấu trúc liên kết phức tạp (Franklin, 2001). Phát triển mạnh trong các thập kỷ gần đây, GIS đã chứng tỏ tính hữu hiệu mạnh của nó trong quản lý và giám sát tài nguyên rừng. Ngoài việc thành lập bản đồ hoặc phân tích thay đổi sử dụng thảm phủ, môi trường GIS còn có thể được sử dụng cho các mục đích riêng biệt như thiết lập các bản đồ điều chế, bản đồ quản lý sản lượng rừng trồng, bản đồ giải pháp kỹ thuật lâm sinh, hoặc thiết kế phân bố ngẫu nhiên ô mẫu điều tra (Bảo Huy, 2009).

2.4.2.2 GIS trong giám sát mất rừng và hấp thụ hoặc phát thải CO₂

Bảo Huy (2009) 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, 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

Ludeke và cộng sự (1990) đã sử dụng phương pháp hồi quy logistic để xác định các nhân tố gần gũi nhất với việc mất rừng. Từ đó đã xác định được các biến độc lập có liên quan mạnh mẽ với biến phụ thuộc (diện tích có rừng hoặc mất rừng) là vị trí của ranh giới rừng với đất khác, vị trí có thể tiếp cận được và vị trí cư trú. Từ kết quả được phát hiện này, nhóm tác giả đã sử dụng công cụ GIS để thực hiện phân tích không gian để xây dựng mối quan hệ thống kê giữa biến phụ thuộc với từng biến độc lập được lựa chọn bởi các mô hình hồi quy logistic.

Trong một nghiên cứu khác ở Philippines, Magcale-Macandog và cộng sự (2006) đã phát triển mô hình dự báo không gian sinh khối của rừng thứ sinh dựa trên hệ thống GIS.

Để ước lượng hàm lượng carbon trong đất rừng, Campbell và cộng sự (2008) đã so sánh độ chính xác ước lượng của hai phương pháp khác nhau. Đầu tiên phương pháp hệ số hồi quy được sử dụng để dự báo cho toàn diện tích dựa trên mật độ carbon trung bình được tính toán. Tiếp cận GIS được áp dụng sau đó dựa 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 để xây dựng mô hình và bản đồ trong 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.

2.5 Đo tính giám sát carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng (PCM) và chi trả dịch vụ môi trường từ REDD⁺

FAO (2010) nhấn mạnh việc hỗ trợ các quốc gia đang phát triển, nơi mà hệ sinh thái rừng đóng vai trò quan trọng được phân bố và cũng là nơi nhiều dân cư phụ thuộc vào rừng. Mất rừng không chỉ tăng cường phát thải khí nhà kính mà còn ảnh hưởng đến sinh kế và văn hóa của cộng đồng địa phương. Paulo và Stephant (2005) đã chỉ ra ảnh hưởng của mất rừng ở các nước nhiệt đới tới biến đổi khí hậu, từ đây đã đưa ra các giải pháp giám sát mất rừng để tham gia thị trường carbon. Vì vậy chương trình REDD⁺ được xem như là một cơ hội để đền bù cho cộng đồng sống phụ thuộc vào rừng thông qua những nỗ lực giám sát, quản lý rừng, bể chứa carbon rừng của họ. Peskett và cộng sự (2008) đã đề xuất thực hiện chương trình REDD hướng đến người nghèo quản lý rừng nhằm mang lại lợi ích trực tiếp thông qua chi trả dịch vụ lưu giữ carbon, tạo việc làm và bảo đảm quyền sử dụng đất rừng cho họ. IUCN (2007) cũng đưa ra yêu cầu bảo tồn tài nguyên rừng cần gắn với giảm nghèo và cải thiện sinh kế, do đó chương trình REDD sẽ là một trong những giải pháp đó. Vấn đề là đưa ra các mô hình để người dân có thể ước tính sinh khối và carbon tích lũy để tham gia REDD, từ đó được chi trả dịch vụ môi trường. Patrick (2008) đã đề xuất xây dựng các mô hình quan hệ giữa sinh khối và carbon tích lũy trong hệ sinh thái rừng với các nhân tố điều tra rừng đơn giản như loài, mật độ, chu vi cây; đây là các nhân tố mà người dân địa phương có thể đo đếm, từ đây giám sát được lượng carbon theo thời gian làm cơ sở cho việc chi trả trong chương trình REDD, cách tiếp cận này được gọi là PCM (đo tính carbon rừng có sự tham gia).

PCM là đo tính, giám sát trữ lượng carbon rừng với sự tham gia của cộng đồng địa phương, trong đó chỉ ra rằng các cộng đồng địa phương có khả năng và tham gia có hiệu quả tham gia trong REDD⁺. Skutsch và cộng sự (2009), Bảo Huy (2011) cho thấy qua PCM trước hết là thu hút được sự tham gia của cộng đồng trong quản lý bảo vệ rừng, nâng cao nhận thức của họ về giá trị môi trường rừng, trên cơ sở đó cộng đồng được chi trả công sức quản lý; nếu cộng đồng được đào tạo họ sẽ tham gia cung cấp dữ liệu thay đổi carbon rừng cho REDD⁺; đồng thời cũng cho thấy chỉ có cộng đồng sống gần rừng mới có thể theo dõi giám sát carbon rừng thường xuyên với chi phí thấp, nếu so sánh việc đo tính được tiến hành bởi các cơ quan chuyên môn, chuyên nghiệp và sai số về số liệu do cộng đồng cung cấp là bảo đảm. Skutsch và cộng sự (2009) đã chứng minh sự hiệu quả của tham gia của cộng đồng ở Tanzania trong đo tính carbon rừng, như sai số trung bình sinh khối của cộng đồng đo tính với cơ quan chuyên nghiệp chỉ từ 1 – 4%; trong khi đó chi phí đo tính của cộng đồng chỉ bằng 30% chi phí của cơ quan chuyên môn, chi phí năm đầu của PCM có cao hơn do cần có các lớp đào tạo.

Trên thế giới hầu như tất cả các nước đã chính thức cam kết để tạo ra sự tham gia đầy đủ và hiệu quả của các cộng đồng địa phương trong REDD⁺. REDD⁺ nói chung đòi hỏi có một sự hợp tác toàn diện và tương tác giữa tất cả các bên liên quan

tham gia trong quản lý và sử dụng đất rừng và tài nguyên rừng, trong đó nhấn mạnh sự tham gia của hộ gia đình, cộng đồng.

Trong thời gian qua để tham gia REDD⁺, đã có nhiều cơ quan nghiên cứu, tổ chức phát triển phương pháp luận và các tiếp cận để thu hút người dân địa phương, cộng đồng bản địa trong đo tính, giám sát các bể chứa carbon rừng cũng như thay đổi diện tích rừng (MacDicken, 1997; Patrick van Laake, 2008; Silva và cộng sự (Winrock International), 2010; ANSAB, 2010; Bảo Huy, 2011 – 2012, Thomas và cộng sự, 2011). Phương pháp tiếp cận chủ yếu của PCM là thiết kế các công cụ đo tính, điều tra đơn giản để người dân bản địa có thể tham gia như giám sát thay đổi diện tích rừng bằng GPS, đo tính các nhân tố chủ yếu của rừng như loài, DBH, cân khối lượng thảm mục, gỗ chết, lấy mẫu đất để quy đổi ra sinh khối và carbon trong 5 bể chứa của rừng. Để áp dụng PCM thì bên cạnh đó cần có sự hỗ trợ kỹ thuật, cung cấp thông tin đầu vào của các cơ quan chuyên môn như lập bản đồ phân loại sinh khối rừng dựa vào ảnh viễn thám, tính toán số ô mẫu cần thiết dựa vào biến động của sinh khối, carbon rừng và sai số cho trước. Các công cụ và phương pháp PCM ở các nước, tổ chức về căn bản khá như nhau, tuy nhiên phụ thuộc và nguồn lực địa phương, quốc gia, cũng như công nghệ sẵn có mà các công cụ hỗ trợ cho PCM có biến đổi cho thích hợp. Ở Việt Nam, dựa vào nghiên cứu xây dựng mô hình xác định lượng CO₂ hấp thụ của rừng tự nhiên, Bảo Huy (2009 – 2012) đã xây dựng hướng dẫn kỹ thuật trong đo tính giám carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng địa phương (PCM) và thử nghiệm ở các vùng của chương trình UN-REDD Việt Nam và dự án REDD – SNV của Hà Lan ở 4 huyện Di Linh, Lâm Hà, Cát Tiên và Bảo Lâm thuộc tỉnh Lâm Đồng.

2.6 Thảo luận

Tổng quan vấn đề nghiên cứu cho thấy nhiều tổ chức, cá nhân trong nước và chủ yếu ngoài nước đã hình thành phương pháp luận, cách tiếp cận, kỹ thuật để lập các mô hình đo tính, giám sát sinh khối, trữ lượng carbon rừng, khả năng hấp thụ CO₂ của rừng và lượng phát thải khí nhà kính khi mất và suy thoái rừng từ 5 bể chứa carbon rừng; phương pháp ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong giám sát thay đổi diện tích, trữ lượng carbon rừng; xây dựng các cách tiếp cận thu hút sự tham gia của người bản địa sống gần rừng và đo tính giám sát phát thải CO₂ trong quản lý rừng để chi trả dịch vụ môi trường từ chương trình REDD⁺. Các nghiên cứu này được hình thành và phát triển trong gần 2 thập kỷ qua đã đặt nền móng cho việc xây dựng chương trình REDD⁺ nhằm góp phần giảm nhẹ biến đổi khí hậu và đền bù cho người nghèo sống phụ thuộc vào rừng thông qua nỗ lực duy trì và phát triển các khu rừng nhiệt đới.

Tuy nhiên để thực hiện chương trình REDD⁺ ở Việt Nam, trên cơ sở kế thừa các tiến bộ khoa học kỹ thuật về đo tính giám sát carbon rừng, viễn thám và GIS của thế giới; chúng ta cần có nhiều nghiên cứu hơn để có thể quản lý và cung cấp dữ liệu đáng tin cậy về giảm phát thải CO₂ trong quản lý tài nguyên rừng, đạt độ tin cậy và được thừa nhận bởi tổ chức liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC), từ đó mới nhận được

nguồn tài chính cho quản lý rừng bền vững. Vì vậy các vấn đề sau cần được quan tâm nghiên cứu, phát triển ở Việt Nam:

i) Nghiên cứu lập mô hình đo tính, giám sát sinh khối, carbon của rừng:

Việc đo tính, giám sát sinh khối và carbon rừng trong 5 bể chứa, trên thế giới đã bắt đầu phát triển một số mô hình (allometric equations) để ước tính sinh khối của cây rừng phần trên mặt đất (AGB) cho một số kiểu rừng nhiệt đới, đã đưa ra các giá trị bình quân hoặc chuyển đổi từ trữ lượng rừng gỗ sang sinh khối lâm phần; đối với bể chứa carbon trong rễ cây rừng chủ yếu là đưa ra hệ số chuyển đổi từ phần sinh khối trên mặt đất; sinh khối và các bể chứa carbon trong thảm mục, thảm tươi, cây chết và trong đất chủ yếu là đưa ra kỹ thuật đo tính hiện trường và thông số chuyển đổi từ sinh khối sang carbon.

Trên thế giới đã có một số hàm allometric equations để xác định sinh khối của thực vật thân gỗ trên mặt đất được thiết lập cho một số kiểu rừng vùng nhiệt đới, tuy nhiên số liệu còn ít, chưa đại diện và đặc biệt là chưa có ở Việt Nam, chưa được đánh giá sai số và độ tin cậy, do vậy chưa thể ứng dụng ở Việt Nam; đồng thời cũng mới dừng lại ước tính sinh khối trên mặt đất, lượng carbon tích lũy mới chỉ được ước tính thông qua hệ số chuyển đổi CF của IPCC(2006). Trong khi đó hệ sinh thái rừng nhiệt đới Việt Nam là phức tạp và đa dạng vì vậy cần có nghiên cứu xây dựng phương pháp và cung cấp những mô hình allometric equations cho từng vùng sinh thái, kiểu rừng đạt độ tin cậy và không chỉ dừng lại ở ước tính sinh khối mà còn xác định được lượng carbon tích lũy, có như vậy mới có thể cung cấp dữ liệu giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ từ thực vật thân gỗ trong các kiểu rừng.

Đối với ước tính sinh khối và carbon lâm phần, trên thế giới đối với rừng nhiệt đới chủ yếu là sử dụng hệ số chuyển đổi từ trữ lượng sang sinh khối và carbon lâm phần, do vậy độ tin cậy thấp. Vì vậy lập các mô hình ước tính carbon lâm phần cũng cần đặt ra ở Việt Nam.

Ước tính sinh khối và carbon của rễ cây dưới mặt đất là một vấn đề khó khăn do việc thu thập sinh khối rễ trên hiện trường, do vậy trên thế giới rất ít mô hình cho bể chứa này. Hiện tại theo IPCC chủ yếu là tính chuyển đổi từ sinh khối trên mặt đất thông qua hệ số cho trước. Trong khi đó hệ rễ của cây rừng nhiệt đới rất đa dạng và phức tạp, cách chuyển đổi như vậy có độ tin cậy rất thấp. Vì vậy tiếp tục lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon tích lũy trong bể chứa rễ cây rừng dưới mặt đất là cần thiết.

Các bể chứa carbon khác như trong thảm mục, cây chết, trong đất rừng nhiệt đới hầu như rất ít thông tin, kết quả nghiên cứu; chủ yếu là các kỹ thuật đo tính hiện trường. Do vậy xây dựng các mô hình, phương pháp đo tính, xác định năng lực hấp thụ CO₂ của các bể chứa này ở rừng tự nhiên Việt Nam là cần thiết để có thể cung cấp dữ liệu đầy đủ về các bể chứa carbon của rừng, tỷ trọng của các bể chứa này trong từng kiểu rừng.

ii) Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS trong giám sát thay đổi diện tích, sinh khối và carbon rừng

Cho đến nay có thể khẳng định việc sử dụng dữ liệu viễn thám và công nghệ GIS là không thể thiếu trong quản lý bền vững tài nguyên rừng nói chung và giám sát carbon rừng nói riêng. Đặc biệt là áp dụng trên quy mô rộng, giúp cho quản lý rừng có hiệu quả. Phổ biến nhất trong sử dụng công nghệ viễn thám và GIS trong quản lý rừng là phân loại và thành lập bản đồ thảm phủ rừng. Để ước tính trữ lượng rừng, carbon thông qua ảnh viễn thám cũng bắt đầu được nghiên cứu theo các phương pháp hồi quy, phi tham số KNN 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. Hiếm có nghiên cứu được thực hiện cho rừng nhiệt đới như ở Việt Nam trong xây dựng mối quan hệ giữa nhân tố điều tra rừng, sinh khối, trữ lượng carbon với giá trị ảnh. Điều này do tính phức tạp của điều kiện môi trường rừng nhiệt đới và sự khó khăn trong thu thập dữ liệu. Trong khi đó hiểu biết mối quan hệ giữa đặc điểm phổ của ảnh vệ tinh và các nhân tố điều tra rừng, sinh khối là điều kiện tiên quyết trong sử dụng hiệu quả viễn thám trong giám sát tài nguyên rừng.

Carbon lưu giữ bởi thực vật và đất rừng phụ thuộc vào sự khác biệt về hệ sinh thái, địa lý, thời gian dưới kết quả tác động của con người. Việc đo tính thực địa để ước tính carbon kể cả trên mặt đất và dưới mặt đất đều rất tốn kém trong quá trình thực hiện. Việt Nam hầu như chưa có nghiên cứu nào áp dụng ảnh viễn thám để tìm ra mối quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các đặc điểm ảnh cũng như việc phân loại ảnh trên cơ sở phân lập thành các cấp carbon để giám sát. Do đó ứng dụng viễn thám và GIS là một hướng đi cần được tiếp thu và phát triển ở Việt Nam. Nó cũng là một nhiệm vụ thách thức của nhiều quốc gia đặc biệt là một đất nước đang phát triển như Việt Nam. Tuy vậy với các nghị định thư liên quan đến biến đổi khí hậu và chương trình REDD⁺ gần đây chính là những động lực để các quốc gia tiến hành các nghiên cứu ứng dụng công nghệ trong giám sát carbon rừng để bán tín chỉ carbon. Để tham gia vào tiến trình này, độ chính xác của các cuộc điều tra cần được quan tâm theo các chuẩn mực quốc tế. Do vậy nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS được xem là kỹ thuật tiềm năng trong điều tra và giám sát carbon ở mức độ quốc gia, vùng hoặc toàn cầu.

iii) Phát triển phương pháp tiếp cận có sự tham gia của cộng đồng địa phương trong đo tính giám sát carbon rừng:

Nước ta đã tham gia chương trình UN-REDD⁺ từ năm 2009 nhằm giảm nhẹ sự biến đổi khí hậu thông qua giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng, đồng thời có cơ hội được chi trả dịch vụ hấp thụ CO₂ trong quản lý rừng. Đây cũng là điều kiện để tạo ra sinh kế, thu nhập cho người nghèo, các cộng đồng đang được giao đất giao rừng để quản lý bảo vệ. Đa số các khu rừng giao cho người dân, cộng đồng thường là rừng

non, nghèo, giá trị lâm sản thực tế thu được rất thấp, do vậy thúc đẩy việc tham gia chương trình REDD⁺ sẽ đáp ứng được hai mặt: i) Cộng đồng nghèo có nguồn thu nhập từ các khu rừng nghèo; ii) Rừng non, nghèo được bảo vệ và phát triển, đáp ứng được mục tiêu bảo vệ sinh thái môi trường và giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Để thực hiện được điều này cần thu hút sự tham gia của cộng đồng không chỉ trong bảo vệ rừng mà còn giám sát thay đổi các bể chứa carbon rừng. Vì vậy một số quốc gia đang phát triển có truyền thống lâm nghiệp cộng đồng đã bắt đầu xây dựng các hướng dẫn đo tính carbon rừng có sự tham gia.

Trên cơ sở nghiên cứu xây dựng các mô hình đo tính giám sát carbon trên mặt đất và ứng dụng kỹ thuật viễn thám và GIS, cần phát triển thành các bộ công cụ thích hợp để cộng đồng có thể tiếp cận đo tính, cung cấp dữ liệu để chuyển đổi sang sinh khối, carbon đạt yêu cầu của IPCC. Nó sẽ đóng góp vào việc giám sát carbon rừng trên diện rộng, minh bạch và đặc biệt là khắc phục hạn chế trong cập nhật dữ liệu thường xuyên khi chỉ có cơ quan chuyên môn làm việc này như trước đây, cộng đồng sống gần rừng là một lực lượng lớn đáp ứng tốt việc giám sát và theo dõi rừng thường xuyên và có độ tin cậy.

3 ĐỐI TƯỢNG VÀ ĐẶC ĐIỂM KHU VỰC NGHIÊN CỨU

3.1 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 0.3)

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

11⁰44'34'' đến 14⁰36'25'' vĩ độ Bắc

107⁰11'52'' đến 108⁰59'49'' kinh độ Đông

Hình 0.3: Bản đồ khu vực nghiên cứu



3.2 Đối tượng nghiên cứu

3.2.1 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 trong 5 bể chứa carbon rừng theo IPCC (2006): Trong cây rừng phần trên mặt đất (AGB); trong rễ cây rừng dưới mặt đất (BGB); trong thảm mục, thảm tươi; trong gỗ chết và carbon hữu cơ trong đất (SOC).

3.2.2 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.

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. Bao gồm 183 loài được trình bày trong phụ lục 1.

3.2.3 Ảnh viễn thám

Dữ liệu viễn thám được sử dụng trong nghiên cứu này là ảnh đa phổ SPOT 5 được xử lý ở mức 2A. Ảnh được chụp vào ngày 15 tháng 3 năm 2009 với 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 với độ phủ trên diện tích $60 \times 60 \text{ km} = 3.600 \text{ km}^2$.

3.3 Đặc điểm khu vực nghiên cứu

3.3.1 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
- 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.

3.3.2 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 từ 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 và Sê Rê Pôk.

3.3.3 Tài nguyên rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên

Tây nguyên là vùng có diện tích và trữ lượng rừng lá rộng thường xanh cao nhất trong cả nước. Kết quả ở bảng 0.1 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 0.1: 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

Loại đất loại rừng	Toàn quốc	Tây Nguyên
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
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

Tuy nhiên độ che phủ rừng và diện tích, chất lượng rừng tự nhiên của vùng Tây Nguyên đã có sự suy giảm nghiêm trọng trong giai đoạn 5 năm vừa qua. Theo số liệu báo cáo về tài nguyên rừng hàng năm của Cục Kiểm lâm được tổng hợp trong thời gian 2005 đến 2010 cho thấy: Mặc dù trong giai đoạn này, độ che phủ rừng của toàn quốc có sự tăng lên từ 37 % lên 39,5%, song ở Tây Nguyên đã giảm từ 55,4% xuống còn 52,6%. Điều này cho thấy mặc dù công tác trồng rừng ở Tây Nguyên đã có những thành công nhất định, song sự suy giảm và mất rừng tự nhiên quá lớn, cụ thể từ năm 2005 đến 2010 Tây Nguyên đã mất 174.767 ha rừng tự nhiên nên đã làm độ che phủ rừng suy giảm. Nguyên nhân chính là do khai thác gỗ quá mức, tình trạng khai hoang chuyển đổi rừng để trồng cây công nghiệp như cà phê, cao su, điều....Khai phá đất rừng để trồng cây nông nghiệp của dân di cư tự do. Trong 5 tỉnh Tây Nguyên thì Đắk Nông có diện tích mất rừng là cao nhất gần 100 ngàn ha, các tỉnh khác dao động từ 20 – 50 ngàn ha trong giai đoạn này.

3.3.4 Chương trình REDD⁺ ở Tây Nguyên

Ở Tây Nguyên có tỉnh Lâm Đồng là một trong hai tỉnh trong cả nước đang triển khai chương trình UN-REDD⁺ Việt Nam giai đoạn I. Tại Lâm Đồng, vùng dự án UN-REDD⁺ tại các huyện Lâm Hà và Di Linh; ngoài ra còn có dự án REDD SNV của Hà Lan nằm trên hai huyện Cát Tiên và Bảo Lâm.

Sau khi có kế hoạch sử dụng đất, tỉnh và huyện đã xây dựng bản đồ, đánh giá diễn biến, nguyên nhân mất rừng, suy thoái rừng; tập huấn nâng cao nhận thức; xây dựng hệ thống giám sát trữ lượng cacbon có sự tham gia, hệ thống chi trả, chia sẻ lợi ích đối với hộ gia đình nhận khoán rừng trong vùng dự án REDD⁺. Ngoài ra tổ chức Winrock International cũng xây dựng mô hình REDD với 3.167 ha rừng tại các xã Đa Sar, Đa Nhim, Đa Chais, thị trấn Lạc Dương (huyện Lạc Dương) và Xuân Trường, Xuân Thọ (Đà Lạt).

4 MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

4.1 Mục tiêu nghiên cứu

Thiết lập được một hệ thống mô hình và công nghệ nhằm xác định lượng CO₂ hấp thụ trong các trạng thái của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên để cung cấp thông tin, cơ sở dữ liệu và phương pháp giám sát sự thay đổi của các bể chứa carbon trong hệ sinh thái rừng, làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu khí phát thải từ suy thoái và mất rừng.

4.2 Nội dung nghiên cứu

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

- i) **Xây dựng mô hình (allometric equations) ước tính sinh khối (biomass) và carbon cây rừng.** Bao gồm:
 - Xác định khối lượng thể tích gỗ (WD) theo loài
 - 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 và carbon phần trên mặt đất
 - Mô hình ước tính sinh khối và carbon phần dưới mặt đất (trong rễ cây rừng)
 - Mô hình chuyển đổi giữa sinh khối, carbon và nhân tố điều tra cây cá thể
- ii) **Xây dựng mô hình (allometric equations) ước tính sinh khối, carbon lâm phần.** Bao gồm:
 - Phân cấp chiều cao để ước tính sinh khối, carbon lâm phần
 - Ước tính carbon hữu cơ trong đất (SOC)
 - Ước tính sinh khối và carbon trong thảm mục, thảm tươi và gỗ chết trong lâm phần
 - Mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần và mối quan hệ với các nhân tố sinh thái.
 - Cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần.
 - Dự báo tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO₂ của lâm phần.
- iii) **Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám và GIS trong đo tính, giám sát sinh khối và carbon rừng.** Bao gồm:
 - Ứng dụng ảnh vệ tinh trong ước tính và giám sát sinh khối, carbon rừng
 - Ứng dụng GIS trong quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng
- iv) **Xây dựng hệ thống mô hình và công nghệ đo tính, giám sát carbon rừng để tham gia chương trình REDD⁺**
 - Phân loại rừng theo cấp sinh khối bằng ảnh vệ tinh
 - Thiết kế ô mẫu

- Lựa chọn sử dụng các hàm allometric equations của cây và lâm phần và hàm chuyển đổi từ nhân tố điều tra rừng sang carbon rừng
- Quản lý cơ sở dữ liệu và biến động CO₂ trong GIS

5 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

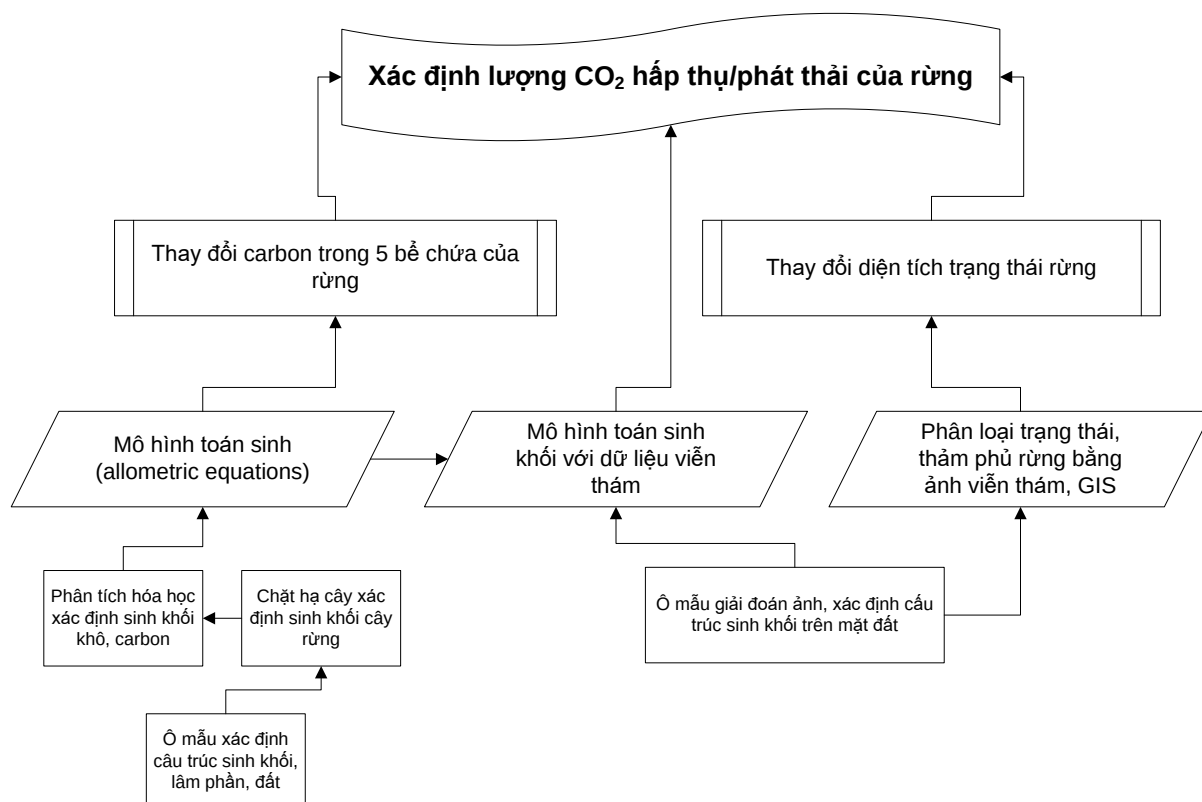
5.1 Phương pháp luận, cách tiếp cận nghiên cứu

Hấp thụ hoặc phát thải CO₂ rừng liên quan đến biến động diện tích, trạng thái rừng và thay đổi 5 bể chứa carbon rừng trên mỗi đơn vị diện tích. Vì vậy nghiên cứu công nghệ, kỹ thuật giám sát hai nhóm nhân tố này sẽ giám sát được khả năng hấp thụ hoặc phát thải CO₂ trong quá trình quản lý rừng.

Ảnh viễn thám và GIS giúp cho việc giám sát thay đổi diện tích rừng, ngoài ra sinh khối và carbon 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 (IPCC (2003); Brown (2002), Dong và cộng sự (2003)), do vậy xây dựng mô hình toán học quan hệ giữa sinh khối và carbon rừng với dữ liệu ảnh viễn thám là cơ sở để ước tính gián tiếp carbon rừng theo thời gian và không gian trên diện rộng bằng công nghệ viễn thám và GIS, giảm chi phí đo tính trực tiếp trên mặt đất với độ tin cậy cho phép.

Để đo tính carbon rừng trong 5 bể chứa cần phát triển các mô hình ước tính sinh khối và carbon gián tiếp thông qua các nhân tố điều tra rừng có thể đo đếm trực tiếp, đơn giản (allometric equations) (Brown (1997, 2001), MacDicken (1997), Chave và cộng sự (2005), Henty và cộng sự (2010)). Trong khi đó để xây dựng các mô hình allometric equations cần đo tính trực tiếp sinh khối, carbon rừng thông qua phương pháp chặt hạ cây (destructive measurement). Đồng thời trên cơ sở sinh khối rừng và lượng carbon tích lũy ở các bể chứa trong rừng tự nhiên có mối quan hệ hữu cơ và năng lực tích lũy carbon của thực vật, đất rừng có mối quan hệ với các nhân tố điều tra cây rừng hoặc lâm phần và với các nhân tố sinh thái. Do đó phương pháp tiếp cận chủ yếu là rút mẫu thực nghiệm, chặt hạ cây rừng theo từng đối tượng để xác định sinh khối, phân tích hóa học xác định lượng carbon lưu giữ trong các bộ phận thực vật, thảm tươi, thảm mục, rễ, trong đất và ứng dụng phương pháp hàm toán học để xây dựng các mô hình ước lượng sinh khối, carbon tích lũy, CO₂ hấp thụ thông qua các biến số điều tra rừng, sinh thái có thể đo đếm trực tiếp. Từ đây làm cơ sở cho việc áp dụng ước tính CO₂ hấp thụ hoặc phát thải của rừng.

Tiếp cận nghiên cứu được minh họa trong hình 0.3.



Hình 0.3: Sơ đồ tiếp cận nghiên cứu

5.2 Phương pháp nghiên cứu cụ thể

5.2.1 Phương pháp thu thập, phân tích, xử lý số liệu để lập mô hình allometric equation ước tính sinh khối và carbon cho cây rừng, lâm phần

Việc thu thập số liệu, phân tích để lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon của cây rừng và 5 bể chứa của lâm phần được tiến hành như sau:

5.2.1.1 Thiết lập ô mẫu, đo tính và lấy mẫu sinh khối, đất trong ô

Ô mẫu được thiết lập theo phương pháp đại diện cho các trạng thái rừng (ICRAF, 2007). Ô mẫu có kích thước 20 x 100m, trung bình 5 ô cho mỗi trạng thái (trạng thái rừng theo thông tư số 34/2009/TT-BNNPTNT về việc phân loại rừng của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, (2009) theo trữ lượng gồm: i) Rừng rất giàu (trữ lượng cây đứng trên 300m³/ha); ii). Rừng giàu (trữ lượng cây đứng từ 201-300m³/ha); iii) Rừng trung bình (trữ lượng cây đứng từ 101 – 200m³/ha); iv) Rừng nghèo (trữ lượng cây đứng từ 10 đến 100 m³/ha) và v) Rừng chưa có trữ lượng (rừng gỗ đường kính bình quân < 8cm, trữ lượng cây đứng dưới 10m³/ha). Trong thực tế rừng chưa có trữ lượng không có trong vùng nghiên cứu, do vậy có 20 ô mẫu ở 4 trạng thái rừng được thiết lập, mỗi ô mẫu được phân chia thành các ô phụ theo cấp đường kính đo đếm, dạng sống và bể chứa carbon khác nhau theo hình 0.4. Phân bố ô mẫu ở ba tỉnh Tây Nguyên ở hình 0.5 và thông tin về ô mẫu ở bảng 0.2.

Bảng 0.2: Thông tin vị trí và trạng thái rừng của ô mẫu nghiên cứu

Mã ô	Tỉnh	Huyện	Xã	XUTM	YUTM	Trạng thái rừng	DTC
TX17	Đắk Lắk	Krông Bông	Cư Drăm	243873	1388813	IIB	0.8
TX11	Đắk Lắk	Krông Bông	Yang Mao	237569	1371652	IIIA1	0.8
TX13	Đắk Lắk	M'Đrăk	Cư San	258775	1390477	IIIA1	0.7
TX15	Đắk Lắk	M'Đrăk	Ea Trang	257884	1391237	IIIA1	0.7
TX8	Đắk Lắk	M'Đrăk	Krông Ấ	256041	1402240	IIIA2	0.8
TX9	Đắk Lắk	M'Đrăk	Krông Ấ	255915	1402011	IIIA2	0.8
TX10	Đắk Lắk	Krông Bông	Yang Mao	238352	1370892	IIIA2	0.8
TX14	Đắk Lắk	M'Đrăk	Cư San	259252	1390739	IIIA3	0.8
TX16	Đắk Lắk	Krông Bông	Cư Drăm	245912	1387143	IIIA3	0.8
TX5	Đắk Nông	Tuy Đức	Đắk Ngo	762009	1338083	IIA	0.5
TX3	Đắk Nông	Tuy Đức	Đắk Ngo	756819	1333820	IIB	0.7
TX4	Đắk Nông	Tuy Đức	Đắk Ngo	762276	1337696	IIB	0.8
TX20	Đắk Nông	Tuy Đức	Quảng Trục	746732	1352766	IIB	0.7
TX1	Đắk Nông	Tuy Đức	Quảng tâm	765440	1344734	IIIA1	0.7
TX2	Đắk Nông	Tuy Đức	Đắk Ngo	755717	1334079	IIIA1	0.5
TX6	Đắk Nông	Tuy Đức	Quảng Tân	763364	1341051	IIIA3	0.8
TX7	Đắk Nông	Tuy Đức	Quảng Trục	755056	1353301	IIIA3	0.8
TX19	Đắk Nông	Tuy Đức	Quảng Trục	746239	1352425	IIIA3	0.8
TX18	Gia Lai	Kbang	Lơ ku	237859	1565734	IIIA1	0.4
TX12	Gia Lai	K Bang	Lơ Ku	239966	1575157	IIIA2	0.5

Thu thập số liệu và lấy mẫu trong ô mẫu:

- i) **Số liệu về vị trí ô mẫu:** Vị trí hành chính xã, huyện, tỉnh; tọa độ địa lý, chủ rừng.
- ii) **Số liệu về nhân tố lâm phần và sinh thái:**
 - 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
- Đất đai: Loại đá mẹ, loại đất, kết cấu đất, % kết von, % đá nỏi, pH đất, độ dày tầng đất. 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.

iii) **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 kinh như sau:

- Ô mẫu chính: 20 x 100m: Điều tra cây gỗ có DBH > 30cm.
- Ô mẫu phụ: 5 x 40m (1 ô trong ô chính): Điều tra cây gỗ có $5\text{cm} < \text{DBH} \leq 30\text{cm}$;
- Ô mẫu phụ: 5 x 5 m (1 ô phụ trong ô chính): Điều tra cây gỗ có DBH $\leq 5\text{cm}$.

iv) **Số liệu về sinh khối của các bể chứa carbon thảm mục, thảm tươi, cây chết, đất rừng và lấy mẫu:**

- Đối với lớp cây bụi thảm tươi, thảm mục:

Thảm mục (litter) 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. 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 cây bụi/ 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 cây bụi/thảm tươi và thảm mục.

- Đối với gỗ chết (Deadwood):

Sinh khối cây chết được xác định cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng theo IPCC (2006) với đường kính > 10cm. Sử dụng ô mẫu phụ: 5 x 5m (1 ô trong ô chính): Cân sinh khối của cây ngã đổ và cành nhánh. Lấy mẫu sinh khối tươi với ba cấp, với 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. (Hình 0.6)



Cân và lấy mẫu gỗ chết (Dead wood) Cân và lấy mẫu thảm mục (Litter)

Hình 0.6: Thu thập và cân sinh khối gỗ chết, thảm mục

- Đối với đất:

Theo IPCC (2006), 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 $50cm^3$ (Hình 0.7) 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 0.7: Xác định dung trọng đất tươi bằng ống dung trọng và cân điện tử – Lấy mẫu đất

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

Trong mỗi ô mẫu $2000m^2$, tiến hành áp dụng phương pháp chặt hạ cây (destructure measurement) theo cấp kính, với cự ly cấp kính là 10cm, bắt đầu với DBH $\geq 5cm$ và cấp kính lớn nhất với DBH $> 75cm$. Mỗi cấp kính chặt hạ trung bình 3 cây, cây chặt hạ được lựa chọn là loài phổ biến, ưu thế trong lâm phần và rải trong ba cấp khối lượng thể tích gỗ là cứng, trung bình và mềm được xác định nhanh ở thực địa. Trung bình có 7 cấp kính ở mỗi ô, tuy nhiên một số ô rừng non, nghèo DBH tối đa nhỏ hơn, do vậy chỉ có 3-5 cấp kính. Đồng thời do đào để lấy toàn bộ rễ của các cây có đường kính $>40cm$ là rất khó khăn và không thể thực hiện thủ công, do vậy một số cây lớn đào rễ được lấy riêng ở khu khai thác gỗ của cây đã khai thác, rễ được đào bằng máy mức cơ giới. Vì vậy tổng số cây chặt hạ được tách ra theo nhóm nhân tố đo tính như sau: Số cây chặt hạ đo tính sinh khối 4 bộ phận cây trên mặt đất (thân, cành, lá, vỏ) là 219 cây (Hình 0.8); số cây chặt hạ đo tính sinh khối rễ dưới mặt đất là 143 cây; tổng số cây chặt hạ để đo tính sinh khối và lấy mẫu 5 bộ phận thân cây trên và dưới mặt đất là 362 cây.



Chặt hạ cây



Cắt khúc thân



Đào rễ cây bằng máy ủi



Rễ cây lớn được đào lên



Bóc vỏ cây

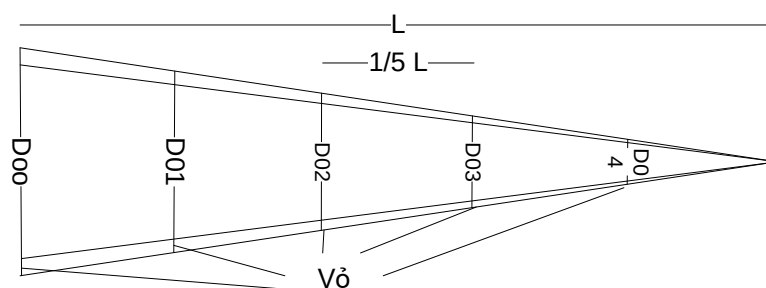
Cắt cành

Thu thập lá

Hình 0.8: 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 (Dt)
- Đo cây ngã: Tuổi cây (A), chiều dài (L)
- Đo các chỉ tiêu 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 0.9), 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 0.9: Phân chia cây chặt hạ thành 5 đoạn bằng nhau để xác định thể tích



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 0.10: Cân khối lượng tươi 5 bộ phận cây chặt hạ

- Cân đo sinh khối tươi 5 bộ phận thân cây (Hình 0.10): Phân chia cây làm 5 bộ phận thân, vỏ, cành, lá và rễ; tiến hành cân khối lượng tươi từng bộ phận. Tuy nhiên đối với các cây có đường kính > 40 cm, không thể bóc vỏ và cân riêng toàn bộ 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 (cm³) 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 của thân và vỏ $w_d = m/v$ (g/cm³), từ đó tính gián tiếp khối lượng tươi thân và vỏ cây: $B(\text{kg}) = w_d(\text{g/cm}^3) \cdot V(\text{m}^3) \cdot 10^3$, trong đó V là thể tích gỗ hoặc vỏ được xác định từ 5 phân đoạn, w_d là khối lượng thể tích tươi của từng bộ phận tương ứng. (Hình 0.11)



Hình 0.11: Xác định khối lượng thể tích gỗ, vỏ tươi ngay trong rừng

Lấy mẫu sinh khối 5 bộ phận của cây chặt hạ: Mỗi mẫu là 100g được cân bằng cân điện tử:

- Số mẫu 4 bộ phận cây trên mặt đất (thân, cành, lá và vỏ): 219 cây x 4 bộ phận x 3 mẫu/bộ phận (mỗi bộ phận ở 3 vị trí, hoặc cấp kích thước) = 2.628 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 3.058 mẫu để phân tích sinh khối khô và hàm lượng carbon. (Hình 0.12)



Mẫu cành



Mẫu lá



Mẫu rễ



Mẫu vỏ



Mẫu thân

Hình 0.12: Lấy mẫu 5 bộ phận bằng cân điện tử

5.2.1.3 Phân tích sinh khối khô và hàm lượng carbon trong thực vật và đất rừng

Mẫu thực vật và đất sau khi thu thập được phân tích trong phòng thí nghiệm để xác định sinh khối khô (biomass) 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, thảm mục, thảm tươi, cây chết. (Hình 0.13)

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

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 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 105⁰C



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

Hình 0.13: Phân tích trong phòng thí nghiệm xác định khối lượng thể tích gỗ, sinh khối và carbon

5.2.1.4 *Tính toán các chỉ tiêu sinh khối, carbon của cây rừng và các bể chứa carbon của lâm phần*

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

$$V = \frac{L \cdot \pi \cdot 10^{-4}}{80} \{ (D_{00} + D_{01})^2 + (D_{01} + D_{02})^2 + (D_{02} + D_{03})^2 + (D_{03} + D_{04})^2 + (D_{04})^2 \} \quad (0.28)$$

Trong đó V (m³): 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} (m³); 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 Ca (m²) = $\pi \cdot Dt^2 / 4$, trong đó Dt: Đường kính tán, m

Khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm³): Mẫu gỗ ở 5 vị trí phân đoạn của cây được lấy xuyên tâm, đo thể tích tươi (V(cm³) bằng ống đo nước vạch đến ml (cm³), sau khi sấy mẫu xác định khối lượng khô m(g), khối lượng thể tích gỗ được tính: WD = m/V (g/cm³), sau đó được lấy trung bình từ 5 phân đoạn cho từng cây chặt hạ.

Dung trọng đất (ρ , g/cm³): $\rho = m \text{ đất khô (g) / V đất ướt (cm}^3\text{)}$. Trong đó sử dụng ống dung trọng có thể tích V cố định 50cm³, 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.

Khối lượng carbon hữu cơ trong đất SOC (tấn/ha): SOC (tấn/ha) = $\rho \cdot d \cdot \%C \cdot 100$, trong đó d là độ sâu tầng đất được lấy bằng 50cm.

Sinh khối khô của từng bộ phận và cây = Sinh khối tươi x tỷ lệ khô/tươi

Carbon của từng bộ phận và cây = Sinh khối khô x % C tích lũy

Sinh khối khô, carbon của các loại thảm mục, thảm tươi, cây chết được tính:

Sinh khối khô (tấn/ha) = Sinh khối tươi/ô mẫu (tấn) x Tỷ lệ khô/tươi x 10⁴ / Diện tích ô mẫu (m²).

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

Tính toán các chỉ tiêu lâm phần 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 (TBGTC, TBGTC, tấn/ha).

5.2.1.5 Thiết kế mô hình toán sinh trắc (*allometric equations*) để ước tính sinh khối, carbon của cây rừng và lâm phần

Mô hình toán sinh trắc (*allometric equations*) được thiết lập cho cây cá lẻ và lâm phần để ước tính sinh khối và carbon, ngoài ra còn lập các hàm chuyển đổi giữa các giá trị điều tra thông thường sang sinh khối, carbon hoặc từ giá trị sinh khối để đo đếm sang giá trị khó đo đếm.

Mô hình dạng tổng quát: $y_j = f(x_i)$, trong đó y_j : Sinh khối, lượng carbon tích lũy trong từng bộ phận thân cây gỗ; sinh khối, lượng carbon tích lũy trong cây bụi, thảm tươi, thảm mục, cây chết, trong rễ và trong đất; và toàn bộ theo trạng thái, kiểu rừng; và x_i : Các nhân tố điều tra rừng như loài, khối lượng thể tích gỗ, đường kính, chiều cao, diện tích tán lá, tổng tiết diện ngang, trữ lượng, mật độ, loại đất và các nhân tố sinh thái.

Mô hình sinh trắc khi thiết lập dựa vào phương pháp chặt hạ cây nhằm để ứng dụng ước tính sinh khối và carbon rừng thông qua các nhân tố đo đếm trực tiếp của cây rừng, lâm phần và nhân tố sinh thái khác mà không phải chặt hạ cây.

Mô hình được thực hiện theo hai phương pháp chính: i) Mô hình tuyến tính một đến nhiều biến, tổ hợp biến, hoặc phi tuyến được đổi biến số về tuyến tính, sử dụng phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu; ii) Mô hình dạng phi tuyến một đến nhiều biến, tổ hợp biến, sử dụng phương pháp Marquardt. Các mô hình được xử lý phối hợp trong phần mềm thống kê Excel và Statgraphics Centurion.

Cơ sở dữ liệu thiết lập các mô hình *allometric equations* cho cây rừng: Trên cơ sở dữ liệu cây chặt hạ và số liệu các bộ phận cây trên và dưới mặt đất đã được phân tích sinh khối, carbon và các nhân tố điều tra cây tương ứng; tổ hợp thành các nhóm nhân tố y_j và x_i theo các mục đích lập hàm khác nhau, loại trừ các dữ liệu biến động bất thường với Studentized residuals nằm ngoài -2 và +2 (Nằm ngoài ước lượng với độ tin cậy 95%). Kết quả cho các bộ dữ liệu:

- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính sinh khối các bộ phận cây trên mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 165 bộ dữ liệu
- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính carbon trong các bộ phận cây trên mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 95 bộ dữ liệu.
- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính sinh khối cây trên mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 161 bộ dữ liệu
- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính carbon cây trên mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 93 bộ dữ liệu.

- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính sinh khối cây dưới mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 105 bộ dữ liệu.
- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính carbon cây dưới mặt đất với các nhân tố DBH, H, WD: 58 bộ dữ liệu.
- Các bộ dữ liệu lập hàm chuyển đổi từ sinh khối sang carbon, từ trên mặt đất sang dưới mặt đất và từ nhân tố điều tra cây: Từ 38 đến 241 bộ dữ liệu.
- Bộ dữ liệu ước tính tuổi theo DBH và H: 189 bộ dữ liệu.

Cơ sở dữ liệu lập hàm allometric equations cho lâm phần: Trên cơ sở dữ liệu 20 ô tiêu chuẩn thu thập số liệu cấu trúc, chặt hạ cây và 70 ô tiêu chuẩn phục vụ giải đoán ảnh vệ tinh, từ đó tính toán được các nhân tố sinh khối, carbon lâm phần và các nhân tố điều tra lâm phần; tổ hợp thành các bộ dữ liệu yj và xi của lâm phần theo các mục đích lập hàm khác nhau:

- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính SOC, carbon trong thảm mục, thảm tươi, cây chết và tổng sinh khối, carbon lâm phần với các nhân tố sinh thái và sinh khối lâm phần: 20 bộ dữ liệu.
- Bộ dữ liệu lập hàm ước tính sinh khối và carbon lâm phần với các nhân tố điều tra lâm phần: 90 bộ dữ liệu từ 90 ô tiêu chuẩn.

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 và hàm được xây dựng như sau:

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

- *Hệ số tương quan, 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.
- *Nhân tố quan hệ (CF - Correction factor)*: $CF = \exp(RSE^2/2)$, 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. Sử dụng tiêu chuẩn này yêu cầu biến y của các hàm phải đồng nhất (Chave et al., 2005)
- *Tiêu chuẩn Mallows' C_p (1973)*: Dùng để lựa chọn số biến số tham gia mô hình tốt nhất trong trường hợp có nhiều biến 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:

$$C_p = \frac{SSE_p}{S^2} - N + 2P, \quad (0.29)$$

Với:
$$SSE_p = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{pi})^2 \quad (0.30)$$

là tổng sai số bình phương của mô hình với P biến số độc lập.

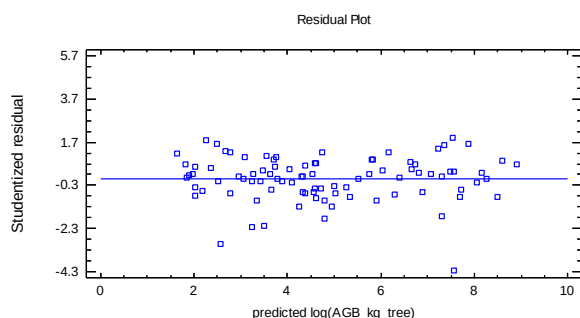
Trong đó:

- 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
- *Tiêu chuẩn AIC (Akaike Information Criterion)*: Khi cần lựa chọn mô hình tốt nhất với nhiều mô hình có các biến số ảnh hưởng khác nhau, AIC mô hình với các biến số ảnh hưởng là hàm tốt nhất:

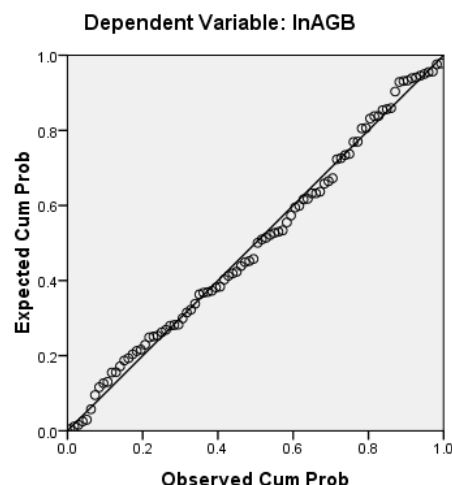
$$AIC = n \ln(RSS/n) + 2K = -\ln(L) + 2K \quad (0.31)$$

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 (Chave et al., 2005).

- *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 xuất chuẩn Normal P-P*: Mô hình đạt độ tin cậy cao khi xác xuất 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 0.14



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

- Sai lệch trung bình giữa giá trị ước lượng qua mô hình với giá trị quan sát thực tế (S%) :

$$S\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_{ilt} - Y_i|}{Y_i} \quad (0.32)$$

Trong đó: Y_{ilt} : Giá trị dự báo qua mô hình; Y_i : Giá trị thực quan sát, n : số mẫu quan sát. S% cho thấy mô hình có sai khác với thực tế cao hay thấp, và mô hình tối ưu khi sai khác này bé nhất (Chave et al., 2005).

- Giải pháp lựa chọn biến, tổ hợp biến và hàm thích hợp theo các chỉ tiêu thống kê, đánh giá:
 - Trường hợp hàm một biến, hoặc một tổ hợp một biến tuyến tính hoặc phi tuyến được tuyến tính hóa: Sử dụng R^2 cao nhất để định hướng hàm tối ưu, kết hợp chỉ tiêu CF gần 1 nhất và AIC bé nhất về đại số và cuối cùng thì S% là bé nhất. Phối hợp cả 4 chỉ tiêu trong đó quan trọng là CF và S%. Ví dụ một số mô hình một biến được sử dụng để lựa chọn hàm tối ưu trong phần mềm Statgraphics ở bảng 0.3

Bảng 0.3: Các mô hình một biến được sử dụng để dò tìm hàm tối ưu

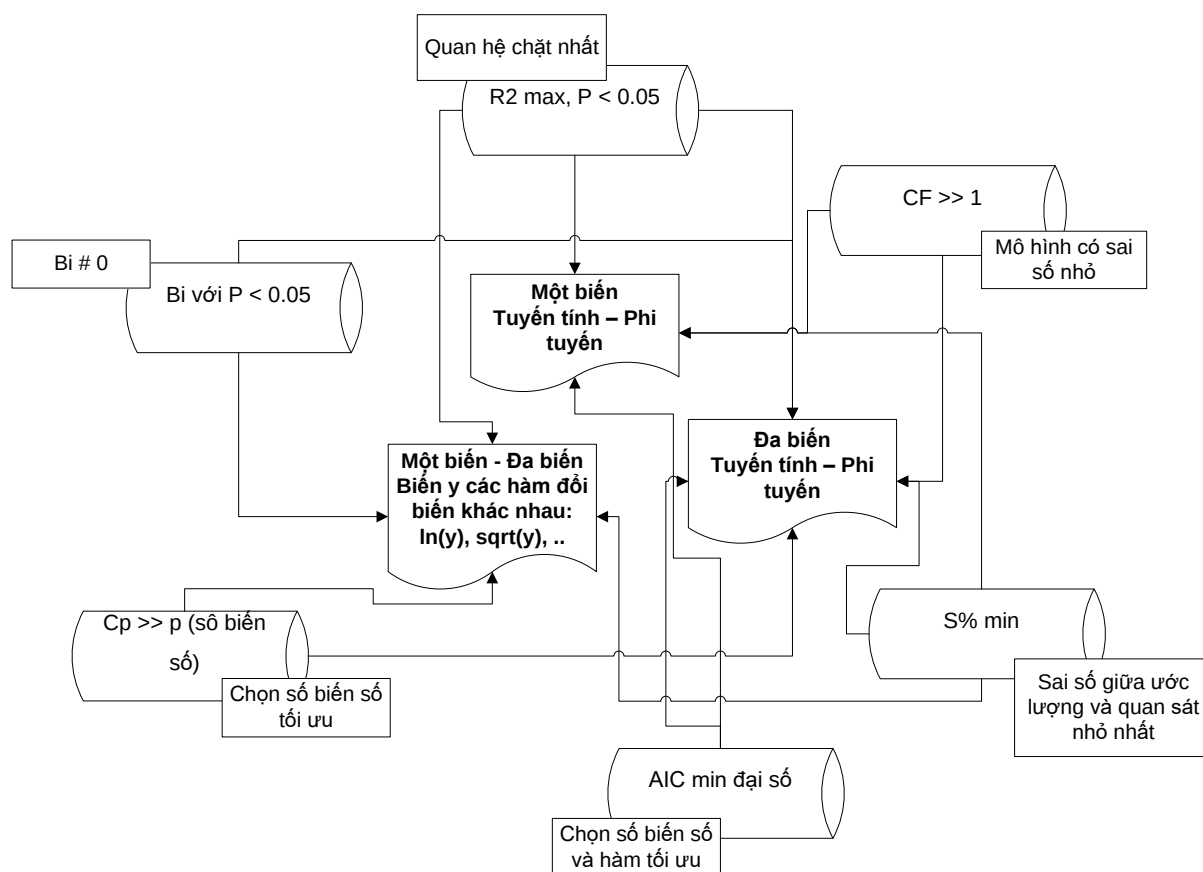
Mô hình	Hệ số tương quan R	Hệ số xác định R^2 (%)
Multiplicative $\log(Y) = a + b \cdot \log(X)$	0.9897	97.94%
Square root-Y $\text{Sqrt}(Y) = a + b \cdot X$	0.9774	95.53%
Logarithmic-Y square root-X $\log(Y) = a + b \cdot \text{sqrt}(X)$	0.9749	95.04%
Square root-Y squared-X	0.9665	93.41%

$\sqrt{Y} = a + b \cdot X^2$		
Squared-X $Y = a + b \cdot X^2$	0.9531	90.84%
Double square root $\sqrt{Y} = a + b \cdot \sqrt{X}$	0.9511	90.47%
Exponential $\log(Y) = a + b \cdot X$	0.9350	87.42%
S-curve model $\log(Y) = a + b/X$	-0.9240	85.38%
Double reciprocal $1/Y = a + b/X$	0.9013	81.24%
Square root-Y logarithmic-X $\sqrt{Y} = a + b \cdot \log(X)$	0.8958	80.25%
Linear $Y = a + b \cdot X$	0.8819	77.77%
Logarithmic-Y squared-X $\log(Y) = a + b \cdot X^2$	0.8259	68.21%
Square root-X $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$	0.8159	66.57%
Double squared $Y^2 = a + b \cdot X^2$	0.7869	61.92%
Reciprocal-Y logarithmic-X $1/Y = a + b \cdot \log(X)$	-0.7504	56.31%
Logarithmic-X $Y = a + b \cdot \log(X)$	0.7293	53.19%
Square root-Y reciprocal-X $\sqrt{Y} = a + b/X$	-0.7208	51.95%
Squared-Y $Y^2 = a + b \cdot X$	0.6527	42.61%
Squared-Y square root-X $Y^2 = a + b \cdot \sqrt{X}$	0.5696	32.44%
Reciprocal-X $Y = a + b/X$	-0.5324	28.34%
Squared-Y logarithmic-X $Y^2 = a + b \cdot \log(X)$	0.4809	23.13%
Reciprocal-Y squared-X $1/Y = a + b \cdot X^2$	-0.4063	16.51%
Squared-Y reciprocal-X $Y^2 = a + b/X$	-0.3201	10.25%

- *Trường hợp hàm nhiều biến, tổ hợp biến tuyến tính hoặc phi tuyến:* Sử dụng tiêu chuẩn C_p và AIC để lựa chọn số biến số và hàm phù hợp. Cuối cùng lựa chọn hàm tốt nhất trên cơ sở kết hợp các chỉ tiêu với R^2 cao, tham số tồn tại với $P < 0.05$, CF gần bằng 1 và giá trị S% bé nhất.
- *Trường hợp so sánh lựa chọn giữa các hàm đơn biến, đa biến, tổ hợp biến, tuyến tính và phi tuyến nhưng biến y đã được đổi biến số khác nhau như y*

hoặc $\ln(y)$, $\sqrt{y}$, $1/y$: Sử dụng tiêu chuẩn Cp và AIC để lựa chọn số biến số cho từng hàm. Cuối cùng lựa chọn hàm tốt nhất trên cơ sở kết hợp các chỉ tiêu với R^2 cao, tham số tồn tại với $P < 0.05$, và giá trị S% bé nhất.

Minh họa lựa chọn hàm và số biến số ở hình 0.15



Hình 0.15: Các tiêu chuẩn thống kê để lựa chọn biến số và hàm tối ưu

5.2.2 Phương pháp ước tính sinh khối, carbon lâm phần

Các lâm phần lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên phân bố rộng trên các điều kiện khác nhau, do đó khả năng sản xuất sinh khối và tích lũy carbon cũng khác nhau. Để ước lượng đúng trữ lượng carbon và tăng trưởng của nó cần phân chia lâm phần thành các cấp năng suất (cấp chiều cao).

Sử dụng mô hình tương quan $H = f(DBH)$ chung để phân chia thành các đường cong chiều cao thể hiện cho năng suất. Phân chia thành 3 cấp.

Ngoài ra các lâm phần đã qua tác động các mức độ khác nhau do đó tích lũy sinh khối và carbon và đặc điểm cấu trúc cũng thay đổi theo. Do đó cần phân chia rừng thành các cấp kính khối. Phân chia lâm phần thành 3 cấp sinh khối dựa vào biến động của nó với mức ý nghĩa 95%.

Cấu trúc sinh khối được nghiên cứu là phân bố sinh khối và carbon theo cấp kính ở 9 tổ hợp cấp chiều cao và sinh khối.

Dựa vào các mô hình ước tính AGB, C(AGB), BGB, C(BGB) cây cá thể cùng với phân bố N/D, tương quan H/DBH cho từng cấp, tính toán được tổng sinh khối và carbon lâm phần trên và dưới mặt đất theo cấp kính và chung lâm phần.

Để dự báo tăng trưởng sinh khối và carbon lâm phần, thiết lập mô hình quan hệ tuổi $A = f(DBH, H)$ để xác định A theo từng cấp kính và từ kết quả xác định sinh khối và carbon cũng theo cấp kính, tính được lượng tăng trưởng bình quân hàng năm về sinh khối, carbon theo cấp kính, chung cho lâm phần và cho 9 tổ hợp sinh khối – cấp chiều cao.

5.2.3 Phương pháp nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám và GIS để ước lượng, giám sát sinh khối, carbon rừng

Phương pháp nghiên cứu chủ yếu là xác lập mối quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với dữ liệu ảnh, làm cơ sở ước lượng sinh khối, carbon rừng và lập bản đồ, quản lý cơ sở dữ liệu carbon rừng thông qua ảnh viễn thám và GIS.

5.2.3.1 Cơ sở dữ liệu ảnh và mặt đất

i) Nguồn vật liệu:

- Ảnh vệ tinh SPOT5 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, Erdas, phần mềm GIS: ArcGIS và phần mềm thống kê Statgraphics Centurion Plus.

ii) Hiệu chỉnh hình học ảnh: Tổng số đã thu thập 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.

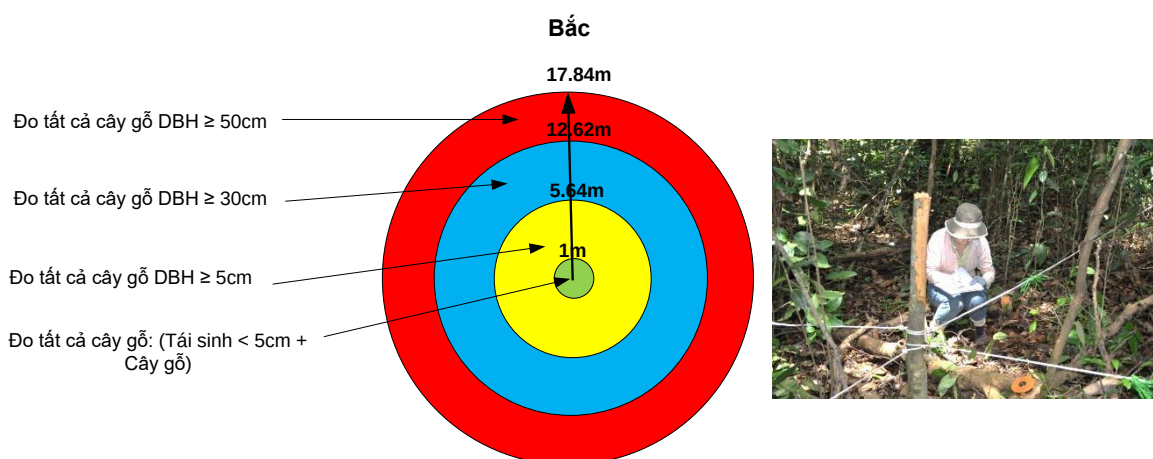
iii) Phân loại vùng nghiên cứu thành vùng có rừng và không rừng, trên cơ sở đó giải đoán ảnh chỉ trong vùng có rừng: Trên ảnh tạo các vùng quan tâm (ROI – Region of Interest) như các vùng mẫu cho 2 đối tượng có rừng và vùng mẫu không có rừng. Dựa trên các vùng mẫu này, sử dụng phương pháp phân loại có 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.

iv) Thu thập số liệu ô mẫu mặt đất, tính toán sinh khối và carbon phần cây gỗ trên mặt đất

Với cách tiếp cận trên quan điểm phổ của ảnh chỉ có khả năng phản ánh được phần sinh khối rừng trên mặt đất; vì vậy thiết lập mối quan hệ giữa dữ liệu ảnh được nghiên cứu với tổng sinh khối và carbon phần trên mặt đất. Để xác định sinh khối trên mặt đất, tiến hành đặt 70 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 1.000m². Ô mẫu ngẫu nhiên được thiết lập dựa vào phần mềm ArcGIS.

Điều tra rừng thường sử dụng ba loại ô mẫu có hình dạng chính là: Ô hình tròn, ô hình vuông và ô hình chữ nhật. So với các loại ô mẫu có hình dạng khác, ô hình tròn có ưu điểm là xác lập đơn giản, có chu vi nhỏ nhất so với các loại ô khác khi diện tích của chúng như nhau, từ đó làm tăng độ chính xác của kết quả điều tra; đồng thời trên địa hình dốc ô tròn có thể cải bằng từng bán kính một cách thuận tiện hơn ô vuông và chữ nhật. Vì vậy ô hình tròn được sử dụng để ước tính sinh khối và carbon rừng. Điểm quan trọng trong nghiên cứu này là đã 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 0.16. 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.



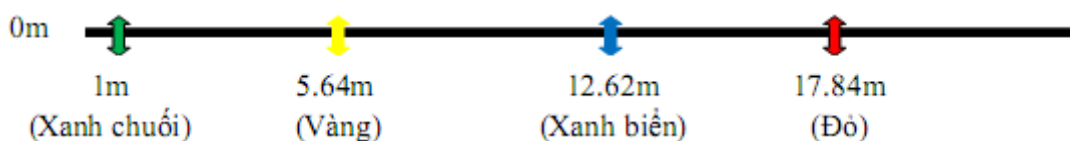
Hình 0.16: Ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính

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 1000m²: Đo các cây gỗ có DBH ≥ 50cm
- Ô phụ tròn có bán kính 12.62m ứng với diện tích 500m²: Đo các cây gỗ có $30 \leq \text{DBH} < 50\text{cm}$
- Ô phụ tròn có bán kính 5.64m ứng với diện tích 100m²: 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 3.14m²: Đo các cây gỗ tái sinh có DBH < 5cm

Để thuận tiện thao tác trong lập ô phân tầng, thiết kế dây có thắt nút bằng dải màu ở các bán kính của các ô mẫu phụ lần lượt là 1m (màu xanh chuối), 5.64m (màu vàng), 12.62m (màu xanh biển) và 17.84m (màu đỏ). Một ô mẫu cần 3 đến 4 dây. Đồng thời trên mỗi dây, ứng với mỗi vị trí buộc thêm một dải cùng màu có thể đi

chuyên để cộng thêm chiều dài từng bán kính trong trường hợp trên đất dốc, mỗi dây thiết kế dài 25m để có thể cộng thêm chiều dài bán kính trên dốc.



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

Với bán kính từ tâm đến 1m (xanh chuối): Đo tất cả cây tái sinh với $DBH < 6m$ và tất cả cây gỗ có $DBH \geq 5cm$; và vật rơi rụng (cành nhánh ngã đổ)

Với bán kính từ 1m (xanh chuối) đến 5.64m (vàng): Đo các cây có $DBH \geq 5cm$

Với bán kính từ 5.64m (vàng) đến 12.62m (xanh biển): Đo các cây có $DBH \geq 30cm$

Với bán kính từ 12.62m (xanh biển) đến 17.84m (đỏ): Đo các cây có $DBH \geq 50cm$.

v) *Tính số liệu sinh khối và carbon cho từng ô mẫu*: 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 $DBH \geq 5 cm$. Đây là cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon lâm phần để phân tích quan hệ với các dữ liệu ảnh SPOT5.

5.2.3.2 Thử nghiệm các phương pháp ứng dụng ảnh SPOT trong ước lượng sinh khối và carbon rừng

Thử nghiệm 3 phương pháp khác nhau:

i) *Phương pháp phân loại ảnh phi giám định và quan hệ với sinh khối rừng*:

Phương pháp này nhằm mục đích thử nghiệm khả năng phân loại ảnh tự động dựa vào giá trị ảnh và quan hệ của nó với sinh khối, carbon rừng trên mặt đất để phân loại rừng và ước lượng sinh khối, carbon rừng.

Phân loại phi giám định dựa vào tập hợp các phần tử có cùng giá trị ảnh. Số lượng các nhóm phân loại tùy thuộc vào người phân loại, đây là quá trình lặp đi lặp lại của việc nhóm các lớp theo các chỉ tiêu người phân loại đặt ra gồm số lần lặp tối đa (Maximum iteration), số pixel tối thiểu trong một nhóm/lớp (Minimum Pixel in Class), độ lệch chuẩn tối đa của nhóm (Maximum Class Stdv), số Pixel tối thiểu khi kết nhóm (Maximum Merge pairs) cho đến khi thỏa mãn các điều kiện đã đặt ra thì quá trình này

dừng lại. Trong đó phương pháp ISODATA được áp dụng do đây là phương pháp mềm dẻo, tự nhiên, không cần cố định số các lớp. Dựa vào trung bình các lớp/loại như nhau về dữ liệu không gian, sau đó sắp xếp lại các pixel bằng cách sử dụng khoảng cách tối thiểu. Mỗi một đặc trưng của pixel được phân loại lại tạo ra một trung bình. Các lớp được tách, hợp nhất, và xóa được thực hiện trên cơ sở dữ liệu ngưỡng tham số. Tất cả các pixel được phân loại vào lớp gần nhất, trừ khi một sai tiêu chuẩn hay ngưỡng tham số nằm ngoài, trong trường hợp đó một số pixel có thể được phân loại lại nếu chúng không đạt các tiêu chuẩn lựa chọn. Quá trình này tiếp tục cho đến khi số lượng các điểm ảnh trong mỗi lớp thay đổi ít hơn hoặc số lần tối đa của các lần lặp là đạt được.

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.

Thử nghiệm phân loại tự động với 3 hệ thống class:

+ 2 - 4 class: 3 lớp

+ 3 - 5 class: 4 lớp

+ 4 - 6 class: 5 lớp

Lập quan hệ giữa tổng sinh khối cây gỗ trên mặt đất với các mã số class (id_class) đã phân loại trên ảnh: $TAGTB = f(id_Class)$ theo 3 trường hợp có 3, 4 và 5 lớp. Chọn mô hình tương quan mỗi hệ thống class nào có hệ số quan hệ R^2 cao nhất, CF, AIC và S% bé nhất. Sau đó so sánh 3 mô hình tương quan cao nhất đó lại lựa chọn ra một mô hình cao nhất R^2 lớn nhất tương ứng với một hệ thống class, đó chính là số class cần phân chia có mối quan hệ chặt chẽ nhất với sinh khối và carbon rừng.

Cuối cùng kết quả phân loại sinh khối, carbon trên ảnh được đánh giá sai số với các ô mẫu độc lập không đưa vào tính toán.

ii) Phương pháp phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh (DN):

Phương pháp này nhằm phát hiện trực tiếp quan hệ giữa sinh khối, carbon trên mặt đất với giá trị band phổ của từng pixel, làm cơ sở lập bản đồ và dữ liệu sinh khối, carbon rừng từ ảnh SPOT (Franklin và McDermid, 1993, Poso et al., 1999).

Tiến hành:

- Tạo vùng mẫu trên ảnh ứng với các tọa độ ô mẫu, sử dụng chức năng tạo Buffer trong phần mềm ArcGis để tiến hành tạo ra ô mẫu trên ảnh có kích thước bằng với kích thước ô mẫu trên thực địa. Với Buffer $R = 17.84m$.

- Chồng file dữ liệu ô mẫu lên ảnh để gắn với các giá trị DN của 4 band ảnh SPOT là b1, b2, b3 và b4. Sử dụng phần mềm ENVI và chuyển dữ liệu về dạng file ASCII.
- Thiết lập mô hình quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với giá trị band ảnh: Sử dụng phần mềm Statgraphics Centurion phân tích hồi quy giữa giá trị ảnh và số liệu sinh khối, carbon của các ô mẫu để tìm ra hàm quan hệ tối ưu có dạng: $y = f(x)$; với y : giá trị sinh khối hoặc carbon/ha là biến phụ thuộc; x_i : giá trị của của các kênh ảnh là biến độc lập: TAGTB/TAGTC (tấn/ha) = $f(\text{bandi})$. Sử dụng tiêu chuẩn C_p để chọn DN của band ảnh hưởng, thiết lập các mô hình và lựa chọn hàm tối ưu như đã trình bày phần trên.
- Lập ảnh với các pixel được gán giá trị sinh khối, carbon rừng: Sử dụng chức năng Modeler của phần mềm Erdas để tạo lập ảnh sinh khối, carbon rừng trên cơ sở mô hình đã lập
- Chuyển bản đồ ảnh sinh khối thành vector trong ArcGIS và chồng các ô mẫu độc lập lên để đánh giá sai số S% của lập bản đồ sinh khối theo phương pháp hồi quy.

iii) Phương pháp phân loại ảnh có giám định và phân chia khối rừng theo cấp sinh khối

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

Tiến hành:

- Phân cấp sinh khối dựa vào ô mẫu
- Tạo ô mẫu trên ảnh với buffer là bán kính ô mẫu 17.84m (1000m²) trong ArcGIS.
- Phân lập ảnh theo cấp sinh khối: Các ô mẫu là vùng ROI đại diện cho từng cấp. Sử dụng thuật toán phân loại Maximum likelihood để phân thành các lớp sinh khối, carbon trong phần mềm ENVI.
- Sử dụng các ô mẫu độc lập để đánh giá độ tin cậy của phân loại ảnh thành các cấp sinh khối, carbon trong ENVI.

5.2.3.3 Ứng dụng GIS trong quản lý, giám sát sinh khối, carbon rừng

Trên cơ sở ảnh SPOT đã được giải đoán và phân loại theo từng cấp sinh khối, carbon, tiến hành lập cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon cho một khu vực:

- Chuyển file ảnh thành vector với thuộc tính là sinh khối/ha (TABTB, tấn ha) đã thực hiện trong nghiên cứu giải đoán ảnh SPOT trong ArcGIS.
- Sử dụng các mô hình allometric equations lâm phần để tính gián tiếp các giá trị sinh khối, carbon trong các bể chứa khác và toàn lâm phần
- 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 1: MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON CÂY RỪNG

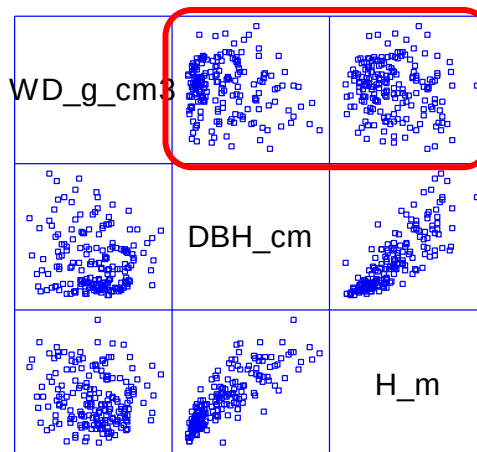
Ước tính sinh khối, carbon của cây gỗ rừng là cơ sở để ước tính sinh khối và carbon lâm phần. Hai bể chứa carbon quan trọng nhất của rừng là trong cây gỗ phần trên và dưới mặt đất.

1 KHỐI LƯỢNG THỂ TÍCH GỖ THEO LOÀI – MỘT BIẾN SỐ TRONG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI, CARBON

Sinh khối và carbon tích lũy trong cây rừng phụ thuộc vào tuổi cây, lập địa và đặc điểm sinh học loài. Trong khi đó việc lập các mô hình ước tính sinh khối và carbon cho từng loài là việc làm khó khăn vì số lượng loài quá lớn đối với rừng nhiệt đới lá rộng thường xanh. Vì vậy các tác giả lập mô hình allometric equations cho rừng nhiệt đới thường sử dụng biến số ảnh hưởng là khối lượng thể tích gỗ (WD, g/cm³) như là đại diện cho các nhóm loài có cùng khối lượng sinh khối trên một đơn vị thể tích (IPCC (2006), Henry và cộng sự (2010), Chave và cộng sự, 2004). Khối lượng thể tích gỗ là tỷ lệ giữa khối lượng gỗ khô (g) với thể tích gỗ tươi (cm³), mỗi loài có một khối lượng thể tích khác nhau do đặc điểm sinh học như sinh trưởng nhanh hay chậm, hàm lượng nước trong gỗ, ... vì vậy khối lượng thể tích gỗ được sử dụng làm biến số thay cho loài ở rừng nhiệt đới khi mà lập mô hình theo loài là chưa thể thực hiện. Với định nghĩa khối lượng thể tích gỗ, thì các loài khác nhau nhưng có cùng giá trị khối lượng thể tích sẽ cho lưu giữ một lượng sinh khối khô và carbon như nhau trong cùng một đơn vị thể tích cây.

Để sử dụng biến WD trong mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng, đề tài đã tính toán khối lượng thể tích gỗ cho 63 loài chủ yếu ghi trong phụ lục 2.

Nghiên cứu cũng đã thử nghiệm tìm sự sai khác của WD theo DBH và H của tất cả các loài cây rừng, hình 1.1 và kết quả phân tích cho thấy WD chung cho tất cả các loài trong lâm phần có quan hệ rất yếu với các kích thước. Điều này được giải thích là do đặc trưng sinh học về WD theo loài, một số loài có WD cao ngay ở cấp kính nhỏ và ngược lại WD thấp ở cấp kính lớn. Do vậy xét chung WD của các loài gộp lại thì có mối quan hệ rất yếu với DBH, H. WD có thể thay đổi theo kích thước trong nội bộ từng loài, tuy nhiên đối với rừng nhiệt đới, phân bố loài theo tầng, do đó khó tiếp cận dữ liệu của một loài đủ ở các cấp kính.



Hình 1.1: Ma trận đám mây điểm quan hệ giữa WD chung các loài với DBH và H

Bảng 1.1: Biến động và ước lượng khoảng WD các loài chủ yếu của rừng lá rộng thường xanh

<i>WD (g/cm³) theo loài</i>	
Trung bình	0.573
Sai số của số trung bình	0.017
Sai tiêu chuẩn	0.132
Phương sai	0.017
Độ nhọn – Kurtosis	-0.038
Độ lệch – Skewness	-0.054
Giá trị nhỏ nhất - Minimum	0.266
Giá trị lớn nhất – Maximum	0.882
Số loài	63
Sai lệch ở mức tin cậy 95% (Confidence Level (95.0%))	0.033

Kết quả phân tích đặc trưng của 63 loài ở bảng 1.1 cho thấy:

- Với độ lệch và độ nhọn xấp xỉ 0 cho thấy số lượng loài thu thập WD là đại diện và đạt phân bố chuẩn, hay nói cách khác dữ liệu khối lượng thể tích của đề tài là đại diện cho các loài của kiểu rừng nghiên cứu.
- WD biến động từ 0.266 đến 0.882, như vậy giữa các loài có sự khác nhau khá lớn về khối lượng thể tích gỗ. WD trung bình của các loài là 0.573
- Ước lượng WD với độ tin cậy 95%: $WD = 0.573 \pm 0.033$
- Kết quả phân tích phương sai về WD của 63 loài cho thấy $F = 2.053$ ở mức $P < 0,05$, cho thấy giữa các loài có sự khác biệt về WD.

Với kết quả này, khi lập mô hình ước tính sinh khối và carbon rừng, biến số WD được đưa vào như là đại diện cho loài; và khi sử dụng mô hình thì WD được xác định nhờ tra vào bảng khối lượng thể tích theo loài trong phụ lục, trường hợp không có loài đó trong phụ lục thì có thể sử dụng khối lượng thể tích bình quân chung theo loài là 0.573.

2 MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON Ở CÁC BỘ PHẬN CÂY TRÊN MẶT ĐẤT

Sinh khối và carbon trong phần trên mặt đất của cây rừng nằm trong 4 bộ phận thân, cành, lá và vỏ cây. Hầu hết các nghiên cứu thế giới đều chỉ ước lượng chung tổng sinh khối cả 4 bộ phận. Tuy nhiên ước lượng từng bộ phận để tổng hợp chung cho phần trên mặt đất sẽ có độ tin cậy cao hơn, ngoài ra từ đây cũng chỉ ra đặc điểm sinh học của sinh khối và carbon trong từng bộ phận cây rừng.

2.1 Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong thân cây gỗ

Thân cây gỗ lưu giữ một lượng lớn nhất sinh khối và carbon trong cả 4 bộ phận cây. Để ước tính sinh khối và carbon trong bộ phận này, thử nghiệm tìm kiếm quan hệ với các nhân tố điều tra cây rừng là DBH, H và khối lượng thể tích gỗ WD. Từ số liệu ở phụ lục 3 có kết quả các mô hình thể hiện ở bảng 1.2 và 1.3.

Bảng 1.2: Mô hình ước tính sinh khối thân cây theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Bst = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{Bst_kg}) = -4.29549 + 0.973701 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) + 1.1866 \cdot \text{WD_g_cm}^3$	94.252	0.000	165	0.000	1.08	-302.7	27.4%
2	Bst = f(DBH, H)	$\log(\text{Bst_kg}) = -3.56756 + 0.961599 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m})$	93.023	0.000	165	0.000	1.10	-271.7	33.9%
3	Bst = f(DBH)	$\log(\text{Bst_kg}) = -2.6079 + 2.47525 \cdot \log(\text{DBH_cm})$	90.950	0.000	165	0.000	1.13	-228.8	38.7%

Ghi chú: Bst: Sinh khối thân cây không vỏ, log: logarit neper

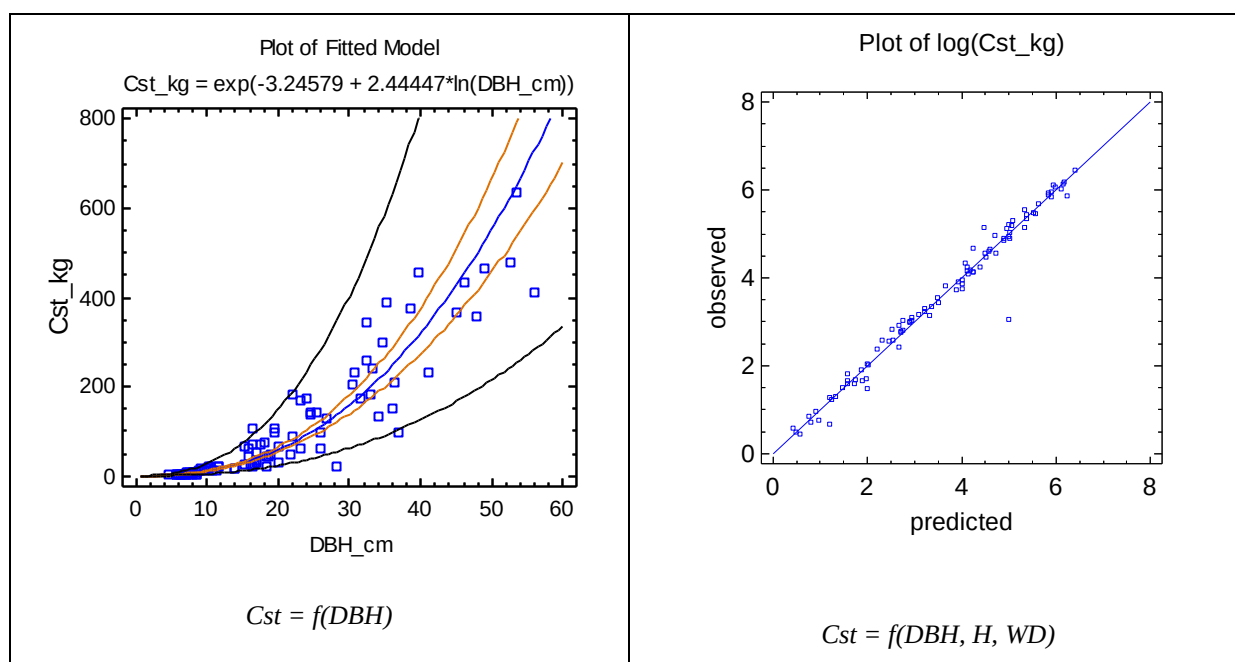
Như vậy sinh khối thân cây có quan hệ chặt nhất với 3 biến số DBH, H, WD với R² cao nhất, chỉ số CF, AIC và S% là nhỏ nhất là 27.4% biến động so với thực tế. Tuy nhiên trong thực tế đo tính WD là khó khăn do đó có thể sử dụng mô hình với hai biến số DBH và H hoặc chỉ một biến DBH nếu yêu cầu độ tin cậy không cao.

Bảng 1.3: Mô hình ước tính carbon tích lũy trong thân cây theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Cst = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{Cst_kg}) = -3.79513 + 1.88899 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 1.0602 \cdot \log(\text{H_m}) + 0.844794 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3)$	97.381	0.000	95	0.000	1.04	-242.8	18.8%
2	Cst = f(DBH, H)	$\log(\text{Cst_kg}) = -4.26256 + 1.82537 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 1.04726 \cdot \log(\text{H_m})$	93.893	0.000	95	0.000	1.09	-163.4	36.7%
3	Cst = f(DBH)	$\text{Cst_kg} = \exp(-3.24579 + 2.44447 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$	92.222	0.000	95	0.000	1.11	-141.4	41.5%

Ghi chú: Cst: Carbon trong thân cây không vỏ, log: logarit neper

Cũng như sinh khối thân cây, carbon có quan hệ chặt nhất với 3 biến số DBH, H, WD với R² cao nhất, chỉ số CF, AIC và S% nhỏ nhất là 18.8% biến động so với thực tế. Giá trị dự báo qua mô hình và thực tế được minh họa trong hình 1.2 (Dữ liệu từ phụ lục 4)



Hình 1.2: Quan hệ giá trị dự báo Cst với quan sát theo mô hình 3 biến DBH, H và WD hoặc chỉ với DBH

Kết quả trên cho thấy sinh khối và carbon trong thân cây phụ thuộc vào kích thước cây là DBH, H; đồng thời phụ thuộc vào khối lượng thể tích gỗ phản ánh đặc điểm loài. Trong khi đó nếu ước tính Cst chỉ theo một nhân tố DBH sẽ mắc sai số đến 41.5%.

Ngoài ra từ số liệu Bst và Cst, xác định được hệ số chuyển đổi trung bình từ sinh khối thân sang carbon tích lũy là 0.49; trong khi đó theo IPCC (2006) hệ số chuyển đổi chỉ tính chung cây gỗ là 0.47.

2.2 Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong cành cây gỗ

Cành cây rừng lưu giữ sinh khối, carbon đáng kể trong cây gỗ, mô hình ước tính sinh khối và carbon cành của cây rừng được thiết lập với 3 biến số DBH, H và WD minh họa trong bảng 1.4 và 1.5. (Dữ liệu từ phụ lục 3 và 4)

Kết quả xác định mô hình tối ưu để ước tính sinh khối và carbon tích lũy trong cành cho thấy đạt độ tin cậy thấp, mô hình tốt nhất với 3 biến số thì ước lượng sinh khối cũng có biến động với thực tế lên đến 74.5%, trong khi đó carbon là 84.3%. Điều này phản ánh thực tế là cây có cùng DBH và H nhưng khác nhau về đặc điểm loài thì rất khác nhau về cành tán, do đó mô hình ước tính sẽ có độ tin cậy thấp, cho dù đã đưa biến số WD là khối lượng thể tích gỗ. Trong trường hợp này cho thấy WD chỉ phản ánh được đặc điểm loài qua sinh khối của thân, vì bản thân WD cũng tính từ thân cây.

Mô hình ước tính tốt nhất sinh khối cành là thông qua chỉ một biến DBH, với S% nhỏ nhất là 74.5%, trong khi đó carbon trong cành ước tính tốt nhất qua cả 3 biến số DBH, H và WD, với S% là 84.3%. Với biến động lớn như vậy thì không nên ước tính sinh khối và carbon cho riêng bộ phận cành mà cần ước tính chung cho cả 4 bộ phận cây trên mặt đất rừng.

Tỷ lệ giữa carbon và sinh khối trong cành được ước tính bình quân là 0.47, giá trị này xấp xỉ với IPCC (2006).

Bảng 1.4: Mô hình ước tính sinh khối trong cành cây rừng theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Bbr = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{Bbr_kg}) = -5.509 + 1.00412 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) + 0.737008 \cdot \text{WD_g_cm}^3$	81.998	0.000	164	0.048	1.35	-79.7	77.5%
2	Bbr = f(DBH, H)	$\log(\text{Bbr_kg}) = -5.24096 + 0.998902 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m})$	81.667	0.000	164	0.000	1.36	-77.7	80.0%
3	Bbr = f(DBH)	$\log(\text{Bbr_kg}) = -4.38783 + 2.62521 \cdot \log(\text{DBH_cm})$	83.357	0.000	164	0.000	1.32	-93.5	74.5%

Ghi chú: Bbr: Sinh khối cành cây, log: logarit neper

Bảng 1.5: Mô hình ước tính carbon trong cành cây rừng theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Cbr = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{Cbr_kg}) = -7.0792 + 1.00172 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) + 1.47868 \cdot \sqrt{\text{WD_g_cm}^3}$	81.055	0.000	95	0.041	1.40	-33.0	84.3%
2	Cbr = f(DBH, H)	$\log(\text{Cbr_kg}) = -5.94776 + 0.986393 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m})$	80.381	0.000	95	0.000	1.41	-30.7	91.0%
3	Cbr = f(DBH)	$\text{Cbr_kg} = \exp(-5.13059 + 2.60606 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$	82.349	0.000	95	0.000	1.37	-40.7	86.2%

Ghi chú: Cbr: Carbon trong cành cây, log: logarit neper

2.3 Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong lá cây rừng

Lá cây rừng là một trong 4 bộ phận sinh khối của cây, tuy nhiên khối lượng lá thay đổi lớn theo mùa, đặc biệt đối với loài cây rụng lá theo mùa hay rụng từng phần quanh năm. Đo tính sinh khối lá không thể tiến hành trực tiếp, do đó cần có mô hình ước tính gián tiếp. Thử nghiệm được thiết lập và lựa chọn mô hình ước tính lá với 3 biến số DBH, H và WD. Kết quả ở bảng 1.6 và 1.7. (Dữ liệu ở phụ lục 3 và 4).

Kết quả cho thấy biến động sinh khối và carbon trong lá ước tính qua mô hình với thực tế là rất lớn ở mức 140.8% đối với sinh khối và 61.3% đối với carbon.

Tỷ lệ carbon với sinh khối trong lá được tính bình quân là 0.48, trong khi đó theo IPCC (2006) là 0.47 chung cho các bộ phận cây gỗ.

Bảng 1.6: Mô hình ước tính sinh khối lá theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Bl = f(DBH, H, WD)	$\sqrt{\text{Bl_kg}} = -0.813046 + 0.157307 \cdot \sqrt{\text{DBH_cm} \cdot \text{H_m}} + 0.93648 \cdot \sqrt{\text{WD_g_cm}^3}$	73.583	0.000	165	0.076	1.32	-91.8	152.2 %
2	Bl = f(DBH, H)	$\text{Bl_kg} = (-0.102725 + 0.155057 \cdot \sqrt{\text{DBH_cm} \cdot \text{H_m}})^2$	73.228	0.000	165	0.000	1.33	-90.6	148.8 %
3	Bl = f(DBH)	$\text{Bl_kg} = (-1.50468 + 0.945602 \cdot \sqrt{\text{DBH_cm}})^2$	72.810	0.000	165	0.000	1.33	-88.0	140.8 %

Ghi chú: Bl: Sinh khối lá, log: logarit neper

Bảng 1.7: Mô hình ước tính carbon trong lá theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	CI = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{CI_kg}) = -4.98577 + 0.728564 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) + 0.373729 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3)$	80.371	0.000	95	0.032	1.20	-89.5	62.2%
2	CI = f(DBH, H)	$\log(\text{CI_kg}) = -5.18709 + 0.716491 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m})$	79.577	0.000	95	0.000	1.21	-86.7	62.9%
3	CI = f(DBH)	$\text{CI_kg} = \exp(2.63108 - 25.7683/\text{DBH_cm})$	79.274	0.000	95	0.000	1.22	-85.3	61.3%

Ghi chú: CI: Carbon trong lá cây, log: logarit neper

2.4 Mô hình ước tính sinh khối và carbon trong vỏ cây rừng

Vỏ cây rừng cũng chứa một lượng không nhỏ carbon và thay đổi theo kích thước, loài cây, chỉ tiêu này không thể đo tính trực tiếp; vì vậy mô hình ước tính trung gian là cần thiết. Thử nghiệm tìm quan hệ giữa sinh khối và carbon tích lũy trong vỏ với 3 biến số DBH, H và WD, kết quả ở bảng 1.8 và 1.9; hình 1.3 (Dữ liệu ở phụ lục 3 và 4).

Sinh khối và carbon trong vỏ thông qua mô hình cũng biến động khá lớn, tuy nhiên thấp hơn trong cành và lá. Hệ số xác định R² của các mô hình hầu hết > 90%. Trong đó mô hình tốt nhất ước tính sinh khối vỏ là với 3 biến DBH, H và WD. Mô hình này cho thấy có mối quan hệ giữa vỏ với thành phần loài thể hiện qua khối lượng thể tích gỗ với biến động là 42.5% so với quan sát; trong khi đó biến động thấp nhất ước tính carbon trong vỏ là 52.3%.

Tỷ lệ ước tính carbon từ sinh khối vỏ cây là 0.44, trong khi đó IPCC (2006) là 0.47.

Bảng 1.8: Mô hình ước tính sinh khối vỏ cây theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Bba = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{Bba_kg}) = -5.75753 + 1.95355 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 1.02319 \cdot \log(\text{H_m}) + 0.28565 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3)$	90.383	0.000	165	0.000	1.15	-205.45	42.5%
2	Bba = f(DBH, H)	$\log(\text{Bba_kg}) = -5.88261 + 1.94231 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 1.00778 \cdot \log(\text{H_m})$	90.121	0.000	165	0.000	1.15	-202.00	43.3%

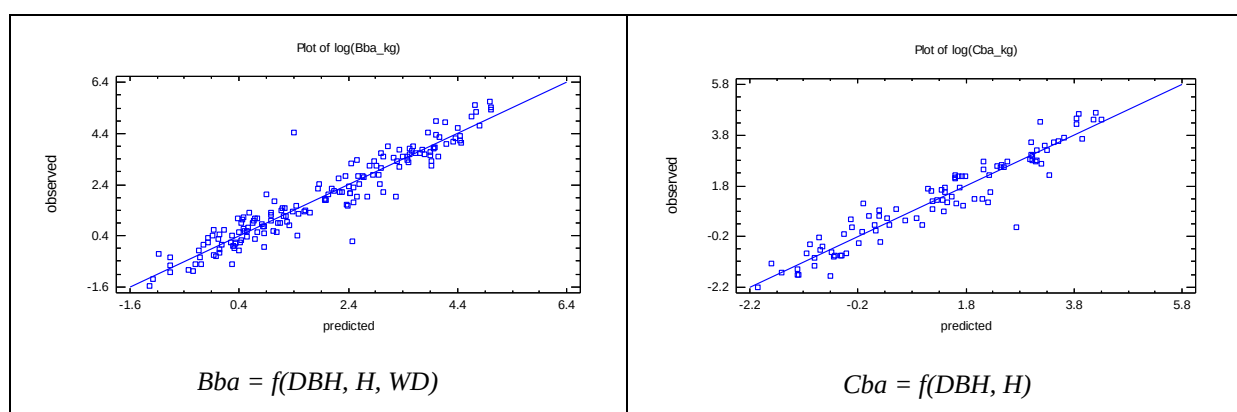
3	Bba = f(DBH)	$Bba_{kg} = \exp(-4.88721 + 2.52472 \cdot \ln(DBH_{cm}))$	88.336	0.000	165	0.000	1.18	-175.57	48.3 %
---	---------------------	---	--------	-------	-----	-------	------	---------	--------

Ghi chú: Bba: Sinh khối vỏ cây, log: logarit neper

Bảng 1.9: Mô hình ước tính carbon trong vỏ cây theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	Cba = f(DBH, H, WD)	$\log(Cba_{kg}) = -6.29073 + 2.1396 \cdot \log(DBH_{cm}) + 0.727789 \cdot \log(H_m) + 0.397023 \cdot \log(WD_{g_{cm^3}})$	91.000	0.000	95	0.006	1.15	-116.0	62.6 %
2	Cba = f(DBH, H)	$\log(Cba_{kg}) = -6.51041 + 2.1097 \cdot \log(DBH_{cm}) + 0.721706 \cdot \log(H_m)$	90.396	0.000	95	0.009	1.16	-110.8	52.3 %
3	Cba = f(DBH)	$Cba_{kg} = \exp(-5.80971 + 2.53635 \cdot \ln(DBH_{cm}))$	89.753	0.000	95	0.000	1.17	-105.6	55.1 %

Ghi chú: Cba: Carbon trong vỏ cây, log: logarit neper



Hình 1.3: Quan hệ giữa giá trị ước lượng sinh khối và carbon tích lũy trong vỏ qua mô hình với thực tế

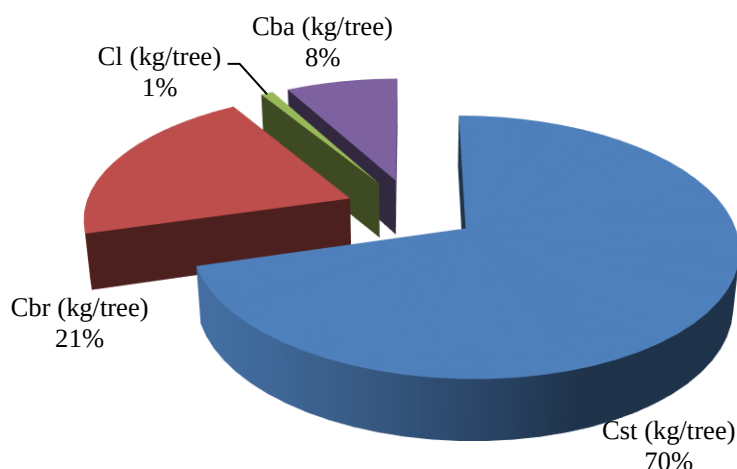
Từ kết quả lập mô hình tối ưu ước tính sinh khối và carbon trong 4 bộ phận của cây trên mặt đất là thân, cành, lá và vỏ thông qua các biến số điều tra trực tiếp cây rừng là DBH, H và khối lượng thể tích gỗ (WD). Kết quả cho thấy ước tính sinh khối và carbon trong thân cây đạt độ tin cậy tốt nhất, kể đến là vỏ cây; trong khi đó biến động từ mô hình so với quan sát là khá cao đối với cành và lá. Điều này cho thấy sinh khối vỏ cây và thân cây có mối quan hệ chặt với nhân tố điều tra cây cá thể, trong khi đó cành và lá phụ thuộc khá lớn vào đặc điểm loài và cho dù có biến WD cũng không cải thiện được độ chính xác; điều này là phù hợp với thực tế đa dạng hình thái loài

trong hệ sinh thái rừng tự nhiên lá rộng thường xanh. Vì vậy chỉ nên ước lượng trực tiếp sinh khối và carbon trong thân và vỏ qua mô hình. Lá và cành cần ước lượng tổng hợp trong toàn bộ 4 bộ phận và cần thêm biến số diện tích tán (Ca) để có thể phản ánh độ rộng hẹp của tán lá cũng như sự phân cành. (Mô hình có biến Ca được lập ở phần tiếp theo đối với toàn bộ cây).

Từ các mô hình ước tính carbon đã xây dựng, sử dụng hàm một biến DBH để tính toán trung bình carbon theo cấp kính của cây rừng và suy ra lượng CO₂ hấp thụ (với CO₂ = 3.67C) cho từng bộ phận cây trên mặt đất rừng. (Bảng 1.10 và hình 1.4).

Bảng 1.10: Lượng carbon/CO₂ tích lũy trong 4 bộ phận cây trên mặt đất

DBH (cm)	Cst (kg/tree)	Cbr (kg/tree)	Cl (kg/tree)	Cba (kg/tree)	Tổng C (kg/tree)	Tổng CO ₂ (kg/tree)
5	2.0	0.4	0.1	0.2	3	10
15	29.2	6.9	2.5	2.9	41	152
25	101.8	26.0	5.0	10.5	143	526
35	231.6	62.5	6.7	24.7	325	1,195
45	428.2	120.3	7.8	46.8	603	2,213
55	699.3	202.9	8.7	77.8	989	3,628
65	1,051.9	313.6	9.3	118.9	1,494	5,482
75	1,492.5	455.3	9.9	170.9	2,129	7,812



Hình 1.4: Tỷ lệ carbon tích lũy trung bình trong 4 bộ phận cây trên mặt đất

Như vậy trong các bộ phận cây trên mặt đất, carbon tích lũy tập trung trong thân cây, chiếm 70%; tiếp theo là trong cành cây với 21%, vỏ cây có 8%, trong khi đó lá có tỷ trọng thấp nhất là 1%. Lượng CO₂ cây hấp thụ biến động từ 10kg ở DBH 5cm đến 7.8 tấn khi đạt đường kính 75cm.

3 MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON PHẦN TRÊN MẶT ĐẤT CÂY RỪNG (AGB và C(AGB))

Hầu hết trên thế giới đều tập trung lập mô hình allometric equations cho sinh khối cây trên mặt đất cây rừng (bao gồm 4 bộ phận thân, cành, lá và vỏ – AGB) (Brown (1997), MacDicken (1997), Henry và cộng sự (2010), Dietz và cộng sự (2011)), vì sinh khối trong cây trên mặt đất chiếm tỷ trọng lớn và biến động do quá trình tác động của con người. Phương pháp chủ yếu là chặt hạ cây đo tính sinh khối để lập mô hình (destructive measurement). Do hàm ước tính AGB sẽ giúp cho việc giám sát trữ lượng carbon rừng theo thời gian, vì vậy có thể xem đây là hàm quan trọng nhất trong hệ thống mô hình ước tính carbon cây rừng. Tuy nhiên hầu hết các tác giả chỉ dừng lại lập mô hình ước tính sinh khối khô của cây (AGB) mà chưa phân tích và lập hàm ước tính trực tiếp carbon tích lũy; giá trị carbon chủ yếu được suy từ sinh khối khô theo hệ số 0.47 của IPCC (2006).

Biến số để ước tính AGB chủ yếu là DBH, H (Brown (1997), Brown và Iversen (1992)); một số tác giả sử dụng biến số WD như Chave và cộng sự (2005), Basuki và cộng sự (2009), ngoài ra theo một số tác giả biến số diện tích tán lá (Ca, m²) sẽ làm tăng độ tin cậy của hàm ước tính sinh khối (Dietz và cộng sự (2011), Henry và cộng sự (2010), Johannes và cộng sự (2011)).

Về dạng hàm, một số tác giả dùng hàm parabol bậc cao để tiếp cận như Brown và cộng sự (2009), Chave (2005), tuy nhiên Basuki và cộng sự (2009) khi lập mô hình sinh khối cho rừng khộp đã so sánh hàm parabol với hàm mũ power theo chỉ tiêu S% và chỉ ra rằng hàm mũ có biến động nhỏ hơn.

Hầu hết các hàm ước tính sinh khối cho vùng nhiệt đới đều không có ở Việt Nam, Brown (1989 – 2001) đã lập mô hình cho các kiểu rừng nhiệt đới với tổng số 371 cây, trong đó rừng khô ở Ấn độ chỉ có 28 cây, rừng ẩm nhiệt đới có 170 cây. Vì vậy thiết lập mô hình ước tính sinh khối và carbon phần trên mặt đất ở Việt Nam là cần thiết để giám sát hấp thụ và phát thải CO₂ rừng khi tham gia chương trình REDD.

Đề tài thử nghiệm với nhiều dạng hàm khác nhau và với các biến số chủ yếu là DBH, H, WD, Ca, V (thể tích cây) và không chỉ ước tính sinh khối mà còn ước tính carbon. Sử dụng tổng hợp các tiêu chuẩn thống kê để lựa chọn biến số tham gia mô hình và lựa chọn hàm để tìm hàm tối ưu. Bảng 1.11 chỉ ra các mô hình tối ưu theo từng nhóm biến số khác nhau để ước tính sinh khối trên mặt đất của cây rừng (AGB). (Dữ liệu từ phụ lục 5).

Bảng 1.11: Mô hình ước tính sinh khối cây rừng trên mặt đất với các biến số

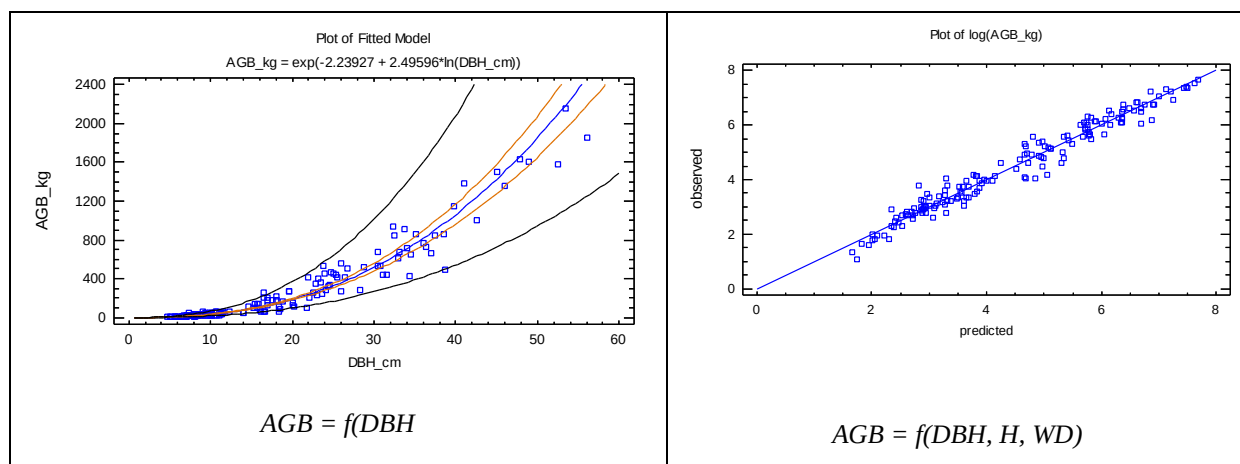
St t	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	AGB = f(DBH)	AGB_kg = exp(-2.23927 + 2.49596*log(DBH_cm))	95.721	0.000	161	0.000	1.06	-345.805	27.88 %

2	AGB = f(DBH, H, WD)	$\log(\text{AGB_kg}) = -2.74348 + 0.693879 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm} \cdot \text{WD_g_cm}^3) + 0.367445 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3 \cdot \text{DBH_cm}^2)$	97.481	0.000	161	0.000	1.03	-430.129	20.34 %
3	AGB = f(DBH, H)	$\log(\text{AGB_kg}) = -2.9766 + 0.535797 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.759321 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm} \cdot \text{WD_g_cm}^3)$	96.804	0.000	161	0.046	1.04	-391.793	23.46 %
4	AGB = f(DBH, WD)	$\log(\text{AGB_kg}) = -2.05364 + 1.76966 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.376371 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3 \cdot \text{DBH_cm}^2)$	96.313	0.000	161	0.000	1.05	-368.791	24.76 %

Ghi chú: AGB: Sinh khối khô 4 bộ phận cây trên mặt đất, kg/cây; log: logarit neper

Từ kết quả cho thấy AGB được ước lượng tốt thông qua 3 biến số DBH, H và WD (Hình 1.5), trong đó WD phản ánh được sự tích lũy sinh khối khô của các loài khác nhau thông qua dung trọng. Hàm có hệ số R^2 cao nhất (97.481%), CF gần bằng 1, AIC bé nhất và biến động giữa lý thuyết và thực tế là 20.3%. Hàm ước lượng AGB theo một biến số DBH có biến động lớn nhất là 27.8%.

So sánh với các tác giả lập mô hình AGB cho vùng rừng nhiệt đới nói chung như Brown (1997) có mô hình với $S\% = 43\% - 107\%$, Chave (2005) thì $S\% = 52\% - 94\%$, Basuki và cộng sự (2009) thực hiện ở rừng khộp, $S\% = 26 - 30\%$ chung cho các loài, kết quả nghiên cứu này cho thấy các hàm lập được trong bảng 1.11 đã cụ thể hóa cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, Việt Nam, đã giảm đáng kể biến động $S\%$ giữa lý thuyết và thực tế so với các tác giả này.



Hình 1.5: Quan hệ AGB với các biến số khác nhau

Để đánh giá các mô hình của các tác giả lập chung cho rừng nhiệt đới, sử dụng các hàm của họ và so sánh với giá trị AGB quan sát ở Tây Nguyên Việt Nam để kiểm chứng độ tin cậy giữa các hàm đã có với mô hình đề tài này đã thiết lập.

Các mô hình của các tác giả được đưa ra so sánh là:

- Đối với mô hình một biến số DBH:

Hàm Brown (1997) lập cho rừng nhiệt đới ẩm toàn thế giới (Moist Forest):

$AGB \text{ (kg/cây)} = \exp(-2.134 + 2.530 \cdot \ln(DBH))$, $DBH=5-148\text{cm}$, $n=170$ cây, $R^2=0.97$, được so sánh với hàm đã được thiết lập trong nghiên cứu này cho rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, Việt Nam:

$AGB_{\text{kg}} = \exp(-2.23927 + 2.49596 \cdot \ln(DBH_{\text{cm}}))$, $DBH=5-75\text{cm}$, $n=161$, $R^2=0.95$

- Đối với mô hình ba biến số DBH (D), H và WD (ρ):

Hàm Chave (2005) lập mô hình cho rừng nhiệt đới ở 3 châu lục là Châu Mỹ, Châu Á và Châu Đại Dương:

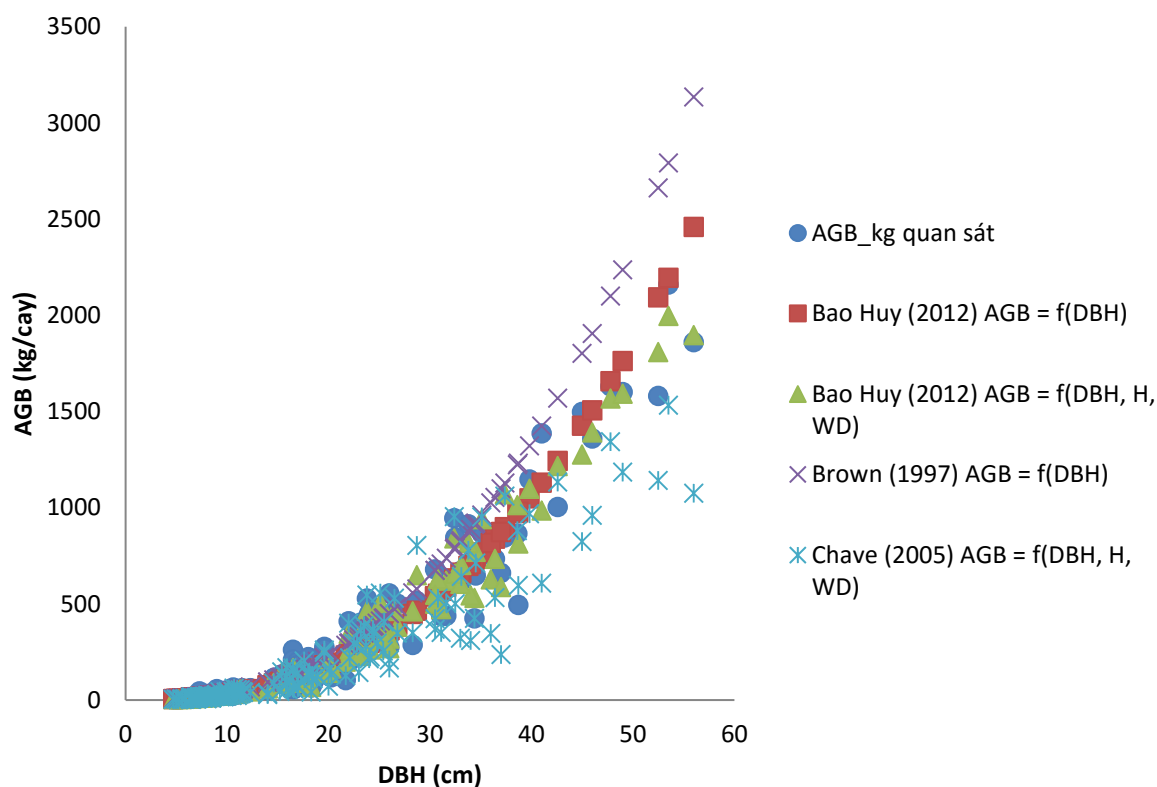
$$\langle AGB \rangle_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 \times \rho D^2 H$$

được so sánh với hàm đã được thiết lập trong nghiên cứu này:

$$\log(AGB_{\text{kg}}) = -2.74348 + 0.693879 \cdot \log(H_{\text{m}} \cdot DBH_{\text{cm}}^2) + 0.367445 \cdot \log(WD_{\text{g}_{\text{cm}^3}} \cdot DBH_{\text{cm}}^2)$$

Kết quả so sánh hàm của hai tác giả trên với số liệu AGB thực tế ở Tây Nguyên cho thấy:

- Đối với hàm của Brown (1997) với một biến DBH, biến động lên đến $S\% = 38.3\%$ khi so với số liệu Tây Nguyên, trong khi đó mô hình trong đề tài này thiết lập là $S\% = 27.9\%$; giúp làm giảm sai số đến 11%.
 - Đối với hàm của Chave (2005) với 3 biến số DBH (D), H và WD (ρ), biến động là $S\% = 24.3\%$ so với số liệu Tây Nguyên, trong khi đó hàm trong đề tài này đạt được $S\% = 20.3\%$; giúp giảm sai số 4%.
- Sự phù hợp của các hàm được so sánh thể hiện trong hình 1.6



Hình 1.6: So sánh sự phù hợp của các mô hình trong đề tài với mô hình của Brown (1997) và Chave (2005)

Đồng thời so sánh kết quả ước lượng AGB theo DBH từ hàm Brown (1997) với hàm được xây dựng trong đề tài này theo từng cấp kính ở bảng 1.12, cho thấy hàm Brown trung bình làm tăng giá trị ước lượng lên 24.9% so với mô hình trong nghiên cứu này.

Bảng 1.12: So sánh mô hình ước lượng AGB theo DBH của Brown (1997) và mô hình được xây dựng trong đề tài

DBH (cm)	AGB (kg/cây) Bảo Huy (2012)	AGB (kg/cây) Brown (1997)	S%
5	5.9	6.9	17.4%
15	91.8	111.9	21.8%
25	328.6	407.4	24.0%
35	761.1	954.4	25.4%
45	1,425.1	1,802.4	26.5%
55	2,351.7	2,994.6	27.3%
65	3,568.3	4,569.7	28.1%
75	5,100.1	6,563.3	28.7%
Trung bình			24.9%

Như vậy việc thiết lập các hàm ước tính AGB cho Tây Nguyên, Việt Nam đã làm tăng độ tin cậy của việc ước lượng sinh khối và carbon đáng kể; đồng thời các tác giả trên thế giới cũng chỉ dừng lại ước tính sinh khối, chưa ước tính carbon cho thực vật thân gỗ rừng nhiệt đới.

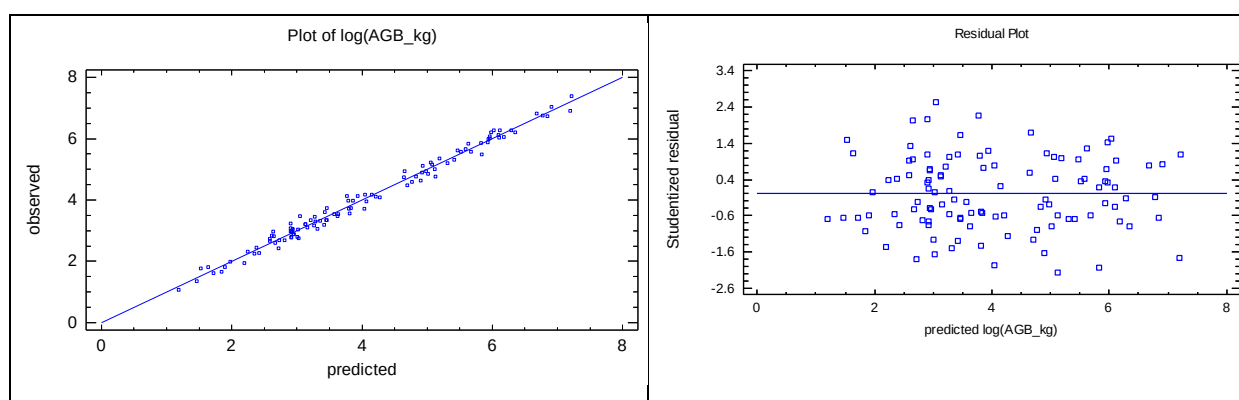
Từ kết quả này cho thấy để ước tính chính xác AGB của cây rừng phần trên mặt đất, hàm 3 biến số DBH, H và WD đạt độ tin cậy cao nhất và cao hơn hàm Chave (2005) lập cho rừng nhiệt đới, kể đến là hai biến DBH và H. Hàm ước tính AGB với một biến DBH độ tin cậy thấp hơn, nhưng cũng cao hơn nhiều so với hàm chung của rừng nhiệt đới (Brown (1997)), do vậy có thể ứng dụng trong đo tính khi không có yêu cầu cao về độ tin cậy hoặc chi phí thấp, ví dụ như đo tính carbon rừng với sự tham gia của cộng đồng.

Ngoài ra để tăng độ chính xác của mô hình ước tính AGB, biến diện tích tán lá (Ca, m²/cây) được bổ sung để thử nghiệm (Dữ liệu ở phụ lục 6). Vì trong thực tế tán cành lá cây rất khác biệt do đặc điểm hình thái mỗi loài, trong điều kiện địa hình khác nhau; ví dụ một cây cùng DBH, H và WD thì có thể tin rằng có cùng trung bình sinh khối của phần thân cây, trong khi đó cành cây, tán lá chiếm tỷ trọng đáng kể và khác biệt nhau vì đặc điểm đa dạng hình thái loài trên các điều kiện lập địa, địa hình khác nhau. Như vậy bổ sung biến số Ca sẽ mang lại độ tin cậy trong ước lượng trong khi chưa thể lập được mô hình allometric equations cho từng loài trên từng điều kiện lập địa của rừng nhiệt đới. Hình 1.7 minh họa sự phù hợp của giá trị lý thuyết với thực tế quan sát và biến động phần dư residual nằm trong phạm vi -2 đến +2

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.13408 + 1.96454 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.619246 \cdot \log(\text{H_m}) + 0.124205 \cdot \log(\text{Ca_m2}) + 1.03509 \cdot \log(\text{WD_g_cm3}) \quad (1.1)$$

Với $R^2_{\text{adj.}} = 98.693\%$, $P < 0.000$, $n=109$, $P_{\text{bi}} < 0.000$, $\text{CF}=1.02$, $\text{AIC}=-378.0$ và $\text{S\%}=14.1\%$

(log: logarit neper)



Hình 1.7: Quan hệ giá trị dự báo AGB với quan sát và biến động phần dư (residual) của mô hình 4 biến $\log(\text{AGB}) = f(\log(\text{DBH}), \log(\text{H}), \log(\text{Ca}), \log(\text{WD}))$

Như vậy ước lượng AGB với 4 biến số DBH, H, WD và Ca sẽ cho độ tin cậy cao nhất, với hệ số quan hệ $R^2_{\text{adj.}} = 98.693\%$, cao nhất và $\text{S\%}=14.1\%$ là thấp nhất và các chỉ tiêu CF, AIC cũng tốt nhất trong các mô hình ước tính AGB với các biến số

khác nhau và thấp hơn rất nhiều so với các mô hình của Brown (1997) với chỉ một biến DBH và Chave (2005) với ba biến DBH, H, WD nhưng không có Ca. Trong thực tế sử dụng mô hình này chỉ cần bổ sung đo chính xác đường kính tán lá của cây ở 2 – 4 hướng và tính Ca, do vậy việc tăng biến Ca không làm tăng nguồn lực, chi phí khi ứng dụng lên quá nhiều. Mô hình này được khuyến cáo sử dụng để đạt được độ tin cậy cao nhất trong ước tính sinh khối của tất cả bộ phận cây trên mặt đất của rừng hỗn loài phức tạp về hình thái tán cành lá.

Đối với rừng ẩm nhiệt đới, không chỉ Việt Nam mà cả trên thế giới chưa có mô hình allometric equations ước lượng carbon tích lũy trong cây phần trên mặt đất (C(AGB)) mà chỉ dừng lại ở sinh khối; đề tài đã phân tích carbon trong 4 bộ phận cây chặt hạ (thân, cành, lá và vỏ), tiến hành lập và lựa chọn mô hình tối ưu với các biến DBH, H, WD và Ca (diện tích tán lá, m²/cây). Kết quả ở bảng 1.13 và dữ liệu ở phụ lục 7 và 8.

Bảng 1.13: Mô hình ước tính carbon cây gỗ phần trên mặt đất với các biến số

St t	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	C(AGB) = f(DBH)	$C_AGB_kg = \exp(-2.97775 + 2.49711 \cdot \ln(DBH_cm))$	95.398	0.000	93	0.000	1.07	-186.7	30.8%
2	C(AGB) = f(DBH, H, WD)	$\log(C_AGB_kg) = -3.40031 - 0.819475 \cdot \log(DBH_cm) + 0.787115 \cdot \log(H_m \cdot DBH_cm^2) + 0.673237 \cdot \log(WD_g_cm^3 \cdot DBH_cm^2)$	98.459	0.000	93	0.006	1.02	-286.5	16.4%
3	C(AGB) = f(DBH, H)	$\log(C_AGB_kg) = -3.72664 + 2.05141 \cdot \log(DBH_cm) + 0.760168 \cdot \log(H_m)$	96.280	0.000	93	0.000	1.05	-205.5	27.1%
4	C(AGB) = f(DBH, WD)	$\log(C_AGB_kg) = -2.63037 + 1.23621 \cdot \log(DBH_cm) + 0.662748 \cdot \log(WD_g_cm^3 \cdot DBH_cm^2)$	97.477	0.000	93	0.000	1.04	-241.6	21.6%
5	C(AGB) = f(DBH, Ca, H, WD)	$\log(C_AGB_kg) = -3.6277 + 0.170678 \cdot \log(Ca_m2) + 1.89109 \cdot \log(DBH_cm) + 0.0578426 \cdot H_m + 1.94886 \cdot WD_g_cm^3$	98.621	0.000	50	0.001	1.02	-163.6	13.2%

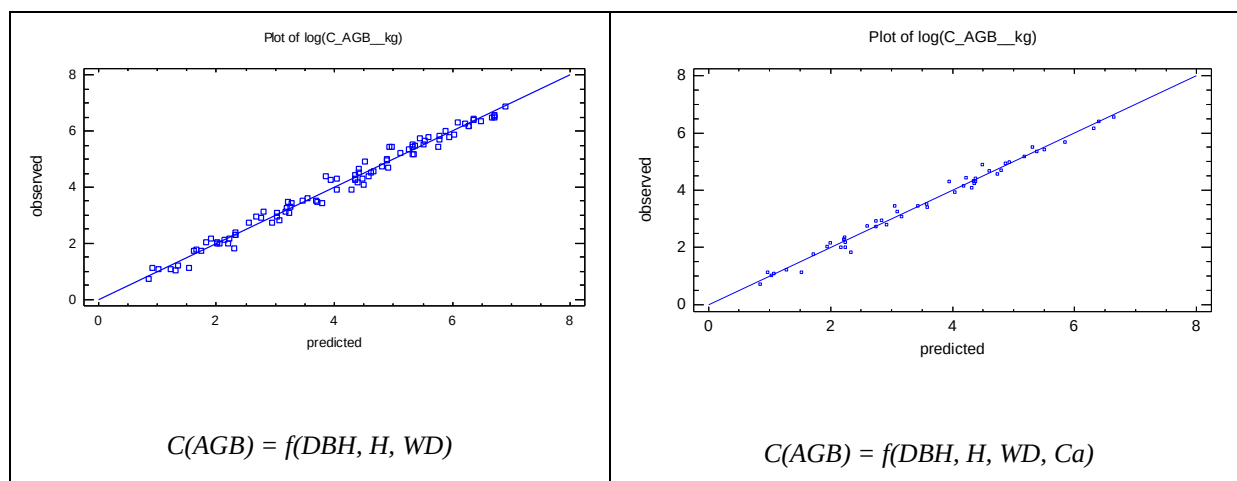
Ghi chú: C_AGB: Carbon tích lũy trong 4 bộ phận cây trên mặt đất, kg/cây; log: logarit neper, Ca: Diện tích tán lá, m²/cây.

Kết quả trong bảng 1.13 cho thấy nếu chưa xét đến biến Ca, thì carbon tích lũy trong cây phần trên mặt đất có quan hệ chặt chẽ nhất với 3 biến số DBH, H và WD với

hệ số R^2 cao nhất, các chỉ tiêu CF, AIC thấp nhất và biến động S% cũng thấp nhất là 16.4%. Điều này cho thấy carbon tích lũy trong cây gia tăng theo kích thước cây (theo tuổi) và đặc biệt phụ thuộc vào đặc điểm sinh học loài thông qua biến khối lượng thể tích gỗ WD. Mô hình có một biến DBH có quan hệ thấp nhất trong các mô hình với S% = 30.8%.

Đặc biệt khi đưa vào biến diện tích tán lá cây (Ca, m²/cây) thì mô hình với 4 biến DBH, H, WD và Ca có các chỉ số thống kê tốt nhất, biến động S% rất thấp ở 13.2%; mức hệ số thấp như vậy hầu như ít thấy ở các mô hình trên thế giới. Điều này phù hợp với sinh học loài, trong thực tế một cây có cùng kích thước DBH, H và có thể có cùng nhóm khối lượng thể tích gỗ WD, nhưng do khác loài thì hình thái sẽ rất khác nhau như tán lá, phân cành, số cành, ... do vậy biến số Ca sẽ cải thiện rõ rệt độ tin cậy của mô hình ước tính carbon cây rừng với sự biến động cao của cành và tán lá của các loài khác nhau của rừng nhiệt đới. Trong khi đó biến Ca rất ít được đề cập trong các mô hình allometric equations trên thế giới, chỉ một số tác giả sử dụng biến đường kính tán lá (CD) và cũng đồng ý rằng khi biến này tham gia vào mô hình thì tăng độ tin cậy của hàm (Dietz và cộng sự (2011), Henry và cộng sự. (2010), Johannes và cộng sự (2011)).

Như vậy để ước tính chính xác nhất C(AGB), cần thông qua mô hình 4 biến DBH, H, WD và Ca (Hình 1.8); còn độ tin cậy thấp hơn có thể chỉ sử dụng 2 biến thông thường là DBH và H. Hàm một biến DBH chỉ sử dụng trong điều kiện không yêu cầu độ tin cậy cao như đo tính carbon ở cấp cộng đồng.



Hình 1.8: Quan hệ giá trị ước tính C(AGB) qua mô hình có biến số khác nhau với giá trị quan sát

Ngoài ra hiện nay theo IPCC (2006) thì chủ yếu ước tính sinh khối AGB, sau đó suy ra lượng carbon trên mặt đất với hệ số chuyển đổi 0.47. Từ số liệu quan sát AGB và C(AGB) tính lại hệ số này trong điều kiện rừng tự nhiên Tây Nguyên, Việt Nam. Kết quả thể hiện trong bảng 1.14:

Bảng 1.14: Tỷ lệ C(AGB)/AGB

C(AGB)_AGB	
Trung bình	0.468
Sai số trung bình	0.006
Sai tiêu chuẩn	0.068
Phương sai	0.005
Nhỏ nhất - Minimum	0.329
Lớn nhất Maximum	0.579
Số mẫu	111
Biến động với P = 95% - Confidence Level(95.0%)	0.013

Như vậy tỷ lệ giữa C(AGB)/AGB rừng thường xanh ở Tây Nguyên là 0.468, đồng nhất với IPCC (2006) là 0.47. Tỷ lệ này biến động từ 0.468 ± 0.013 với độ tin cậy P = 95%.

4 MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON PHẦN DƯỚI MẶT ĐẤT (TRONG RỄ CÂY RỪNG) (BGB, C(BGB))

Sinh khối (BGB) và carbon (C(BGB)) dưới mặt đất của rừng chiếm chủ yếu là rễ cây gỗ, đây là một bể chứa carbon quan trọng của rừng nhưng lại rất khó tiếp cận để lập mô hình. Hầu như rất khó tìm thấy mô hình allometric equations ước tính BGB hoặc C(BGB) trên thế giới, chủ yếu sử dụng hệ số chuyển đổi từ sinh khối trên mặt đất AGB sang sinh khối dưới mặt đất với hệ số trung bình là $BGB = 20\% * AGB$ (IPCC, (2006), MacDicken (1997)), sau đó chuyển sang carbon cũng với hệ số 0.47.

Để lập mô hình ước tính BGB và C(BGB), đề tài đã tiến hành đào lấy rễ cây theo cấp kính và phân tích carbon mẫu rễ. Mô hình BGB và C(BGB) được thử nghiệm lựa chọn với các biến số DBH, H, WD với các dạng hàm khác nhau, kết quả tìm được các hàm tối ưu ở các bảng 1.15 và 1.16. (Dữ liệu ở phụ lục 9 và 10).

Bảng 1.15: Mô hình ước tính sinh khối rễ cây theo các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	BGB = f(DBH)	$BGB_kg = \exp(-3.73687 + 2.32102 * \ln(DBH_cm))$	89.992	0.000	105	0.000	1.11	-156.4	40.4 %
2	BGB = f(DBH, H, WD)	$\log(BGB_kg) = -3.90385 + 0.891108 * \log(DBH_cm^2 * H_m) + 1.03154 * \log(WD_g_cm3)$	90.827	0.000	105	0.000	1.10	-164.6	36.7 %
3	BGB = f(DBH, H)	$\log(BGB_kg) = -4.43424 + 0.880023 * \log(DBH_cm^2 * H_m)$	88.068	0.000	105	0.000	1.14	-137.9	43.8 %
4	BGB = f(DBH, WD)	$\log(BGB_kg) = -3.21544 + 2.34465 * \log(DBH_cm) + 0.977922 * \log(WD_g_cm3)$	92.482	0.000	105	0.000	1.08	-185.5	33.8 %

Sinh khối dưới mặt đất (BGB) được ước lượng tốt nhất với hàm 2 biến số DBH và WD, biến H tỏ ra không ảnh hưởng lớn đến hệ rễ cây. Hàm này có các chỉ tiêu thống kê tốt nhất như R^2 cao nhất (92.48%), CF gần 1 và AIC nhỏ nhất, với biến động so với thực tế là 33.8%. Biến động của hàm ước tính của BGB lớn hơn ABG cho thấy sự phức tạp của hệ rễ cây rừng so với phần sinh khối trên mặt đất của nó. Mô hình đơn giản hơn để ước tính BGB theo nhân tố DBH, có biến động là 40.4%.

Từ dữ liệu tính được tỷ lệ giữa sinh khối dưới mặt đất và trên mặt đất của cây gỗ trung bình là 18.3%, thấp hơn IPCC (2006) là 20%.

Bảng 1.16: Mô hình ước tính carbon tích lũy trong rễ cây với các biến số

Stt	Dạng hàm	Hàm	R^2 adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	C(BGB) = f(DBH)	$C_BGB_kg = \exp(-4.91842 + 2.41957 \cdot \ln(DBH_cm))$	89.112	0.000	58	0.000	1.18	-60.8	52.0 %
2	C(BGB) = f(DBH, H, WD)	$\log(C_BGB_kg) = -0.52749 - 20.0271 \cdot 1/\log(H_m \cdot DBH_cm^3) + 0.865064 \cdot \log(WD_g_cm^3 \cdot DBH_cm^2)$	90.318	0.000	58	0.045	1.23	-66.7	46.6 %
3	C(BGB) = f(DBH, H)	$\log(C_BGB_kg) = -5.58412 + 0.911888 \cdot \log(DBH_cm^2 \cdot H_m)$	86.934	0.000	58	0.000	1.16	-50.2	55.7 %
4	C(BGB) = f(DBH, WD)	$\log(C_BGB_kg) = -4.52334 + 2.43371 \cdot \log(DBH_cm) + 0.707128 \cdot \log(WD_g_cm^3)$	90.261	0.000	58	0.000	1.22	-66.3	47.6 %

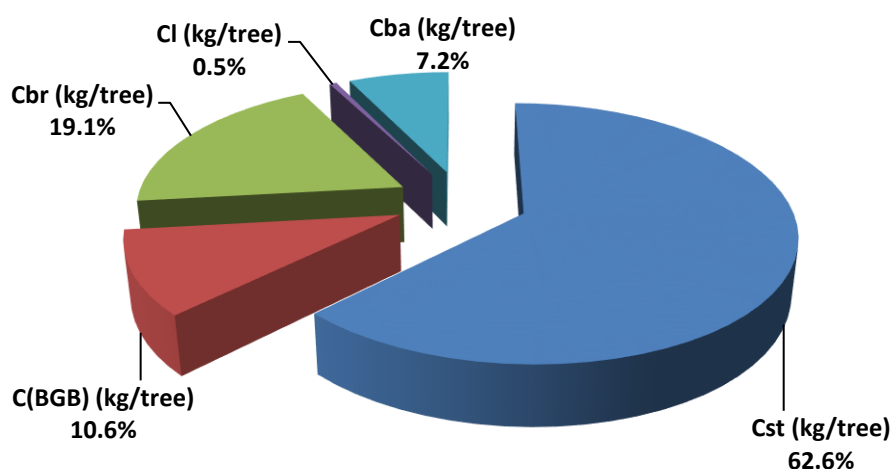
Mô hình ước tính carbon tích lũy trong hệ rễ cây rừng (C(BGB)) đạt độ tin cậy cao nhất với 3 biến số DBH, H và WD, với $R^2 = 90.32\%$, biến động so với thực tế là 46.6%. Như vậy có thể thấy ước lượng C(BGB) có sai số lớn hơn nhiều khi ước lượng phần trên mặt đất. Mô hình đơn giản nhất ước lượng C(BGB) với một biến DBH có $R^2 = 89.11\%$ và biến động là 52.0%.

Từ dữ liệu quan sát tính được tỷ lệ carbon/sinh khối của BGB với giá trị trung bình là 0.462, giá trị này xấp xỉ với IPCC (2006). Đồng thời tỷ lệ giữa carbon dưới mặt đất so với trên mặt đất của cây rừng cũng được xác định bình quân là 0.174.

Từ kết quả các mô hình ước tính sinh khối và carbon trên và dưới mặt đất của cây rừng, tính toán được trung bình carbon tích lũy và CO₂ hấp thụ của các bộ phận cây như bảng 1.17 và hình 1.9.

Bảng 1.17: Carbon tích lũy và CO₂ hấp thụ của cây rừng theo cấp kính

DBH (cm)	Cst (kg/tree)	C(BGB) (kg/tree)	Cbr (kg/tree)	Cl (kg/tree)	Cba (kg/tree)	Tổng C (kg/tree)	Tổng CO ₂ (kg/tree)
5	2.0	0.4	0.4	0.1	0.2	3.0	11.0
15	29.2	5.1	6.9	2.5	2.9	46.6	170.9
25	101.8	17.6	26.0	5.0	10.5	160.9	590.4
35	231.6	39.8	62.5	6.7	24.7	365.3	1,340.6
45	428.2	73.1	120.3	7.8	46.8	676.2	2,481.5
55	699.3	118.8	202.9	8.7	77.8	1,107.5	4,064.5
65	1,051.9	178.0	313.6	9.3	118.9	1,671.7	6,135.3
75	1,492.5	251.7	455.3	9.9	170.9	2,380.2	8,735.3



Hình 1.9: Tỷ lệ carbon tích lũy trung bình trong 5 bộ phận cây rừng

Như vậy carbon tích lũy cao nhất là trong thân cây (62.6%), thứ hai là trong cành cây (19.1%), tiếp đến là trong rễ cây (10.6%), trong vỏ là 7.2%, thấp nhất là trong lá với tỷ lệ là 0.5%. Lượng CO₂ cây hấp thụ tăng theo tuổi (kích thước DBH), từ 11kg/cây ở cấp DBH = 5cm đến 8.7 tấn/cây ở cấp kính 75cm.

5 MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỔI GIỮA SINH KHỐI, CARBON NHÂN TỐ ĐIỀU TRA CÂY CÁ THỂ

Trong thực tế có nhu cầu ước tính, hoặc chuyển đổi từ nhân tố dễ đo đếm sang khó đo đếm, như ước tính sinh khối dưới mặt đất thông qua phần sinh khối trên mặt đất, ước tính carbon thông qua sinh khối; hoặc ước tính các giá trị điều tra cây cá thể gián tiếp thông qua nhân tố dễ đo đếm trực tiếp.

Vì vậy trên cơ sở dữ liệu cây chặt hạ, tiến hành lập 3 nhóm mô hình ước tính gián tiếp, chuyển đổi như sau:

- Ước tính gián tiếp sinh khối, carbon cây từ nhóm sinh khối, carbon dễ đo tính
- Ước tính sinh khối, carbon cây từ nhân tố thể tích cây cá thể
- Ước tính gián tiếp các nhân tố điều tra cây phục vụ làm biến số của mô hình sinh khối, carbon

Bảng 1.18: Mô hình ước tính gián tiếp sinh khối và carbon thông qua sinh khối/carbon dễ đo tính

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	C(AGB) = f(ABG)	$C_AGB_kg = \exp(-0.787193 + 1.0036 \cdot \ln(AGB_kg))$	99.286	0.000	111	0.000	1.01	-423.0	13.6%
2	BGB = f(AGB)	$BGB_kg = \exp(-1.67227 + 0.959338 \cdot \ln(AGB_kg))$	88.721	0.000	82	0.000	1.10	-126.0	33.9%
3	C(BGB) = f(BGB)	$C_BGB_kg = \exp(-0.838047 + 1.01486 \cdot \ln(BGB_kg))$	99.038	0.000	59	0.000	1.01	-207.7	12.6%
4	C(BGB) = f(C(AGB))	$C_BGB_kg = \exp(-2.08988 + 0.992059 \cdot \ln(C_AGB_kg))$	92.838	0.000	38	0.000	1.11	-54.4	38.8%

Kết quả các mô hình ở bảng 1.18:

- Mô hình (1) dùng để ước lượng carbon trong thân cây gỗ (C(AGB)) từ sinh khối của nó (AGB) mà không cần dùng hệ số chuyển đổi của IPCC (2006). S% = 13.6% là khá tốt. (Dữ liệu ở phụ lục 11).
- Mô hình (2) dùng ước tính sinh khối dưới mặt đất (BGB) theo sinh khối trên mặt đất (AGB), tuy nhiên biến động so với thực tế khá lớn, S% = 33.9%. (Dữ liệu ở phụ lục 12)
- Mô hình (3) dùng ước tính carbon trong rễ cây (C(BGB)) từ sinh khối của nó (BGB), sai lệch là thấp với S% = 12.6%. Với mô hình này không cần dùng hệ số chuyển đổi sinh khối sang carbon của IPCC (2006). (Dữ liệu ở phụ lục 13).
- Mô hình (4) dùng ước tính carbon trong rễ (C(BGB)) từ carbon trong cây trên mặt đất (C(AGB)) với sai lệch trung bình so với dữ liệu thực là 38.8%. (Dữ liệu ở phụ lục 14).

Bảng 1.19: Mô hình ước tính sinh khối, carbon cây trên mặt đất với thể tích cây

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	AGB = f(V)	$AGB_kg = \exp(6.40486 + 0.998579 \cdot \ln(V_m3))$	96.760	0.000	111	0.000	1.05	-256.7	25.7%
2	C(AGB) = f(V)	$C_AGB_kg = \exp(5.63139 + 0.997106 \cdot \ln(V_m3))$	95.093	0.000	111	0.000	1.08	-209.0	33.2%

Kết quả các mô hình ở bảng 1.19:

- Mô hình (1) dùng ước tính sinh khối cây trên mặt đất (AGB) theo nhân tố thể tích cây (V). Sai lệch so với thực tế ở mức trung bình là 25.7%.
- Mô hình (2) dùng ước tính carbon trong cây gỗ trên mặt đất (C(AGB) theo V. Sai lệch ở mức trung bình là 33.2%

Cả hai mô hình được lập từ nguồn dữ liệu ở phụ lục 11

Bảng 1.20: Mô hình ước tính các nhân tố điều tra cây cá thể

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	H = f(DBH)	$H_m = (0.799577 + 1.05918 \cdot \ln(DBH_{cm}))^2$	77.761	0.000	241	0.000	1.07	-483.8	16.7%
2	V = f(DBH, H)	$\log(V) = -9.802 + 1.8829 \cdot \log(DBH) + 1.06268 \cdot \log(H)$	98.924	0.000	221	0.000	1.01	-783.0	13.0%

Kết quả các mô hình ở bảng 1.20:

- Mô hình (1) là tương quan giữa H và DBH của cây rừng dùng để ước tính H thông qua DBH đối với mô hình allometric có sử dụng biến H và dùng để lập biểu cấp chiều cao lâm phần. (Dữ liệu lập mô hình ở phụ lục 15).
- Mô hình (2) dùng ước tính thể tích cây rừng theo 2 nhân tố DBH và H, với sai lệch thấp, S% = 13.0%. (Dữ liệu ở phụ lục 16).

CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN

Carbon rừng được lưu giữ trong 5 bể chứa chính (IPCC, (2006), đó là trong thực vật thân gỗ phần trên mặt đất C(AGB); trong thực vật dưới mặt đất, chủ yếu là trong rễ cây C(BGB); trong thảm mục, thảm tươi; gỗ chết và trong đất. Trong thực tế carbon trong thực vật có thể ước tính thông qua các hàm allometric equations của cây rừng kết hợp với phân bố mật độ cây theo cấp kính lâm phần. Tuy nhiên để làm sáng tỏ năng lực lưu giữ, hấp thụ CO₂ của toàn lâm phần, cần có các mô hình ước tính cho lâm phần cũng như xác định carbon ở các bể chứa khác ngoài thực vật thân gỗ.

1 PHÂN CẤP CHIỀU CAO ĐỂ ƯỚC TÍNH SINH KHỐI, CARBON LÂM PHẦN

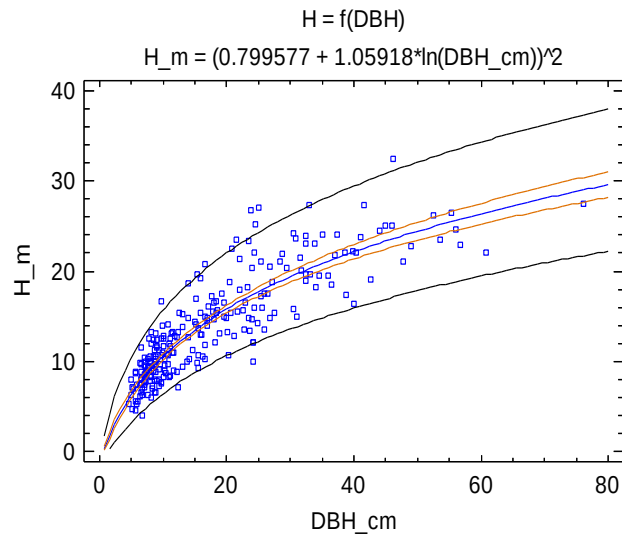
Cũng như ước tính trữ lượng gỗ, ước tính sinh khối và carbon lâm phần trước hết cần phân loại rừng thành nhóm đồng nhất về năng suất, sức sản xuất hay còn gọi là cấp năng suất. Trong thực tế việc ước lượng sinh khối, carbon sẽ mắc sai số cao khi chỉ dựa vào DBH, vì cùng DBH nhưng ở điều kiện lập địa thuận lợi, tốt hơn thì chiều cao sẽ cao hơn và ngược lại, do đó biến số của hàm allometric equations có độ tin cậy cao thường phải có biến chiều cao (H). Vì vậy phân cấp H được hiểu như là phân cấp năng suất rừng sẽ hỗ trợ cho việc ước tính sinh khối, carbon rừng có độ chính xác cao hơn.

Việc phân chia cấp chiều cao rừng 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, trên cơ sở đó sẽ xác định được một lâm phần cụ thể ở cấp chiều cao nào và dùng phương trình H/D tương ứng.

Từ 241 cặp số liệu H/DBH đo trên tất cả vùng nghiên cứu thuộc rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên (dữ liệu ở phụ lục 15), thiết lập mô hình quan hệ H/DBH trên cơ sở các tiêu chuẩn lựa chọn hàm tối ưu (Hình 2.1 biểu diễn quan hệ lý thuyết với số liệu quan sát H/DBH).

$$H_m = (0.799577 + 1.05918 \cdot \ln(DBH_{cm}))^2 \quad (2.1)$$

Với $R^2 = 77.76\%$, $P < 0.000$, $n = 241$, $CF = 1.07$, $AIC = -483.8$ và $S\% = 16.7\%$.



Hình 2.1: Quan hệ H/DBH

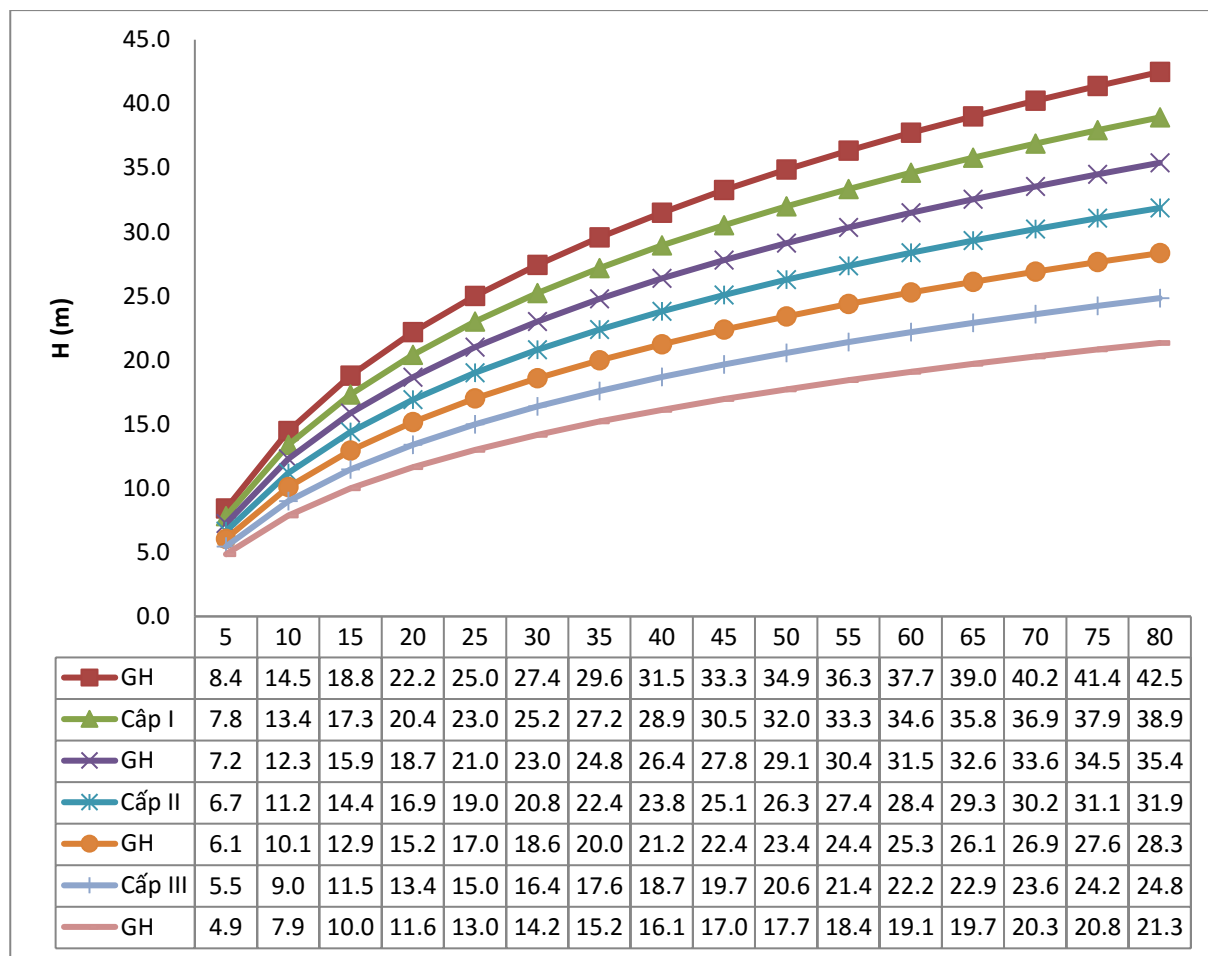
Từ mô hình H/DBH, tiến hành phân chia thành 3 cấp chiều cao. Căn cứ vào biến động chiều cao ở cấp đường kính 20 – 30cm, chiều cao biến động từ 13 – 25m, sử dụng phương pháp cố định tham số a và thay đổi tham số bi theo từng cấp H, từ đây xác định được các phương trình giữa và giới hạn các cấp.

$$H_m = (0.799577 + b_i \cdot \ln(DBH_{cm}))^2 \quad (2.2)$$

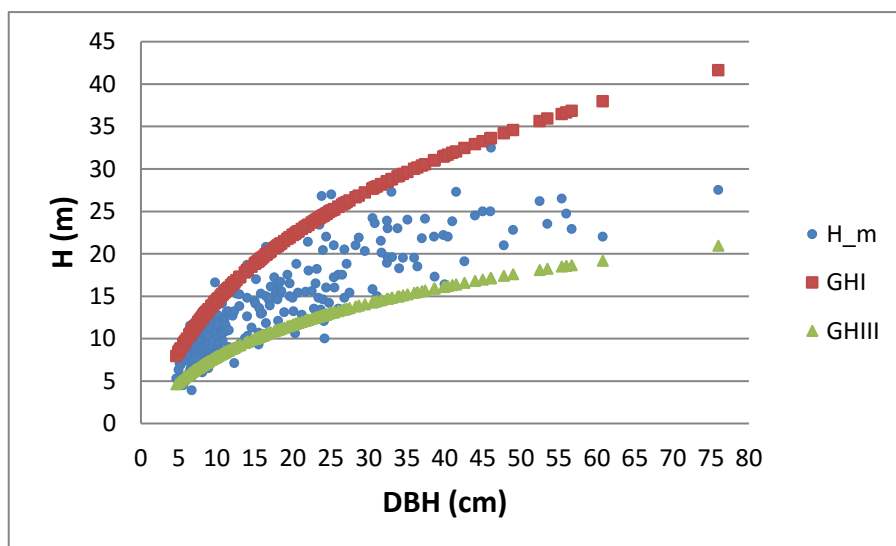
Với tham số bi theo từng cấp như sau:

Cấp H	Tham số bi của đường cong chiều cao
GH	1.304935
Cấp I	1.241506
GH	1.175255
Cấp II	1.105766
GH	1.032512
Cấp III	0.954807
GH	0.871725

Từ đây lập được biểu và đường cong 3 cấp chiều cao cho rừng thường xanh Tây Nguyên ở hình 2.2.



Hình 2.2: Đường cong và biểu cấp chiều cao



Hình 2.3: Kiểm nghiệm sự phù hợp của họ đường cong cấp chiều cao

Hệ thống đường cong chiều cao là phù hợp với toàn bộ các khu vực nghiên cứu trên cơ sở kiểm tra đường giới hạn trên và dưới, cho thấy xu hướng đường cong là phù hợp và bao phủ toàn bộ đám mây điểm của H/DBH (hình 2.3).

Trên cơ sở cấp H đã lập, một lâm phần cụ thể nghiên cứu được xác định cấp H tương ứng thông qua H bình quân ở cấp kính 20 – 30 cm, làm cơ sở ước lượng sinh khối lâm phần theo cấp chiều cao.

2 ƯỚC TÍNH 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.

Thống kê kết quả phân tích đất từ 41 nghiên cứu trên 197 lập địa khác nhau về động thái biến đổi của carbon trong đất sau trồng rừng trên thế giới, Paul và Polglase (2002) nhận thấy chỉ có rất ít nghiên cứu (cho 34 lập địa) là nghiên cứu biến đổi của carbon trong đất ở cả hai dạng carbon hữu cơ và carbon vô cơ, số còn lại chỉ nghiên cứu carbon hữu cơ trong đất. Điều này do carbon vô cơ trong đất rất ít biến đổi, hoặc có biến đổi thì cũng trong một thời gian dài do nó tồn tại ở dạng khó phân hủy, lại thường ở tầng đất sâu nên ít bị xói mòn rửa trôi. Vì vậy nghiên cứu động thái biến đổi carbon trong đất là nghiên cứu động thái biến đổi của carbon hữu cơ trong đất. Carbon hữu cơ trong đất thường chỉ được tính carbon hữu cơ tồn tại trong những vật liệu hữu cơ có kích thước <2mm (IPCC, 2003 - 2006). Tầng dày đất để xác định sự biến đổi SOC theo IPCC là 30 cm, nhưng cũng tùy theo quốc gia lựa chọn.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung phân tích biến đổi carbon hữu cơ trong đất và thực tế cho thấy đối với rừng thường xanh, 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. Do vậy đề tài này nghiên cứu SOC của rừng lá rộng thường xanh đến độ sâu tầng đất 50cm.

Trên cơ sở 20 phẫu diện 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 2.1 tính được SOC trung bình = 100.6 tấn C/ha. SOC biến động từ 45.8 – 189.7 tấn C/ha. Với độ lệch và độ nhọn xấp xỉ bằng 0 cho thấy quy luật phân bố khối lượng SOC là chuẩn, ước lượng SOC với độ tin cậy P = 95%: SOC (tấn/ha) = 100.6 ± 16.6 tấn C/ha. (Dữ liệu ở phụ lục 17).

Bảng 2.1: Trung bình và biến động SOC rừng thường xanh Tây Nguyên

	SOC (t/ha)
Trung bình	100.6
Sai số trung bình	7.9
Sai tiêu chuẩn	35.5
Phương sai	1257.2
Độ nhọn - Kurtosis	0.9
Độ lệch - Skewness	0.9
Minimum	45.8
Maximum	189.7
Mẫu	20
Sai số ước lượng 95% - Confidence Level(95.0%)	16.6

SOC bị ảnh hưởng bởi nhiều nhân tố phức tạp, đồng thời theo IPCC (2006) thì SOC khá ổn định trong đất nếu thảm thực vật rừng còn được duy trì lâu dài.

Thử nghiệm phát hiện các nhân tố sinh thái, sinh khối rừng ảnh hưởng đến SOC bằng hàm đa biến, kết quả chọn lựa được các biến số ảnh hưởng đến SOC trong bảng 2.2. (Dữ liệu từ phụ lục 18).

Bảng 2.2: Mô hình quan hệ SOC với các nhân tố sinh thái, sinh khối rừng

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	AIC	Biến động S%
1	SOC = f(Maso_dame, TAGTB, pH, P, t)	SOC_tan_ha = -1474.36 + 19.4691*Maso_dame + 0.248061*P_mm_nam + 237.562*1/log(pH dat) + 0.145469*TAGTB_tan_ha + 34.8408*Tkk	66.86	0.001	20	0.00 1	127.5	15.7%
2	SOC = f(Maso_dame, TAGTB)	SOC_tan_ha = 31.0727 + 23.4472*(Maso_dame) + 0.144237*TAGTB_tan_ha	51.13	0.001	20	0.00 3	131.2	21.8%
3	SOC = f(TAGTB)	SOC_tan_ha = sqrt(6201.4 + 0.0970105*(TAGTB_tan_ha)^2)	23.57	0.017	20	0.01 7	359.5	29.1%

Trong đó: Maso_dame: Mã số 3 loại đá mẹ trong khu vực nghiên cứu, P_mm: Lượng mưa mm/năm, pH đất, TAGTB: Tổng sinh khối của cây rừng trên mặt đất, tấn/ha.

Kết quả cho thấy Carbon hữu cơ trong đất (SOC) có quan hệ với các nhân tố sinh thái như đá mẹ, lượng mưa, pH đất, nhiệt độ không khí và TAGTB. Các nhân tố này đã ảnh hưởng đến việc phân hủy xác hữu cơ trong các điều kiện nhiệt ẩm khác nhau và ảnh hưởng đến lượng carbon trong đất. Tuy nhiên mối quan hệ này không chặt, R² không cao. Mô hình 1 trong bảng 2.2 có thể làm cơ sở để dự báo biến động SOC theo nhân tố sinh thái và tổng sinh khối cây gỗ trên mặt đất.

SOC được ước tính qua TAGTB có quan hệ thấp (R² = 23.57%), tuy vậy biến động so với quan sát không lớn (29.1%), chứng tỏ ở các trạng thái rừng giàu nghèo khác nhau thì SOC cũng ít thay đổi. Thông thường carbon hữu cơ trong đất chỉ bị rửa trôi là do mất đi lớp thảm phủ rừng như chặt trắng, làm nương rẫy; còn với sự suy giảm chất lượng rừng không làm giảm nhiều lượng carbon hữu cơ trong đất, hay nói khác SOC khá ổn định ở các mức độ tác động khác nhau đến rừng. Đây là cơ sở để lựa chọn giải pháp giám sát SOC trong chương trình REDD, không nhất thiết đo tính SOC hàng năm, mà chỉ theo dõi phát thải SOC khi bị mất rừng.

Giải pháp ước lượng SOC có thể đơn giản sử dụng mô hình một nhân tố TABTB được xác định thông qua mô hình AGB của cây rừng kết hợp với phân bố N/DBH. Có nghĩa khi sinh khối cây gỗ thay đổi thì sẽ làm biến động SOC tăng hay giảm. Ước lượng này có độ tin cậy trung bình. Trong trường hợp khác yêu cầu không cao, thì có

thể chấp nhận SOC = 100 tấn C/ha đối với các trạng thái rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, ứng với lượng CO₂ hấp thụ trong đất là 367 tấn/ha.

3 ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON TRONG THẨM MỤC, THẨM TƯƠI, GỖ CHẾT

Ngoài ba bể chứa carbon chính của rừng là trong cây gỗ trên, dưới mặt đất, trong đất; rừng còn lưu giữ carbon trong 3 bể chứa khác là trong thẩm mục, thẩm tươi, trong gỗ chết. IPCC (2003 – 2006) chỉ phân chia rừng có 5 bể chứa carbon, không có bể thẩm tươi, vì nhập nó vào trong nhóm thực vật thân gỗ trên mặt đất, tuy nhiên việc ước tính sinh khối của thẩm tươi hoàn toàn khác với cây gỗ, do khác về dạng sống, không thể sử dụng hàm allometric equation để ước tính; do đó đề tài tách riêng thẩm tươi để ước tính sinh khối và carbon trên lâm phần.

3.1 Ước tính sinh khối và carbon trong thẩm tươi cho lâm phần

Thẩm tươi được xác định là cây bụi, thân thảo, dây leo dưới tán rừng. Trên cơ sở đo tính sinh khối tươi 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 thẩm tươi ký hiệu: Bhg (tấn/ha), carbon trong sinh khối thẩm tươi ký hiệu Chg (tấn/ha). Tính toán trung bình sinh khối và carbon trong bảng 2.3 (Dữ liệu ở phụ lục 19).

Bảng 2.3: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thẩm tươi

Chỉ tiêu thống kê	Bhg_tan_ha	Chg_tan_ha
Số mẫu	20	20
Trung bình	1.477	0.529
Sai tiêu chuẩn	4.224	1.468
Hệ số biến động	285.86%	277.64%
Minimum	0.0	0.0
Maximum	19.119	6.647

Bảng 2.3 cho thấy biến động sinh khối và carbon trong thẩm tươi rất lớn. Trung bình có 1,477 tấn sinh khối/ha và 0,529 tấn C trong thẩm tươi/ha. Đã thử nghiệm nghiên cứu quan hệ giữa sinh khối và carbon trong thẩm tươi với sinh khối cây gỗ, các nhân tố sinh thái lâm phần khác nhau nhưng không phát hiện được quan hệ. Có nghĩa sinh khối và carbon trong thẩm tươi biến động ngẫu nhiên. Có thể chấp nhận giá trị bình quân cho lâm phần. Trong thực tế giám sát carbon đối với bể chứa này, cần đo tính sinh khối tươi trên ô mẫu và dựa vào tỷ lệ khô/tươi, %C để ước tính.

Từ số liệu quan sát tính được tỷ lệ carbon/sinh khối của thẩm tươi là 0.37, trong khi đó theo IPCC (2006) nó được tính chung như cây gỗ là 0.47. Điều này là hợp lý vì thẩm tươi chủ yếu là cây bụi thân thảo, hàm lượng nước cao hơn nhiều so với thực vật thân gỗ.

3.2 Ước tính sinh khối và carbon 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 ký hiệu: Bli (tấn/ha), carbon trong sinh khối thảm mục ký hiệu Cli (tấn/ha). Tính toán trung bình sinh khối và carbon trong bảng 2.4 (Dữ liệu ở phụ lục 19)

Bảng 2.4: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong thảm mục

Chỉ tiêu thống kê	Bli_tan_ha	Cli_tan_ha
Số mẫu	20	20
Trung bình	9.164	2.773
Sai tiêu chuẩn	23.67	6.63
Hệ số biến động	258.2%	239.0%
Minimum	0.451	0.159
Maximum	107.796	30.166

Cũng giống như thảm tươi, biến động sinh khối và carbon trong thảm mục rất lớn. Trung bình có 9,161 tấn sinh khối/ha và 2,773 tấn C trong thảm mục/ha. Sinh khối và carbon trong thảm mục biến động ngẫu nhiên. Có thể chấp nhận giá trị bình quân cho lâm phần. Trong thực tế giám sát carbon đối với bề chứa này, cần đo tính sinh khối trên ô mẫu và dựa vào tỷ lệ khô/tươi, %C để ước tính.

Từ số liệu quan sát tính được tỷ lệ carbon/sinh khối của thảm mục là 0.35, trong khi đó theo IPCC (2006) nó được tính chung như cây gỗ là 0.47.

3.3 Ước tính sinh khối và carbon trong gỗ chết (Deadwood - DW) cho lâm phần

Sinh khối gỗ chết được xác định cây đã chết hoặc nằm hoặc còn đứng theo IPCC (2006) với đường kính > 10cm được đo tính trong ô mẫu phụ, 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 ký hiệu: BDW (tấn/ha), carbon trong sinh khối gỗ chết ký hiệu CDW (tấn/ha). Tính toán trung bình sinh khối và carbon trong bảng 2.5 (Dữ liệu ở phụ lục 19).

Bảng 2.5: Trung bình và biến động sinh khối và carbon trong gỗ chết

Chỉ tiêu thống kê	Bdw_tan_ha	Cdw_tan_ha
Số mẫu	20	20
Trung bình	1.339	0.696
Sai tiêu chuẩn	2.871	1.495
Hệ số biến động	214.346%	214.633%
Minimum	0.0	0.0
Maximum	10.089	5.296

Sinh khối gỗ chết rất biến động, từ 0 đến 10,089 tấn/ha, và cũng như vậy carbon của nó biến động từ 0 – 5,296 tấn/ha. Trung bình có 1,339 tấn sinh khối/ha và 0,696 tấn C trong gỗ chết/ha. Sinh khối và carbon trong gỗ chết biến động ngẫu nhiên. Có thể chấp nhận giá trị bình quân cho lâm phần. Trong thực tế giám sát carbon đối với bề chứa này, cần đo tính sinh khối trên ô mẫu và dựa vào tỷ lệ khô/tươi, %C để ước tính.

Từ số liệu quan sát tính được tỷ lệ carbon/sinh khối của gỗ chết là 0.53, trong khi đó theo IPCC (2006) nó được tính chung như cây gỗ là 0.47. Điều này là hợp lý vì gỗ chết đã mất khá nhiều nước, khô, nên tỷ lệ này cao hơn cây gỗ tươi bình thường.

4 MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN VÀ MỐI QUAN HỆ VỚI CÁC NHÂN TỐ SINH THÁI

Hầu hết các nghiên cứu lập mô hình ước tính sinh khối rừng đều dừng lại ở mô hình ước tính cho cây cá thể, trong khi đó giữa sinh khối, carbon trong lâm phần có quan hệ chặt chẽ với nhau và mỗi bộ phận trên dưới mặt đất cũng vậy. Đồng thời sinh khối và carbon lâm phần lại có quan hệ với các nhân tố điều tra lâm phần truyền thống. Vì vậy thiết lập các mô hình, quan hệ giữa các nhân tố này sẽ hỗ trợ cho:

- Ước tính sinh khối, carbon của bề chứa khó đo đếm từ bề chứa dễ đo đếm
- Chuyển đổi giữa sinh khối và carbon rừng lâm phần
- Ước tính sinh khối, carbon từng bề chứa, toàn lâm phần với các nhân tố điều tra lâm phần truyền thống

Như vậy sẽ có hàng loạt nhóm mô hình được thiết lập nhằm đáp ứng mục đích, nhu cầu đa dạng trong ước tính sinh khối và carbon lâm phần.

Các nhóm mô hình sau được xây dựng và kiểm tra các tiêu chuẩn thống kê, lựa chọn hàm:

- i) Mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần
- ii) Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần
- iii) Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần
- iv) Mô hình ước tính tổng sinh khối cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

- v) Mô hình ước tính tổng sinh khối 4 bể chứa và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần
- vi) Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần
- vii) Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần
- viii) Mô hình ước tính tổng carbon thực vật (4 bể chứa) theo nhân tố điều tra lâm phần
- ix) Mô hình ước tính tổng carbon 5 bể chứa theo nhân tố điều tra lâm phần

Để tạo lập cơ sở dữ liệu thiết lập các nhóm mô hình nói trên, đã tiến hành xác định các biến số:

- TAGTB: Tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất (tấn/ha)
- TAGTC: Tổng carbon của cây rừng trên mặt đất (tấn/ha)
- TBGTB: Tổng sinh khối dưới mặt đất của cây rừng (tấn/ha)
- TBGTC: Tổng carbon dưới mặt đất của cây rừng (tấn/ha)
- TTB: Tổng sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất (tấn/ha)
- TTC: Tổng carbon tích lũy trong cây rừng trên và dưới mặt đất (tấn/ha)
- TB: Tổng sinh khối của 4 bể chứa: Cây gỗ trên, dưới mặt đất, thảm tươi-cây bụi và gỗ chết (tấn/ha)
- TC: Tổng carbon tích lũy trong 5 bể chứa của rừng (tấn/ha)

Các biến số được xác định giá trị dựa vào:

- Dữ liệu 20 ô tiêu chuẩn điển hình theo trạng thái và 70 ô tiêu chuẩn ngẫu nhiên dùng để giải đoán ảnh viễn thám: Tổng số có 90 ô mẫu
- Sử dụng cấp chiều cao H để xác định H cho từng lâm phần ứng với từng cấp kính, làm biến số xác định sinh khối và carbon cho từng cấp kính.
- Mỗi ô mẫu sắp xếp phân bố N/DBH với cự ly cấp 10cm
- Sử dụng các mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng trên và dưới mặt đất (AGB, C(AGB), BGB, C(BGB)) để tính sinh khối và carbon của cây gỗ cho toàn lâm phần
- Sử dụng giá trị bình quân về sinh khối và carbon của thảm tươi, thảm mục, gỗ chết
- Sử dụng mô hình SOC với sinh khối để xác định carbon trong đất theo lâm phần.
- Các chỉ tiêu điều tra lâm phần như N, BA, M được tính toán theo qua N/DBH, $H - f(DBH)$, $V = f(DBH, H)$

Bộ dữ liệu lập hệ thống mô hình trong phụ lục 20. Kết quả ở các bảng từ 2.6 đến 2.15.

Bảng 2.6: Mô hình quan hệ sinh khối và carbon lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TBGTB = TAGTB	$TBGTB_{tan_ha} = 1/(0.00311757 + 6.58855/TAGTB_{tan_ha})$	96.9	0.00	90	0.00	1.0	-979	8.1%
2	TBGTC = TAGTC	$TBGTC_{tan_ha} = 1/(-0.000843586 + 7.91529/TAGTC_{tan_ha})$	97.8	0.00	90	0.00	1.0	-842	7.6%
3	TAGTC = TAGTB	$TAGTC_{tan_ha} = \exp(-0.752059 + 0.998844 \cdot \ln(TAGTB_{tan_ha}))$	99.6	0.00	90	0.00	1.0	-1300	0.1%
4	TBGTC = TBGTB	$TBGTC_{tan_ha} = \exp(-0.9889 + 1.04495 \cdot \ln(TBGTB_{tan_ha}))$	99.7	0.00	90	0.00	1.0	-649	2.0%
5	TTB = f(TAGTB)	$Total_TB_{tan_ha} = 1/(0.0000469761 + 0.867918/TAGTB_{tan_ha})$	99.5	0.00	90	0.00	1.0	-1730	1.0%
6	TTC = f(TAGTB)	$Total_TC_{tan_ha} = 1/(0.00000458378 + 1.88995/TAGTB_{tan_ha})$	99.5	0.00	90	0.00	1.0	-1622	0.9%
7	TB = f(TAGTB)	$Total_B_{t_ha} = \exp(3.28323 + 0.150092 \cdot \sqrt{TAGTB_{tan_ha}})$	98.0	0.00	20	0.00	1.0	-95	6.3%
8	TC = f(TAGTB)	$Total_C_{t_ha} = (9.34517 + 0.0244117 \cdot TAGTB_{tan_ha})^2$	87.1	0.00	20	0.00	1.6	3	11.4%

Bảng 2.7: Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TAGTB = f(M, BA, N)	$\log(TAGTB_{tan_ha}) = 0.343165 + 0.759853 \cdot \log(M_{m3_ha}) - 0.0581224 \cdot \log(N_{tree_ha}) + 0.313628 \cdot \log(BA_{m2_ha})$	99.7	0.00	90	0.00	1.0	-659	1.8%
2	TAGTB = f(M, BA)	$\log(TAGTB_{tan_ha}) = -0.172912 + 0.858142 \cdot \log(M_{m3_ha}) + 0.182867 \cdot \log(BA_{m2_ha})$	99.6	0.00	90	0.00	1.0	-612	2.4%
3	TAGTB = f(M)	$TAGTB_{tan_ha} = 1/(-0.000133193 + 1.45275/M_{m3_ha})$	99.6	0.00	90	0.00	1.0	-1500	3.3%
4	TAGTB = f(BA)	$TAGTB_{tan_ha} = \sqrt{(-7163.8 + 52.3468 \cdot BA_{m2_ha}^2)}$	90.5	0.00	90	0.00	#NUM!	1793	12.7%

Bảng 2.8: Mô hình ước tính sinh khối cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF)	AIC	S%
1	TBGTB = f(N, BA)	$\log(\text{TBGTB_tan_ha}) = 0.365318 - 0.159484 \cdot \log(\text{N_tree_ha}) + 1.19168 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	98.5	0.00	90	0.00	1.0	-504	4.3%
2	TBGTB = f(N, BA, M)	$\log(\text{TBGTB_tan_ha}) = 0.0788347 - 0.138649 \cdot \log(\text{N_tree_ha}) + 1.08937 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) + 0.0868562 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	98.6	0.00	90	0.00	1.0	-506	4.1%
3	TBGTB = f(M)	$\text{TBGTB_tan_ha} = 1/(0.00255261 + 9.49319/\text{M_m3_ha})$	94.9	0.00	90	0.00	1.0	-934	10.6%
4	TBGTB = f(BA)	$\text{TBGTB_tan_ha} = \exp(-0.520541 + 1.12253 \cdot \ln(\text{BA_m2_ha}))$	96.1	0.00	90	0.00	1.0	-419	7.0%

Bảng 2.9: Mô hình ước tính tổng sinh khối cây gỗ trên và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TTB = f(M, N, Ba)	$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 0.687703 - 0.0687933 \cdot \log(\text{N_tree_ha}) + 0.677067 \cdot \log(\text{M_m3_ha}) + 0.409578 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	99.7	0.00	90	0.00	1.0	-634	2.1%
2	TTB = f(M, BA)	$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 0.076877 + 0.25481 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) + 0.793401 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	99.4	0.00	90	0.00	1.0	-585	2.8%
3	TTB = f(M)	$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = -0.214593 + 0.999706 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	98.8	0.00	90	0.00	1.0	-522	4.0%
4	TTB = f(BA)	$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 1.63668 + 1.10688 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	91.2	0.00	90	0.00	1.0	-345	11.0%

Bảng 2.10: Mô hình ước tính tổng sinh khối 4 bể chứa và dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TB = f(M)	$\ln(\text{Total_B_t_ha}) = 0.281749 + 0.921592 \cdot \ln(\text{M_m3_ha})$	97.7	0.00	20	0.00	1.0	-94	6.2%
2	TB = f(BA, N)	$\log(\text{Total_B_t_ha}) = 1.89059 + 1.12167 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) - 0.00017569 \cdot \text{N_tree_ha}$	95.1	0.00	20	0.00	1.0	-78	7.9%
3	TB = f(BA)	$\text{Total_B_t_ha} = 1/(-0.000329212 + 0.142373/\text{BA_m2_ha})$	93.0	0.00	20	0.00	1.0	-273	13.4%

Bảng 2.11: Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ trên mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TAGTC = f(M, BA, N)	$\log(\text{TAGTC_tan_ha}) = -0.417358 + 0.312464 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) - 0.0569746 \cdot \log(\text{N_tree_ha}) + 0.759542 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	99.8	0.00	90	0.00	1.0	-665	1.7%
2	TAGTC = f(M, BA)	$\log(\text{TAGTC_tan_ha}) = -0.923244 + 0.184285 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) + 0.85589 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	99.6	0.00	90	0.00	1.0	-618	2.3%
3	TAGTC = f(M)	$\log(\text{TAGTC_tan_ha}) = -1.13404 + 1.0051 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	99.3	0.00	90	0.00	1.0	-567	3.1%
4	TAGTC = f(BA)	$\log(\text{TAGTC_tan_ha}) = 0.759411 + 1.10347 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	90.1	0.00	90	0.00	1.0	-334	11.7%

Bảng 2.12: Mô hình ước tính tổng carbon cây gỗ dưới mặt đất theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TBGTC = f(BA, N)	$\log(\text{TBGTC_tan_ha}) = -0.337329 + 1.25096 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) - 0.207748 \cdot \log(\text{N_tree_ha})$	97.6	0.00	90	0.00	1.0	-454	5.8%
2	TBGTC = f(M, BA, N)	$\log(\text{TBGTC_tan_ha}) = -0.737651 + 0.12137 \cdot \log(\text{M_m3_ha}) + 1.10799 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) - 0.178634 \cdot \log(\text{N_tree_ha})$	97.6	0.00	90	0.05	1.0	-456	5.6%

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
3	TBGTC = f(M, BA)	$\log(\text{TBGTC_tan_ha}) = -2.32377 + 0.423452 \cdot \log(\text{M_m3_ha}) + 0.706111 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	96.0	0.00	90	0.00	1.0	-410	7.2%
4	TBGTC = f(M)	$\log(\text{TBGTC_tan_ha}) = -3.13147 + 0.995151 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	91.5	0.00	90	0.00	1.0	-342	10.8%
5	TBGTC = f(BA)	$\log(\text{TBGTC_tan_ha}) = -1.49127 + 1.16088 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	93.9	0.00	90	0.00	1.0	-372	9.3%

Bảng 2.13: Mô hình ước tính tổng carbon thực vật (4 bể chứa) theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%
1	TTC = f(M, BA, N)	$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -0.0932362 + 0.405294 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) - 0.0717041 \cdot \log(\text{N_tree_ha}) + 0.685629 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	97.6	0.00	90	0.00	1.0	-624	2.2%
2	TTC = f(M, BA)	$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -0.729907 + 0.243978 \cdot \log(\text{BA_m2_ha}) + 0.806886 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	99.3	0.00	90	0.00	1.0	-576	2.9%
3	TTC = f(M)	$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -1.00899 + 1.00442 \cdot \log(\text{M_m3_ha})$	98.8	0.00	90	0.00	1.0	-521	4.0%
4	TTC = f(BA)	$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = 0.856408 + 1.11053 \cdot \log(\text{BA_m2_ha})$	90.9	0.00	90	0.00	1.0	-342	11.2%

Bảng 2.14: Mô hình ước tính tổng carbon 5 bể chứa theo nhân tố điều tra lâm phần

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	P1	CF	AIC	S%
1	TC = f(M, N)	$\text{Total C_t_ha} = 268.914 + 0.49699 \cdot \text{M_m3_ha} - 27.8576 \cdot \log(\text{N_tree_ha})$	89.2	0.00	20	0.00		133	11.2%
2	TC = f(M)	$\text{Total C_t_ha} = 70.8213 + 0.491389 \cdot \text{M_m3_ha}$	86.7	0.00	20	0.00		136	11.9%
3	TC = f(BA)	$\text{Total C_t_ha} = \exp(4.47602 + 0.0265483 \cdot \text{BA_m2_ha})$	74.0	0.00	20	0.00	1.0	-63	15.5%

Bảng 2.15: Mô hình quan hệ tổng carbon 5 bể chứa theo nhân tố sinh thái, sinh khối cây gỗ trên mặt đất

Stt	Dạng hàm	Hàm	R ² adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	TC = f(TAGTB, sinh thái)	Total C _t _ha = -1001.09 + 0.68557*TAGTB_tan_ha + 15.2615*Maso_dame + 0.18382*P_mm_nam + 26.7666*Tkk	92.7	0.00	20	0.00		129	8.4%

Ngoài ra đã thử nghiệm phát hiện các nhân tố sinh thái ảnh hưởng đến khả năng tích lũy carbon của 5 bể chứa của rừng. Kết quả hàm trong bảng 2.15 từ dữ liệu ở phụ lục 21 chỉ ra rằng tổng lượng carbon của 5 bể chứa trong lâm phần (TC) có quan hệ chặt chẽ với đá mẹ, lượng mưa bình quân năm, nhiệt độ bình quân năm và tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất. Trong đó khi lượng mưa và nhiệt độ tăng lên thì TC gia tăng, có nghĩa tăng năng lực sinh trưởng và tích lũy sinh khối, carbon rừng. Mô hình có $R^2 = 92.7\%$, và biến động dự báo so với thực tế là tốt ở mức $S\% = 8.4\%$.

5 CẤU TRÚC SINH KHỐI VÀ CARBON LÂM PHẦN

Nghiên cứu cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần nhằm phản ánh sự phân bố trữ lượng carbon trong các lâm phần khác nhau, cấp năng suất khác nhau. Kiểu cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần nghiên cứu là phân bố sinh khối và trữ lượng carbon rừng theo cấp kính. Từ đây làm cơ sở ước lượng, giám sát lượng CO₂ hấp thụ hoặc phát thải cho từng lâm phần cụ thể.

Nghiên cứu theo chủ đề này bao gồm:

- Phân cấp chiều cao, năng suất lâm phần: Nhằm phản ánh chính xác sinh khối, trữ lượng và tăng trưởng carbon trong các điều kiện hoàn cảnh khác nhau. Việc phân chia cấp chiều cao trình bày trong chương 2, mục 1.
- Phân cấp sinh khối lâm phần: Lâm phần trong thực tế 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
- Nghiên cứu quy luật phân bố sinh khối, carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất theo cấp kính.

5.1 Phân cấp sinh khối lâm phần

Chỉ tiêu sinh khối lựa chọn để phân cấp lâm phần theo các đối tượng tương đối đồng nhất và có sự khác biệt với nhau là tổng sinh khối của tất cả cây gỗ trên mặt đất (thân, cành, lá và vỏ) với DBH ≥ 5 cm. Cơ sở chọn chỉ tiêu này là sinh khối cây trên mặt đất phản ánh rõ sự thay đổi sinh khối của lâm phần khác nhau, đây là bể chứa

carbon quan trọng nhất, nó dễ đo đếm thông qua mô hình allometric equations, đồng thời từ nhóm sinh khối này có thể suy ra được các nhóm sinh khối và carbon của các bể chứa khác trong lâm phần.

Trên cơ sở 20 ô tiêu chuẩn 2000m², sắp xếp phân bố N/DBH, quan hệ H/DBH theo từng cấp H và dựa vào hàm sinh khối cây trên mặt đất với hai nhân tố DBH và H để ước tính sinh khối theo cấp kính và tổng TAGTB (tấn/ha) cho từng lâm phần.

Tiến hành tính biến động, đặc trưng mẫu và phân chia các lâm phần thành 3 cấp sinh khối của cây rừng trên mặt đất (TAGTB) (Bảng 2.16)

Bảng 2.16: Đặc trưng và biến động TAGTB của các lâm phần

<i>TAGTB_tan_ha</i>	
Trung bình	205.4
Sai số số trung bình	23.4
Sai tiêu chuẩn - Standard Deviation	104.7
Phương sai - Sample Variance	10982.6
Độ nhọn - Kurtosis	-1.148
Độ lệch - Skewness	0.087
Minimum	34.4
Maximum	364.3
Số ô mẫu	20
Biến động ở P = 95% - Confidence Level (95.0%)	49.0

Kết quả cho thấy sinh khối TAGTB trung bình của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên là 205.4 tấn/ha, nhỏ nhất là 34.4 tấn/ha và lớn nhất là 364.3 tấn/ha. Ước lượng TAGTB với độ tin cậy 95%: TAGTB = 205.4 ± 49.0 tấn /ha = 156 – 254 tấn/ha.

Tiến hành phân chia TAGTB thành 3 cấp ở bảng 2.17 theo nguyên tắc cấp 2 có giá trị trung bình và biến động của nó trong phạm vi tin cậy P =95%; cấp 1 là cấp sinh khối thấp, nằm ở phạm vi trái bên ngoài ước lượng khoảng 95% và cấp 3 là cấp sinh khối cao nằm về phía phải bên ngoài của ước lượng khoảng 95%.

Bảng 2.17: Phân chia cấp sinh khối TAGTB

Cấp sinh khối	TAGTB (tấn/ha)	
	Min	Max
Cấp sinh khối 1	35	155
Cấp sinh khối 2	156	254
Cấp sinh khối 3	255	365

Sử dụng phân tích ANOVA (bảng 2.18) để đánh giá sự sai khác trung bình TAGTB của 3 cấp sinh khối đã phân chia dựa vào số liệu TAGTB của các ô mẫu được sắp theo từng cấp đã phân chia.

Bảng 2.18: Phân tích ANOVA về sự sai khác các cấp sinh khối

SUMMARY							
Groups		Count	Sum	Average	Variance		
	1	8	794.089	99	1539.268533		
	2	6	1329.264	222	732.8930228		
	3	6	1984.93	331	1631.871549		
ANOVA							
Source of Variation		SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups		186071	2	93035.51076	69.9864816	6.23E-09	3.591531
Within Groups		22598.7	17	1329.335446			
Total		208669.7	19				

Kết quả phân khối cho thấy số ô mẫu nghiên cứu phân bố khá đều ở các cấp: Cấp 1 có 8 ô, cấp 2 có 6 ô và cấp 3 có 6 ô.

Trung bình và biến động sinh khối cây gỗ trên mặt đất 3 cấp:

- Cấp 1: TAGTB = 99 tấn/ha, biến động từ 35 – 155 tấn/ha
- Cấp 2: TAGTB = 222 tấn/ha, biến động từ 156 – 254 tấn/ha
- Cấp 3: TAGTB = 331 tấn/ha, biến động từ 255 – 365 tấn/ha

Phân chia thành ba cấp sinh khối có sự khác biệt rõ rệt ở mức tin cậy 95%, $F = 69.98 > F_{(0.05, 2, 17)} = 3.59$; $P < 0.000$. Như vậy việc phân chia cấp sinh khối cho rừng lá rộng thường xanh là thích hợp, chúng có sự khác biệt nhau để tạo thành từng khối đồng nhất trong đo tính, ước lượng và giám sát carbon rừng.

Trong thực tế lâm nghiệp hiện nay thường sử dụng giá trị trữ lượng lâm phần để phân chia trạng thái rừng theo mức độ giàu nghèo khác nhau. Để thuận tiện cho việc chuyển đổi từ trữ lượng sang sinh khối, từ dữ liệu 90 ô mẫu (20 ô điển hình và 70 ô ngẫu nhiên giải đoán ảnh vệ tinh), tính toán hệ số chuyển đổi BCEF là tỷ lệ sinh khối cây gỗ trên mặt đất của lâm phần (TAGTB, tấn/ha) với tổng trữ lượng cây đứng (M, m³/ha): $BCEF = TAGTB / M$; từ đây có thể suy ngược lại $M = TAGTB/BCEF$ (Bảng 2.19)

Kết quả nhận được hệ số BCEF rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên trung bình là 0.707, với sai số số trung bình là 0.003, sai tiêu chuẩn là 0.031, với độ tin cậy 95% thì ước lượng khoảng $BCEF = 0.707 \pm 0.006$. Khoảng biến động rất nhỏ vì vậy có thể sử dụng giá trị bình quân để chuyển đổi từ trữ lượng sang sinh khối và ngược lại. Trên cơ sở đó bổ sung giá trị M cho 3 cấp sinh khối để có thể ứng dụng trong thực tế đang tiếp cận theo trữ lượng rừng.

Bảng 2.19: Phân cấp sinh khối TAGTB và quan hệ với M

Cấp sinh khối	TAGTB (tấn/ha)		M (m³/ha)	
	Min	Max	Min	Max
Cấp sinh khối 1	35	155	50	220
Cấp sinh khối 2	156	254	221	360
Cấp sinh khối 3	255	365	361	515

5.2 Cấu trúc phân bố sinh khối và carbon tích lũy trong cây rừng trên và dưới mặt đất

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 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).

Tiến hành:

- 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 đã lập để tính sinh khối/carbon trên và dưới mặt đất cho từng cấp kính và kết hợp với mật độ theo cấp kính để tính tổng theo cấp kính và cho lâm phần

$$\ln(\text{AGB_kg}) = -2.9766 + 0.535797 \cdot \ln(\text{DBH_cm}) + 0.759321 \cdot \ln(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2) \quad (2.3)$$

$$\ln(\text{C_AGB_kg}) = -3.72664 + 2.05141 \cdot \ln(\text{DBH_cm}) + 0.760168 \cdot \ln(\text{H_m}) \quad (2.4)$$

$$\text{BGB_kg} = \exp(-3.73687 + 2.32102 \cdot \ln(\text{DBH_cm})) \quad (2.5)$$

$$\text{C_BGB_kg} = \exp(-4.91842 + 2.41957 \cdot \ln(\text{DBH_cm})) \quad (2.6)$$

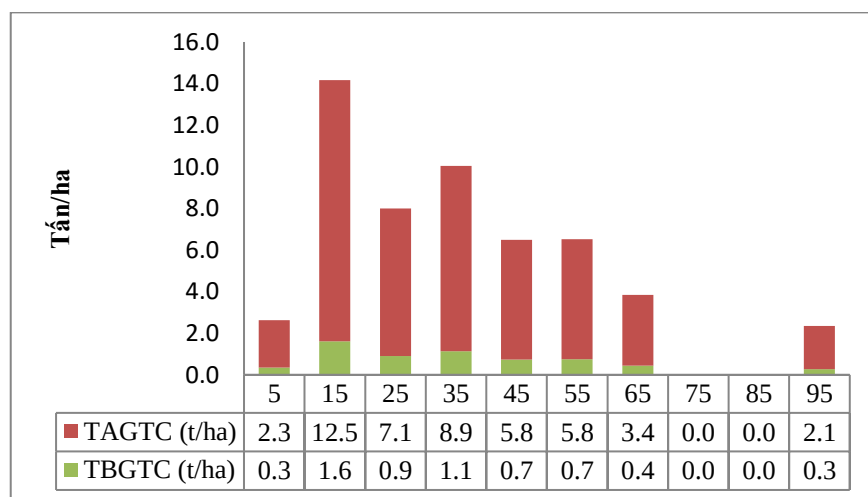
- Tính tổng sinh khối cây rừng trên và dưới mặt đất TTB (tấn/ha)
- Tính tổng carbon cây rừng trên và dưới mặt đất TTC (tấn/ha)

Với 3 cấp sinh khối và 3 cấp chiều cao sẽ tạo thành 9 tổ hợp đơn vị phân chia sinh khối/carbon rừng. Kết quả tính minh họa cho 3 lâm phần đại diện:

- Lâm phần có sinh khối và năng suất thấp nhất: Cấp sinh khối 1 và cấp H là III (Bảng 2.20 và hình 2.4)
- Lâm phần có sinh khối và năng suất trung bình: Cấp sinh khối 2 – Cấp H là II (Bảng 2.21 và hình 2.5)
- Lâm phần có sinh khối và năng suất cao nhất: Cấp sinh khối 3 – Cấp H I (Bảng 2.22 và hình 2.6)

Bảng 2.20: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 1 – cấp H III

DBH (cm)	H (m)	N / ha	TAGTB (t/ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)
5	5.5	963	4.9	1.0	2.3	0.3	5.8	2.6
15	11.5	316	26.7	4.0	12.5	1.6	30.8	14.2
25	15.0	51	15.1	2.1	7.1	0.9	17.3	8.0
35	17.6	28	19.0	2.6	8.9	1.1	21.6	10.0
45	19.7	10	12.3	1.7	5.8	0.7	13.9	6.5
55	21.4	6	12.3	1.6	5.8	0.7	14.0	6.5
65	22.9	3	7.3	1.0	3.4	0.4	8.2	3.9
75	24.2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85	25.4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
95	26.5	1	4.4	0.6	2.1	0.3	5.0	2.4
Tổng		1378	102.1	14.6	47.8	6.2	116.6	54.0

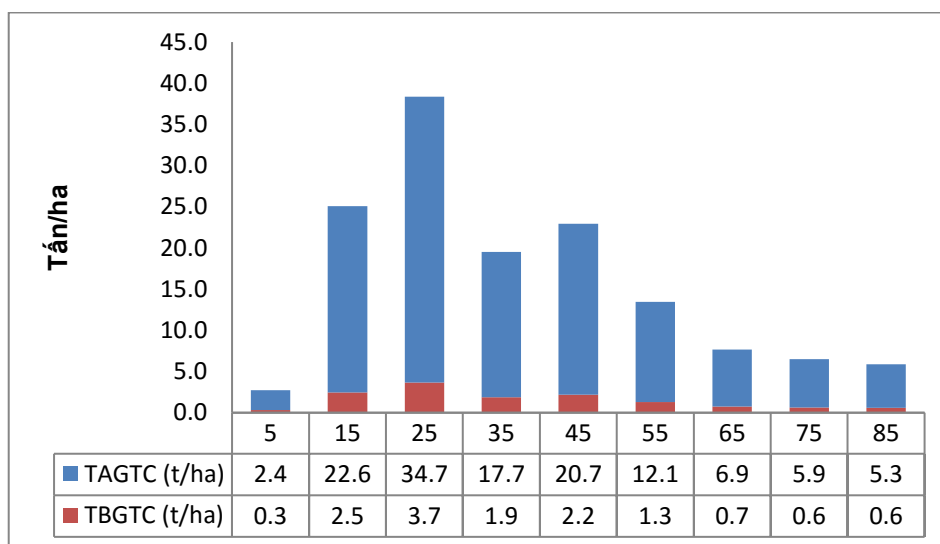


Hình 2.4: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 1 – cấp H III

Đối với lâm phần có sinh khối thấp nhất (cấp 1) và năng suất thấp nhất (cấp H là III), tổng sinh khối trên mặt đất là 102 tấn/ha, sinh khối dưới mặt đất là 15 tấn/ha, tổng sinh khối trên và dưới mặt đất là 117 tấn/ha ứng với tổng lượng carbon tích lũy được là 54 tấn/ha. Cấu trúc có dạng một đỉnh lệch trái về phía lớp cây có cấp kính nhỏ, nhấp nhô thể hiện sự mất ổn định do các tác động mạnh; tập trung sinh khối và carbon ở cấp kính 15cm.

Bảng 2.21: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 2 – cấp H II

DBH (cm)	H (m)	N/ha	TAGTB (t/ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)
5	6.7	878	5.2	0.9	2.4	0.3	6.0	2.7
15	14.4	479	48.2	6.1	22.6	2.5	54.3	25.1
25	19.0	208	74.0	8.7	34.7	3.7	82.7	38.4
35	22.4	47	37.7	4.3	17.7	1.9	42.0	19.5
45	25.1	30	44.3	4.9	20.7	2.2	49.2	22.9
55	27.4	11	25.9	2.9	12.1	1.3	28.8	13.4
65	29.3	4	14.8	1.6	6.9	0.7	16.4	7.7
75	31.1	3	12.5	1.4	5.9	0.6	13.9	6.5
85	32.6	2	11.3	1.2	5.3	0.6	12.5	5.9
Tổng		1662	273.8	32.0	128.3	13.8	305.9	142.1

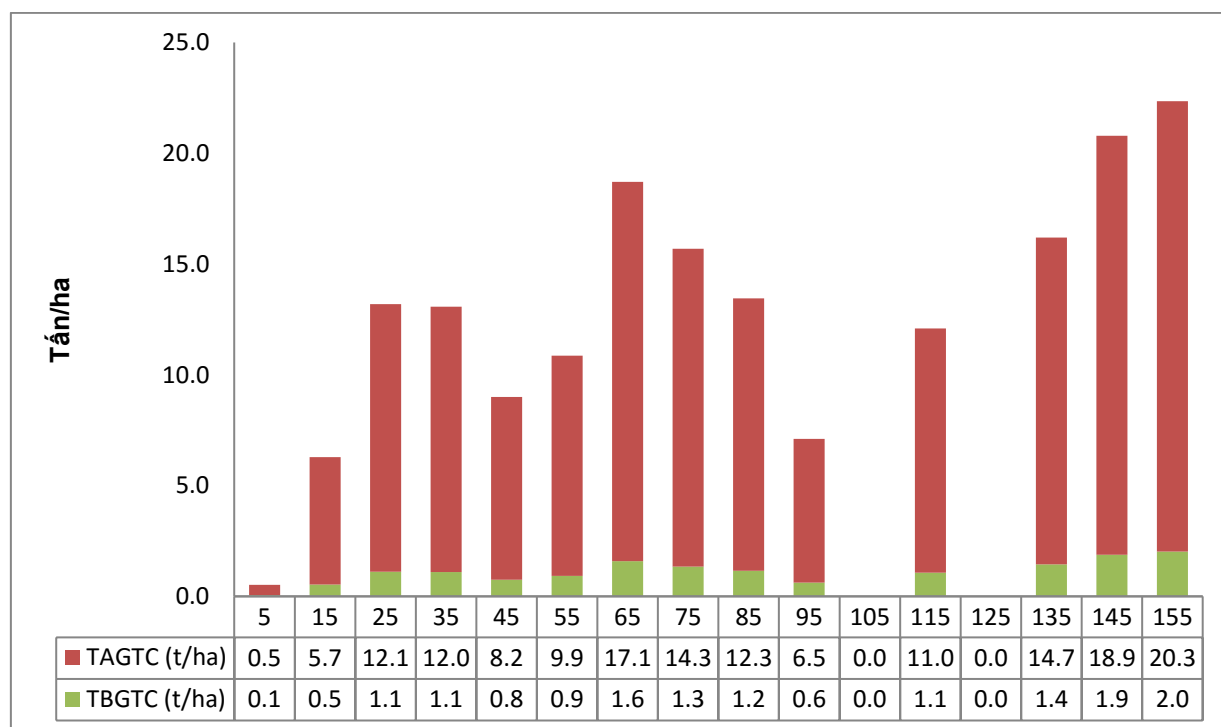


Hình 2.5: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 2 – cấp H II

Đối với lâm phần có sinh khối và năng suất trung bình (cấp sinh khối 2 và cấp H là II), tổng sinh khối trên mặt đất là 274 tấn/ha, sinh khối dưới mặt đất là 32 tấn/ha, tổng sinh khối trên và dưới mặt đất là 306 tấn/ha ứng với tổng lượng carbon tích lũy được là 142 tấn/ha. Cấu trúc có dạng một đỉnh lệch trái về phía lớp cây đường kính trung bình, tập trung sinh khối và carbon ở cấp kính 25 – 35 cm và có phân bố sinh khối đến cấp kính lớn, cấu trúc khá ổn định.

Bảng 2.22: Cấu trúc sinh khối và carbon ở lâm phần cấp sinh khối 3 – cấp H I

DBH (cm)	H (m)	N/ha	TAGTB (t/ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)
5	7.8	148	1.0	0.1	0.5	0.1	1.1	0.5
15	17.3	106	12.2	1.4	5.7	0.5	13.6	6.3
25	23.0	63	25.7	2.6	12.1	1.1	28.4	13.2
35	27.2	27	25.6	2.5	12.0	1.1	28.1	13.1
45	30.5	10	17.6	1.7	8.2	0.8	19.3	9.0
55	33.3	8	21.3	2.0	9.9	0.9	23.3	10.9
65	35.8	9	36.6	3.4	17.1	1.6	40.0	18.7
75	37.9	5	30.7	2.9	14.3	1.3	33.5	15.7
85	39.9	3	26.3	2.4	12.3	1.2	28.7	13.4
95	41.6	1	13.9	1.3	6.5	0.6	15.2	7.1
105	43.3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
115	44.8	2	23.6	2.2	11.0	1.1	25.8	12.1
125	46.2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
135	47.5	1	31.6	2.9	14.7	1.4	34.5	16.2
145	48.7	2	40.5	3.7	18.9	1.9	44.3	20.8
155	49.9	1	43.5	4.0	20.3	2.0	47.6	22.3
Tổng		387	350.1	33.2	163.7	15.6	383.3	179.3



Hình 2.6: Phân bố sinh khối trên và dưới mặt đất theo cấp DBH lâm phần cấp sinh khối 3 – cấp H I

Đối với lâm phần có sinh khối và năng suất cao nhất (cấp sinh khối 3 và cấp H là I), tổng sinh khối trên mặt đất là 350 tấn/ha, sinh khối dưới mặt đất là 33 tấn/ha, tổng sinh khối trên và dưới mặt đất là 383 tấn/ha ứng với tổng lượng carbon tích lũy được là 179 tấn/ha. Cấu trúc có dạng hai đỉnh, một đỉnh tập trung ở cấp kính 65cm và đỉnh khác tập trung ở lớp cây thành thực 150cm; sinh khối tập trung ở hai nhóm cấp kính này. Cấu trúc thể hiện rừng quá thành thực, thiếu lớp cây kế cận, do vậy cần có biện pháp khai thác sử dụng bền vững để thúc đẩy sinh trưởng của lớp cây nhỏ, nâng cao năng lực hấp thụ CO₂ của rừng.

Từ kết quả nghiên cứu trên, tính tổng lượng carbon cho tất cả các bể chứa ở 3 lâm phần đại diện và quy đổi sang lượng CO₂ hấp thụ. Trong đó carbon hữu cơ trong đất (SOC) được ước tính qua mô hình:

$$\text{SOC}(\text{tán/ha}) = \sqrt{6201.4 + 0.0970105 \cdot (\text{TAGTB_tán_ha})^2} \quad (2.7)$$

Lượng carbon trong thảm mục, thảm tươi và gỗ chết được lấy trung bình chung.

Kết quả tính được tổng C ở các bể chứa, chung lâm phần và quy đổi CO₂ = 3.67C ở bảng 2.23.

Bảng 2.23: Lượng Carbon và CO₂ hấp thụ trong 3 lâm phần đại diện sinh khối và năng suất

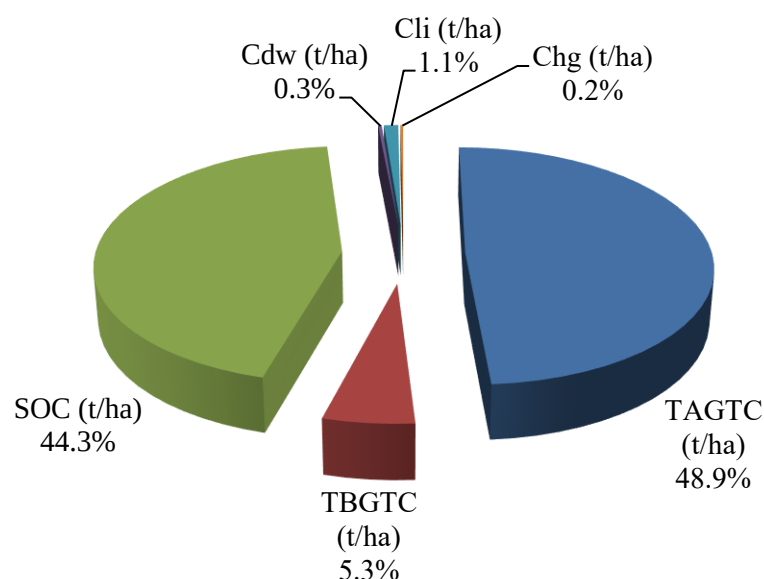
Bể chứa carbon	Cấp sinh khối/Cấp H	Cấp sinh khối/Cấp H	Cấp sinh khối/Cấp H
	1 / III	2 / II	3 / I
TAGTC (t/ha)	47.8	128.3	163.7
TBGTC (t/ha)	6.2	13.8	15.6
SOC (t/ha)	84.9	116.1	134.5
Cdw (t/ha)	0.7	0.7	0.7
Cli (t/ha)	2.8	2.8	2.8
Chg (t/ha)	0.5	0.5	0.5
TC (t/ha)	143.0	262.2	317.8
Tổng CO₂ (t/ha)	524.7	962.3	1166.4

Như vậy đối với rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, lượng carbon tích lũy thấp nhất là 143 tấn/ha và cao nhất là 318 tấn/ha; ứng với lượng CO₂ hấp thụ từ 525 – 1166 tấn/ha.

Lượng C tích lũy trong cây gỗ phần trên mặt đất (TAGTC) (bao gồm thân, cành, lá và vỏ) là cao nhất, chiếm 48.9%, thứ hai là lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC) chiếm 44.3%; lượng carbon trong rễ cây rừng (TBGTC) chiếm 5.3%. Riêng carbon trong thảm tươi (Chg), thảm mục (Cli) và gỗ chết (Cdw) chiếm tỷ lệ rất thấp, dưới 1%. (Hình 2.7).

Do vậy trong đo tính giám sát carbon rừng, có thể bỏ qua các bể chứa thảm mục, thảm tươi và gỗ chết để cân đối hiệu quả giữa đo tính giám sát và bán tín chỉ carbon. Riêng carbon trong đất chiếm tỷ trọng lớn, nhưng thường ít biến động ở các trạng thái

rừng, do vậy đo tính bề chứa này nên ở định kỳ dài hơn hoặc chỉ đo tính khi cho chuyển đổi sử dụng rừng để tích lượng CO₂ phát thải từ đất rừng khi thay đổi sử dụng đất.



Hình 2.7: Tỷ lệ trung bình % C ở các bề chứa trong rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên

Trên cơ sở xác định được carbon lưu giữ và quy đổi ra lượng CO₂ hấp thụ ở 3 lâm phần đại diện ở 3 mức tích lũy sinh khối thấp, trung bình và cao; thử tính toán giá trị của rừng về hấp thụ CO₂. Với giá bán tín chỉ CO₂ rừng trên thế giới rất biến động, thường từ 20 – 50 USD/tấn CO₂; giả định giá là 20 USD/tấn CO₂, tính toán giá trị hấp thụ CO₂ của rừng (Bảng 2.24). Kết quả cho thấy giá trị của rừng về mặt môi trường trong giảm nhẹ biến đổi khí hậu nhờ hấp thụ khí CO₂, thì giá trị của nó thấp nhất là 220 triệu đồng/ha với cao nhất là 498 triệu đồng/ha. Đây cũng là cơ sở tham khảo trong định giá rừng về mặt môi trường hoặc cân nhắc hiệu quả kinh tế môi trường khi chuyển đổi rừng tự nhiên sang mục đích khác.

Bảng 2.24: Hấp thụ CO₂ rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên và giá trị môi trường

Cấp sinh khối	Cấp H	Tổng CO ₂ hấp thụ (t/ha)	Giá trị lưu giữ CO ₂ (VND)
1	III	525	220,214,238
2	II	962	408,105,812
3	I	1,166	498,636,766

6 DỰ BÁO TĂNG TRƯỞNG SINH KHỐI VÀ HẤP THỤ CO₂ CỦA LÂM PHẦN

Dự báo được khả năng hấp thụ CO₂ của rừng rất có ý nghĩa trong theo dõi biến động lượng CO₂ khi tham gia chương trình REDD⁺. Hiện nay 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 hoặc là cần theo dõi thường xuyên trên ô định vị hoặc đo tính rừng ở các thời điểm và tính toán lại lượng carbon.

Đề tài đã nghiên cứu để chỉ ra tăng trưởng của sinh khối và lượng CO₂ hấp thụ hàng năm của các lâm phần khác nhau. Đồng thời cũng đưa ra phương pháp để dự báo hấp thụ CO₂ rừng trên cơ sở các mô hình allometric equations và các nhân tố điều tra đầu vào ở thời điểm dự báo.

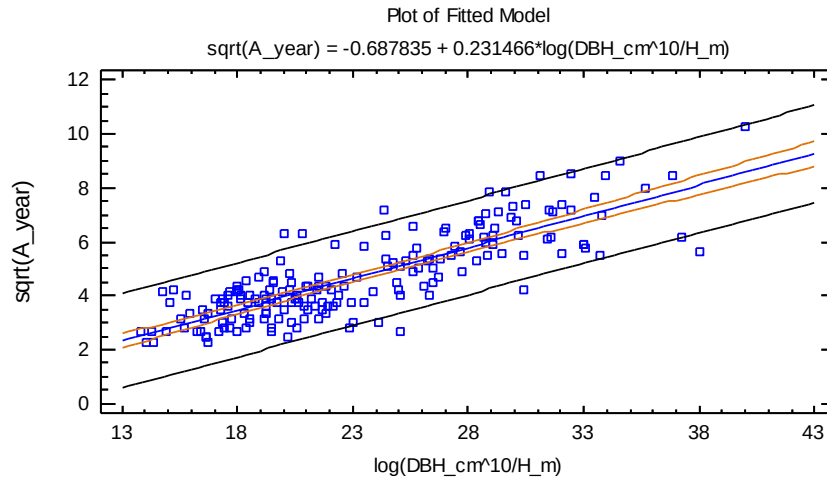
Trên cơ sở các mô hình sinh khối, carbon đã xác định được sinh khối, carbon rừng cho từng cấp kính, và dựa vào phân bố N/DBH tính được cho lâm phần ở từng đơn vị phân loại theo cấp sinh khối và cấp chiều cao (H) (có 9 tổ hợp đơn vị phân loại). Từ đây xác định tuổi cây từng với từng cấp kính và cấp chiều cao làm cơ sở xác định tăng trưởng sinh khối và carbon rừng.

Trên cơ sở 189 cây chặt hạ được đếm vòng năm để xác định tuổi, lập mô hình ước tính tuổi cây (A, năm) theo cấp kính và cấp chiều cao ở bảng 2.25 và hình 2.8 (Dữ liệu ở phụ lục 22).

Bảng 2.25: Mô hình ước tính A theo DBH và H

St t	Dạng hàm	Hàm	R ₂ adjusted (%)	P	n	Pbi	CF	AIC	S%
1	A = f(DBH, H)	$\text{sqrt}(A_{\text{year}}) = -0.687835 + 0.231466 \cdot \log(\text{DBH}_{\text{cm}}^{10/H_{\text{m}}})$	69.139	0.000	189	0.000	1.48	-43.2	33.6%

Mô hình có hệ số quan hệ R² khá chặt và tồn tại ở mức P < 0.05, biến động ước lượng so với tuổi quan sát là S% = 33.6% có thể chấp nhận để dự báo A.



Hình 2.8: Quan hệ $A = f(\text{DBH}, H)$

Chia lâm phần làm 3 cấp sinh khối TAGTB và 3 cấp chiều cao H, từ đó có 9 tổ hợp đơn vị lâm phần để dự báo tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO_2 từng lâm phần. Các giá trị sinh khối, carbon theo từng cấp kính được ước lượng thông qua các mô hình allometric equations đã được tiến hành ở kết quả nghiên cứu cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần. 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, 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 được tính theo công thức:

$$\Delta TTB = \frac{TTB}{A} \quad (2.8)$$

$$\Delta TTC = \frac{TTC}{A} \quad (2.9)$$

Trong đó:

Δ_{TTB} , Δ_{TTC} : 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 $A = f(\text{DBH}, H)$ đã lập.

Bảng 2.26 chỉ ra kết quả tính tăng trưởng sinh khối và carbon rừng hàng năm ở một đơn vị có sinh khối và năng suất trung bình là cấp sinh khối 2 và cấp H là II. Kết quả cho thấy trung bình rừng lá rộng thường xanh tăng trưởng sinh khối là 8.21 tấn/ha/năm và tăng trưởng carbon là 3.80 tấn/ha/năm.

Tương tự như vậy dễ dàng tính được tăng trưởng sinh khối/carbon cho 8 đơn vị lâm phần còn lại.

Bảng 2.26: Tăng trưởng sinh khối và carbon cây gỗ trên và dưới mặt đất ở cấp sinh khối 2 – cấp H II

DBH (cm)	H (m)	A Năm	N/ha	TAGTB (t/ha)	TBGTB (t/ha)	TAGTC (t/ha)	TBGTC (t/ha)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	Δ_{TTB} (t/ha/năm)	Δ_{TTC} (t/ha/năm)
5	6.7	6.8	878	5.15	0.88	2.43	0.32	6.03	2.74	0.89	0.41
15	14.4	24.6	479	48.21	6.12	22.64	2.45	54.33	25.09	2.21	1.02
25	19.0	37.0	208	73.96	8.72	34.68	3.67	82.68	38.36	2.24	1.04
35	22.4	46.5	47	37.69	4.29	17.66	1.87	41.99	19.53	0.90	0.42
45	25.1	54.4	30	44.25	4.94	20.72	2.21	49.20	22.93	0.90	0.42
55	27.4	61.2	11	25.93	2.86	12.14	1.30	28.79	13.44	0.47	0.22
65	29.3	67.1	4	14.80	1.62	6.92	0.75	16.42	7.67	0.24	0.11
75	31.1	72.4	3	12.53	1.36	5.86	0.64	13.89	6.50	0.19	0.09
85	32.6	77.2	2	11.31	1.23	5.28	0.58	12.53	5.87	0.16	0.08
Tổng			166	273.84	32.02	128.33	13.79	305.86	142.12	8.21	3.80

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.

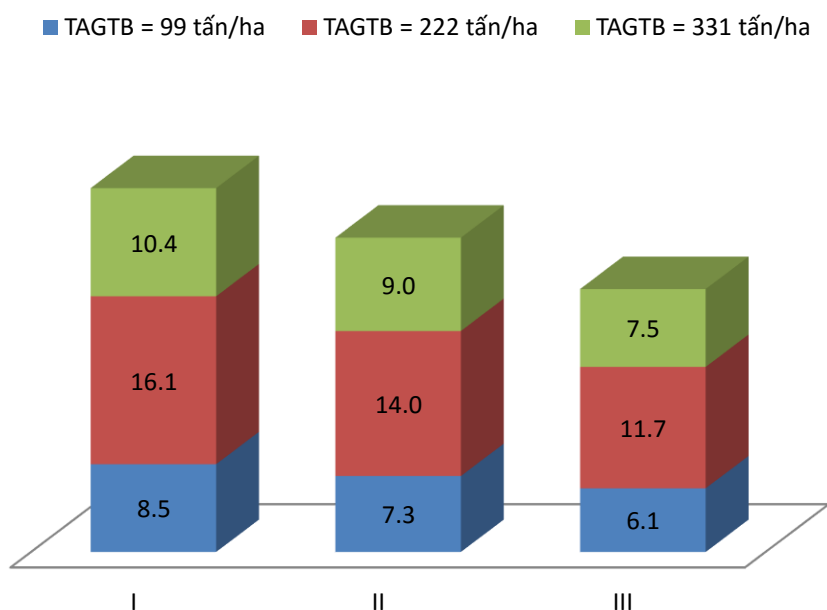
Từ kết quả tính toán cho 9 đơn vị cấp sinh khối và cấp chiều cao tổng hợp được thông tin tăng trưởng sinh khối, carbon của toàn bộ hệ thống rừng thường xanh, từ đó xác định được khả năng hấp thụ CO₂ hàng năm của từng đơn vị, với CO₂ = 3.67C. (Bảng 2.27)

Bảng 2.27: Tăng trưởng sinh khối, carbon và hấp thụ CO₂ trên các đơn vị phân loại rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

Cấp sinh khối / TAGTB (tấn/ha)	Chỉ tiêu tăng trưởng C	Cấp H		
		I	II	III
1 35 - 155 (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)	66.23	57.27	47.84
	TBGTC (tấn/ha)	6.20	6.20	6.20
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	4.98	4.32	3.63
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	2.30	1.99	1.67
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	8.46	7.32	6.13
2 156 - 254 (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)	148.56	128.33	107.04
	TBGTC (tấn/ha)	13.79	13.79	13.79
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	9.48	8.21	6.89
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	4.40	3.80	3.18
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	16.15	13.95	11.68
3 255 - 365 (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)	163.71	140.69	116.53
	TBGTC (tấn/ha)	15.60	15.60	15.60
	Δ_{TTB} (tấn/ha/năm)	6.07	5.24	4.38
	Δ_{TTC} (tấn/ha/năm)	2.83	2.44	2.04
	$\Delta_{TT_{CO_2}}$ (tấn/ha/năm)	10.40	8.97	7.49

Kết quả này chỉ ra tăng trưởng thấp nhất ở cấp sinh khối 1 và cấp H III, với tăng trưởng sinh khối là 3.63 tấn/ha/năm, carbon là 1.67 tấn/ha/năm và hấp thụ CO₂ là 6.13 tấn/ha/năm; tăng trưởng cao nhất ở cấp sinh khối 2 và cấp H I với sinh khối là 9.84tấn/ha/năm, carbon 4.40 tấn/ha/năm và hấp thụ CO₂ là 16.15 tấn/ha/năm (Hình 2.9).

IPCC (2006) cho thấy tăng trưởng sinh khối trên mặt đất rừng mưa nhiệt đới ở châu Á biến động từ 3.4 – 13.0 tấn/ha/năm, kết quả nghiên cứu của đề tài cũng phù hợp với dữ liệu quốc tế, nhưng phạm vi biến động hẹp hơn vì cụ thể cho rừng nhiệt đới ở Tây Nguyên, Việt Nam và như vậy chính xác hơn.



Hình 2.9: Hấp thụ CO₂ (tấn/ha/năm) rừng lá rộng thường xanh theo cấp sinh khối và cấp chiều cao

Hình 2.9 và bảng 2.28 cho thấy khả năng hấp thụ CO₂ ở cấp chiều cao I là cao nhất và giảm dần đến cấp II và III, điều này phù hợp với việc phân cấp H, vì cấp chiều cao I là chỉ thị cho cấp năng suất tốt nhất, sau đó giảm dần đến cấp II và III. Trong khi đó hấp thụ CO₂ cao nhất ở cấp sinh khối 2, sau đó là cấp 3, thấp nhất ở cấp sinh khối 1. Điều này cho thấy cấp sinh khối 2 là cấp có cấu trúc rừng ổn định nhưng chưa quá thành thực do đó năng lực hấp thụ CO₂ là tốt nhất, trong khi đó cấp sinh khối 1 là lâm phần rừng bị tác động mạnh, suy giảm khối lượng và chất lượng sinh khối do vậy làm giảm khả năng hấp thụ CO₂ của rừng; riêng cấp sinh khối 3 là cấp có sinh khối cao và gần thành thực do vậy tốc độ sinh trưởng của cây rừng đã giảm và làm giảm khả năng hấp thụ CO₂ của loại lâm phần này. Về lý thuyết lâm học, sinh trưởng của lâm phần sẽ ngừng khi đạt thành thực và khả năng hấp thụ CO₂ sẽ bảo hòa, tuy nhiên loại lâm phần này nằm ngoài phạm vi nghiên cứu.

Bảng 2.28: Hấp thụ CO₂ theo cấp sinh khối và cấp H rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên

Đơn vị CO₂: tấn/ha/năm

Cấp sinh khối - Sinh khối (tấn/ha)	Cấp H		
	I	II	III
1 - TAGTB = 35 - 154	8.5	7.3	6.1
2 - TAGTB = 155 – 254	16.1	14.0	11.7
3 - TAGTB = 255 - 365	10.4	9.0	7.5

Từ kết quả này cho thấy có thể dựa vào hấp thụ CO₂ hàng năm để tính toán thù lao cho người quản lý rừng. Với giả định đơn giá thấp nhất là 20USD/tấn CO₂ thì giá trị hấp thụ CO₂ thấp nhất của rừng là 6.1 tấn CO₂ /ha/năm * 20 USD * 21.000 VND = 2.576.674 VND/ha/năm; cao nhất là 16.1 tấn CO₂/ha/năm * 20 USD * 21.000 VND = 6.781.937 VND/ha/năm. Như vậy nếu đạt được chi trả từ 2.5 triệu – 6.8 triệu đồng/ha/năm để cho quản lý bảo vệ rừng trên cơ sở rừng hấp thụ CO₂ sẽ là động lực lớn cho quản lý rừng trong thời gian đến. Trong khi đó chi phí cho bảo vệ rừng hiện nay là 100.000đ/ha/năm hoặc ngay chi phí bảo vệ rừng đầu nguồn theo chương trình PES (Payment for Environment Services) của chính phủ thì cũng đạt cao nhất là 500.000đ/ha/năm. Do vậy đo tính, giám sát được hấp thụ CO₂ sẽ là một cơ hội tốt cho ngành lâm nghiệp – môi trường trong thời gian đến khi tham gia chương trình REDD⁺ để bán tín chỉ carbon và lập quỹ để quản lý rừng bền vững theo mục tiêu môi trường nhằm giảm nhẹ tác động của biến đổi khí hậu.

CHƯƠNG 3: VIỄN THÁM VÀ GIS TRONG ƯỚC TÍNH - GIÁM SÁT SINH KHỐI VÀ CARBON RỪNG

Kết quả nghiên cứu trong chương 1 và 2 là cơ sở để ước tính sinh khối, carbon của cây cá thể, của từng lâm phần cụ thể. Tuy nhiên trong thực tế cần ước lượng sinh khối, carbon để giám sát khả năng hấp thụ hoặc phát thải khí CO₂ trên diện rộng như quốc gia, khu vực, chủ rừng để tham gia REDD⁺. Điều này đòi hỏi phải có cơ sở dữ liệu phân khối rừng trên bản đồ và dữ liệu CO₂ tương ứng theo không gian và thời gian.

Trong thực tế điều tra rừng hiện nay chủ yếu sử dụng bản đồ phân chia trạng thái rừng, từ đó rút mẫu đo tính trữ lượng; việc đo tính carbon rừng cũng có thể áp dụng như vậy, chỉ bổ sung thêm các hàm allometric equations để ước tính được sinh khối, carbon rừng cho từng trạng thái, đơn vị quản lý rừng. Tuy nhiên các tiếp cận này đã đưa đến sai số rất lớn, ngay cả giám sát trữ lượng rừng như hiện nay, do các tác động chuyển đổi sử dụng rừng, khai thác rừng; và việc cập nhật trên mặt đất đã tỏ ra không đáp ứng được.

Vì vậy nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám kết hợp với dữ liệu mặt đất là một cách tiếp cận cần được phát triển, giúp cho việc giám sát tài nguyên rừng nói chung và carbon rừng nói riêng đạt độ tin cậy, được cập nhật, khách quan. Trên cơ sở đó công nghệ GIS với chức năng liên kết dữ liệu với ảnh viễn thám, với các nhóm dữ liệu sinh khối, carbon khác nhau trong các bể chứa thông qua các mô hình allometric equations sẽ giúp cho việc quản lý dữ liệu hấp thụ và phát thải khí CO₂ khi tham gia REDD⁺ có độ tin cậy, giảm nhân lực, chi phí.

Đề tài thử nghiệm sử dụng ảnh vệ tinh với các phương pháp giải đoán ảnh, nghiên cứu mối quan hệ giữa giá trị phản xạ phổ của ảnh với giá trị sinh khối, carbon rừng, từ đó tìm ra giải pháp thích hợp để ứng dụng. Ảnh vệ tinh được sử dụng là ảnh SPOT5, với độ phân giải trung bình 10*10m, quy mô là một cảnh 60*60km ở khu vực rừng lá rộng thường xanh của huyện Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông.

Dữ liệu TAGTB được tính toán từ 70 ô mẫu hình tròn phân tầng được bố trí ngẫu nhiên trong vùng ảnh nghiên cứu, tuy nhiên khi chồng lên ảnh thì chỉ có 61 ô nằm trong vùng rừng nghiên cứu, 9 ô bị lọt vào vùng có mây của ảnh nên được loại trừ. Sử dụng 41 ô để nghiên cứu quan hệ TAGTB với chỉ số ảnh, còn lại 20 không tham gia mô hình để sử dụng đánh giá sai số của phân loại ảnh và kết quả ước lượng sinh khối thông qua ảnh.

1 ỨNG DỤNG ẢNH VỆ TINH TRONG ƯỚC TÍNH VÀ GIÁM SÁT SINH KHỐI, CARBON RỪNG

Đề tài đã thử nghiệm ba phương pháp ứng dụng ảnh vệ tinh trong lập bản đồ và cơ sở dữ liệu sinh khối, carbon rừng:

- i) *Phương pháp phân loại ảnh phi giám định và quan hệ với sinh khối rừng*
- ii) *Phương pháp phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh (DN)*
- iii) *Phương pháp phân loại ảnh có giám định để phân chia khối rừng theo cấp sinh khối*

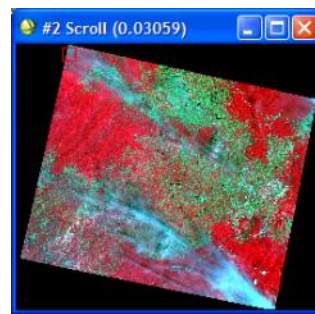
1.1 Hiệu chỉnh hình học ảnh, phân loại ảnh thành vùng có rừng và không có rừng tự nhiên

1.1.1 Hiệu chỉnh hình học ảnh

Mặc dù có sự hiệu chỉnh ảnh ở các trạm thu trên mặt đất, dữ liệu ảnh vệ tinh vẫn cần được hiệu chỉnh thêm bởi người sử dụng. Hiệu chỉnh hình học ảnh thông qua việc đăng ký tọa độ cho ảnh là một trong những phần việc của tiền xử lý ảnh. Việc đăng ký ảnh có thể sử dụng một số cách khác nhau như i) đăng ký ảnh với một ảnh khác đã được hiệu chỉnh (image to image) hoặc ii) có thể tham chiếu với tọa độ thực được thu thập trực tiếp trên mặt đất (image to map). Trong trường hợp này, ảnh SPOT5 đã được hiệu chỉnh hình học dựa trên các điểm khống chế thu thập được trên mặt đất (GCP – ground control points). Để thực hiện bước này, 17 điểm khống chế đã được thu thập nhờ công cụ GPS cầm tay. Ảnh đã được đăng ký theo phép chiếu UTM zone 48, với ellip thực dụng là WGS 84. Phương pháp “nearest neighbor – người láng giềng gần nhất” được áp dụng với độ phân giải không gian 10x10m để bảo toàn tính nguyên vẹn của các giá trị pixel. Hiệu chỉnh hình học ảnh giúp cho dữ liệu ảnh vệ tinh có thể tích hợp được với các loại dữ liệu không gian khác ở một hệ thống tọa độ chung. Sai số hiệu chỉnh ảnh không nên vượt quá 0.5 pixel. Minh họa ở hình 3.1.



a)

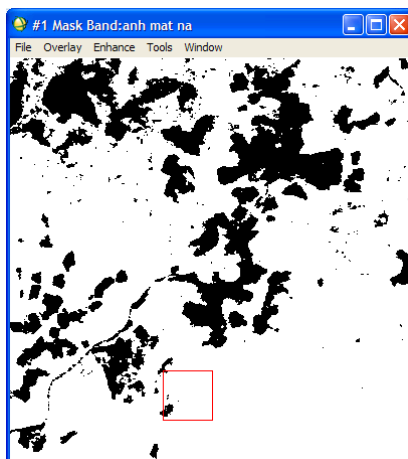


b)

Hình 3.1: Hiệu chỉnh hình học ảnh vệ tinh: a) ảnh trước khi hiệu chỉnh; b) ảnh sau khi hiệu chỉnh

1.1.2 Phân loại vùng có rừng và không rừng

Một ảnh thường bao phủ một vùng rất rộng. Diện tích bao phủ của ảnh SPOT5 là 60km x 60km với các thảm phủ khác nhau thể hiện khách quan trên ảnh chụp. Quan sát trên ảnh có thể nhận thấy khá rõ vùng có rừng và không có rừng. Vì đối tượng quan tâm là rừng tự nhiên, do vậy các thảm phủ không phải là rừng tự nhiên như rừng trồng, đất nông nghiệp, đất trống, trắng cỏ cây bụi, mặt nước đều được gộp thành diện tích không có rừng. Ngoài ra diện tích bị mây che cũng được xếp vào loại không có rừng. Trên ảnh tạo các vùng quan tâm (ROI – Region of Interest) như các vùng mẫu cho 2 đối tượng là có rừng và 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 và không rừng trên ảnh đã được hiệu chỉnh hình học. Kết quả phân loại mặc định theo thứ tự có rừng mang giá trị 1, trong khi không có rừng mang giá trị 2. Dựa trên ảnh đã được phân loại, tiến hành tạo mặt nạ cho vùng có rừng. Dựa trên mặt nạ có rừng này, cắt ảnh (Subset) theo vùng có rừng để nghiên cứu. Kết quả sẽ cho được ảnh chỉ có vùng có rừng. (Hình 3.2)



Hình 3.2: Mặt nạ lớp dữ liệu (1: có dữ liệu rừng; 2: không có dữ liệu rừng)

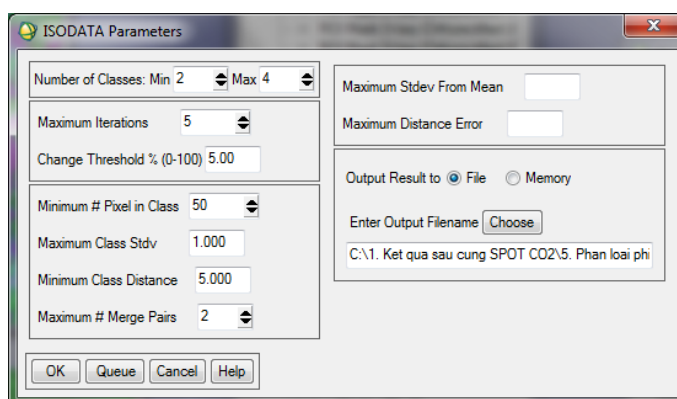
1.2 Phân loại ảnh vệ tinh bằng phương pháp phi giám định và lập mối quan hệ sinh khối, carbon rừng với các lớp phân loại

Sử dụng phương pháp phân loại phi giám định, trong đó phương pháp ISODATA được áp dụng do đây là phương pháp mềm dẻo, tự nhiên, không cần cố định số các lớp.

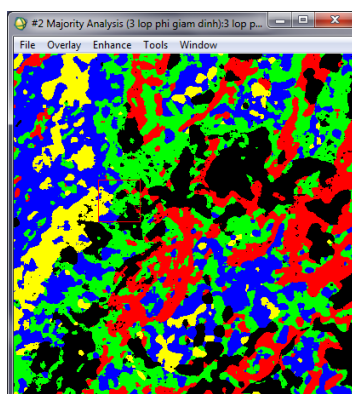
Việc phân loại thành bao nhiêu lớp và số lượng pixel trong mỗi lớp do người xử lý quyết định; trong thực tế các trạng thái rừng, mức độ che phủ có bức xạ quang phổ khác nhau, do đó nếu chọn số lượng các lớp (Class) khác nhau khi phân loại phi giám định có ý nghĩa như là phân chia rừng thành các khối/lớp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

carbon rừng; từ đó lập được bản đồ phân chia rừng thành các lớp có cùng sinh khối, carbon.

Thử nghiệm phân chia thành 3, 4, 5 lớp (class) (dựa vào thực tế biến đổi trạng thái rừng có khả năng ít nhất là 3 nhiều là 5 lớp). Trong phân chia tự động chọn số pixel tối thiểu trong một lớp (Minimum Pixel in Class) là 50 ứng với 5.000m², lý do chọn 50 pixel là để một lớp có thể bao phủ toàn bộ diện tích 1 ô mẫu (1.000m²), đồng thời phù hợp với quy định kiểm kê rừng của Việt Nam là một trạng thái rừng chỉ được tách ra khi có diện tích lớn hơn 5.000m². Hình 3.3 chỉ ra thông số cài đặt để phân lớp rừng và kết quả ở hình 3.4.



Hình 3.3: Cài đặt thông số phân chia thành 3 lớp với 50 pixel/class trong ENVI



Hình 3.4: Phân loại phi giám định rừng thành 4 lớp khác nhau 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 lớp tọa độ các ô mẫu đã tính toán sinh khối và carbon phần trên mặt đất gắn với các class, tính TAGTB trung bình của các ô trong từng class; tạo được cơ sở dữ liệu quan hệ giữa sinh khối và carbon rừng trung bình ứng với các class đã phân loại khác nhau.

Với 41 ô dữ liệu, lập mô hình quan hệ giữa sinh khối trên mặt đất (TAGTB) hoặc lượng carbon tương ứng (TAGTC) với các hệ thống phân loại khác nhau:

TAGTB (tấn/ha) = f(Class); trong đó có 3 hệ thống phân loại thành 3, 4 hoặc 5 lớp. Trong mỗi cấp phân loại tìm mối tương quan giữa sinh khối rừng với các class, chọn mô hình ở mỗi hệ thống class nào có hệ số quan hệ lớn nhất (R^2 cao nhất) và tồn tại với $P < 0.05$. Sau đó so sánh 3 mô hình cao nhất đó lại lựa chọn ra một mô hình cao nhất (R^2 lớn nhất), chính là xác định được số class cần phân chia có mối quan hệ chặt chẽ nhất với sinh khối rừng trong khu vực nghiên cứu. (Dữ liệu TAGTB theo class 3 cấp ở phụ lục 24).

Hệ thống 3 Class:

$$\text{TAGTB t_ha} = 1/(0.00588673 - 0.000281795 * \text{Class_Id}^2) \quad (3.1)$$

Với $R^2 \text{ adj.} = 88.01\%$; $P < 0.000$; $n = 41$; $RSE = 0.0003$

Hệ thống 4 class:

$$\text{TAGTB t_ha} = 1/(0.00623731 - 0.000676538 * \text{Class Id}) \quad (3.2)$$

Với $R^2 \text{ adj.} = 75.38\%$; $P < 0.000$; $n = 41$; $RSE = 0.0004$

Hệ thống 5 lớp

$$\text{TAGTB t_ha} = 1/(0.00560132 - 0.00107584 * \ln(\text{Class_Id})) \quad (3.3)$$

Với $R^2 \text{ adj.} = 73.83\%$; $P < 0.000$; $n = 41$; $RSE = 0.0003$

Trong đó Class_Id: Mã số các lớp phân loại trên ảnh bằng phương pháp phi giám định

Kết quả này cho thấy đối với khu vực rừng nghiên cứu phân chia rừng thành 3 lớp/khối trạng thái sẽ cho mối quan hệ giữa sinh khối cây rừng trên mặt đất và chỉ số ảnh là cao nhất, với R^2 cao nhất và RSE (Sai tiêu chuẩn của phần dư) là bé nhất, tức là CF gần 1 nhất. Trong thực tế sử dụng, tùy theo mỗi vùng và sự biến động của sinh khối rừng mà số lớp được xác định thích hợp và trên nguyên tắc mô hình quan hệ giữa TAGTB với chỉ số ảnh theo class đạt cao nhất.

Sử dụng mô hình ứng với 3 class và đánh giá sai số của việc phân loại rừng để ước tính TAGTB. Chồng xếp các 20 ô độc lập ngẫu nhiên với giá trị TAGTB theo 3 cấp class (Intersect), và ứng với mô hình xác định được $\text{TAGTB} = f(\text{Class})$, tính toán biến động giữa giá trị lý thuyết của mô hình với thực tế theo chỉ số S% ở bảng 3.1.

Bảng 3.1: Đánh giá biến động của ước lượng sinh khối trên mặt đất (TAGTB) theo 3 lớp phân chia phi giám định với các ô độc lập

Mã số ô mẫu	Class_Id	TABTG t/ha ô mẫu	TAGTB t/ha mô hình	S%
D4	1	131	178	36.0%
D10	1	178	178	0.3%
47	1	274	178	35.0%
D7	1	159	178	12.2%
8	1	179	178	0.5%
7	1	181	178	1.5%

Mã số ô mẫu	Class_Id	TABTG t/ha ô mẫu	TAGTB t/ha mô hình	S%
B2	2	186	210	13.1%
A7	2	200	210	5.0%
B1	2	235	210	10.5%
4	2	285	210	26.3%
29	2	121	210	73.1%
1	2	234	210	10.3%
32	3	331	298	9.8%
40	3	308	298	3.2%
33	3	206	298	44.4%
C9	3	268	298	11.4%
C8	3	362	298	17.6%
C6	3	117	298	154.2%
C2	3	298	298	0.2%
C4	3	152	298	96.7%
Trung bình				28.1%

Biến động tương đối trung bình $S\% = 28.1\%$ nếu so sánh từng giá trị TAGTB của ô mẫu độc lập với giá trị ước tính được trên ảnh thông qua mô hình.

Kết quả này cho thấy sử dụng phương pháp phân loại ảnh vệ tinh phi giám định và kết hợp với mô hình quan hệ $TAGTB = f(\text{Class})$ sẽ cho kết quả ước lượng trên ảnh đạt độ tin cậy gần 72%. Kết quả này là chấp nhận được để ước lượng sinh khối rừng trên quy mô rộng.

Kết quả đánh giá trên là tính sai số với từng ô mẫu đánh giá. Trong thực tế mỗi class (khối trạng thái rừng) được tính toán trung bình một giá trị sinh khối. Do vậy gộp các ô đánh giá theo từng class tính trung bình TAGTB và so sánh với giá trị qua mô hình để tính lại $S\%$ ở bảng 3.2.

Bảng 3.2: Đánh giá biến động của ước lượng trung bình sinh khối trên mặt đất (TAGTB) theo 3 lớp ảnh phân chia phi giám định

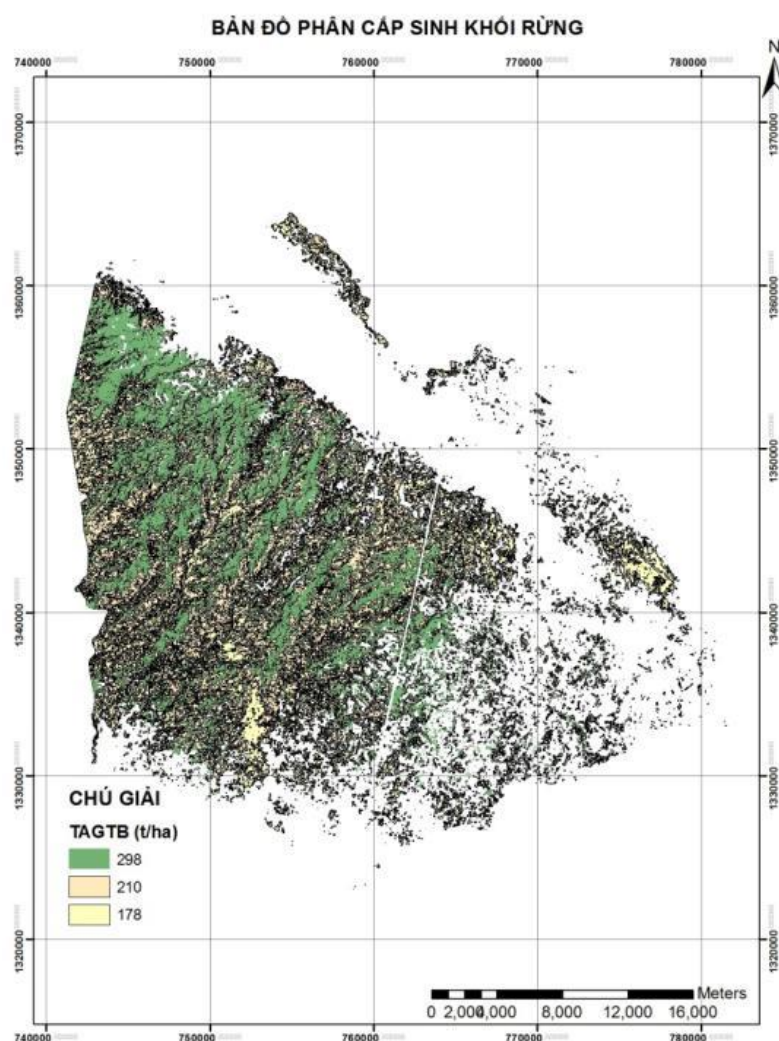
Class	TAGTB trung bình các ô mẫu đánh giá (tấn/ha)	TAGTB qua mô hình (tấn/ha)	S%
1	184	178	2.9%
2	210	210	0.1%
3	255	298	16.8%
Trung bình			6.6%

Kết quả cho biến động giữa mô hình với thực tế rất thấp, $S\% = 6.6\%$. Như vậy sử dụng phương pháp phi giám định và ước lượng TAGTB trung bình qua mô hình quan hệ với class đạt đến độ tin cậy 93.4%.

Trên cơ sở ảnh phân loại, chuyển sang dạng vector và tính toán trường dữ liệu TAGTB theo class bằng mô hình 3 lớp, lập được bản đồ phân khối rừng theo sinh khối và cơ sở dữ liệu sinh khối cho từng lớp trong ArcGIS ở hình 3.5 và thể hiện ở bản đồ hình 3.6.

FID	Shape *	Class_Id	Area_ha	TAGTB_t_ha
0	Polygon	1	12889.4	178
1	Polygon	2	24886.2	210
2	Polygon	3	12434.1	298

Hình 3.5: Diện tích và TAGTB cho từng lớp tính trong ArcGIS trên cơ sở phân loại phi giám định



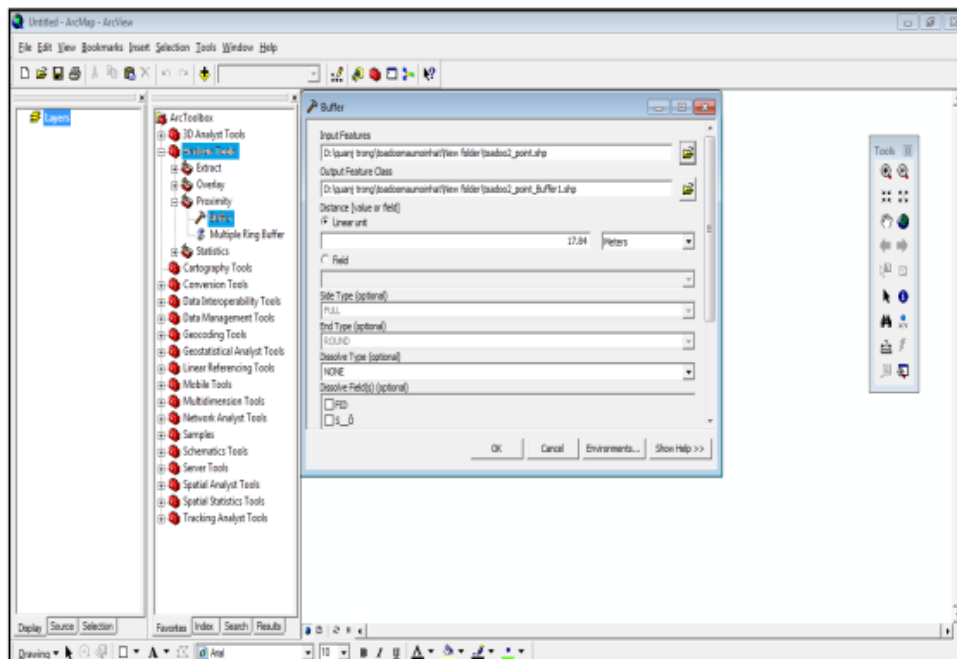
Hình 3.6: Bản đồ sinh khối rừng giải đoán từ ảnh SPOT theo phương pháp phân loại phi giám định và quan hệ với sinh khối rừng

1.3 Phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh (DN)

Phương pháp này dựa trên cơ sở phát hiện mối quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất của thực vật thân gỗ (TAGTB) với giá trị ảnh (DN) theo pixel của các band ảnh. Trên cơ sở mối quan hệ đó lập được bản đồ sinh khối và phân cấp sinh khối.

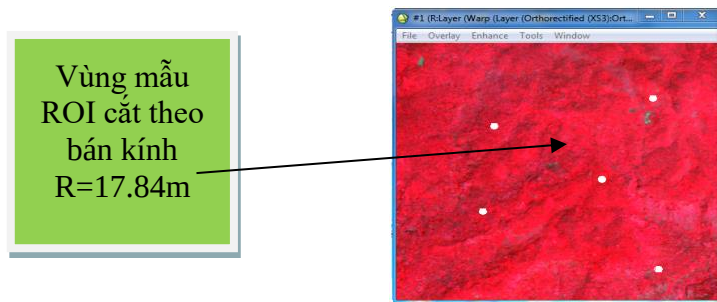
1.3.1 Tạo cơ sở dữ liệu quan hệ giữa sinh khối từ ô mẫu với giá trị các band phổ

Chồng tọa độ các điểm ô mẫu trên ảnh đã cắt theo vùng có rừng. Với các tọa độ này, sử dụng chức năng tạo Buffer trong phần mềm ArcGis để tiến hành tạo ra ô mẫu có kích thước bằng với kích thước ô mẫu trên thực địa bằng cách khai báo thông số bán kính của Buffer $R = 17.84\text{m}$. Chọn Analysis tools/proximity/buffer xuất hiện hộp thoại Buffer. Ở hộp thoại Buffer click vào Input Features để chọn tọa độ các điểm ô mẫu, tiến hành nhập thông số bán kính ở Linear unit = 17.84m (Hình 3.7)

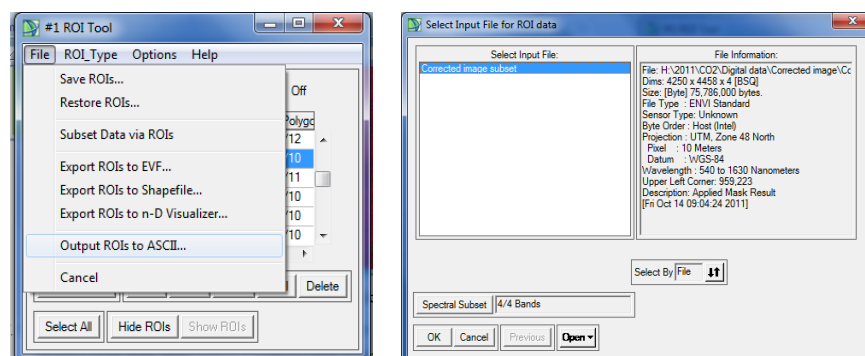


Hình 3.7: Tạo vùng đệm buffer cho ô mẫu trên phần mềm ArcGIS

Sau khi tạo các ô mẫu với vùng đệm (buffer) có bán kính là 17.84 m , tiến hành chồng file này trên ảnh trong phần mềm Envi với 60 điểm mẫu (Hình 3.8). Trên cơ sở file ô mẫu và ảnh SPOT, chuyển dữ liệu ảnh trong vùng đệm này theo bảng mã ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) - Chuẩn mã trao đổi thông tin Hoa Kỳ) (Hình 3.9). Kết quả sẽ được một bảng ký tự giá trị ảnh 8 bit biểu thị thông tin giá trị ảnh để có thể phân tích với thông tin điều tra thực địa.



Hình 3.8: Chồng các ô mẫu lên ảnh với bán kính 17.84m



Hình 3.9: Chuyển các ô mẫu trên ảnh thành dữ liệu ASCII

Cách tiến hành chuyển các ô mẫu trên ảnh thành dữ liệu ASCII:

- Mở file vector tọa độ các ô mẫu đã tạo vùng đệm lên ảnh
- Chuyển file và thành ROI mở file ROI này chồng lên ảnh
- Chuyển ROI chồng ảnh sang ASCII: Trong hộp thoại ROI tool chọn output ROI to ASCII, chọn ảnh để tạo dữ liệu ASCII và đường dẫn để lưu file. Mở File ASCII ở Excel dạng text, trong đó có giá trị của DN của 4 band b1, b2, b3, và b4 của các ô mẫu đã chồng (xếp theo thứ tự ô). Từ đây có cơ sở dữ liệu TAGTB với giá trị DN của 4 band ảnh SPOT5.

1.3.2 Phân tích hồi quy giữa giá trị ảnh và sinh khối đo tính trên ô mẫu

Sử dụng phần mềm Statgraphics Centurion phân tích hồi quy giữa giá trị ảnh và số liệu sinh khối TAGTB để tìm ra hàm quan hệ tối ưu giữa sinh khối và giá trị ảnh. Phương trình tương quan có dạng: $Y = f(x)$; với Y : giá trị TAGTB (tấn/ha) là biến phụ thuộc; x_i : giá trị của của các kênh ảnh là biến độc lập. Hay có thể viết lại ở dạng phương trình như sau: TAGTB (tấn/ha) = f (bandi)

Tiến hành thiết lập mô hình quan hệ giữa giá trị TAGTB và giá trị ảnh bằng các mô hình hồi quy đơn biến hoặc đa biến cả tuyến tính và phi tuyến. Mô hình được xem là đảm bảo độ tin cậy khi hệ số quan hệ R^2 hoặc hệ số tương quan điều chỉnh $R^2_{adj} > 0.50$ và các tham số gắn biến số qua kiểm tra theo tiêu chuẩn t phải có $P < 0,05$. Trong quá trình xây dựng mô hình nếu biến số chưa bảo đảm $P < 0,05$ thì có thể đổi biến số, tổ hợp với biến số khác hoặc loại biến số đó ra khỏi mô hình.

Với 60 ô mẫu tiến hành lập mô hình $TAGTB = f(Band4)$ (Dữ liệu ở phụ lục 25). Kết quả tìm được biến số B4 (Giá trị DN của band 4) có quan hệ tốt nhất với TAGTB:

$$1/\log(TAGTB)^7 = 0.00000548887 + 2.15963E-19*(B4)^7 \quad (3.4)$$

Hay:

$$TAGTB = \exp((1/(0.00000548887 + 2.15963E-19*(B4)^7))^{(1/7)}) \quad (3.5)$$

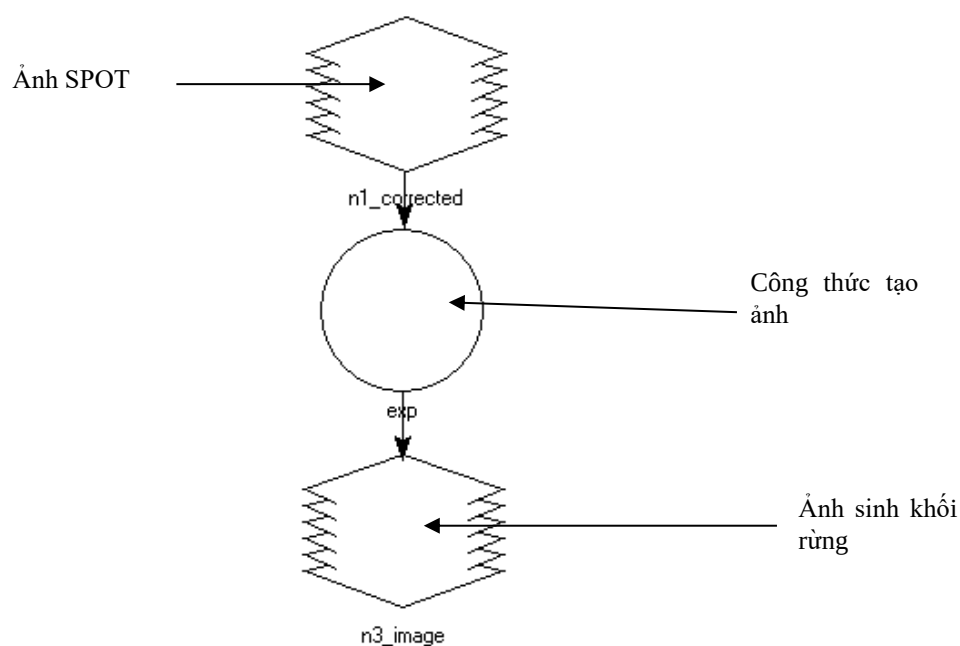
Với: $R^2 \text{ adj.} = 54.23\%$; $P < 0.000$, $n = 60$, $RSE = 0.000004$

1.3.3 Thành lập bản đồ theo cấp sinh khối rừng

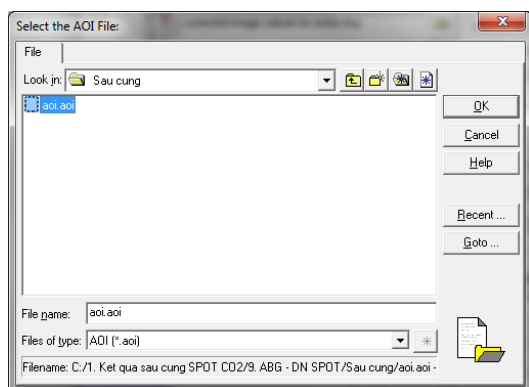
1.3.3.1 Tạo ảnh với giá trị pixel theo sinh khối

Phần mềm Erdas được áp dụng để tạo ảnh theo sinh khối rừng. Trong Envi chuyển file ảnh về dạng image, TIFF hoặc Erdas Image để đọc được trong Erdas

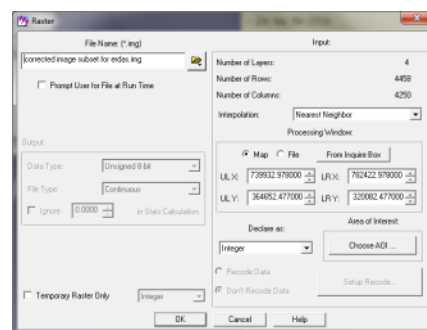
Sử dụng chức năng Modeler của Erdas để tạo lập ảnh TAGTB trên cơ sở mô hình đã lập theo hình 3.10



Hình 3.10: Lập mô hình tạo ảnh sinh khối rừng Erdas



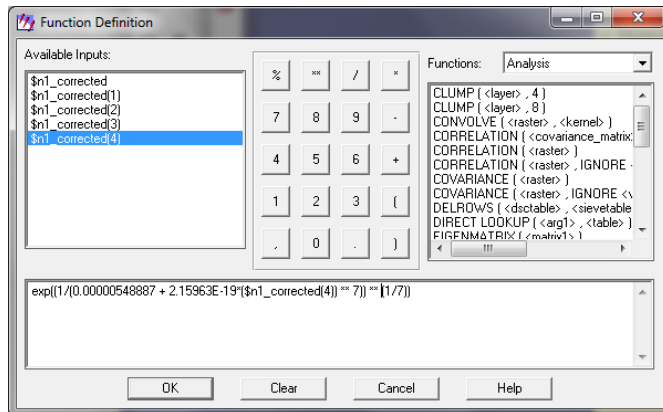
Trong đó ảnh đầu vào được cắt theo file AOI. Cách tạo AOI: Mở file shape vùng



rừng được tạo theo mặt nạ đã làm trong ArcGIS: File/Open/Vector layer chọn dạng file shape. Kích chọn vùng file/AOI: Copy Selection to AOI. File/Save/AOI layer as.

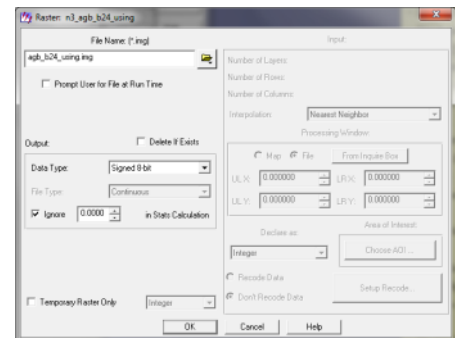
Tiến hành phân tích để tạo ảnh sinh khối dựa vào mô hình quan hệ giữa TAGTB = f(B4): Chọn ảnh đầu vào đã tạo; chọn AOI để chỉ phân loại trong vùng rừng ở dạng 8 bit.

Công thức tạo ảnh là TAGTB = f(Bandi)= $\exp((1/(0.00000548887 + 2.15963E-19*(B4)^7))^{(1/7)})$ (Hình 3.11)



Hình 3.11: Chạy mô hình quan hệ TAGTB = f(B4) để tạo pixel ảnh theo sinh khối

Chọn đường dẫn và tên file xuất kết quả (single 8 bit) và xuất ra là ảnh với các pixel có thông số TAGTB (tấn/ha) dạng TFF ở hình 3.12.

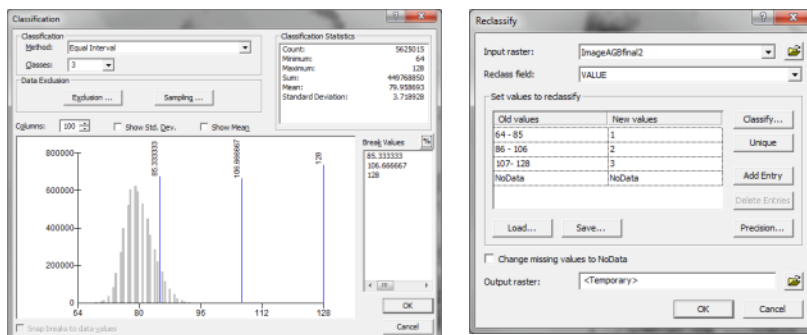


Hình 3.12: Pixel ảnh đã được gán giá trị TAGTB (tấn/ha) thông qua mô hình

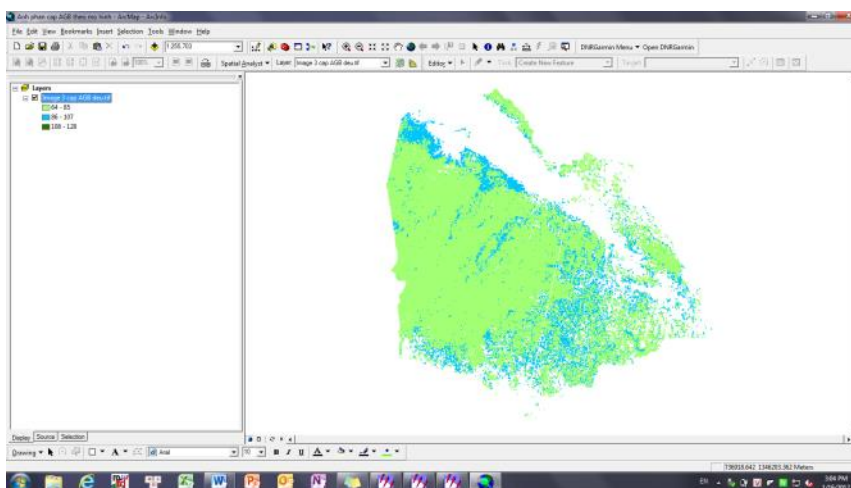
1.3.3.2 Thành lập bản đồ và cơ sở dữ liệu cấp sinh khối

Từ kết quả ảnh với pixel đã được gán giá trị sinh khối trên mặt đất thông qua phân tích mô hình quan hệ trong Erdas. Tiến hành phân cấp sinh khối để gộp các pixel

thành từng khối. Tiến hành trong ArcGIS thông qua chức năng phân tích không gian: Spatial Analyst/Reclassify. Tiến hành phân thành 3 cấp sinh khối rừng ở hình 3.13 và 3.14.

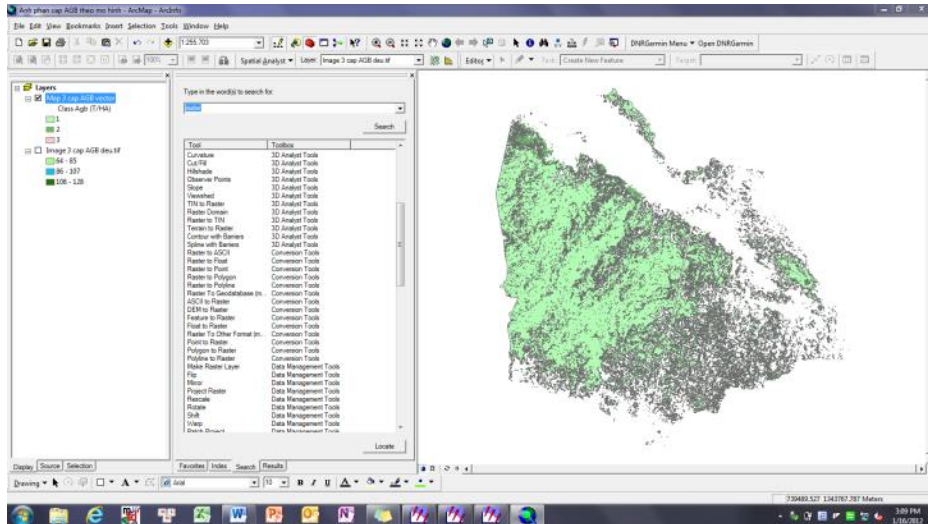


Hình 3.13: Công cụ phân tích thành 3 cấp TAGTB (tấn/ha) trong ArcGIS



Hình 3.14: Ảnh phân 3 cấp TAGTB trong ArcGIS

Từ đó chuyển ảnh raster thành vector để quản lý sinh khối và carbon rừng theo từng cấp ở hình 3.15



Hình 3.15: Bản đồ vector 3 cấp sinh khối rừng trên mặt đất

1.3.3.3 Đánh giá sai số của phân cấp sinh khối

Sử dụng 60 ô mẫu để đánh giá độ tin cậy của phân cấp sinh khối. Chồng các ô mẫu lên lớp vector phân loại sinh khối bằng chức năng Intersect trong ArcGIS. Tính trung bình TAGTB của các ô mẫu cho từng cấp và so sánh với giá trị ước lượng được trên ảnh thông quan mô hình quan hệ với DN, đánh giá biến độ bằng chỉ tiêu S% ở bảng 3.3.

Bảng 3.3: Kết quả đánh giá sai khác S % giữa giá trị TAGTB quan sát với ước lượng được trên ảnh qua mô hình

Stt	TAGTB trung bình các ô mẫu (tấn/ha)	TAGTB theo mô hình 3 cấp trên ảnh (tấn/ha)	S%
1	227	75	67.0%
2	132	97	26.4%
Trung bình			46.7%

Kết quả nhận được từ phương pháp phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh có sự biến động khá lớn so với thực tế, $S\% = 46.7\%$, có nghĩa độ tin cậy chỉ đạt được ở mức trung bình 53.3%.

1.4 Phân loại ảnh có giám định để phân chia rừng theo cấp sinh khối

Phương pháp này thường áp dụng cho việc phân chia các trạng thái rừng, khối rừng trên ảnh. Chỉ khác ở đây là phân chia rừng thành các khối về sinh khối trên mặt đất của thực vật thân gỗ.

1.4.1 Phân chia cấp sinh khối TAGTB

Từ 61 ô điều tra tính toán qua mô hình allometric equation xác định được TAGTB (tấn/ha) cho mỗi ô. Từ đây tính biến động trong độ tin cậy $P = 95\%$ và chia thành 3 cấp: Cấp 1: Sinh khối thấp nằm ở phía trái của ước lượng 95%, cấp 2: Trung bình nằm trong phạm vi ước lượng 95% và cấp 3: Sinh khối cao nằm ở phía phải của ước lượng 95% (Bảng 3.4). Mỗi ô được xác định thuộc cấp sinh khối nào, trong 61 ô mẫu, sử dụng 41 ô để phân loại ảnh và 20 ô để đánh giá độ tin cậy.

Bảng 3.4: Phân cấp TAGTB

Cấp sinh khối	TAGTB (tấn/ha)	
	Min	Max
1	72	198
2	198	248
3	248	664

1.4.2 Phân loại ảnh có giám định theo 3 cấp sinh khối

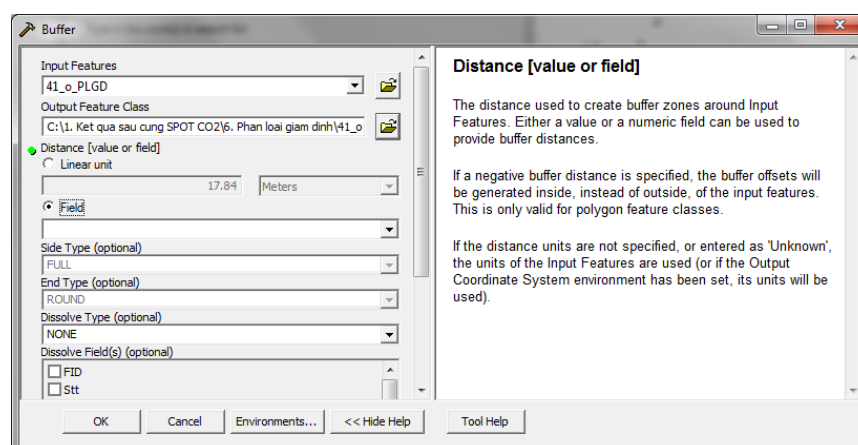
Dựa trên tọa độ ô mẫu đã được phân chia theo các cấp sinh khối, tiến hành tạo Buffer cho vùng ROI (là ô mẫu với bán kính 17.84m) sau đó tạo lập các vùng mẫu ROI đại diện cho từng cấp. Sử dụng thuật toán phân loại Maximum likelihood để phân thành các lớp sinh khối.

Các bước tiến hành:

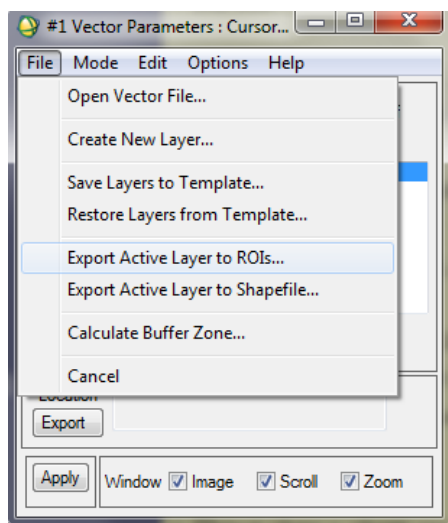
i) *Tạo file ROI là các cấp sinh khối TAGTB:*

Tạo lập các file để tạo ROI: Phân loại (41 ô) và đánh giá (20 ô), chuyển từ excel sang shape file trong ArcGIS. Tạo buffer cho mỗi điểm: Lý do là mỗi ô có bán kính 17.84m, do vậy cần tạo buffer theo bán kính này để phù hợp dữ liệu hiện trường với giá trị ảnh khi phân loại

Tạo Buffer cho mỗi điểm trong ArcGIS như sau: Buffer để chọn file tạo và Linear Unit = 17.84m



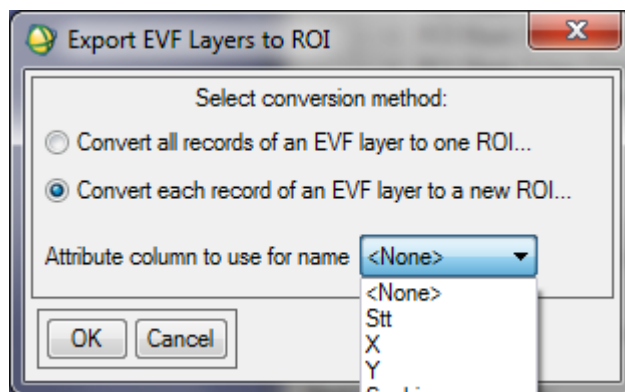
Sử dụng file ảnh đã cắt vùng có rừng để phân loại thành 3 cấp sinh khối trong Envi. Chồng file tọa độ phân loại đã tạo buffer lên ảnh và chuyển thành file ROI.



Trong Envi: Trong hộp Vector Parameters: File/Export active layer to ROI

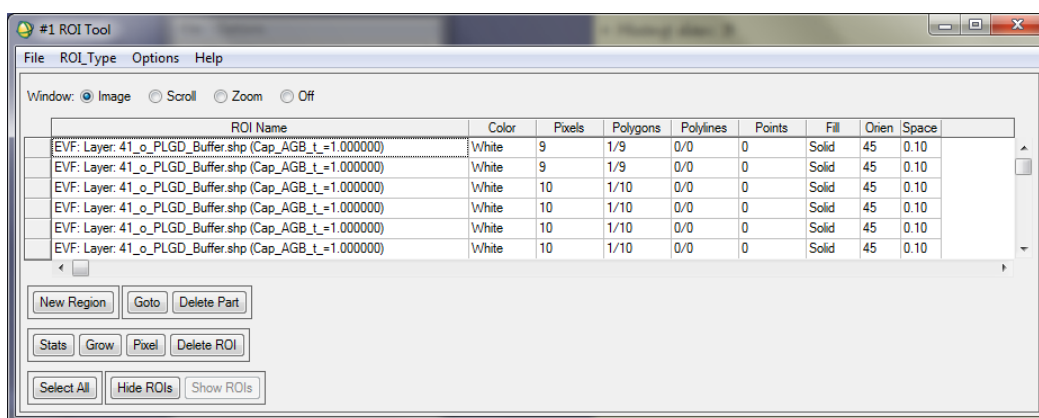
Chọn Convert each record of an EVF layer to a

new ROI và chọn trường dùng để phân

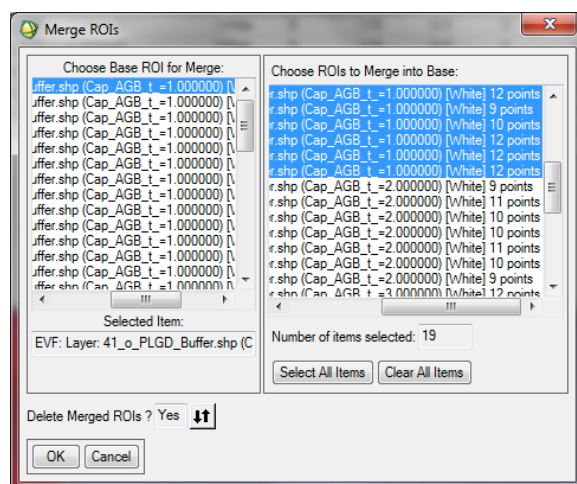


cấp (Cấp TAGTB)

Mở file ROI vừa tạo có hộp thoại: Overlay/ROI, vào Option chọn merge region (để gộp các ROI cùng cấp với nhau)

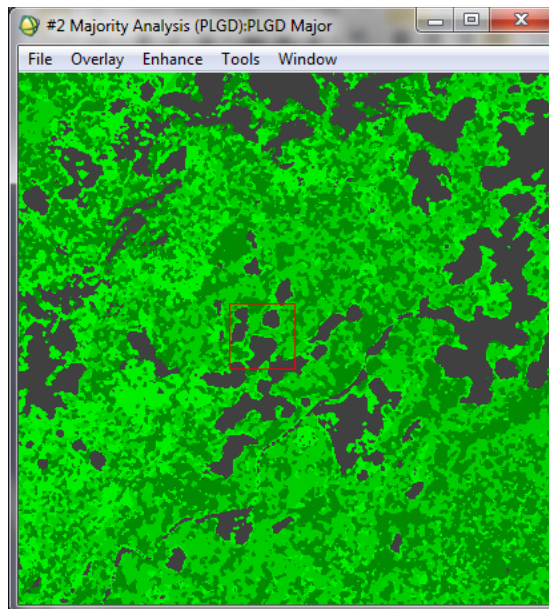
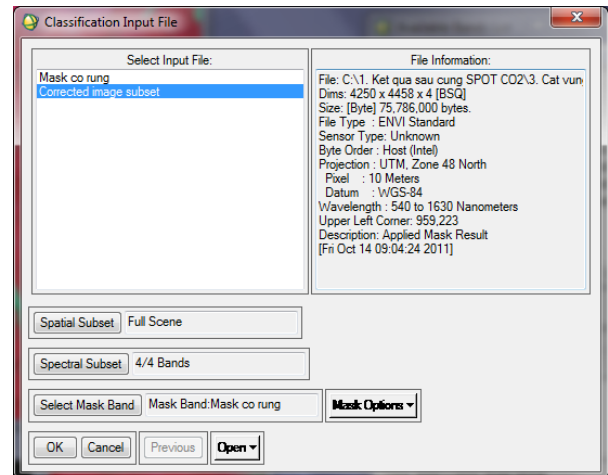


Sau đó save ROI, chọn tất cả các ROI đã merge



ii) Phân loại giám định các cấp sinh khối dựa ROI đã tạo:

Sử dụng chức năng phân loại trong Envi: Classification/Supervised/Maximum Likelihood. Chọn ảnh và chọn mặt nạ có rừng và chọn ROI để phân loại. Kết quả phân loại được rừng thành 3 cấp sinh khối TAGTB trên ảnh SPOT5 ở hình 3.16.



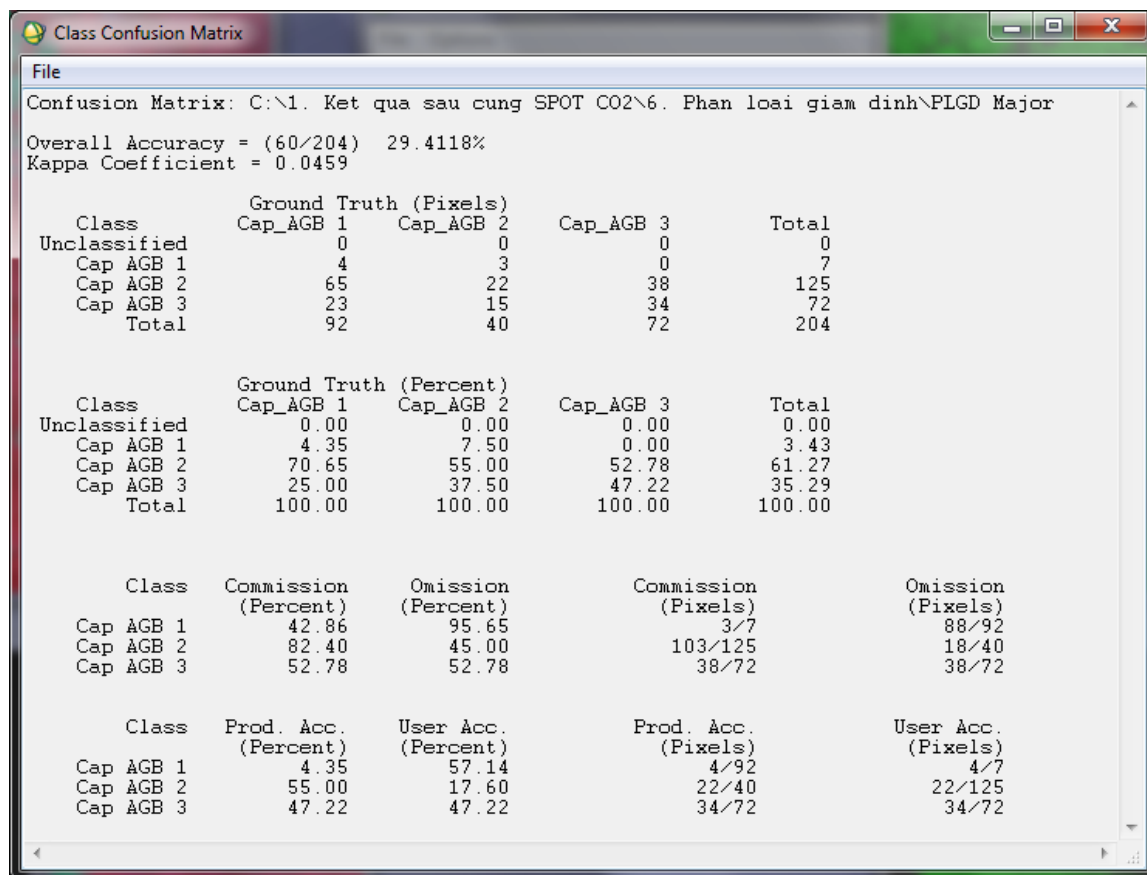
Hình 3.16: Ảnh đã được phân loại giám định thành 3 cấp sinh khối

1.4.3 Đánh giá độ tin cậy của phân loại ảnh theo cấp sinh khối bằng phương pháp giám định

Sử dụng 20 ô mẫu độc lập không tham gia phân loại để kiểm định kết quả phân loại. Việc đánh giá dựa trên bảng ma trận sai số giữa các pixel đã được phân loại và pixel 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.

Tạo ROI đánh giá: Mở file vector điểm đánh giá (Không bufffer) và export sang ROI, trong đó chọn trường đánh giá là TAGTB

Sử dụng chức năng đánh giá trong Envi: Post Classification / Confusion matrix ở hình 3.17.



Hình 3.17: Ma trận đánh giá độ tin cậy của phân loại rừng có giám định theo sinh khối

Kết quả nhận được của phương pháp phân loại rừng theo phương pháp có giám định theo cấp sinh khối là rất thấp. Độ tin cậy toàn bộ chỉ đạt được 29.41%.

Tổng kết lại kết quả thử nghiệm ba phương pháp sử dụng ảnh để ước tính sinh khối rừng trên mặt đất cho thấy:

- Phương pháp phân loại phi giám định và thiết lập mô hình quan hệ giữa TAGTB = $f(\text{Class})$ có độ tin cậy từ 72 – 93%.
- Phương pháp thiết lập hồi quy giữa TAGTB = $f(\text{DN})$ đạt độ tin cậy là 53%.
- Phương pháp phân loại có giám định theo cấp sinh khối TAGTB đạt độ tin cậy là 29%

Như vậy phương pháp phân loại phi giám định và thiết lập quan hệ giữa sinh khối với dữ liệu của từng lớp class tỏ ra hiệu quả nhất, đồng thời nó lại khá đơn giản, nên đề nghị ứng dụng phương pháp này vào trong phân loại ảnh vệ tinh và ước lượng sinh khối, carbon rừng.

2 ỨNG DỤNG GIS TRONG QUẢN LÝ, GIÁM SÁT SINH KHỐI CARBON RỪNG

Chức năng của GIS trong quản lý tài nguyên rừng nói chung và quản lý carbon rừng nói riêng tập trung vào quản lý, cập nhật và báo cáo kết quả dữ liệu số cũng như bản đồ về sự biến động tài nguyên, sinh khối, carbon rừng.

Đồng thời GIS có chức năng phân tích, liên kết các trường dữ liệu bằng mô hình toán, do đó có thể vận dụng để quản lý một cách hệ thống sự thay đổi các giá trị tài nguyên, mà cụ thể ở đây là sự biến động các bể chứa carbon rừng.

Trên cơ sở dữ liệu đầu vào từ kết quả phân tích ảnh vệ tinh SPOT cho thấy phương pháp phân loại phi giám định và mô hình quan hệ giữa sinh khối trên mặt đất của cây rừng với các lớp phân loại (class) có độ tin cậy cao nhất, sử dụng kết quả này để phân chia rừng thành 3 lớp và mỗi lớp có giá trị trung bình sinh khối TAGTB.

Sử dụng mô hình allometric equations lâm phần để chỉ từ biến TAGTB của từng lớp ước lượng được các giá trị sinh khối và carbon của các bể chứa khác và tổng chung cho lâm phần trong hệ thống GIS. Trong đó carbon ở thảm tươi, thảm mục và gỗ chết chiếm tỷ trọng nhỏ (<1%) và không có quan hệ rõ với TAGTB và SOC thì khá ổn định dưới đất rừng, do vậy không đưa vào hệ thống quản lý, giám sát trong GIS.

Sử dụng các mô hình đã lập để ước tính sinh khối và carbon của các bể chứa carbon của rừng và chung lâm phần từ biến TAGTB đã được xác định trên ảnh cho từng class:

- Tổng sinh khối của cây gỗ dưới mặt (TBGTC):
$$TBGTC_tan_ha = 1/(0.00311757 + 6.58855/TAGTB_tan_ha) \quad (3.6)$$
- Tổng carbon của cây rừng phần trên mặt đất (TAGTC):
$$TAGTC_tan_ha = \exp(-0.752059 + 0.998844 \cdot \ln(TAGTB_tan_ha)) \quad (3.7)$$
- Tổng carbon của cây rừng phần dưới mặt đất TBGTC:
$$TBGTC_tan_ha = \exp(-0.9889 + 1.04495 \cdot \ln(TBGTC_tan_ha)) \quad (3.8)$$
- Tổng sinh khối cây gỗ trên và dưới mặt đất: $TTB_tan_ha = TAGTB + TBGTC$
- Tổng lượng carbon tích lũy trong cây gỗ trên và dưới mặt đất: $TTC_tan_ha = TAGTC + TBGTC$

Từ đó tính được tổng sinh khối và carbon TTB_{class} và TTC_{class} theo từng class trên cơ sở diện tích của mỗi class đã được phân loại trên ảnh:

$$TTB_{class} (tấn) = TTB_tan_ha * \text{Diện tích class}$$

$$TTC_{class} (tấn) = TTC_tan_ha * \text{Diện tích class}$$

Cuối cùng lượng CO_2 hấp thụ ở từng thời điểm của từng class sẽ là $TCO_{2class}(tấn) = TTC_{class} (tấn) * 3,67$

Sử dụng phần mềm ArcGIS để tạo lập cơ sở dữ liệu từ dữ liệu đầu vào của phân loại ảnh vệ tinh SOPT với thông tin cơ bản là Class, diện tích và TAGTB (tấn/ha) ở hình 3.18.

FID	Shape *	Class_Id	Area_ha	TAGTB_t_ha
0	Polygon	1	12889.4	178
1	Polygon	2	24886.2	210
2	Polygon	3	12434.1	298

Hình 3.18: Cơ sở dữ liệu đầu vào từ phân loại ảnh vệ tinh được quản lý trong ArcGIS

Mở các trường dữ liệu sinh khối và carbon: TBGTB, TAGTC, TBGTC, TTB, TTC, TTBclass, TTCclass và TCO₂ class ở hình 3.19.

FID	Shape *	Class_Id	Area_ha	TAGTB_t_ha	TBGTB_t_ha	TAGTC_t_ha	TBGTC_t_ha	TTB_t_ha	TTC_t_ha	TTB_Cla_t	TTC_Cla_t	TCO2_Cla_t
0	Polygon	1	12889.4	178	25	83	11	203	94	2616548	1211604	4446587
1	Polygon	2	24886.2	210	29	98	13	239	111	5947802	2762368	10137891
2	Polygon	3	12434.1	298	40	140	18	338	158	4202726	1964588	7210038

Hình 3.19: Các trường dữ liệu sinh khối, carbon, CO₂ được mở trong ArcGIS

Tạo dữ liệu các trường mới thông qua mô hình allometric equations ở hình 3.20

Field Calculator

Fields:

- FID
- Class_Id
- Area_ha
- TAGTB_t_ha
- TBGTB_t_ha
- TAGTC_t_ha
- TBGTC_t_ha
- TTB_t_ha
- TTC_t_ha
- TB_t_class
- TC_t_class
- TCO2_t_class

Type:

- ☒ Number
- ☐ String
- ☐ Date

Functions:

- Abs ()
- Atn ()
- Cos ()
- Exp ()
- Fix ()
- Int ()
- Log ()
- Sin ()
- Sqr ()

TBGTB_t_ha =

1/(0.00311757 + 6.58855/[TAGTB_t_ha])

☐ Calculate selected records only

Hình 3.20: Tính dữ liệu TBGTB thông qua mô hình với biến TAGTB

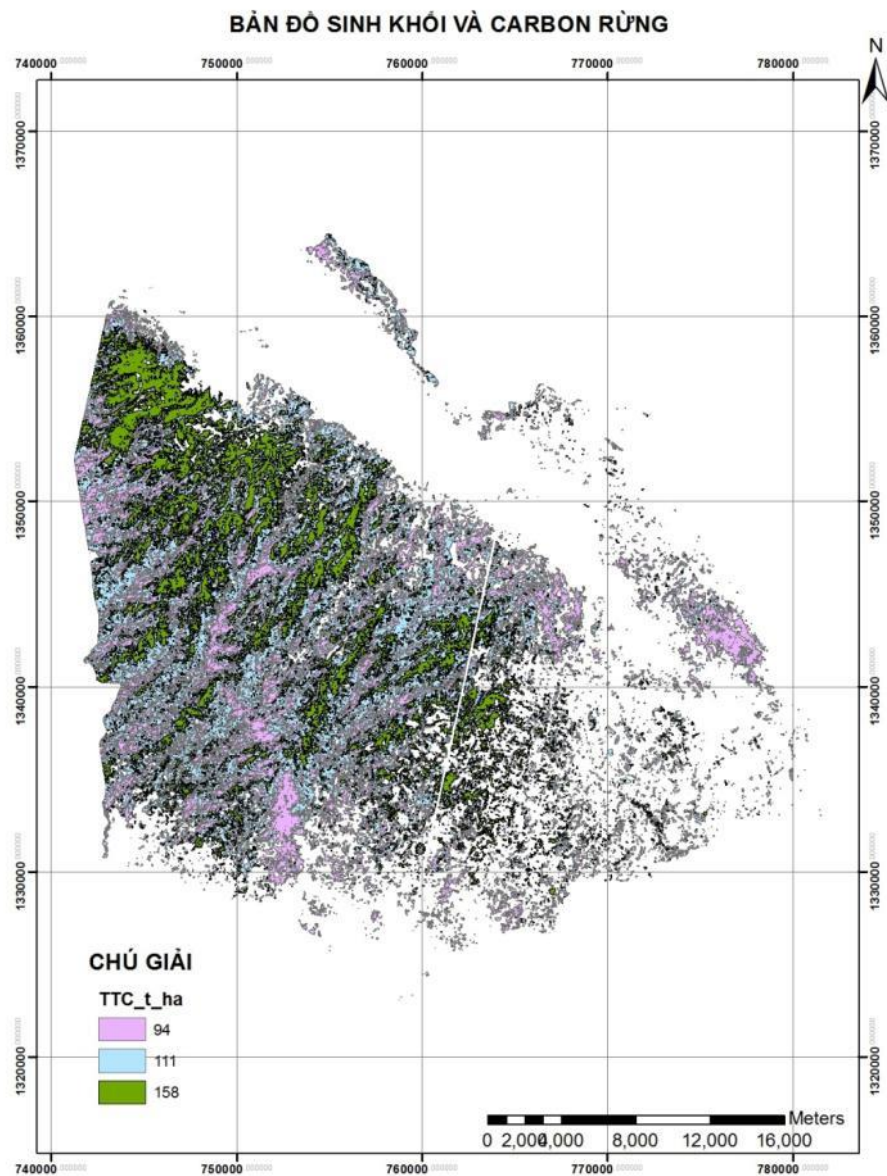
Kết quả tính được toàn bộ dữ liệu sinh khối và carbon trong khu vực giám sát cùng với nó là bản đồ phân cấp sinh khối, carbon rừng ở hình 3.21 và 3.22, 3.23

Attributes of 3_class_TAGTB

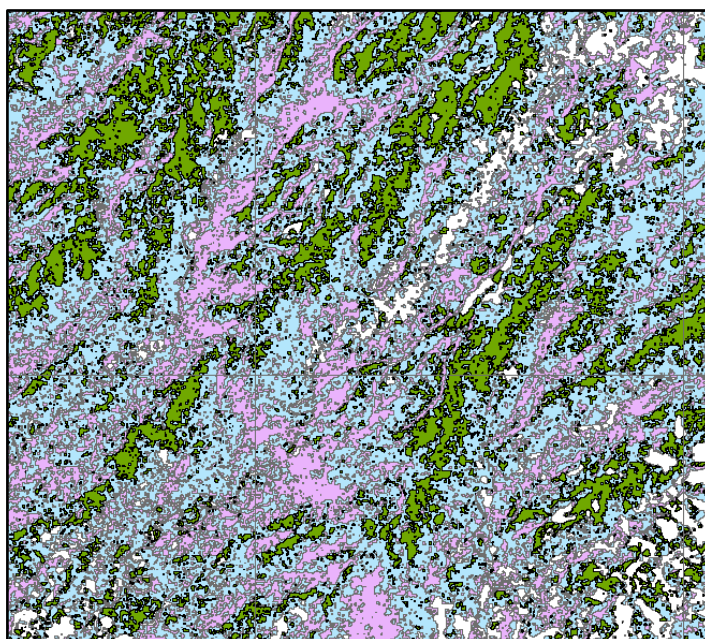
FID	Shape *	Class_Id	Area_ha	TAGTB_t_ha	TBGTB_t_ha	TAGTC_t_ha	TBGTCT_t_ha	TTB_t_ha	TTC_t_ha	TTB_Cla_t	TTC_Cla_t	TCO2_Cla_t
0	Polygon	1	12889.4	178	25	83	11	203	94	2616548	1211604	4446587
1	Polygon	2	24886.2	210	29	98	13	239	111	5947802	2762368	10137891
2	Polygon	3	12434.1	298	40	140	18	338	158	4202726	1964588	7210038

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 3 Selected) Options

Hình 3.21: Cơ sở dữ liệu, sinh khối và CO₂ hấp thụ trong một khu vực



Hình 3.22: Bản đồ phân cấp carbon rừng khu vực Tuy Đức, Đắk Nông



Hình 3.23: Bản đồ phân cấp carbon rừng (3 cấp phóng to)

Dữ liệu trong ArcGis có thể được chuyển cơ sở dữ liệu sang Excel để tính toán tổng hợp và báo cáo ở bảng 3.5

Bảng 3.5: Tổng hợp sinh khối, carbon và CO₂ hấp thụ khu vực Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông (Năm 2012)

Class Id	Diện tích (ha)	TAG TB (t/ha)	TBG TB (t/ha)	TAG TC (t/ha)	TBG TC (t/ha)	TTB (t/ha)	TTC (t/ha)	TTB_Cla (tấn)	TTC_Cla (tấn)	TCO ₂ _Cla (tấn)
1	12,889	178	25	83	11	203	94	2,616,548	1,211,604	4,446,587
2	24,886	210	29	98	13	239	111	5,947,802	2,762,368	10,137,891
3	12,434	298	40	140	18	338	158	4,202,726	1,964,588	7,210,038
Tổng	50,210							12,767,076	5,938,560	21,794,516

Từ kết quả này cho thấy ở thời điểm giải đoán ảnh, tổng diện tích khu vực nghiên cứu là 50.210 ha, có tổng 12.767.076 tấn sinh khối trên và dưới mặt đất của cây rừng, với tổng lượng carbon tích lũy được là 5.938.560 tấn, tương ứng với hấp thụ được 21.794.516 tấn khí nhà kính CO₂.

Lượng CO₂ hấp thụ hoặc phát thải do mất rừng theo thời gian được tính toán theo phương pháp Difference stock method (IPCC, 2006), tức là so sánh lượng CO₂ của khu vực ở hai thời điểm giám sát:

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (3.9)$$

Trong đó:

- ΔCB : Thay đổi sinh khối, carbon, CO₂ rừng
- Ct^* : Sinh khối, carbon, CO₂ ở thời điểm 1 hoặc 2
- t : Thời điểm đo tính

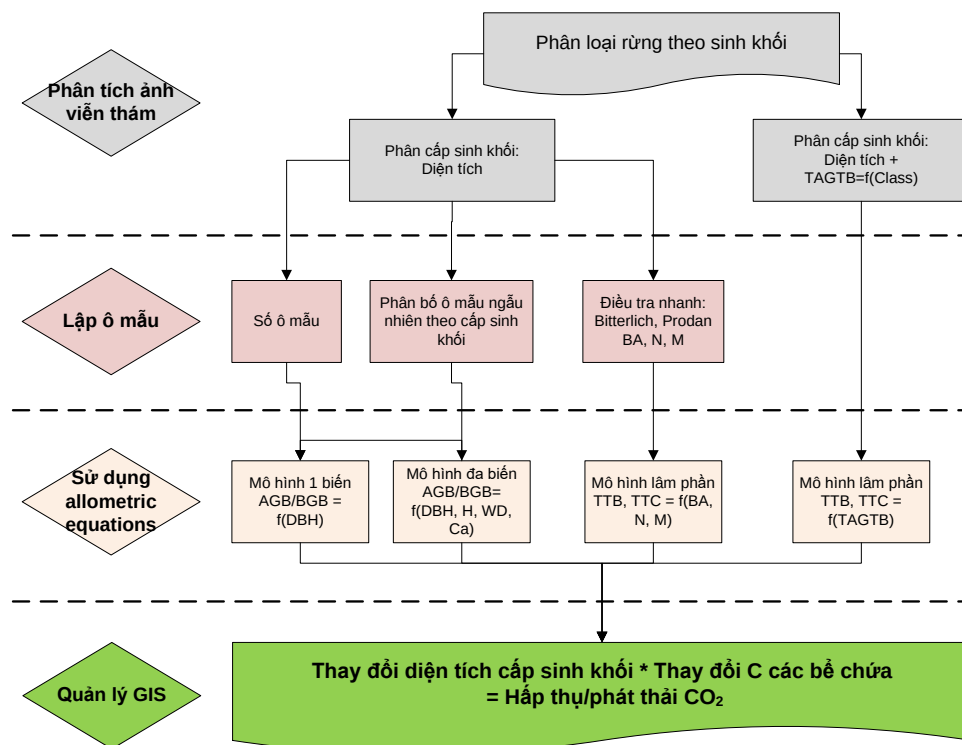
Trong đó sinh khối, carbon, CO₂ ở thời điểm sau được cập nhật nhanh chóng thông qua phân loại ảnh vệ tinh phi giám định và quan hệ với TAGTB, sau đó chỉ cập nhật trường dữ liệu TAGTB thì toàn bộ cơ sở dữ liệu sẽ được tự động tính toán lại theo các mô hình allometric equations và cho biết giá trị sinh khối, carbon và CO₂ ở kỳ giám sát sau, từ đó tính được lượng hấp thụ hoặc phát thải CO₂ trong quản lý rừng.

CHƯƠNG 4: HỆ THỐNG MÔ HÌNH VÀ CÔNG NGHỆ ĐO TÍNH, GIÁM SÁT CARBON RỪNG ĐỂ THAM GIA CHƯƠNG TRÌNH REDD⁺

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

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

Từ kết quả nghiên cứu trình bày trong các chương 1, 2 và 3 đã đưa ra cơ sở khoa học của việc ước tính, giám sát sinh khối và carbon rừng, thông qua thiết lập các mô hình allometric equations cho cây rừng, cho lâm phần, ước tính carbon trong các bể chứa thảm mục, thảm tươi, cây chết và trong đất và ứng dụng công nghệ viễn thám – GIS để quản lý giám sát biến động diện tích, thay đổi bể chứa carbon rừng. Từ các kết quả đó, hệ thống lại và đưa ra các tiến trình áp dụng khác nhau cho phù hợp với từng đối tượng sử dụng, nguồn lực và quy mô. Các tiến trình áp dụng được minh họa trong hình 4.1.



Hình 4.1: Các tiến trình đo tính, giám sát sinh khối, carbon rừng và CO₂

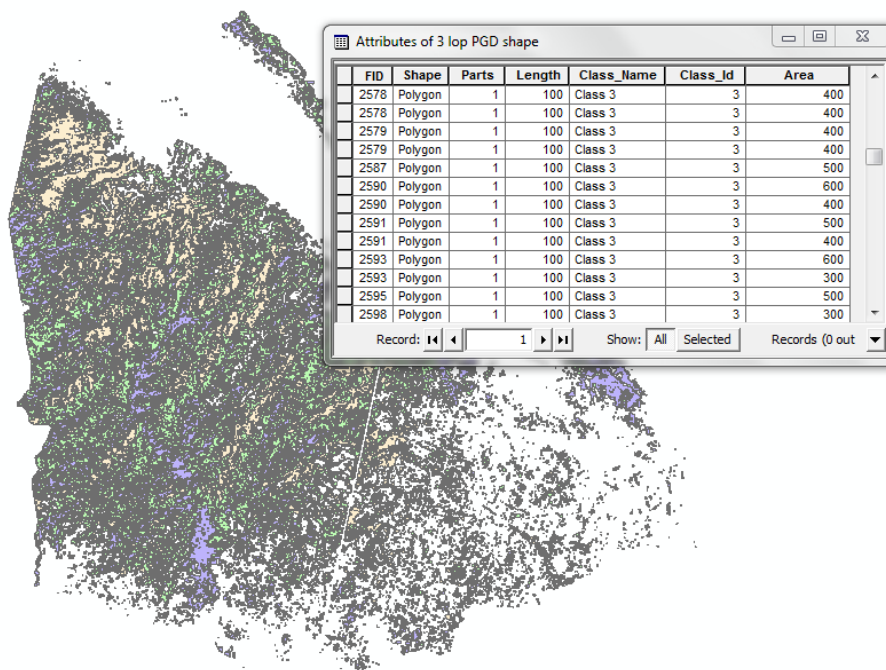
1 PHÂN LOẠI RỪNG THEO CẤP SINH KHỐI BẰNG ẢNH VỆ TINH

Phân loại rừng thành các cấp sinh khối là dữ liệu đầu vào cơ bản cho đo tính, giám sát carbon rừng. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra khả năng áp dụng ảnh vệ tinh SPOT5 theo phương pháp phân loại phi giám định kết hợp với mô hình quan hệ giữa sinh khối với các chỉ số ảnh để phân loại sinh khối rừng. Tuy nhiên trong thực tế tùy quy mô, nguồn lực mà có thể phân làm hai trường hợp:

1.1 Phân khối rừng và xác định diện tích

Việc phân khối chỉ dừng lại ở mức phân loại phi giám định với số lớp rừng thích hợp và tương đối đồng nhất. Để trên cơ sở đó bố trí ô mẫu đo tính, sau đó mới xác định sinh khối và carbon cho từng lớp. Cách làm này để đơn giản hóa việc phân loại sinh khối rừng khi mà nguồn lực, đặc biệt là nhân lực về áp dụng công nghệ viễn thám và GIS còn hạn chế.

Ứng dụng ảnh vệ tinh có độ phân giải trung bình có thể chấp nhận được, từ đó ứng dụng phương pháp phân loại phi giám định, với số lớp phân loại cần được dự báo trước nhờ quan sát trên hiện trường, ví dụ trên thực tế có các trạng thái rừng non, rừng đã qua khai thác và rừng ổn định, thì số lớp phân loại nên là 3 - 4 lớp. Kết quả phân loại là thành lập bản đồ các lớp và cung cấp diện tích mỗi lớp như hình 4.2.



Hình 4.2: Bản đồ phân 3 lớp rừng và diện tích tương ứng

Áp dụng theo phương pháp này đơn giản, chỉ tiến hành trong phòng với ảnh vệ tinh, có thể kết hợp một đến hai chuyên khảo sát thực địa để ước tính trước số lớp có trong thực tế để tạo lập bản đồ phân khối sát hơn với tình hình rừng.

Trên cơ sở bản đồ đã phân lớp, làm cơ sở cho việc bố trí ô mẫu, sử dụng allometric equations để ước tính sinh khối carbon cho từng lớp.

1.2 Phân khối rừng, xác định diện tích và sinh khối cây gỗ trên mặt đất (TAGTB)

Phương pháp phân loại ảnh phi giám định được áp dụng dựa vào kết quả nghiên cứu của đề tài này, trong đó số lớp được phân chia khác nhau từ 3 – 5 lớp đối với rừng lá rộng thường xanh. Trên cơ sở đó cần rút mẫu trên hiện trường với ô 1000m² phân tầng được bố trí ngẫu nhiên trên các lớp, từ đó tính mô hình TAGTB = f(Class_i) cho mỗi hệ thống lớp phân chia để chọn được số lớp có quan hệ tốt nhất với sinh khối.

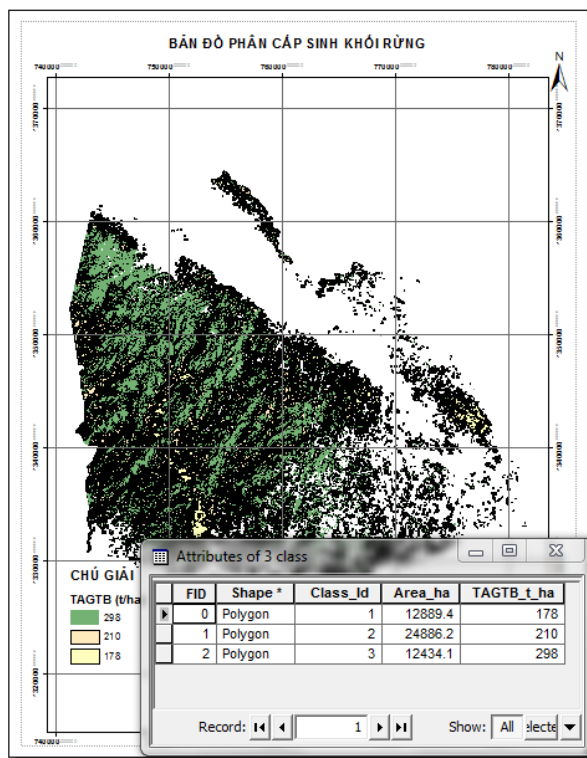
Phương pháp này đòi hỏi cần có đo tính hiện trường ban đầu, khoảng 10 – 15 ô mẫu trong mỗi lớp, ứng với 3-5 lớp thì số mẫu cần thiết lập là 30 – 75 ô mẫu, từ đó tính TAGTB cho mỗi ô mẫu thông qua mô hình AGB = f(DBH, H), phân bố N/DBH và H/DBH:

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.9766 + 0.535797 * \log(\text{DBH_cm}) + 0.759321 * \log(\text{H_m} * \text{DBH_cm}^2) \quad (4.1)$$

$$\text{H_m} = (0.799577 + b_i * \ln(\text{DBH_cm}))^2 \quad (4.2)$$

Trên cơ sở mô hình TAGTB = f(Class_i) có quan hệ tốt nhất, chọn được số lớp phân chia, từ đó lập được bản đồ phân cấp sinh khối rừng gắn với giá trị sinh khối TAGTB trung bình (tấn/ha) cho mỗi lớp. (Hình 4.3)

Phương pháp này đòi hỏi nhân lực có khả năng phân tích ảnh viễn thám và phân tích lựa chọn mô hình hồi quy thích hợp, nên được áp dụng ở cấp vùng, quốc gia để phân cấp sinh khối rừng và ước tính carbon, CO₂ trên quy mô rộng.



Hình 4.3: Bản đồ cấp sinh khối và dữ liệu TAGTB bình quân theo cấp

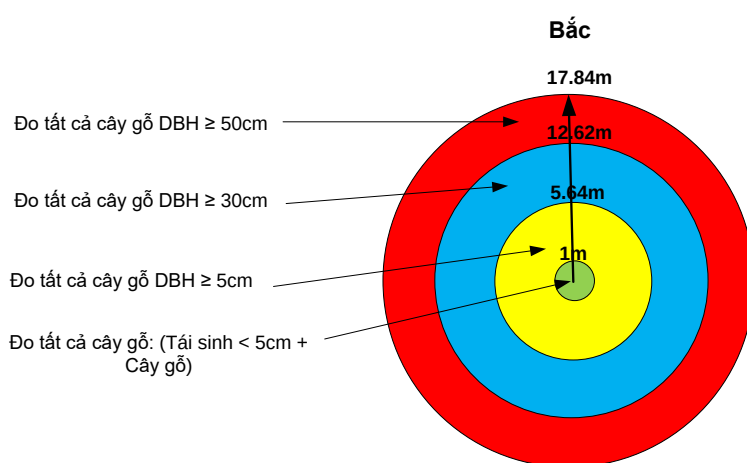
Trên cơ sở bản đồ sinh khối rừng, chỉ cần sử dụng các mô hình quan hệ sinh khối carbon trong lâm phần là có thể ước tính được toàn bộ sinh khối, carbon và CO₂ cho từng khối và chung cho cả khu vực.

2 THIẾT KẾ Ô MẪU

Để ứng dụng các hàm allometric equations thì cần có dữ liệu đầu vào từ hiện trường. Dữ liệu này cần được đo tính trên ô mẫu theo một kích thước, hình dạng thống nhất và số ô mẫu cũng phải bảo đảm yêu cầu rút mẫu theo quy định quốc tế của chương trình REDD.

2.1 Hình dạng và kích thước ô mẫu

Ô hình tròn và được phân tầng theo cấp kính hay còn gọi ô dạng tổ (Nest Plot) đã được nhiều tác giả sử dụng ở nhiều quốc gia tiên tiến trong lâm nghiệp như Silva (2010), Pearson (2007) ở Hoa Kỳ. Bảo Huy và cộng sự (2010, 2011) đã áp dụng ô tròn phân tầng trong hướng dẫn đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng và nhân viên kỹ thuật cơ sở trong khuôn khổ chương trình UN-REDD Việt Nam và dự án REDD của SNV trong 4 huyện Di Linh, Lâm Hà, Bảo Lâm và Cát Tiên thuộc tỉnh Lâm Đồng. Kết quả cho thấy thiết kế ô mẫu dạng này tỏ ra thích hợp, thuận tiện trong thao tác, đặc biệt là trên đất dốc trong khi đó nếu dùng ô chữ nhật thì người địa phương không thể dùng địa bàn để khép góc vuông. Ngoài ra ô tròn còn nhiều lợi điểm là dễ dàng điều chỉnh chiều dài bán kính ô trên đất dốc, cùng một diện tích nhưng ô tròn sẽ có chu vi ngắn hơn do đó sai số của cây nằm trên ranh giới ô giảm xuống. Vì vậy ô tròn phân tầng với diện tích tối đa là 1.000m² đã được thử nghiệm có hiệu quả và đề nghị sử dụng trong đo tính ô mẫu để ước tính sinh khối và carbon rừng cho cả nhân viên kỹ thuật lẫn người dân địa phương. (Hình 4.4)



Hình 4.4: Ô mẫu tròn phân tầng theo cấp kính

2.2 Số ô mẫu cần thiết và cách bố trí

Theo yêu cầu của IPCC (2006) để bảo đảm thông tin ước lượng sinh khối và carbon rừng, số ô mẫu trên mỗi cấp sinh khối cần bảo đảm độ tin cậy $P = 95\%$ và sai số $< 10\%$.

Số ô mẫu có thể được xác định bằng hai phương pháp: i) Tính cho từng cấp sinh khối; ii) Tính chung cho cả khu rừng và phân phối lại cho từng cấp theo sai tiêu chuẩn và diện tích mỗi cấp. Phương pháp thứ hai tỏ ra hiệu quả hơn và cho số ô mẫu cần thiết ít hơn so với việc tính riêng lẻ. Vì vậy đề nghị sử dụng phương pháp tính ô mẫu có phân khối (Pearson và cộng sự (2007), Bhishma và cộng sự (2010), Bảo Huy (2011)). Công thức tính số ô mẫu như sau:

$$n = \frac{(\sum_{i=1}^L NiSi)^2}{\frac{N^2 E^2}{t^2} + \sum_{i=1}^L NiSi^2} \quad (4.3)$$

với:

n = Tổng số ô mẫu trong vùng điều tra; i = Chỉ số của trạng thái từ 1 đến L ; L = Tổng số trạng thái; Ni = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái I ; Si = Sai tiêu chuẩn của trạng thái I ; N = Số lượng ô mẫu tối đa trong vùng điều tra; E = Sai số cho trước, được tính = trung bình chung sinh khối/carbon/ha * sai số tương đối (ví dụ $10\% = 0.10$); t = Giá trị thống kê của hàm phân bố t ở mức tin cậy 95% , t thường = 2 nếu kích thước mẫu chưa biết.

$$ni = n \cdot \frac{Ni \cdot Si}{\sum_{i=1}^L Ni \cdot Si} \quad (4.4)$$

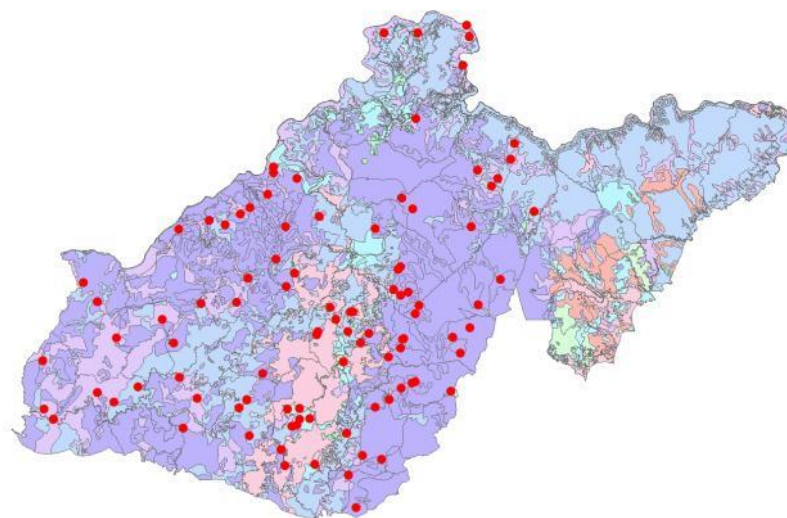
với:

ni = Số ô mẫu cần thiết cho trạng thái I ; i = Chỉ số của trạng thái từ 1 đến L ; n = Tổng số ô mẫu trong vùng điều tra; Ni = Số lượng ô mẫu tối đa của trạng thái I ; Si = Sai tiêu chuẩn của trạng thái I ; L = Tổng số trạng thái.

Bảo Huy (2011) đã thử nghiệm phương pháp rút mẫu này trong vùng dự án REDD của SNV ở hai huyện Bảo Lâm và Cát Tiên. Tác giả đã tiến hành rút mẫu 33 ô ngẫu nhiên theo 3 trạng thái, diện tích mỗi ô mẫu là $1.000m^2$; mỗi ô mẫu sử dụng các hàm quy đổi ra carbon đối với cây gỗ (Allometric Equations), sau đó tính toán số lượng ô mẫu cần thiết cho toàn khu vực dự án và từng trạng thái rừng, với tổng diện tích các trạng thái rừng thử nghiệm là 57.670 ha. Kết quả tính được tổng số ô mẫu cần thiết $n = 160$ ô và phân phối số ô mẫu cho mỗi trạng thái ni: rừng thường xanh trung bình: $n1 = 121$ ô; rừng thường xanh non: $n2 = 29$ ô; rừng hỗn giao gỗ - lồ ô: $n3 = 10$ ô. Kết quả này cho thấy số ô mẫu rút không quá lớn và vẫn bảo đảm các yêu cầu sai số.

Sau khi tính toán được số ô mẫu cần thiết cho mỗi cấp sinh khối, cần bố trí ngẫu nhiên trên bản đồ và có tọa độ để xác định ngoài thực địa. Bố trí ô mẫu ngẫu nhiên sử dụng chương trình trong ArcGIS: Creat Random Points từ đó chuyển tọa độ vào máy GPS để xác định thuận tiện trên thực địa (Hình 4.5). Năm 2010, trong chương trình REDD quốc gia ở Lâm Đồng đã thử nghiệm phương pháp này để nông dân sử dụng

GPS đã gán tọa độ ô mẫu, thực tế họ đã tìm đến được ô mẫu dễ dàng không chỉ nhờ GPS định hướng mà còn cả kiến thức bản địa về rừng của họ.



Hình 4.5: Ô mẫu được bố trí ngẫu nhiên trên bản đồ (vùng dự án REDD SNV Cát Tiên và Bảo Lâm)

2.3 Điều tra nhanh lâm phần

Trong trường hợp cần điều tra nhanh sinh khối, carbon rừng thì có thể sử dụng các mô hình thông qua biến điều tra lâm phần như N, BA, M.

- Điều tra nhanh tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha) và trữ lượng M (m^3/ha) bằng phương pháp Bitterlich.

- Điều tra nhanh mật độ (N/ha) và trữ lượng M (m^3/ha) bằng phương pháp 6 cây của Prodan.

Với các chỉ tiêu điều tra nhanh này có thể quy đổi nhanh chóng ra sinh khối và carbon lâm phần thông qua các mô hình.

3 LỰA CHỌN SỬ DỤNG CÁC HÀM ALLOMETRIC EQUATIONS CỦA CÂY, LÂM PHẦN VÀ HÀM CHUYỂN ĐỔI TỪ NHÂN TỐ ĐIỀU TRA RỪNG SANG CARBON RỪNG

Riêng các bể chứa carbon trong thảm mục, thảm tươi, cây chết chiếm tỷ lệ thấp (<1% so với tổng carbon lâm phần), do đó nếu đo tính cũng cần sấy để xác định sinh khối khô, do vậy sẽ không mang lại hiệu quả kinh tế trong bán tín chỉ carbon. Do vậy đề nghị không đưa những nhân tố này vào giám sát. Chỉ nên theo dõi ở các ô định vị quốc gia để có thông tin đầy đủ về carbon ở 5 bể chứa. Riêng bể chứa carbon trong đất khá ổn định, có thể sử dụng %C trong đất bình quân cho từng loại đất, lập địa, vùng sinh thái và chỉ điều tra đo đếm khi có sự chuyển đổi rừng sang mục đích khác để tính

phát thải carbon từ đất. Trên cơ sở đó tập trung cho 2 bể chứa carbon chính là trong cây gỗ phân trên và dưới mặt đất.

Kết quả đề tài đã thiết lập được một hệ thống allometric equations cho cây, lâm phần, và hàm chuyển đổi. Vấn đề là lựa chọn hàm nào để sử dụng? Việc lựa chọn hàm cần dựa vào các tiêu chí sau:

- Phù hợp với yêu cầu chính xác của đợt đo tính
- Phù hợp với năng lực của người tham gia
- Phù hợp với nguồn lực đợt đo tính

Vì vậy có thể phân chia thành 4 trường hợp ứng dụng sau đây:

3.1 Trường hợp đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng

Cộng đồng tham gia đo tính carbon rừng là một yêu cầu bắt buộc của các chương trình REDD quốc gia. Lý do là REDD hướng đến tạo sinh kế cho người nghèo sống gần rừng thông qua các hoạt động quản lý rừng, vì vậy tham gia đo tính và được chi trả là một yêu cầu quan trọng; ngoài ra cộng đồng là một lực lượng lao động thường xuyên tại hiện trường, nếu họ tham gia đo tính sẽ cung cấp thường xuyên một khối lượng thông tin đáng tin cậy và minh bạch; trong khi đó các cuộc điều tra rừng quốc gia chỉ có thể tiến hành trong định kỳ 5 – 10 năm vì lý do tài chính và nguồn lực.

Kết quả thử nghiệm với 4 cộng đồng ở 4 huyện Di Linh, Lâm Hà, Bảo Lâm và Cát Tiên trong khuôn khổ kết hợp thử nghiệm đề tài với các chương trình REDD quốc gia và dự án SNV, cho thấy cộng đồng có thể sử dụng GPS xác định ô mẫu, sử dụng thước đo độ dốc để cải bằng bán kính ô tròn trên dốc và đo DBH một cách chính xác. Đo cao và các chỉ tiêu khác như khối lượng thể tích gỗ (WD), diện tích tán lá là vượt quá khả năng của người dân. Vì vậy người dân chủ yếu được hướng dẫn lập ô mẫu và đo tính DBH trong ô.

Như vậy mô hình để ước tính sinh khối carbon rừng trong trường hợp người dân tham gia sẽ chỉ có một biến số là DBH, bao gồm các hàm sinh khối và carbon trên và dưới mặt đất:

$$AGB_kg = \exp(-2.23927 + 2.49596 \cdot \ln(DBH_cm)) \quad (4.5)$$

$$C_AGB_kg = \exp(-2.97775 + 2.49711 \cdot \ln(DBH_cm)) \quad (4.6)$$

$$BGB_kg = \exp(-3.73687 + 2.32102 \cdot \ln(DBH_cm)) \quad (4.7)$$

$$C_BGB_kg = \exp(-4.91842 + 2.41957 \cdot \ln(DBH_cm)) \quad (4.8)$$

Từ kết quả điều tra DBH ô mẫu, dữ liệu sẽ được tập hợp theo cấp kính với sự hỗ trợ của nhân viên lâm nghiệp cơ sở, từ đó dễ dàng tính ra được sinh khối, carbon cho từng cấp kính, lâm phần và cho từng cấp sinh khối thông qua 4 mô hình trên. Kết quả này sẽ cung cấp cho hệ thống quản lý dữ liệu GIS ở cấp tỉnh và quốc gia để theo dõi phát thải CO₂ rừng.

Tuy nhiên với các mô hình chỉ một biến số DBH thì sai số của ước lượng là cao hơn so với ước lượng thông qua nhiều biến số. Đây là hạn chế của đo tính carbon có sự tham gia của cộng đồng. Sai lệch ước lượng sinh khối và carbon biến động từ S% = 27.8% đến 52.0%.

3.2 Trường hợp đo tính carbon rừng bởi nhân viên kỹ thuật lâm nghiệp

Nhân viên kỹ thuật lâm nghiệp đã được đào tạo thì có thể đo đếm hầu hết các nhân tố điều tra cây thông thường trong ô mẫu như: Loài, DBH, H, tán lá (Ca). Do đó các mô hình sử dụng là đa dạng và tùy theo yêu cầu độ tin cậy của đợt điều tra. Các mô hình đó là:

Nhóm hàm ước tính sinh khối cây trên mặt đất:

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.9766 + 0.535797 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.759321 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2) \quad (4.9)$$

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.74348 + 0.693879 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2) + 0.367445 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3 \cdot \text{DBH_cm}^2) \quad (4.10)$$

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.13408 + 1.96454 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.619246 \cdot \log(\text{H_m}) + 0.124205 \cdot \log(\text{Ca_m}^2) + 1.03509 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3) \quad (4.11)$$

Nhóm hàm ước tính carbon cây gỗ trên mặt đất:

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.72664 + 2.05141 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.760168 \cdot \log(\text{H_m}) \quad (4.12)$$

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.40031 - 0.819475 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.787115 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2) + 0.673237 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3 \cdot \text{DBH_cm}^2) \quad (4.13)$$

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.6277 + 0.170678 \cdot \log(\text{Ca_m}^2) + 1.89109 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.0578426 \cdot \text{H_m} + 1.94886 \cdot \text{WD_g_cm}^3 \quad (4.14)$$

Nhóm hàm ước tính sinh khối rễ cây gỗ:

$$\text{BGB_kg} = \exp(-3.73687 + 2.32102 \cdot \ln(\text{DBH_cm})) \quad (4.15)$$

$$\log(\text{BGB_kg}) = -4.43424 + 0.880023 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) \quad (4.16)$$

$$\log(\text{BGB_kg}) = -3.90385 + 0.891108 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) + 1.03154 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3) \quad (4.17)$$

$$\log(\text{BGB_kg}) = -3.21544 + 2.34465 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.977922 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3) \quad (4.18)$$

Nhóm hàm ước tính carbon trong rễ cây:

$$\text{C_BGB_kg} = \exp(-4.91842 + 2.41957 \cdot \ln(\text{DBH_cm})) \quad (4.19)$$

$$\log(\text{C_BGB_kg}) = -5.58412 + 0.911888 \cdot \log(\text{DBH_cm}^2 \cdot \text{H_m}) \quad (4.20)$$

$$\log(C_BGB_kg) = -0.52749 - 20.0271*1/\log(H_m*DBH_cm^3) + 0.865064*\log(WD_g_cm^3*DBH_cm^2) \quad (4.21)$$

Về nguyên tắc khi tăng biến số tham gia mô hình sẽ tăng được độ tin cậy ước lượng. Do vậy đối với nhân viên kỹ thuật lâm nghiệp cần đo tính ít nhất 2 biến số DBH và H và sử dụng các mô hình có hai biến này. Tuy nhiên trong trường hợp yêu cầu độ chính xác cao thì hai biến diện tích tán lá (Ca) và khối lượng thể tích gỗ (WD) cần được quan tâm đo đếm và sử dụng hàm có các biến này.

Trong đó biến Ca là không khó thu thập, chỉ cần đo đường kính tán lá theo 2 – 4 hướng, trong khi đó WD không thể đo trực tiếp, do vậy nếu xác định được chính xác loài và loài đó đã được xác định WD trong danh lục thì cần sử dụng hàm có biến này. Trong trường hợp này sai lệch so với thực tế biến động $S\% = 14.1\% - 46.6\%$ tùy theo biến động vào sử dụng.

3.3 Trường hợp ước tính nhanh sinh khối, carbon rừng

Trong trường hợp cần lập các dự án tổng thể về REDD, môi trường, lập các đường cơ sở phát thải khu vực, quốc gia; trong khi chưa có cơ sở dữ liệu chính xác về carbon rừng thì có thể sử dụng phương pháp đo tính nhanh.

Trên cơ sở đo tính nhanh trên hiện trường xác định được các thông số lâm phần cơ bản như N, BA và M; từ đây sử dụng hàm để ước tính tổng sinh khối và carbon lâm phần của cây gỗ trên và dưới mặt đất (TTB và TTC):

Nhóm mô hình ước tính nhanh tổng sinh khối cây gỗ trên và dưới mặt đất:

$$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 0.687703 - 0.0687933*\log(N_tree_ha) + 0.677067*\log(M_m3_ha) + 0.409578*\log(BA_m2_ha) \quad (4.22)$$

$$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 0.076877 + 0.25481*\log(BA_m2_ha) + 0.793401*\log(M_m3_ha) \quad (4.23)$$

$$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = -0.214593 + 0.999706*\log(M_m3_ha) \quad (4.24)$$

$$\log(\text{Total_TB tan_ha}) = 1.63668 + 1.10688*\log(BA_m2_ha) \quad (4.25)$$

Nhóm mô hình ước tính nhanh tổng carbon trong cây gỗ trên và dưới mặt đất:

$$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -0.0932362 + 0.405294*\log(BA_m2_ha) - 0.0717041*\log(N_tree_ha) + 0.685629*\log(M_m3_ha) \quad (4.26)$$

$$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -0.729907 + 0.243978*\log(BA_m2_ha) + 0.806886*\log(M_m3_ha) \quad (4.27)$$

$$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = -1.00899 + 1.00442*\log(M_m3_ha) \quad (4.28)$$

$$\log(\text{Total_TC_tan_ha}) = 0.856408 + 1.11053*\log(BA_m2_ha) \quad (4.29)$$

Sai lệch S% khi sử dụng các mô hình này được tích lũy từ các mô hình trung gian, do đó lớn hơn hai trường hợp trên, ít nhất là trên 50%

3.4 Trường hợp ước tính sinh khối và carbon lâm phần thông qua bản đồ phân cấp TAGTB

Trong trường hợp đã lập được bản đồ phân cấp sinh khối rừng trên ảnh đạt độ tin cậy thì việc điều tra mặt đất là không còn cần thiết. Dựa vào kết quả giá trị bình quân sinh khối trên mặt đất của cây rừng (TAGTB) đã được ước lượng được trên ảnh và gán với từng lớp sinh khối, chỉ cần sử dụng các mô hình ước tính tổng sinh khối và carbon lâm phần với biến số TATGB là có đầy đủ dữ liệu.

Phương pháp này đòi hỏi nguồn nhân lực chuyên gia chuyên sâu về viễn thám và GIS và cả lập mô hình allometric equations và kinh phí đầu tư cho ảnh viễn thám, do vậy cần được sử dụng trong trường hợp yêu cầu độ tin cậy cao, có đầu tư như ở cấp quốc gia, khu vực.

Các mô hình có thể sử dụng trong trường hợp này để ước tính tổng sinh khối và carbon lâm phần trên và dưới mặt đất của cây rừng là:

$$TTB_{tan_ha} = 1/(0.0000469761 + 0.867918/TAGTB_{tan_ha}) \quad (4.30)$$

$$TTC_{tan_ha} = 1/(0.00000458378 + 1.88995/TAGTB_{tan_ha}) \quad (4.31)$$

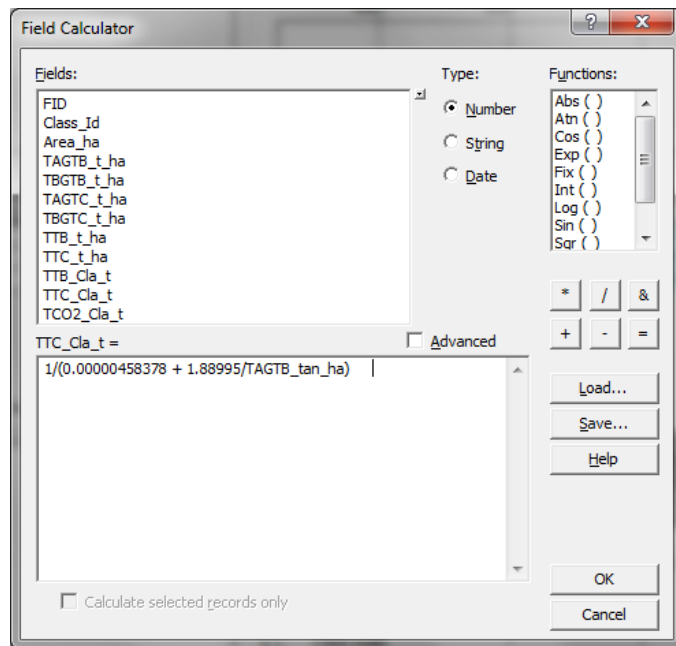
Sai số của phương pháp này từ 6.6% - 28.1% khi sử dụng SPOT5

4 QUẢN LÝ CƠ SỞ DỮ LIỆU, BẢN ĐỒ VỀ BIẾN ĐỘNG CO₂ TRONG GIS

Trên cơ sở phân cấp sinh khối rừng, rút ô mẫu theo khối để đo tính, sử dụng các loại hàm allometric equations khác nhau tùy theo đối tượng, yêu cầu chính xác, nguồn lực, nhưng tất cả được tổng hợp lại thành hai nhóm dữ liệu: i) Diện tích các cấp sinh khối cùng bản đồ; ii) Dữ liệu sinh khối và carbon rừng trong các bể chứa ở từng cấp sinh khối. Hai nhóm dữ liệu này cần được quản lý một cách khoa học và có hệ thống trong hệ thống GIS ở các cơ quan lâm nghiệp cấp tỉnh đến quốc gia.

Trên cơ sở GIS và kết hợp với các hàm allometric equations trong đó các nhóm sinh khối, carbon có quan hệ với nhau (hình 4.6), do đó chỉ cần cập nhật nhóm sinh khối cây gỗ trên mặt đất TAGTB từ ảnh vệ tinh 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 dưới đây (IPCC, 2006):

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (4.32)$$



Hình 4.6: Cập nhật dữ liệu tổng carbon rừng khi TAGTB thay đổi thông qua kết hợp allometric equations trong ArcGIS

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Với mục tiêu nghiên cứu được đặt ra là thiết lập được một *hệ thống mô hình và công nghệ* nhằm xác định lượng CO₂ hấp thụ hoặc phát thải từ các trạng thái của kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên để *cung cấp thông tin, cơ sở dữ liệu và phương pháp giám sát sự thay đổi của các bể chứa carbon*, làm cơ sở tham gia chương trình giảm thiểu khí phát thải từ suy thoái và mất rừng; đề tài đi đến các kết luận chính sau:

1) *Mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng:*

- *Khối lượng thể tích gỗ (WD)* là một nhân tố quan trọng để ước tính sinh khối và carbon cây rừng, nó đại diện cho các nhóm loài có cùng sinh khối trên đơn vị thể tích. Đã xác định WD cho 63 loài chủ yếu của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên biến động từ 0.266 đến 0.882.
- *Ước tính sinh khối và carbon trong 4 bộ phận của cây trên mặt đất* với các biến số DBH, H và WD cho thấy thân cây đạt độ tin cậy tốt nhất, kể đến là vỏ cây; trong khi đó với cành và lá thì biến động từ mô hình so với quan sát là khá cao, do sự đa dạng hình thái loài trong hệ sinh thái rừng tự nhiên lá rộng thường xanh.
- *Hàm ước tính sinh khối cây trên mặt đất (AGB)* có 3 biến số DBH, H và WD đạt độ tin cậy cao nhất, cao hơn hàm Chave (2005) lập cho rừng nhiệt đới; thứ đến là hai biến DBH và H; hàm một biến với biến số DBH độ tin cậy thấp hơn, nhưng cũng cao hơn nhiều so với hàm chung của rừng nhiệt đới (Brown (1997), do vậy có thể ứng dụng trong đo tính khi không có yêu cầu cao về độ tin cậy hoặc chi phí thấp, ví dụ như đo tính carbon rừng với sự tham gia của cộng đồng. Các hàm được mô tả như sau:

$\log(\text{AGB_kg})$	=	-2.74348	+	$0.693879 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2)$	+	$0.367445 \cdot \log(\text{WD_g_cm}^3 \cdot \text{DBH_cm}^2)$
AGB_kg	=	$\exp(-2.9766$	+	$0.535797 \cdot \log(\text{DBH_cm})$	+	$0.759321 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2))$
$\text{AGB_kg} = \exp(-2.23927 + 2.49596 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$						

Bổ sung biến số Ca sẽ mang lại độ tin cậy cao nhất trong ước lượng AGB trong khi chưa thể lập được mô hình allometric equations cho từng loài trên từng điều kiện lập địa của rừng nhiệt đới. Hàm có dạng sau:

$$\log(\text{AGB_kg}) = -2.13408 + 1.96454 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.619246 \cdot \log(\text{H_m}) + 0.124205 \cdot \log(\text{Ca_m2}) + 1.03509 \cdot \log(\text{WD_g_cm3})$$

Mô hình ước tính chính xác nhất $C(\text{AGB})$ cần thông qua mô hình 4 biến DBH, H, WD và Ca; kể đến là 3 biến DBH, H và WD; còn độ tin cậy thấp hơn có thể chỉ sử dụng 2 biến thông thường là DBH và H. Hàm một biến với DBH chỉ sử dụng trong điều kiện không yêu cầu độ tin cậy cao như đo tính carbon ở cấp cộng đồng. Các hàm có dạng sau:

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.6277 + 0.170678 \cdot \log(\text{Ca_m2}) + 1.89109 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.0578426 \cdot \text{H_m} + 1.94886 \cdot \text{WD_g_cm3}$$

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.40031 - 0.819475 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.787115 \cdot \log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^2) + 0.673237 \cdot \log(\text{WD_g_cm3} \cdot \text{DBH_cm}^2)$$

$$\log(\text{C_AGB_kg}) = -3.72664 + 2.05141 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.760168 \cdot \log(\text{H_m})$$

$$\text{C_AGB_kg} = \exp(-2.97775 + 2.49711 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$$

- Sinh khối dưới mặt đất (BGB) được ước lượng tốt nhất với hàm 2 biến số DBH và WD. Biến động của hàm ước tính của BGB lớn hơn AGB cho thấy sự phức tạp của hệ rễ cây rừng so với phần sinh khối trên mặt đất của nó. Mô hình đơn giản hơn để ước tính BGB theo nhân tố DBH. Bao gồm các mô hình sau:

$$\log(\text{BGB_kg}) = -3.21544 + 2.34465 \cdot \log(\text{DBH_cm}) + 0.977922 \cdot \log(\text{WD_g_cm3})$$

$$\text{BGB_kg} = \exp(-3.73687 + 2.32102 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$$

- Mô hình ước tính carbon tích lũy trong hệ rễ cây rừng ($\text{C}(\text{BGB})$) đạt độ tin cậy cao nhất với 3 biến số DBH, H và WD. Mô hình đơn giản nhất ước lượng $\text{C}(\text{BGB})$ với một biến DBH:

$$\log(\text{C_BGB_kg}) = -0.52749 - 20.0271 \cdot 1/\log(\text{H_m} \cdot \text{DBH_cm}^3) + 0.865064 \cdot \log(\text{WD_g_cm3} \cdot \text{DBH_cm}^2)$$

$$\text{C_BGB_kg} = \exp(-4.91842 + 2.41957 \cdot \ln(\text{DBH_cm}))$$

- Carbon tích lũy cao nhất là trong thân cây (62.6%), thứ hai là trong cành cây (19.1%), tiếp đến là trong rễ cây (10.6%), trong vỏ là 7.2%, trong lá thấp nhất là 0.5%. Lượng CO_2 cây hấp thụ tăng theo tuổi (kích thước DBH), từ 11kg/cây ở cấp DBH = 5cm đến 8.7 tấn/cây ở cấp kính 75cm.

2) Mô hình ước tính sinh khối và carbon lâm phần:

- Để ước tính sinh khối, carbon lâm phần cần phân chia rừng thành cấp năng suất thông qua cấp chiều cao. Rừng lá rộng thường xanh Tây Nguyên cần phân chia thành 3 cấp.
- Trung bình %C trong đất dưới rừng lá rộng thường xanh là 1.983%, với SOC trung bình = 100.6 tấn C/ha. SOC biến động từ 45.8 – 189.7 tấn C/ha.
- Sinh khối và carbon trong thảm tươi biến động ngẫu nhiên. Trung bình có 1,477 tấn sinh khối/ha và 0,529 tấn C/ha.
- Sinh khối và carbon trong thảm mục biến động ngẫu nhiên. Trung bình có 9,161 tấn sinh khối/ha và 2,773 tấn C/ha.
- Sinh khối và carbon trong gỗ chết biến động ngẫu nhiên rất lớn. Trung bình có 1,339 tấn sinh khối/ha và 0,696 tấn C/ha.
- Giữa sinh khối, carbon trong lâm phần có quan hệ chặt chẽ với nhau, và mỗi bộ phận trên dưới mặt đất cũng vậy. Đồng thời sinh khối và carbon lâm phần lại có quan hệ với các nhân tố điều tra lâm phần. Các mối quan hệ này đều được mô hình hóa và ứng dụng theo từng mục đích khác nhau của đo tính, giám sát carbon lâm phần.
- Tổng lượng carbon của 5 bể chứa trong lâm phần (TC) có quan hệ chặt chẽ với đá mẹ, lượng mưa bình quân năm, nhiệt độ bình quân năm và tổng sinh khối cây rừng trên mặt đất:

$$TC_t_ha = -1001.09 + 0.68557*TAGTB_tan_ha + 15.2615*Maso_dame + 0.18382*P_mm_nam + 26.7666*Tkk$$

- Rừng lá rộng thường xanh ở Tây Nguyên được phân chia thành 3 cấp sinh khối của cây gỗ trên mặt đất (TAGTB): Cấp 1: TAGTB = 99 tấn/ha, Cấp 2: TAGTB = 222 tấn/ha, Cấp 3: TAGTB = 331 tấn/ha.
- Cấu trúc sinh khối và carbon lâm phần theo cấp kính ở 3 cấp sinh khối và 3 cấp chiều cao có quy luật chung là một đỉnh, lệch trái ở cấp kính 15 – 25 cm, rừng thành thực sinh khối tập trung nhiều ở các cấp kính lớn hơn 100cm.
- Lượng C tích lũy của lâm phần trong cây gỗ phần trên mặt đất (TAGTC) (bao gồm thân, cành, lá và vỏ) là cao nhất, chiếm 48.9%; thứ hai là lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC) chiếm 44.3%; lượng carbon trong rễ cây rừng (TBGTC) chiếm 5.3%. Riêng carbon trong thảm tươi (Chg), thảm mục (Cli) và gỗ chết (Cdw) chiếm tỷ lệ rất thấp, dưới 1%. Do vậy trong đo tính giám sát carbon rừng, có thể bỏ qua các bể chứa thảm mục, thảm tươi và cây gỗ.
- Giá trị của rừng về mặt môi trường rừng qua hấp thụ khí CO₂, thấp nhất là 220 triệu đồng/ha với cao nhất là 498 triệu đồng/ha; ứng với lượng CO₂ hấp thụ được từ 525 – 1.166 tấn/ha.

- *Tăng trưởng sinh khối và hấp thụ CO₂ của lâm phần thấp nhất ở cấp sinh khối 1 và cấp H III, với tăng trưởng sinh khối là 3.63 tấn/ha/năm, carbon là 1.67 tấn/ha/năm và hấp thụ CO₂ là 6.13 tấn/ha/năm; tăng trưởng cao nhất ở cấp sinh khối 2 và cấp H I với sinh khối là 9.84tấn/ha/năm, carbon 4.40 tấn/ha/năm và hấp thụ CO₂ là 16.15 tấn/ha/năm. IPCC (2006) cho thấy tăng trưởng sinh khối trên mặt đất rừng mưa nhiệt đới ở châu Á biến động từ 3.4 – 13.0 tấn/ha/năm, kết quả nghiên cứu của đề tài cũng phù hợp với dữ liệu quốc tế, nhưng phạm vi biến động hẹp hơn vì cụ thể cho rừng nhiệt đới ở Tây Nguyên, Việt Nam và như vậy chính xác hơn.*
- *Cần dựa vào hấp thụ CO₂ hàng năm để tính toán thù lao cho người quản lý rừng. Giá trị từ 2.5 triệu – 6.8 triệu đồng/ha/năm.*

3) Ứng dụng viễn thám và GIS trong ước tính – giám sát sinh khối và carbon rừng:

- *Đã thử nghiệm 3 phương pháp trong lập bản đồ sinh khối rừng: Phương pháp phân loại ảnh phi giám định và quan hệ với sinh khối rừng. Phương pháp phân tích hồi quy giữa sinh khối rừng với giá trị ảnh (DN) và Phương pháp phân loại ảnh có giám định để phân chia khối rừng theo cấp sinh khối; kết quả cho thấy:*

Phương pháp phân loại phi giám định và thiết lập mô hình quan hệ giữa TAGTB = f(Class) có độ tin cậy từ 72 – 93%. Phương pháp thiết lập hồi quy giữa TAGTB = f(DN) đạt độ tin cậy là 53%. Phương pháp phân loại có giám định theo cấp sinh khối TAGTB đạt độ tin cậy là 29%. Như vậy phương pháp phân loại phi giám định và thiết lập quan hệ giữa sinh khối với dữ liệu của từng lớp class tỏ ra hiệu quả nhất, đồng thời nó lại khá đơn giản, nên đề nghị ứng dụng phương pháp này vào trong phân loại ảnh vệ tinh và ước lượng sinh khối, carbon rừng.

- *Ứng dụng các mô hình ước lượng sinh khối và carbon lâm phần trong hệ thống GIS là để giám sát CO₂ hấp thụ hoặc phát thải do mất rừng theo thời gian theo phương pháp Difference stock method (IPCC, 2006).*

4) Hệ thống mô hình và công nghệ đo tính, giám sát carbon rừng để tham gia chương trình REDD⁺: Bao gồm:

- *Phân loại rừng theo cấp sinh khối bằng ảnh vệ tinh theo phương pháp phi giám định kết hợp với mô hình quan hệ TAGTB = f(Class)*
- *Thiết kế ô mẫu hình tròn phân tầng theo cấp kính, diện tích ô 1000m² được bố trí ngẫu nhiên theo cấp sinh khối. Số ô mẫu cần bảo đảm độ tin cậy 95%, sai số 10% và được phân theo cấp sinh khối rừng. Ngoài ra có thể áp dụng điều tra nhanh lâm phần để ước tính sinh khối, carbon rừng.*
- *Lựa chọn các mô hình allometric equations thích hợp theo từng mục đích, quy mô, yêu cầu độ tin cậy, năng lực, nguồn lực đo tính carbon rừng. Các mô hình được lựa chọn được phân chia thành 4 trường hợp đo tính carbon rừng: i) Có*

- sự tham gia của cộng đồng; biến động $S\% = 27.8\%$ đến 52.0% , ii) Do nhân viên kỹ thuật lâm nghiệp thực hiện; biến động $S\% = 14.1\% - 46.6\%$; iii) Ước tính nhanh carbon lâm phần; $S\% > 50\%$; iv) Ước tính sinh khối, carbon lâm phần khi đã lập được bản đồ sinh khối dựa vào ảnh vệ tinh; sai số $6.6 - 28.1\%$.
- *Quản lý cơ sở dữ liệu, bản đồ về biến động CO₂ trong GIS*: GIS kết hợp với các hàm allometric equations quan hệ giữa các nhóm sinh khối, carbon 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 thay đổi bể chứa carbon ở các thời điểm.

KIẾN NGHỊ

Từ kết quả thu được của đề tài, có các kiến nghị chính sau:

1. *Ứng dụng kết quả của đề tài*: Mô hình và công nghệ ước tính, giám sát sinh khối và carbon rừng và CO₂ hấp thụ/phát thải đã được thiết lập cho kiểu rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên có khối lượng mẫu đủ lớn, đại diện, đã được đánh giá độ tin cậy bảo đảm yêu cầu của IPCC (2006), do vậy đề nghị chuyển giao áp dụng cho chương trình UN-REDD Việt Nam và các dự án REDD.
2. *Nghiên cứu tiếp theo cần có*:
 - Tiếp tục áp dụng phương pháp nghiên cứu của đề tài này cho các tất cả các kiểu rừng ở từng vùng sinh thái của Việt Nam để có được đầy đủ mô hình và công nghệ trong ước tính và giám sát carbon rừng ở Việt Nam.
 - Đối với ứng dụng ảnh viễn thám trong ước lượng sinh khối và carbon rừng cần thử nghiệm thêm với các loại ảnh vệ tinh có độ phân giải cao hơn với các phương pháp khác để có thể lựa chọn công nghệ tối ưu trong ước lượng carbon thông qua ảnh viễn thám.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Võ Đại Hải, 2009. Nghiên cứu khả năng hấp thụ carbon của rừng trồng bạch đàn. Tạp chí NN & PTNT, 1(2009)
2. Bảo Huy, 2009. GIS và Viễn thám trong quản lý tài nguyên rừng và môi trường. NXB Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh.
3. Bảo Huy, 2009. Phương pháp nghiên cứu ước tính trữ lượng các bon của rừng tự nhiên làm cơ sở tính toán lượng CO₂ phát thải từ suy thoái và mất rừng ở Việt Nam. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 1(2009): 85 – 91.
4. Bảo Huy, 2012. Ước tính 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 Việt Nam. Tạp chí Rừng và Môi trường, 44 – 45 (2012): 14 – 21.
5. Bảo Huy, 2012. Xây dựng phương pháp giám sát và đo tính carbon rừng có sự tham gia của cộng đồng ở Việt Nam. Tạp chí Rừng và Môi trường, 44 – 45 (2012): 34 – 45.
6. 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).
7. 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.
8. 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.

Tiếng Anh

9. 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.
10. Aronoff. S.. 1989. Geographic information systems: A management perspective. WDI Publications, Ottawa, Canada.
11. 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.
12. Bao Huy, 2011. Technical Manuals for Participatory Carbon Monitoring (PCM). UN-REDD Vietnam program.
13. Bao Huy, 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.
14. Bao Huy and Pham Tuan Anh, 2008. Estimating CO₂ sequestration in natural broad-leaved evergreen forests in Vietnam. Asia-Pacific Agroforestry Newsletter, APANews, FAO, SEANAFE, 32(2008): 7 – 10.

15. Basuki, T.M., Van Lake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in the tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257(2009): 1684-1694.
16. Bhishma, P. S., Pandey, S. S., Pandey, A., Rana, E. B., Bhattarai, S., Banskota, T. R., Charmakar, S., Tamrakar, R., 2010. Forest Carbon Stock Measurement. Guidelines for measuring carbon stocks in community – managed forests. Asia Network for Sustainable, Agriculture and Bioresources (ANSAB). Federation of Community Forest, Users, Nepal (FECOFUN). International Centre for Integrated, Mountain Development (ICIMOD).
17. 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.
18. 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>
19. Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 3(116): 363–372.
20. Brown, S. and Iverson, L. R., 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resources Review* 4:366-384.
21. Brown, S., Iverson, L. R., Prasad, A., 2001. Geographical Distribution of Biomass Carbon in Tropical Southeast Asian Forests: A database. University of Illinois.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145 (2005): 87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
26. 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
27. Curran, P.J. and P.M. Atkinson. 1998. Geostatistics and remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 22: 61-78.
28. Dietz, J., Kuyah, S., 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. World Agroforestry Center (ICRAF).
29. 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.

30. 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.
31. Efromovich, S. 1999. Nonparametric curve estimation – methods, theory, and applications. Springer-Verlag. New York. 411p.
32. FAO, 2010. Managing forests for climate change. I1960E/1/11.10. <http://www.fao.org/forestry>.
33. 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:
34. FCCC, 1997 – 2011: Framework Convention on Climate Change. United Nations.
35. Foody, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80: 185– 201.
36. Franklin, S. E. 2001. *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Lewis Publishers, New York. 425p.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. Henry, H., Benard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., Saint-Andre, L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management Journal*, 260(2010): 1375-1388.
42. Houghton, R.A. 1994. The worldwide extent of land-use change. *Bioscience*, 44, 305–313.
43. ICRAF, 2007. Rapid carbon stock appraisal.
44. 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.
45. IPCC— 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 295 pp.
46. IUCN, 2007. Forest and livelihoods. Reducing emissions from deforestation and ecosystem degradation (REDD). Climate change briefing.
47. Jennier, C., J., 2004. Comprehensive Database of Diameter-based Biomass Regressions for North American Tree Species. United States Department of Agriculture.

48. Johannes, D; Shem, K., 2011, Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. CIFOR
49. Kasischke, E.S., Goetz, S., Hansen, M.C., Ozdogan, M., Rogan, J., Ustin, S., and Woodcock, C.E. (2004). Temperate and Boreal Forests. In S. Ustin (Ed.), *Manual of Remote Sensing*. Vol. 4: Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring. John Wiley and Sons, New York. 848p.
50. 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
51. 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.
52. Kutzer, C. 2008. Doctoral thesis. Potential of the kNN Method for estimation and Monitoring off-Reserve Forest Resources in Ghana. Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Germany. 130p.
53. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation (3th edition). John Wiley & Sons, New York.
54. Linton, O. and Härdle, W. 1998. Nonparametric regression. In: Kotz, S., Read, C.B., and Banks, D.L. (Eds.). *Encyclopedia of statistical sciences*. Update vol. 2, 470-485. Wiley. New York.
55. 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.
56. 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.
57. MacDicken, K.G., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development.
58. Magcale-Macandog, D. B., Delgado, M. E. M., Ty, E., and Villarin, J. R. T. 2006. A GIS- based model to improve estimation of aboveground biomass of secondary forests in the philippines. *Journal of Tropical Forest Science* 8(1): 8-21.
59. 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.
60. 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.
61. Mallinis, G., Koutsias, N., Makras, A., and Karteris, M., 2004. Forest Parameters Estimation in a European Mediterranean landscape using remotely sensed data. *Forest Science*, 50(4): 450–460.
62. Mallows, C.L., 1973. Some Comments on CP. *Technometrics* 15 (4): 661–675. doi:10.2307/1267380. JSTOR 1267380.
63. Meyer, W.B. and Turner, B.L. II. 1994. *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 537p.
64. Nguyen, T. T. H. 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.

65. Nguyen, T.T. Huong, 2011. Forestry Remote Sensing: Using multidata sources for unventory of Natural broad leaved ever-green forests in the Central Highlands of Vietnam. Lambert Academic Publishing, Germany.
66. 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.
67. Patrick Van Laake, 2008. Forest biomass assessment in support of REDD by indigenous people and local communities. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC).
68. Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168(2002):241-257.
69. Paulo, M., Stephan, S., 2005. Tropical Deforestation and Climate change. Amazon Institute for Environmental Research. ISBN: 8587827-12X.
70. Pearson, T., R., H., Brown, S., L., Birdsey, R., A., 2007. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service. General Technical Report NRS-18.
71. Peskett, 2008. Making REDD work for the Poor. IUCN.
72. Peterson, D. L., Spanner, M.A., Running, S.W., and Teuber, K. B. 1987. Relationship of thematic mapper simulator data to leaf area of temperate coniferous forests. *Remote sensing of environment* 22: 323-341. Elsevier publishing Co., Inc. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(1): 99-111.
73. 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.
74. 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.
75. 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.
76. 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.
77. Rosenqvist, Å., Milne, A., Lucas, R., Imhoff, M. & Dobson, C. 2003. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto protocol. *Environmental Science and Policy* 6: 441–455.
78. 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.
79. Silva, H.P., Erin, S., Michael, N., Sarah, M. W., Sandra, B. 2010. Manual technical issues ralted to implementing REDD+ programs in Mekong Countries. Winrock International, USA.
80. Skutsch, M.M., Patrick E. van Laake, Zahabu, E.M., Karky, B.S., and Phartiyal, P., 2009. Community monitoring in REDD+. In *Realíing REDD+*, Angelsen, A., (Ed.). CIFOR, pp. 101 – 112.
81. Snowdon, P., 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. Greenhouse Office, Australian.
82. 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.

83. 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.
84. Thomas E., Bao H., Budhita K., et al., 2011. REED+, Governance, and Community Forestry. RECOFTC, IIED, REDD-Net.
85. 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.
86. 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.
87. 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.
88. Trotter, C.M., Dymond, J.R. and Goulding, C.J. 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*, 18(10): 2209-2223.
89. 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.
90. UNFCCC, 1992. United Nation Framework Convention on Climate Change. United Nation.
91. UN-REDD, 2011: Measurement, Reporting & Verification (MRV) Framework Document. UN-REDD Vietnam Programme.
92. 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.
93. Xiaolu Z., 2004. Sitmulating 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 mục thực vật thân gỗ trong các lâm phần nghiên cứu

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	Cầm Lai	<i>Dalbergia bariaensis</i>	Fabaceae
24	Cầm 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	Còng Nước	<i>Calophyllum dongnaiense</i>	Calophyllaceae
30	Còng 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
35	Chạc Khế	<i>Dysoxylum binectariferum</i>	Meliaceae
36	Chàm (Nhàu)	<i>Morinda sp.</i>	Rubiaceae

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
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 Khé	<i>Heynea trijuga</i>	Meliaceae
48	Chùm Hôi	<i>Clausena eliptica</i>	Rutaceae
49	Dâu Da (Dâu Đất)	<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 chàng)	<i>Dacrydium elatum</i>	Betulaceae
71	Hu Đay (trứng cá rừng)	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae
72	Huỳnh	<i>Heriteria cochinchinensis</i>	Sterculiaceae
73	Kiên Kiên	<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

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
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 (Sứa)	<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</i> L. var. <i>bracteata</i>	Rubiaceae
105	Nhọc (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(muông hoa đào)	<i>Cassia javanica</i>	Caesalpiniaceae/
110	Quau	<i>Stereospermum cylindricum</i>	Bignoniaceae
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

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
117	Sầm	<i>Memecylon edule</i>	Melastomataceae
118	Sấu (Sấu Tía)	<i>Sandoricum koetjape</i>	Meliaceae
119	Sấu 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	Tấu	<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	Thần Mát	<i>Milletia sp.</i>	Fabaceae
140	Thành Nhạnh	<i>Cratoxylon prunifolium</i>	Hypericaceae
141	Thâu Linh	<i>Alphonsea sp.</i>	Annonaceae
142	Thăng Lãng (Thần Lăn)	<i>Quassia amara</i>	Simaroubaceae
143	Thầu Tầu (Dầu 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 Long Gà (bạch tùng)	<i>Dacrycarpus imbricatus</i>	Podocarpaceae
147	Thừng mực (Lồng Mực)	<i>Wrightia balance</i>	Apocynaceae
148	Thừng Mực Long	<i>Wrightia pubescens</i>	Apocynaceae
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

STT	Tên loài		
	Tên phổ thông	Tên Latin	Tên họ
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>Muntigia calabura</i>	Elaeocarpaceae
165	Trường Trắng	<i>Arytera sp.</i>	Sapindaceae
166	Vải Rừng	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae
167	Vàng 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 (Xương)	<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 Đô*	<i>Sp2</i>	
180	Tơm La Hoa*	<i>Sp3</i>	
181	Tơm Lú*	<i>Sp4</i>	
182	Mlo (Dp)*	<i>Sp5</i>	
183	Krao*	<i>Sp6</i>	

Phụ lục 2: Khối lượng thể tích gỗ các loài nghiên cứu

Stt	Mã số cây giải tích	Loài	Tên Latin + Tác giả	Họ	Trung bình WD (g/cm ³)
1	TX-17.5	An túc	<i>Styrax annamensis</i> Guill.	Styraceae	0.455
2	TX 2.2 TA	Ba soi	<i>Macaranga trichocarpa</i> Muell. - Arg	Euphorbiaceae	0.328
3	TX 13.1	Bằng lăng ổi	<i>Lagerstroemia calyculata</i> Kurz.	Lithraceae	0.611
4	TX - 11.9	Bằng lăng tím	<i>Lagerstroemia speciosa</i> Pers.	Lithraceae	0.723
5	TX 15.4	Bình linh	<i>Vitex pubescens</i> Vahl.	Verbenaceae	0.578
6	TX 15.1	Bời lời	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) Roxb.	Lauraceae	0.534
7	TX-20.5	Bứa	<i>Garcinia lanessanii</i> Pierre.	Clusiaceae	0.685
8	TX - 10.1	Bưởi bung	<i>Acronychia pedunculata</i> (L.) Miq.	Rutaceae	0.576
9	TX 18.1	Cầm thi	<i>Diospyros maritima</i> BL.	Ebenaceae	0.715
10	TX - 11.12	Chạc khế	<i>Dysoxylum binectariferum</i> Hook. F. ex Bedd.	Meliaceae	0.725
11	TX-8.5	Chân chim	<i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms.	Araliaceae	0.405
12	TX 3.2 TA	Chẹo	<i>Engelhardtia roxburghiana</i> Wall.	Juglandaceae	0.357
13	TX 3.7 TA	Chò xót	<i>Schima superba</i> Gardn et Champ.	Theaceae	0.374
14	TX 13.3	Cò ke	<i>Grewia paniculata</i> Roxb.ex.Dc	Tiliaceae	0.730
15	TX 14.7	Cóc rừng	<i>Spondias pinnata</i> Kurz.	Anacardiaceae	0.642
16	TX-20.2	Côm	<i>Elaeocarpus tectorius</i> (Lour.) Poir.	Elaeocarpaceae	0.550
17	TX 3.3 TA	Còng	<i>Calophyllum dryobalanoides</i> Pierre	Calophyllaceae	0.277
18	TX-16.7	Còng nước	<i>Calophyllum dongnaiense</i> Pierre	Calophyllaceae	0.642
19	TX 12.5	Dẻ	<i>Lithocarpus</i> sp.	Fagaceae	0.472
20	TX - 10.11	Dẻ đá trung bộ	<i>Lithocarpus annamensis</i> (Hickey A. Camus) A. Camus	Fagaceae	0.671
21	TX 7.4	Dẻ lá nhỏ	<i>Quercus myrsinaefolia</i> Blume.	Fagaceae	0.692
22	TX - 9.5	Đu đủ rừng	<i>Trevesia palmata</i> (Roxb.) Vis	Araliaceae	0.476
23	TX 18.3	Dúi	<i>Streblus ilicifolius</i> (Vidal) Corner	Moraceae	0.727
24	TX 12.8	Dung	<i>Symplocos glauca</i> (Thunb.) Koidz	Symplocaceae	0.504
25	TX-17.2	Giang Quảng đông	<i>Ternstroemia kwantungensis</i> Merr.	Theaceae	0.628
26	TX - 10.15	Giổi lông	<i>Michelia braianensis</i> Gagnep.	Magnoliaceae	0.452
27	TX - 10.6	Kha Thụ	<i>Castanopsis</i> sp.	Fagaceae	0.541
28	TX - 11.10	Kháo	<i>Phoebe lanceolata</i> (Nees) Nees	Lauraceae	0.495
29	TX-16.2	Kháo hoa nhỏ	<i>Machilus parviflora</i> Meissn.	Lauraceae	0.586
30	TX-19.5	Lát	<i>Chukrasia tabularis</i> Juss.	Meliaceae	0.487
31	TX 14.3	Lòng máng	<i>Pterospermum heterophyllum</i> Hance	Sterculiaceae	0.610
32	TX 12.9	Ma trá	<i>Celtis philipinensis</i> Blanco	Ulmaceae	0.683
33	TX - 10.12	Mỡ	<i>Manglietia hainanensis</i> Dandy	Magnoliaceae	0.540
34	TX - 11.11	Mò Cua	<i>Alstonia scholaris</i> (L.) R. Br.	Apocynaceae	0.392
35	TX-17.4	Ngát	<i>Gironniera subequalis</i> Pl.	Ulmaceae	0.463
36	TX 14.1	Ngâu rừng	<i>Aglais annamensis</i> Pelligrin	Meliaceae	0.877
37	TX 7.3	Nhân rừng	<i>Lepisanthes</i> sp.	Sapindaceae	0.622

Stt	Mã số cây giải tích	Loài	Tên Latin + Tác giả	Họ	Trung bình WD (g/cm3)
38	TX-8.6	Nhàu	<i>Morinda tomentosa</i> Heyn.	Rubiaceae	0.562
39	TX 12.10	Quần đầu	<i>Polyalthia sp.</i>	Annonaceae	0.754
40	TX 7.9	Quế rừng	<i>Cinnamomum iner</i> Reinw.	Lauraceae	0.473
41	TX - 9.10	Sáu hồng	<i>Sandoricum indicum</i> Cav.	Meliaceae	0.580
42	TX 14.4	Sén	<i>Donella lanceolata</i> (Bl.) Aubr	Sapotaceae	0.728
43	TX 7.6	Sung	<i>Semecarpus sp.</i>	Anacardiaceae	0.458
44	TX - 10.8	Thâu linh	<i>Alphonsea sp.</i>	Annonaceae	0.560
45	TX-19.7	Thầu tẩu	<i>Aporosa tetrapleura</i> Hance	Euphorbiaceae	0.645
46	TX 14.2	Thị rừng	<i>Diospyros nebulorum</i> Lec.	Ebenaceae	0.698
47	TX 15.6	Thừng mực lông	<i>Wrightia pubescens</i> R. Br.	Apocynaceae	0.451
48	TX 12.7	Trà hoa	<i>Camelia vietnamensis</i> Huang ex Hu.	Theaceae	0.746
49	TX - 10.14	Trám	<i>Canarium littorale</i> Bl.	Burceraceae	0.645
50	TX-8.3	Trâm đỏ	<i>Syzygium zeylanicum</i> (L.) Dc.	Myrtaceae	0.551
51	TX 18.4	Trâm núi	<i>Syzygium levinei</i> (Merr.) Merr. et Perry	Myrtaceae	0.659
52	TX 12.2	Trám trắng	<i>Canarium album</i> (Lour.) Raeusch. ex Dc.	Burceraceae	0.767
53	TX 1.1 TA	Trâm trắng	<i>Syzygium hancei</i> Merr. et Perry	Myrtaceae	0.539
54	TX-8.15	Trứng cá rừng	<i>Trema orientalis</i> (L.) Bl.	Ulmaceae	0.517
55	TX - 11.4	Tứ châu	<i>Tetradium sp.</i>	Rutaceae	0.530
56	TX - 11.13	Vải rừng	<i>Nephelium bassacense</i> Pierre	Sapindaceae	0.882
57	TX - 10.3	Vàng Tâm	<i>Manglietia conifera</i> Dandy	Magnoliaceae	0.631
58	TX-8.14	Vùng	<i>Careya sphaerica</i> Roxb.	Lecythidaceae	0.621
59	TX - 10.9	Xá Xị	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i> Meissn.	Lauraceae	0.443
60	TX 5.1 TA	Xoan	<i>Azadirachta excelsa</i> (Jack) Jacobs	Meliaceae	0.266
61	TX-20.9	Xoan đào	<i>Prunus ceylanica</i> (Wight.) Miq.	Rosaceae	0.483
62	TX 12.1	Xoay	<i>Dialium cochinchinensis</i> Pierre	Fabaceae	0.564
63	TX - 9.13	Loài khác	<i>sp</i>		0.527

Phụ lục 3: Bộ dữ liệu sinh khối của 4 bộ phận cây trên mặt đất theo nhân tố điều tra cây rừng

Bbr_kg	Bl_kg	Bst_kg	Bba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
469.8	31.5	938.3	191.5	47.8	21.0	0.550
198.8	9.6	265.7	27.3	26.8	14.8	0.641
4.0	1.2	9.1	1.1	6.8	6.9	0.622
2.5	0.3	45.6	4.5	10.1	12.5	0.692
3.0	1.1	11.5	0.5	7.3	9.4	0.596
4.1	2.4	22.4	3.3	11.4	10.9	0.458
6.2	3.6	43.0	6.2	16.5	11.8	0.390
1.2	0.6	4.7	0.5	5.9	7.4	0.574
2.3	1.0	7.2	1.0	6.4	7.4	0.547
1.8	0.9	3.1	0.5	5.8	5.3	0.422
4.8	1.2	21.8	3.6	8.9	8.8	0.598
11.3	3.8	42.1	4.8	11.5	13.2	0.486
1.7	0.5	10.9	1.5	7.0	7.8	0.695
2.0	1.0	12.5	0.9	7.5	9.0	0.672
121.2	14.2	661.3	68.6	38.6	22.0	0.527
35.2	4.7	209.0	37.0	28.3	21.0	0.407
43.7	4.4	242.2	29.0	24.4	22.0	0.549
71.1	9.9	533.8	33.3	34.5	19.5	0.602
1.5	0.8	44.2	9.3	16.6	10.2	0.404
8.4	1.9	34.9	2.2	11.6	11.0	0.562
134.0	16.7	476.2	45.4	33.1	19.6	0.586
69.2	11.8	329.3	38.2	24.0	14.6	0.501
70.0	9.6	318.2	39.9	31.6	21.5	0.462
3.8	4.1	6.6	3.8	12.3	13.2	0.513
4.3	1.2	11.2	1.1	7.6	9.4	0.573
7.8	1.6	20.0	2.8	8.0	9.8	0.546
15.3	8.0	67.8	8.1	15.8	15.3	0.621
6.3	2.2	13.9	2.5	9.3	7.3	0.517
1.3	0.3	8.5	1.0	6.4	9.8	0.640
7.5	1.9	13.8	1.8	9.7	7.7	0.456
7.0	3.5	16.5	1.0	11.0	8.3	0.451
22.6	7.8	15.0	1.2	17.8	15.5	0.507
2.6	1.3	35.4	1.5	11.3	13.1	0.618
16.6	4.5	91.5	4.8	20.3	10.6	0.608
4.3	1.1	17.4	1.6	10.2	8.9	0.581
2.8	1.7	19.7	4.0	10.1	12.8	0.493
3.3	1.5	7.9	0.8	8.1	6.0	0.658
13.8	3.7	33.7	2.4	11.6	9.0	0.629
0.5	0.8	1.5	0.2	5.2	4.7	0.375
3.8	2.6	14.8	1.1	8.2	8.3	0.706
3.6	2.3	12.3	1.1	8.3	7.3	0.580

Bbr_kg	Bl_kg	Bst_kg	Bba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
40.4	4.7	85.5	9.5	15.8	12.9	0.576
3.9	2.2	13.8	1.2	7.9	9.9	0.528
108.3	29.6	667.6	59.4	35.1	24.0	0.631
31.0	13.8	201.3	15.7	16.5	20.8	0.575
8.6	3.6	71.1	5.6	18.5	15.6	0.410
224.3	42.9	804.7	75.2	39.8	22.2	0.541
1.9	1.0	14.4	1.9	7.9	10.5	0.502
2.4	1.1	11.7	1.0	7.9	8.4	0.560
18.3	5.4	79.1	15.4	18.4	16.7	0.443
2.5	1.4	22.6	1.7	10.8	10.6	0.461
6.3	3.6	25.0	2.1	9.0	11.5	0.561
8.8	4.6	110.5	10.0	15.4	19.6	0.616
67.7	18.3	392.4	47.8	30.8	23.6	0.464
20.3	11.7	92.4	5.1	16.9	14.5	0.645
37.4	11.8	251.3	40.6	24.5	25.2	0.452
46.4	16.8	96.4	7.8	18.9	13.1	0.520
6.7	2.6	10.9	0.8	8.1	8.9	0.556
14.9	7.8	116.6	11.0	20.1	13.2	0.595
4.5	1.7	9.1	1.3	7.0	8.2	0.530
55.3	13.4	131.1	10.5	16.5	15.0	0.736
9.1	5.8	81.0	6.9	21.7	15.5	0.340
15.8	5.8	39.2	4.5	10.6	10.8	0.717
24.4	16.0	152.2	8.2	22.1	18.0	0.492
60.6	17.3	317.6	6.8	23.2	18.2	0.723
0.4	0.5	3.7	0.4	5.6	8.8	0.395
0.7	0.4	4.6	0.4	6.4	6.1	0.425
4.3	2.6	30.7	3.7	10.2	9.5	0.725
44.9	7.3	201.7	22.7	19.6	15.0	0.882
23.2	3.2	35.9	3.2	18.3	4.3	0.564
63.8	10.3	175.3	16.1	19.6	16.5	0.767
190.3	13.3	397.7	132.2	36.4	18.5	0.426
2.6	0.9	28.5	2.5	10.0	11.6	0.598
0.6	0.0	2.9	0.3	4.7	5.3	0.622
62.4	8.8	316.9	21.9	22.0	21.4	0.756
275.4	21.4	594.1	53.4	32.4	23.9	0.746
1.4	0.6	3.2	0.7	5.6	4.5	0.480
11.6	3.4	116.6	6.9	15.9	19.2	0.683
28.1	8.5	129.2	14.6	17.6	17.2	0.751
0.0	0.0	13.9	1.8	9.0	7.8	0.611
2.3	1.1	13.0	1.5	7.5	8.7	0.660
8.1	0.9	18.0	2.1	8.3	9.2	0.730
111.0	34.2	637.8	61.7	37.4	24.1	0.617
76.2	6.9	285.5	44.8	26.5	17.5	0.846

Bbr_kg	Bl_kg	Bst_kg	Bba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
5.8	2.8	31.8	1.8	9.3	11.2	0.877
1.4	0.7	7.2	0.5	6.6	6.5	0.632
1.7	0.6	30.6	2.6	9.9	13.9	0.610
16.9	3.2	37.3	3.5	10.7	14.1	0.744
0.2	0.2	13.4	1.0	6.5	11.5	0.681
124.6	17.7	348.4	23.3	28.7	21.9	0.874
243.4	15.4	687.7	56.6	42.6	19.1	0.642
42.6	9.0	280.8	16.2	22.8	13.5	0.823
1.2	1.0	4.6	0.4	5.6	5.5	0.491
6.8	5.8	36.2	3.9	11.0	12.0	0.735
1.7	3.9	15.0	1.3	9.5	9.7	0.393
44.8	0.1	389.6	85.5	9.8	16.6	0.535
98.5	1.1	299.2	26.4	34.4	11.3	0.622
27.4	0.5	394.5	71.9	38.7	17.3	0.451
2.7	1.7	18.6	2.5	7.8	12.5	0.507
76.2	7.9	242.3	33.4	23.5	23.4	0.586
68.9	8.6	413.1	37.4	23.8	26.8	0.706
18.4	3.3	7.9	8.4	14.0	18.7	0.609
1.4	0.3	16.3	1.7	7.7	9.4	0.669
1.8	1.2	9.6	1.9	7.0	7.4	0.569
92.3	14.9	313.0	36.3	25.1	27.0	0.642
184.0	16.3	211.4	50.1	24.8	14.2	0.664
107.9	11.2	139.3	27.2	24.1	12.1	0.628
2.9	1.8	16.2	3.0	8.9	10.3	0.545
1.8	0.9	6.7	0.7	6.5	9.7	0.413
1.4	1.1	16.4	1.7	8.7	11.3	0.455
32.1	6.9	118.5	15.1	18.1	12.1	0.715
64.7	14.8	298.1	42.5	25.5	16.0	0.765
13.3	1.7	24.1	2.7	9.8	7.5	0.727
7.6	3.5	41.0	6.0	16.2	10.5	0.732
30.4	8.2	65.1	11.5	14.6	11.3	0.712
85.9	10.2	303.3	35.7	31.1	15.0	0.475
26.0	1.3	28.9	5.8	12.3	7.1	0.721
105.5	13.1	665.3	129.2	33.8	23.0	0.581
3.4	3.0	17.6	2.9	10.0	8.3	0.487
3.4	1.0	14.8	2.2	10.5	8.6	0.482
5.9	3.1	10.0	0.7	7.6	6.3	0.584
5.2	2.6	23.6	3.3	11.2	8.4	0.564
30.7	7.6	184.5	21.4	23.7	13.4	0.732
40.9	13.4	105.2	25.3	18.0	14.6	0.542
22.0	11.6	197.4	32.8	22.5	15.6	0.726
2.3	3.4	9.4	1.8	7.2	8.5	0.554
0.8	0.6	3.3	0.6	5.0	6.3	0.614

Bbr_kg	Bl_kg	Bst_kg	Bba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
143.5	15.9	324.9	48.9	30.5	15.8	0.565
10.6	3.6	27.3	3.0	7.3	10.0	0.682
5.5	2.0	18.4	2.4	8.1	13.2	0.573
1.7	0.8	5.6	1.4	6.5	8.1	0.483
2.4	1.2	8.8	1.5	7.0	8.5	0.326
108.4	10.8	73.7	8.5	17.0	13.9	0.315
370.4	17.8	338.8	35.3	36.0	19.5	0.269
284.7	13.1	225.5	31.0	26.0	17.5	0.345
606.1	21.4	657.1	100.9	41.0	23.8	0.298
344.2	34.6	294.6	43.3	34.0	18.3	0.288
30.9	9.6	77.6	8.0	20.0	14.8	0.235
2.9	2.3	11.9	1.1	8.5	9.0	0.304
6.6	2.1	39.3	4.0	14.0	12.6	0.265
0.3	0.5	5.7	0.6	6.5	8.8	0.219
76.0	4.4	87.3	14.4	17.0	14.8	0.330
114.3	7.1	141.6	11.4	26.0	13.5	0.357
11.2	1.0	4.9	0.8	7.0	7.1	0.256
74.8	7.7	451.5	77.6	33.0	27.3	0.212
361.2	19.5	251.8	27.5	37.0	21.8	0.156
619.6	26.8	990.8	222.8	56.0	24.7	0.272
4.9	1.3	16.0	3.1	8.5	10.5	0.303
438.7	16.3	880.5	162.2	45.0	25.0	0.319
7.6	2.7	31.7	2.6	9.8	12.5	0.353
64.5	6.5	331.2	33.0	25.4	21.0	0.369
496.1	70.0	1388.3	204.8	53.5	23.5	0.447
372.3	13.7	1102.9	111.6	49.0	22.8	0.425
19.1	7.1	66.2	7.5	15.2	17.0	0.224
175.5	15.1	606.8	47.3	32.5	23.0	0.404
1.8	0.8	14.8	1.5	8.5	12.4	0.203
6.2	4.9	62.3	5.9	16.0	13.0	0.329
2.5	1.5	7.8	0.9	8.0	7.8	0.286
6.2	2.5	39.8	3.6	14.0	14.8	0.197
5.9	2.3	41.2	7.5	9.0	11.6	0.597
65.8	28.8	1011.4	253.9	46.0	25.0	0.356
98.7	40.5	1157.0	284.4	52.5	26.2	0.310
44.4	5.3	158.0	22.9	23.0	16.5	0.320
97.5	10.4	486.2	84.5	30.5	24.2	0.320
13.5	1.8	178.9	28.6	18.0	16.5	0.508

Phụ lục 4: Bộ dữ liệu carbon trong 4 bộ phận của cây trên mặt đất theo nhân tố điều tra cây rừng

Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
240.56	16.32	357.05	86.00	47.8	21.0	0.550
99.46	4.82	128.97	13.32	26.8	14.8	0.641
2.05	0.52	4.50	0.60	6.8	6.9	0.622
1.23	0.16	22.25	2.27	10.1	12.5	0.692
1.45	0.50	5.26	0.17	7.3	9.4	0.596
2.32	1.23	11.22	1.71	11.4	10.9	0.458
2.22	1.73	23.14	3.30	16.5	11.8	0.390
0.61	0.30	1.94	0.23	5.9	7.4	0.574
1.17	0.54	3.71	0.43	6.4	7.4	0.547
0.80	0.40	1.54	0.20	5.8	5.3	0.422
2.56	0.58	10.88	1.58	8.9	8.8	0.598
6.05	2.15	20.96	2.36	11.5	13.2	0.486
0.95	0.26	5.42	0.78	7.0	7.8	0.695
1.06	0.39	4.40	0.44	7.5	9.0	0.672
69.91	6.63	373.84	33.57	38.6	22.0	0.527
2.55	14.91	21.44	1.18	28.3	21.0	0.407
25.30	1.93	135.76	13.87	24.4	22.0	0.549
37.93	5.04	298.23	16.42	34.5	19.5	0.602
0.83	0.42	25.57	5.41	16.6	10.2	0.404
4.88	1.09	20.23	1.27	11.6	11.0	0.562
63.20	7.79	241.37	20.11	33.1	19.6	0.586
39.94	5.76	172.24	16.19	24.0	14.6	0.501
40.17	4.24	172.68	17.63	31.6	21.5	0.462
22.10	2.19	45.20	4.92	15.8	12.9	0.576
1.89	0.76	7.64	0.39	7.9	9.9	0.528
55.98	13.54	386.95	24.69	35.1	24.0	0.631
13.10	5.81	107.03	8.07	16.5	20.8	0.575
3.87	1.88	42.11	3.05	18.5	15.6	0.410
93.97	17.15	454.17	35.09	39.8	22.2	0.541
1.01	0.31	7.55	0.88	7.9	10.5	0.502
1.22	0.62	6.67	0.38	7.9	8.4	0.560
10.13	2.65	42.27	8.95	18.4	16.7	0.443
0.99	0.57	13.17	0.66	10.8	10.6	0.461
3.06	1.50	13.01	0.97	9.0	11.5	0.561
4.24	2.20	63.80	4.75	15.4	19.6	0.616
36.85	6.89	231.53	20.34	30.8	23.6	0.464
10.22	4.73	52.57	2.19	16.9	14.5	0.645
16.32	5.45	141.57	15.74	24.5	25.2	0.452
25.51	5.91	49.73	4.02	18.9	13.1	0.520
2.72	1.28	5.53	0.39	8.1	8.9	0.556
8.20	3.85	64.80	5.64	20.1	13.2	0.595

Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
2.38	0.65	5.26	0.48	7.0	8.2	0.530
24.26	6.54	70.61	5.21	16.5	15.0	0.736
5.22	2.97	47.44	3.62	21.7	15.5	0.340
7.14	3.11	19.78	1.86	10.6	10.8	0.717
12.35	6.53	86.71	3.54	22.1	18.0	0.492
31.08	9.00	169.03	3.10	23.2	18.2	0.723
0.19	0.27	2.15	0.18	5.6	8.8	0.395
0.37	0.22	2.63	0.18	6.4	6.1	0.425
2.30	1.26	16.36	1.84	10.2	9.5	0.725
22.74	2.40	105.58	8.86	19.6	15.0	0.882
10.36	1.62	20.56	1.54	18.3	4.3	0.564
33.16	5.51	99.32	8.72	19.6	16.5	0.767
109.12	7.20	209.49	75.80	36.4	18.5	0.426
1.46	0.50	15.94	1.30	10.0	11.6	0.598
0.32	0.01	1.63	0.11	4.7	5.3	0.622
30.36	4.94	181.71	9.36	22.0	21.4	0.756
146.87	11.70	344.56	25.29	32.4	23.9	0.746
0.73	0.26	1.80	0.28	5.6	4.5	0.480
6.20	1.81	62.18	3.21	15.9	19.2	0.683
14.04	4.58	69.79	8.46	17.6	17.2	0.751
0.97	0.46	3.59	0.54	7.0	8.5	0.326
43.77	4.19	28.62	3.52	17.0	13.9	0.315
152.09	7.75	152.40	14.81	36.0	19.5	0.269
114.36	5.49	96.13	12.53	26.0	17.5	0.345
265.49	8.97	233.74	41.52	41.0	23.8	0.298
143.00	15.06	133.96	16.66	34.0	18.3	0.288
12.90	3.81	31.35	2.81	20.0	14.8	0.235
1.09	1.04	4.90	0.42	8.5	9.0	0.304
2.65	0.82	16.57	1.66	14.0	12.6	0.265
0.13	0.20	2.34	0.26	6.5	8.8	0.219
29.86	1.89	34.80	5.64	17.0	14.8	0.330
46.13	3.03	62.46	4.66	26.0	13.5	0.357
4.58	0.42	2.02	0.34	7.0	7.1	0.256
29.68	3.10	183.60	30.26	33.0	27.3	0.212
131.30	7.87	95.73	9.23	37.0	21.8	0.156
214.93	10.55	411.68	81.85	56.0	24.7	0.272
1.72	0.49	4.95	1.18	8.5	10.5	0.303
190.89	7.00	364.98	69.78	45.0	25.0	0.319
3.31	1.15	13.28	1.04	9.8	12.5	0.353
26.41	2.83	142.15	12.42	25.4	21.0	0.369
204.67	30.33	633.98	82.87	53.5	23.5	0.447
153.61	5.71	464.74	39.02	49.0	22.8	0.425
7.18	2.88	23.94	3.48	15.2	17.0	0.224

Cbr_kg	Cl_kg	Cst_kg	Cba_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
60.20	6.13	260.45	15.57	32.5	23.0	0.404
0.69	0.31	6.15	0.62	8.5	12.4	0.203
2.61	2.02	27.24	2.42	16.0	13.0	0.329
1.16	0.69	3.40	0.36	8.0	7.8	0.286
2.13	0.91	18.49	1.31	14.0	14.8	0.197
2.40	0.93	16.85	2.98	9.0	11.6	0.597
28.35	13.01	433.19	105.76	46.0	25.0	0.356
42.83	18.01	479.61	107.03	52.5	26.2	0.310
18.27	1.94	59.91	11.39	23.0	16.5	0.320
40.12	4.80	203.43	33.64	30.5	24.2	0.320
5.36	0.76	75.90	9.44	18.0	16.5	0.508

Phụ lục 5: Bộ dữ liệu sinh khối cây trên mặt đất (AGB) với các nhân tố điều tra cây rừng

Mã cây	AGB_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 7.1	1631.1	47.8	21.0	0.550
TX 7.2	501.4	26.8	14.8	0.641
TX 7.3	15.4	6.8	6.9	0.622
TX 7.4	52.9	10.1	12.5	0.692
TX 7.5	16.0	7.3	9.4	0.596
TX 7.6	32.2	11.4	10.9	0.458
TX 7.7	59.0	16.5	11.8	0.390
TX 7.8	7.0	5.9	7.4	0.574
TX 7.9	11.6	6.4	7.4	0.547
TX 7.1	6.2	5.8	5.3	0.422
TX 7.11	31.5	8.9	8.8	0.598
TX 7.12	62.0	11.5	13.2	0.486
TX 7.13	14.7	7.0	7.8	0.695
TX 7.14	16.4	7.5	9.0	0.672
TX-8.1	865.3	38.6	22.0	0.527
TX-8.2	285.9	28.3	21.0	0.407
TX-8.3	319.3	24.4	22.0	0.549
TX-8.4	648.0	34.5	19.5	0.602
TX-8.5	55.8	16.6	10.2	0.404
TX-8.6	47.4	11.6	11.0	0.562
TX-8.7	672.3	33.1	19.6	0.586
TX-8.8	448.5	24.0	14.6	0.501
TX-8.9	437.7	31.6	21.5	0.462
TX-8.11	17.8	7.6	9.4	0.573
TX-8.13	32.1	8.0	9.8	0.546
TX-8.14	99.2	15.8	15.3	0.621
TX-8.15	24.9	9.3	7.3	0.517
TX-8.16	11.2	6.4	9.8	0.640
TX-8.17	25.0	9.7	7.7	0.456
TX - 9.1	27.9	11.0	8.3	0.451
TX - 9.6	40.9	11.3	13.1	0.618
TX - 9.7	117.4	20.3	10.6	0.608
TX - 9.8	24.4	10.2	8.9	0.581
TX - 9.10	28.3	10.1	12.8	0.493
TX - 9.11	13.4	8.1	6.0	0.658
TX - 9.12	53.6	11.6	9.0	0.629
TX - 9.13	2.9	5.2	4.7	0.375
TX - 9.14	22.4	8.2	8.3	0.706
TX - 9.15	19.4	8.3	7.3	0.580
TX - 10.1	140.2	15.8	12.9	0.576
TX - 10.2	21.2	7.9	9.9	0.528

Mã cây	AGB_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX - 10.3	864.9	35.1	24.0	0.631
TX - 10.4	261.8	16.5	20.8	0.575
TX - 10.5	88.9	18.5	15.6	0.410
TX - 10.6	1147.1	39.8	22.2	0.541
TX - 10.7	19.2	7.9	10.5	0.502
TX - 10.8	16.3	7.9	8.4	0.560
TX - 10.9	118.3	18.4	16.7	0.443
TX - 10.10	28.3	10.8	10.6	0.461
TX - 10.11	37.1	9.0	11.5	0.561
TX - 10.12	134.0	15.4	19.6	0.616
TX - 10.13	526.1	30.8	23.6	0.464
TX - 10.14	129.4	16.9	14.5	0.645
TX - 10.15	341.1	24.5	25.2	0.452
TX - 11.1	167.4	18.9	13.1	0.520
TX - 11.2	21.0	8.1	8.9	0.556
TX - 11.3	150.4	20.1	13.2	0.595
TX - 11.4	16.6	7.0	8.2	0.530
TX - 11.5	210.3	16.5	15.0	0.736
TX - 11.6	102.8	21.7	15.5	0.340
TX - 11.7	65.3	10.6	10.8	0.717
TX - 11.8	200.9	22.1	18.0	0.492
TX - 11.9	402.3	23.2	18.2	0.723
TX - 11.10	5.0	5.6	8.8	0.395
TX - 11.11	6.1	6.4	6.1	0.425
TX - 11.12	41.4	10.2	9.5	0.725
TX - 11.13	276.6	19.6	15.0	0.882
TX 12.1	65.4	18.3	4.3	0.564
TX 12.2	265.5	19.6	16.5	0.767
TX 12.3	733.6	36.4	18.5	0.426
TX 12.4	34.4	10.0	11.6	0.598
TX 12.5	3.9	4.7	5.3	0.622
TX 12.6	410.1	22.0	21.4	0.756
TX 12.7	944.3	32.4	23.9	0.746
TX 12.8	5.9	5.6	4.5	0.480
TX 12.9	138.5	15.9	19.2	0.683
TX 12.10	180.4	17.6	17.2	0.751
TX 13.1	15.8	9.0	7.8	0.611
TX 13.2	18.0	7.5	8.7	0.660
TX 13.3	29.1	8.3	9.2	0.730
TX 13.4	844.7	37.4	24.1	0.617
TX 13.5	413.4	26.5	17.5	0.846
TX 14.1	42.2	9.3	11.2	0.877
TX 14.2	9.8	6.6	6.5	0.632

Mã cây	AGB_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 14.3	35.4	9.9	13.9	0.610
TX 14.4	60.9	10.7	14.1	0.744
TX 14.5	14.8	6.5	11.5	0.681
TX 14.6	514.0	28.7	21.9	0.874
TX 14.7	1003.2	42.6	19.1	0.642
TX 14.8	348.7	22.8	13.5	0.823
TX 15.1	7.3	5.6	5.5	0.491
TX 15.2	52.7	11.0	12.0	0.735
TX 15.3	21.9	9.5	9.7	0.393
TX 15.5	425.1	34.4	11.3	0.622
TX 15.6	494.3	38.7	17.3	0.451
TX-16.1	25.5	7.8	12.5	0.507
TX-16.2	359.7	23.5	23.4	0.586
TX-16.3	528.0	23.8	26.8	0.706
TX-16.5	19.8	7.7	9.4	0.669
TX-16.6	14.5	7.0	7.4	0.569
TX-16.7	456.5	25.1	27.0	0.642
TX-17.1	461.9	24.8	14.2	0.664
TX-17.2	285.5	24.1	12.1	0.628
TX-17.3	23.8	8.9	10.3	0.545
TX-17.4	10.0	6.5	9.7	0.413
TX-17.5	20.7	8.7	11.3	0.455
TX 18.1	172.6	18.1	12.1	0.715
TX 18.2	420.1	25.5	16.0	0.765
TX 18.3	41.9	9.8	7.5	0.727
TX 18.4	58.1	16.2	10.5	0.732
TX-19.1	115.2	14.6	11.3	0.712
TX-19.2	435.2	31.1	15.0	0.475
TX-19.3	61.9	12.3	7.1	0.721
TX-19.4	913.1	33.8	23.0	0.581
TX-19.5	26.9	10.0	8.3	0.487
TX-19.6	21.4	10.5	8.6	0.482
TX-19.7	19.7	7.6	6.3	0.584
TX-19.8	34.7	11.2	8.4	0.564
TX-20.1	244.2	23.7	13.4	0.732
TX-20.2	184.7	18.0	14.6	0.542
TX-20.3	263.7	22.5	15.6	0.726
TX-20.4	17.1	7.2	8.5	0.554
TX-20.5	5.3	5.0	6.3	0.614
TX-20.6	533.2	30.5	15.8	0.565
TX-20.7	44.5	7.3	10.0	0.682
TX-20.8	28.2	8.1	13.2	0.573
TX-20.9	9.5	6.5	8.1	0.483

Mã cây	AGB_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 1.1 TA	13.8	7.0	8.5	0.326
TX 1.2 TA	201.4	17.0	13.9	0.315
TX 1.3 TA	762.4	36.0	19.5	0.269
TX 1.4 TA	554.3	26.0	17.5	0.345
TX 1.5 TA	1385.5	41.0	23.8	0.298
TX 1.6 TA	716.7	34.0	18.3	0.288
TX 2.1 TA	126.2	20.0	14.8	0.235
TX 2.2 TA	18.3	8.5	9.0	0.304
TX 2.3 TA	52.0	14.0	12.6	0.265
TX 2.4 TA	7.1	6.5	8.8	0.219
TX 3.1 TA	182.1	17.0	14.8	0.330
TX 3.2 TA	274.4	26.0	13.5	0.357
TX 3.3 TA	18.0	7.0	7.1	0.256
TX 3.4 TA	611.5	33.0	27.3	0.212
TX 3.5 TA	660.0	37.0	21.8	0.156
TX 3.6 TA	1860.0	56.0	24.7	0.272
TX 3.7 TA	25.3	8.5	10.5	0.303
TX 3.8 TA	1497.7	45.0	25.0	0.319
TX 4.1 TA	44.6	9.8	12.5	0.353
TX 4.2 TA	435.1	25.4	21.0	0.369
TX 4.3 TA	2159.2	53.5	23.5	0.447
TX 4.4 TA	1600.5	49.0	22.8	0.425
TX 4.5 TA	99.9	15.2	17.0	0.224
TX 4.6 TA	844.7	32.5	23.0	0.404
TX 5.1 TA	18.8	8.5	12.4	0.203
TX 5.2 TA	79.3	16.0	13.0	0.329
TX 5.3 TA	12.8	8.0	7.8	0.286
TX 5.4 TA	52.2	14.0	14.8	0.197
TX 6.1 TA	57.0	9.0	11.6	0.597
TX 6.2 TA	1359.9	46.0	25.0	0.356
TX 6.3 TA	1580.7	52.5	26.2	0.310
TX 6.4 TA	230.6	23.0	16.5	0.320
TX 6.5 TA	678.6	30.5	24.2	0.320
TX 6.6 TA	222.8	18.0	16.5	0.508

Phụ lục 6: Bộ dữ liệu AGB có gắn biển Ca và các nhân tố điều tra cây rừng

Mã cây	AGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3	Ca_m2
TX 7.1	1631.1	47.8	21.0	0.550	51.53
TX 7.2	501.4	26.8	14.8	0.641	35.26
TX 7.3	15.4	6.8	6.9	0.622	7.07
TX 7.4	52.9	10.1	12.5	0.692	4.91
TX 7.5	16.0	7.3	9.4	0.596	10.75
TX 7.6	32.2	11.4	10.9	0.458	11.34
TX 7.7	59.0	16.5	11.8	0.390	15.90
TX 7.8	7.0	5.9	7.4	0.574	4.15
TX 7.9	11.6	6.4	7.4	0.547	7.55
TX 7.1	6.2	5.8	5.3	0.422	4.15
TX 7.11	31.5	8.9	8.8	0.598	11.34
TX 7.12	62.0	11.5	13.2	0.486	7.55
TX 7.13	14.7	7.0	7.8	0.695	6.16
TX 7.14	16.4	7.5	9.0	0.672	6.61
TX-8.11	17.8	7.6	9.4	0.573	9.62
TX-8.13	32.1	8.0	9.8	0.546	12.57
TX-8.14	99.2	15.8	15.3	0.621	9.62
TX-8.15	24.9	9.3	7.3	0.517	15.21
TX-8.16	11.2	6.4	9.8	0.640	7.55
TX-8.17	25.0	9.7	7.7	0.456	16.62
TX - 9.1	27.9	11.0	8.3	0.451	10.75
TX - 9.6	40.9	11.3	13.1	0.618	12.57
TX - 9.7	117.4	20.3	10.6	0.608	24.63
TX - 9.8	24.4	10.2	8.9	0.581	4.91
TX - 9.10	28.3	10.1	12.8	0.493	4.91
TX - 9.11	13.4	8.1	6.0	0.658	1.13
TX - 9.12	53.6	11.6	9.0	0.629	10.75
TX - 9.13	2.9	5.2	4.7	0.375	3.14
TX - 9.14	22.4	8.2	8.3	0.706	5.31
TX - 9.15	19.4	8.3	7.3	0.580	5.73
TX - 10.1	140.2	15.8	12.9	0.576	17.35
TX - 10.2	21.2	7.9	9.9	0.528	7.55
TX - 10.3	864.9	35.1	24.0	0.631	32.17
TX - 10.5	88.9	18.5	15.6	0.410	13.20
TX - 10.6	1147.1	39.8	22.2	0.541	66.48
TX - 10.7	19.2	7.9	10.5	0.502	8.04
TX - 10.8	16.3	7.9	8.4	0.560	9.08
TX - 10.9	118.3	18.4	16.7	0.443	15.90
TX - 10.10	28.3	10.8	10.6	0.461	8.04
TX - 10.11	37.1	9.0	11.5	0.561	14.52
TX - 10.12	134.0	15.4	19.6	0.616	15.90
TX - 10.13	526.1	30.8	23.6	0.464	67.93

Mã cây	AGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3	Ca_m2
TX - 10.14	129.4	16.9	14.5	0.645	23.76
TX - 10.15	341.1	24.5	25.2	0.452	11.34
TX - 11.1	167.4	18.9	13.1	0.520	20.43
TX - 11.2	21.0	8.1	8.9	0.556	5.73
TX - 11.3	150.4	20.1	13.2	0.595	10.75
TX - 11.4	16.6	7.0	8.2	0.530	12.57
TX - 11.5	210.3	16.5	15.0	0.736	38.48
TX - 11.6	102.8	21.7	15.5	0.340	26.42
TX - 11.7	65.3	10.6	10.8	0.717	28.27
TX - 11.8	200.9	22.1	18.0	0.492	28.27
TX - 11.9	402.3	23.2	18.2	0.723	33.18
TX - 11.10	5.0	5.6	8.8	0.395	2.01
TX - 11.11	6.1	6.4	6.1	0.425	3.46
TX - 11.12	41.4	10.2	9.5	0.725	12.57
TX - 11.13	276.6	19.6	15.0	0.882	5.31
TX 12.1	65.4	18.3	4.3	0.564	8.04
TX 12.2	265.5	19.6	16.5	0.767	16.62
TX 12.4	34.4	10.0	11.6	0.598	4.91
TX 12.5	3.9	4.7	5.3	0.622	1.13
TX 12.6	410.1	22.0	21.4	0.756	28.27
TX 12.8	5.9	5.6	4.5	0.480	2.27
TX 12.9	138.5	15.9	19.2	0.683	7.07
TX 12.10	180.4	17.6	17.2	0.751	16.62
TX 13.1	15.8	9.0	7.8	0.611	2.01
TX 13.2	18.0	7.5	8.7	0.660	6.16
TX 13.4	844.7	37.4	24.1	0.617	24.63
TX 14.1	42.2	9.3	11.2	0.877	6.16
TX 14.2	9.8	6.6	6.5	0.632	3.80
TX 14.3	35.4	9.9	13.9	0.610	13.20
TX 14.4	60.9	10.7	14.1	0.744	17.35
TX 14.5	14.8	6.5	11.5	0.681	1.77
TX 14.7	1003.2	42.6	19.1	0.642	120.76
TX 14.8	348.7	22.8	13.5	0.823	26.42
TX 15.1	7.3	5.6	5.5	0.491	26.42
TX 15.2	52.7	11.0	12.0	0.735	9.08
TX 15.3	21.9	9.5	9.7	0.393	4.15
TX 15.5	425.1	34.4	11.3	0.622	16.62
TX 15.6	494.3	38.7	17.3	0.451	18.10
TX-16.1	25.5	7.8	12.5	0.507	3.14
TX-16.2	359.7	23.5	23.4	0.586	40.72
TX-16.3	528.0	23.8	26.8	0.706	16.62
TX-16.5	19.8	7.7	9.4	0.669	1.77
TX-16.6	14.5	7.0	7.4	0.569	7.07

Mã cây	AGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3	Ca_m2
TX-16.7	456.5	25.1	27.0	0.642	12.57
TX-17.2	285.5	24.1	12.1	0.628	26.42
TX-17.3	23.8	8.9	10.3	0.545	10.18
TX-17.4	10.0	6.5	9.7	0.413	5.31
TX-17.5	20.7	8.7	11.3	0.455	5.73
TX 18.1	172.6	18.1	12.1	0.715	13.85
TX 18.2	420.1	25.5	16.0	0.765	33.18
TX 18.3	41.9	9.8	7.5	0.727	4.91
TX-19.1	115.2	14.6	11.3	0.712	18.86
TX-19.2	435.2	31.1	15.0	0.475	33.18
TX-19.3	61.9	12.3	7.1	0.721	8.04
TX-19.4	913.1	33.8	23.0	0.581	67.93
TX-19.5	26.9	10.0	8.3	0.487	13.85
TX-19.6	21.4	10.5	8.6	0.482	7.55
TX-19.7	19.7	7.6	6.3	0.584	5.31
TX-19.8	34.7	11.2	8.4	0.564	11.34
TX-20.1	244.2	23.7	13.4	0.732	41.85
TX-20.2	184.7	18.0	14.6	0.542	47.78
TX-20.3	263.7	22.5	15.6	0.726	13.20
TX-20.4	17.1	7.2	8.5	0.554	3.46
TX-20.5	5.3	5.0	6.3	0.614	4.15
TX-20.6	533.2	30.5	15.8	0.565	13.85
TX-20.8	28.2	8.1	13.2	0.573	5.73
TX-20.9	9.5	6.5	8.1	0.483	8.04

Phụ lục 7: Bộ dữ liệu carbon cây trên mặt đất C(AGB) với các nhân tố điều tra cây rừng

Mã cây	C(AGB)_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 7.1	699.9	47.8	21.0	0.550
TX 7.2	246.6	26.8	14.8	0.641
TX 7.3	7.7	6.8	6.9	0.622
TX 7.4	25.9	10.1	12.5	0.692
TX 7.5	7.4	7.3	9.4	0.596
TX 7.6	16.5	11.4	10.9	0.458
TX 7.7	30.4	16.5	11.8	0.390
TX 7.8	3.1	5.9	7.4	0.574
TX 7.9	5.8	6.4	7.4	0.547
TX 7.1	2.9	5.8	5.3	0.422
TX 7.11	15.6	8.9	8.8	0.598
TX 7.12	31.5	11.5	13.2	0.486
TX 7.13	7.4	7.0	7.8	0.695
TX 7.14	6.3	7.5	9.0	0.672
TX-8.1	484.0	38.6	22.0	0.527
TX-8.3	176.9	24.4	22.0	0.549
TX-8.4	357.6	34.5	19.5	0.602
TX-8.5	32.2	16.6	10.2	0.404
TX-8.6	27.5	11.6	11.0	0.562
TX-8.7	332.5	33.1	19.6	0.586
TX-8.8	234.1	24.0	14.6	0.501
TX-8.9	234.7	31.6	21.5	0.462
TX - 10.1	74.4	15.8	12.9	0.576
TX - 10.2	10.7	7.9	9.9	0.528
TX - 10.3	481.2	35.1	24.0	0.631
TX - 10.4	134.0	16.5	20.8	0.575
TX - 10.5	50.9	18.5	15.6	0.410
TX - 10.6	600.4	39.8	22.2	0.541
TX - 10.7	9.8	7.9	10.5	0.502
TX - 10.8	8.9	7.9	8.4	0.560
TX - 10.9	64.0	18.4	16.7	0.443
TX - 10.10	15.4	10.8	10.6	0.461
TX - 10.11	18.5	9.0	11.5	0.561
TX - 10.12	75.0	15.4	19.6	0.616
TX - 10.13	295.6	30.8	23.6	0.464
TX - 10.14	69.7	16.9	14.5	0.645
TX - 10.15	179.1	24.5	25.2	0.452
TX - 11.1	85.2	18.9	13.1	0.520
TX - 11.2	9.9	8.1	8.9	0.556
TX - 11.3	82.5	20.1	13.2	0.595
TX - 11.4	8.8	7.0	8.2	0.530

Mã cây	C(AGB)_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX - 11.5	106.6	16.5	15.0	0.736
TX - 11.6	59.3	21.7	15.5	0.340
TX - 11.7	31.9	10.6	10.8	0.717
TX - 11.8	109.1	22.1	18.0	0.492
TX - 11.9	212.2	23.2	18.2	0.723
TX - 11.10	2.8	5.6	8.8	0.395
TX - 11.11	3.4	6.4	6.1	0.425
TX - 11.12	21.8	10.2	9.5	0.725
TX - 11.13	139.6	19.6	15.0	0.882
TX 12.1	34.1	18.3	4.3	0.564
TX 12.2	146.7	19.6	16.5	0.767
TX 12.3	401.6	36.4	18.5	0.426
TX 12.4	19.2	10.0	11.6	0.598
TX 12.5	2.1	4.7	5.3	0.622
TX 12.6	226.4	22.0	21.4	0.756
TX 12.7	528.4	32.4	23.9	0.746
TX 12.8	3.1	5.6	4.5	0.480
TX 12.9	73.4	15.9	19.2	0.683
TX 12.10	96.9	17.6	17.2	0.751
TX 1.1 TA	5.6	7.0	8.5	0.326
TX 1.2 TA	80.1	17.0	13.9	0.315
TX 1.3 TA	327.0	36.0	19.5	0.269
TX 1.4 TA	228.5	26.0	17.5	0.345
TX 1.5 TA	549.7	41.0	23.8	0.298
TX 1.6 TA	308.7	34.0	18.3	0.288
TX 2.1 TA	50.9	20.0	14.8	0.235
TX 2.2 TA	7.5	8.5	9.0	0.304
TX 2.3 TA	21.7	14.0	12.6	0.265
TX 2.4 TA	2.9	6.5	8.8	0.219
TX 3.1 TA	72.2	17.0	14.8	0.330
TX 3.2 TA	116.3	26.0	13.5	0.357
TX 3.4 TA	246.6	33.0	27.3	0.212
TX 3.5 TA	244.1	37.0	21.8	0.156
TX 3.6 TA	719.0	56.0	24.7	0.272
TX 3.7 TA	8.3	8.5	10.5	0.303
TX 3.8 TA	632.6	45.0	25.0	0.319
TX 4.1 TA	18.8	9.8	12.5	0.353
TX 4.2 TA	183.8	25.4	21.0	0.369
TX 4.3 TA	951.8	53.5	23.5	0.447
TX 4.4 TA	663.1	49.0	22.8	0.425
TX 4.5 TA	37.5	15.2	17.0	0.224
TX 4.6 TA	342.3	32.5	23.0	0.404
TX 5.1 TA	7.8	8.5	12.4	0.203

Mã cây	C(AGB)_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 5.2 TA	34.3	16.0	13.0	0.329
TX 5.3 TA	5.6	8.0	7.8	0.286
TX 5.4 TA	22.8	14.0	14.8	0.197
TX 6.1 TA	23.2	9.0	11.6	0.597
TX 6.2 TA	580.3	46.0	25.0	0.356
TX 6.3 TA	647.5	52.5	26.2	0.310
TX 6.4 TA	91.5	23.0	16.5	0.320
TX 6.5 TA	282.0	30.5	24.2	0.320
TX 6.6 TA	91.5	18.0	16.5	0.508

Phụ lục 8: Dữ liệu carbon trên mặt đất C(AGB) với biến DBH, H, WD, Ca

Mã cây	C(AGB)_kg/tree	DBH_cm	Ca_m2	H_m	WD_g_cm3
TX 7.1	699.9	47.8	51.53	21.0	0.550
TX 7.2	246.6	26.8	35.26	14.8	0.641
TX 7.3	7.7	6.8	7.07	6.9	0.622
TX 7.4	25.9	10.1	4.91	12.5	0.692
TX 7.5	7.4	7.3	10.75	9.4	0.596
TX 7.6	16.5	11.4	11.34	10.9	0.458
TX 7.7	30.4	16.5	15.90	11.8	0.390
TX 7.8	3.1	5.9	4.15	7.4	0.574
TX 7.9	5.8	6.4	7.55	7.4	0.547
TX 7.1	2.9	5.8	4.15	5.3	0.422
TX 7.11	15.6	8.9	11.34	8.8	0.598
TX 7.12	31.5	11.5	7.55	13.2	0.486
TX 7.13	7.4	7.0	6.16	7.8	0.695
TX 7.14	6.3	7.5	6.61	9.0	0.672
TX - 10.1	74.4	15.8	17.35	12.9	0.576
TX - 10.2	10.7	7.9	7.55	9.9	0.528
TX - 10.3	481.2	35.1	32.17	24.0	0.631
TX - 10.4	134.0	16.5	18.10	20.8	0.575
TX - 10.5	50.9	18.5	13.20	15.6	0.410
TX - 10.6	600.4	39.8	66.48	22.2	0.541
TX - 10.7	9.8	7.9	8.04	10.5	0.502
TX - 10.8	8.9	7.9	9.08	8.4	0.560
TX - 10.9	64.0	18.4	15.90	16.7	0.443
TX - 10.10	15.4	10.8	8.04	10.6	0.461
TX - 10.11	18.5	9.0	14.52	11.5	0.561
TX - 10.12	75.0	15.4	15.90	19.6	0.616
TX - 10.13	295.6	30.8	67.93	23.6	0.464
TX - 10.14	69.7	16.9	23.76	14.5	0.645
TX - 10.15	179.1	24.5	11.34	25.2	0.452
TX - 11.1	85.2	18.9	20.43	13.1	0.520
TX - 11.2	9.9	8.1	5.73	8.9	0.556
TX - 11.3	82.5	20.1	10.75	13.2	0.595
TX - 11.4	8.8	7.0	12.57	8.2	0.530
TX - 11.5	106.6	16.5	38.48	15.0	0.736
TX - 11.6	59.3	21.7	26.42	15.5	0.340
TX - 11.7	31.9	10.6	28.27	10.8	0.717
TX - 11.8	109.1	22.1	28.27	18.0	0.492
TX - 11.9	212.2	23.2	33.18	18.2	0.723
TX - 11.10	2.8	5.6	2.01	8.8	0.395
TX - 11.11	3.4	6.4	3.46	6.1	0.425
TX - 11.12	21.8	10.2	12.57	9.5	0.725

Mã cây	C(AGB)_kg/tree	DBH_cm	Ca_m2	H_m	WD_g_cm3
TX - 11.13	139.6	19.6	5.31	15.0	0.882
TX 12.1	34.1	18.3	8.04	4.3	0.564
TX 12.2	146.7	19.6	16.62	16.5	0.767
TX 12.4	19.2	10.0	4.91	11.6	0.598
TX 12.5	2.1	4.7	1.13	5.3	0.622
TX 12.6	226.4	22.0	28.27	21.4	0.756
TX 12.8	3.1	5.6	2.27	4.5	0.480
TX 12.9	73.4	15.9	7.07	19.2	0.683
TX 12.10	96.9	17.6	16.62	17.2	0.751

Phụ lục 9: Bộ dữ liệu sinh khối dưới mặt đất (BGB) với các nhân tố điều tra cây rừng

Mã cây	BGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 7.1	175.8	47.8	21.0	0.550
TX 7.2	48.6	26.8	14.8	0.641
TX 7.3	2.4	6.8	6.9	0.622
TX 7.4	3.9	10.1	12.5	0.692
TX 7.5	2.2	7.3	9.4	0.596
TX 7.6	3.4	11.4	10.9	0.458
TX 7.7	6.1	16.5	11.8	0.390
TX 7.8	1.5	5.9	7.4	0.574
TX 7.9	0.9	6.4	7.4	0.547
TX 7.1	0.8	5.8	5.3	0.422
TX 7.11	3.3	8.9	8.8	0.598
TX 7.12	4.7	11.5	13.2	0.486
TX 7.13	1.5	7.0	7.8	0.695
TX 7.14	2.2	7.5	9.0	0.672
TX-8.1	84.4	38.6	22.0	0.527
TX-8.2	35.8	28.3	21.0	0.407
TX-8.3	66.4	24.4	22.0	0.549
TX-8.4	68.1	34.5	19.5	0.602
TX-8.5	19.1	16.6	10.2	0.404
TX-8.6	5.4	11.6	11.0	0.562
TX-8.7	51.9	33.1	19.6	0.586
TX-8.8	81.1	24.0	14.6	0.501
TX-8.9	83.5	31.6	21.5	0.462
TX-8.10	8.5	12.3	13.2	0.513
TX-8.11	2.7	7.6	9.4	0.573
TX-8.13	5.2	8.0	9.8	0.546
TX-8.14	28.5	15.8	15.3	0.621
TX-8.15	3.4	9.3	7.3	0.517
TX-8.16	1.3	6.4	9.8	0.640
TX-8.17	4.8	9.7	7.7	0.456
TX - 9.1	6.4	11.0	8.3	0.451
TX - 9.2	33.8	17.8	15.5	0.507
TX - 9.3	21.0	13.7	10.0	0.641
TX - 9.4	6.7	11.2	11.6	0.540
TX - 9.5	5.4	10.2	10.2	0.476
TX - 9.6	10.9	11.3	13.1	0.618
TX - 9.7	61.3	20.3	10.6	0.608
TX - 9.8	4.2	10.2	8.9	0.581
TX - 9.9	24.1	15.5	10.7	0.457
TX - 9.10	3.7	10.1	12.8	0.493
TX - 9.11	2.1	8.1	6.0	0.658

Mã cây	BGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX - 9.12	10.8	11.6	9.0	0.629
TX - 9.13	0.6	5.2	4.7	0.375
TX - 9.14	4.2	8.2	8.3	0.706
TX - 9.15	3.5	8.3	7.3	0.580
TX - 10.2	2.5	7.9	9.9	0.528
TX - 10.8	3.8	7.9	8.4	0.560
TX - 10.10	3.3	10.8	10.6	0.461
TX - 10.11	5.5	9.0	11.5	0.561
TX - 11.2	2.4	8.1	8.9	0.556
TX - 11.4	1.3	7.0	8.2	0.530
TX - 11.7	10.8	10.6	10.8	0.717
TX - 11.10	0.7	5.6	8.8	0.395
TX - 11.11	1.3	6.4	6.1	0.425
TX - 11.12	6.5	10.2	9.5	0.725
TX 12.1	21.1	18.3	4.3	0.564
TX 12.2	50.5	19.6	16.5	0.767
TX 12.3	117.8	36.4	18.5	0.426
TX 12.4	4.5	10.0	11.6	0.598
TX 12.5	0.5	4.7	5.3	0.622
TX 12.8	1.3	5.6	4.5	0.480
TX 13.1	9.3	9.0	7.8	0.611
TX 13.2	4.1	7.5	8.7	0.660
TX 14.1	5.9	9.3	11.2	0.877
TX 14.2	2.5	6.6	6.5	0.632
TX 14.3	6.6	9.9	13.9	0.610
TX 14.4	10.2	10.7	14.1	0.744
TX 14.5	2.1	6.5	11.5	0.681
TX 15.1	1.1	5.6	5.5	0.491
TX 15.2	7.8	11.0	12.0	0.735
TX 15.3	2.7	9.5	9.7	0.393
TX-16.1	2.2	7.8	12.5	0.507
TX-16.5	5.5	7.7	9.4	0.669
TX-16.6	2.3	7.0	7.4	0.569
TX-17.3	3.6	8.9	10.3	0.545
TX-17.4	1.1	6.5	9.7	0.413
TX-17.5	3.5	8.7	11.3	0.455
TX 18.3	5.6	9.8	7.5	0.727
TX-19.3	13.7	12.3	7.1	0.721
TX-19.5	4.7	10.0	8.3	0.487
TX-19.6	2.1	10.5	8.6	0.482
TX-19.7	3.1	7.6	6.3	0.584
TX-19.8	6.0	11.2	8.4	0.564
TX-20.5	1.1	5.0	6.3	0.614
TX-20.8	7.1	8.1	13.2	0.573

Mã cây	BGB_kg	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX-20.9	3.0	6.5	8.1	0.483
TX-1Đ.1R	34.0	20.5	18.8	0.602
TX-1Đ.2R	51.5	25.4	17.2	0.490
TX-1Đ.3R	75.9	29.5	20.3	0.308
TX-1Đ.4R	87.3	32.5	19.6	0.504
TX-1Đ.5R	78.9	40.0	16.4	0.739
TX-1Đ.6R	13.0	23.4	14.8	0.374
TX-1Đ.7R	31.1	20.7	15.4	0.767
TX-1Đ.8R	19.9	15.6	13.6	0.672
TX-1Đ.9R	28.6	15.5	9.3	0.870
TX-1Đ.10R	127.2	31.7	20.1	0.930
TX-1Đ.11R	80.2	44.0	24.5	0.398
TX-1Đ.12R	52.7	32.4	18.9	0.790
TX-1Đ.13R	26.7	24.1	12.1	0.689
TX-1Đ.14R	85.0	24.2	10.0	0.714
TX-1Đ.15R	90.9	41.5	27.3	0.553
TX-1Đ.16R	10.1	21.2	12.8	0.330
TX-1Đ.17R	95.6	46.1	32.5	0.551
TX2.2R	47.5	20.8	22.5	0.596
TX2.3R	12.1	21.6	23.5	0.171

Phụ lục 10: Bộ dữ liệu carbon dưới mặt đất C(BGB) với các nhân tố điều tra cây rừng

Mã cây	C(BGB)_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX 7.1	86.8	47.8	21.0	0.550
TX 7.2	23.0	26.8	14.8	0.641
TX 7.3	1.2	6.8	6.9	0.622
TX 7.4	1.6	10.1	12.5	0.692
TX 7.5	0.8	7.3	9.4	0.596
TX 7.6	1.3	11.4	10.9	0.458
TX 7.7	2.9	16.5	11.8	0.390
TX 7.8	0.7	5.9	7.4	0.574
TX 7.9	0.3	6.4	7.4	0.547
TX 7.1	0.4	5.8	5.3	0.422
TX 7.11	1.6	8.9	8.8	0.598
TX 7.12	2.4	11.5	13.2	0.486
TX 7.13	0.6	7.0	7.8	0.695
TX 7.14	1.1	7.5	9.0	0.672
TX-8.1	45.8	38.6	22.0	0.527
TX-8.2	83.1	28.3	21.0	0.407
TX-8.3	34.6	24.4	22.0	0.549
TX-8.4	25.6	34.5	19.5	0.602
TX-8.5	9.1	16.6	10.2	0.404
TX-8.6	3.1	11.6	11.0	0.562
TX-8.7	24.3	33.1	19.6	0.586
TX-8.8	40.2	24.0	14.6	0.501
TX-8.9	41.7	31.6	21.5	0.462
TX - 10.2	1.2	7.9	9.9	0.528
TX - 10.8	1.9	7.9	8.4	0.560
TX - 10.10	0.7	10.8	10.6	0.461
TX - 10.11	2.3	9.0	11.5	0.561
TX - 11.2	1.0	8.1	8.9	0.556
TX - 11.4	0.6	7.0	8.2	0.530
TX - 11.7	5.0	10.6	10.8	0.717
TX - 11.10	0.3	5.6	8.8	0.395
TX - 11.11	0.7	6.4	6.1	0.425
TX - 11.12	3.4	10.2	9.5	0.725
TX 12.1	11.2	18.3	4.3	0.564
TX 12.2	19.8	19.6	16.5	0.767
TX 12.3	63.6	36.4	18.5	0.426
TX 12.4	2.3	10.0	11.6	0.598
TX 12.5	0.2	4.7	5.3	0.622
TX 12.8	0.6	5.6	4.5	0.480
TX-1Đ.1R	16.5	20.5	18.8	0.602
TX-1Đ.2R	23.7	25.4	17.2	0.490

Mã cây	C(BGB)_kg/tree	DBH_cm	H_m	WD_g_cm3
TX-1Đ.3R	29.4	29.5	20.3	0.308
TX-1Đ.4R	37.6	32.5	19.6	0.504
TX-1Đ.5R	35.6	40.0	16.4	0.739
TX-1Đ.6R	6.4	23.4	14.8	0.374
TX-1Đ.7R	5.8	20.7	15.4	0.767
TX-1Đ.8R	9.1	15.6	13.6	0.672
TX-1Đ.9R	12.7	15.5	9.3	0.870
TX-1Đ.10R	61.6	31.7	20.1	0.930
TX-1Đ.11R	42.7	44.0	24.5	0.398
TX-1Đ.12R	23.0	32.4	18.9	0.790
TX-1Đ.13R	7.9	24.1	12.1	0.689
TX-1Đ.14R	39.7	24.2	10.0	0.714
TX-1Đ.15R	43.1	41.5	27.3	0.553
TX-1Đ.16R	3.4	21.2	12.8	0.330
TX-1Đ.17R	31.5	46.1	32.5	0.551
TX2.2R	23.1	20.8	22.5	0.596
TX2.3R	5.1	21.6	23.5	0.171

Phụ lục 11: Bộ dữ liệu C(AGB), AGB và V

Mã cây	AGB_kg/tree	C(AGB)_kg/tree	V_m3
TX 5.1	50.1	19.3	0.090
TX 5.2	30.3	11.7	0.058
TX 5.3	36.6	14.2	0.073
TX 5.4	46.0	18.4	0.092
TX 5.5	16.8	6.6	0.033
TX 5.6	21.2	8.1	0.042
TX 5.7	10.1	3.9	0.017
TX 5.8	7.3	2.8	0.014
TX 5.9	5.0	2.0	0.011
TX 6.1	369.5	149.5	0.605
TX 6.2	45.2	17.7	0.126
TX 6.3	133.4	50.8	0.229
TX 6.4	14.0	5.5	0.027
TX 6.5	13.5	5.4	0.022
TX 6.6	33.4	12.6	0.036
TX 6.7	11.1	4.4	0.015
TX 6.8	3149.3	1204.4	4.470
TX 7.1	1631.1	699.9	2.082
TX 7.2	501.4	246.6	0.486
TX 7.3	15.4	7.7	0.018
TX 7.4	52.9	25.9	0.079
TX 7.5	16.0	7.4	0.022
TX 7.6	32.2	16.5	0.060
TX 7.7	59.0	30.4	0.124
TX 7.8	7.0	3.1	0.010
TX 7.9	11.6	5.8	0.016
TX 7.1	6.2	2.9	0.009
TX 7.11	31.5	15.6	0.045
TX 7.12	62.0	31.5	0.096
TX 7.13	14.7	7.4	0.019
TX 7.14	16.4	6.3	0.021
TX-8.1	865.3	484.0	1.420
TX-8.3	319.3	176.9	0.512
TX-8.4	648.0	357.6	0.968
TX-8.5	55.8	32.2	0.130
TX-8.6	47.4	27.5	0.069
TX-8.7	672.3	332.5	0.896
TX-8.8	448.5	234.1	0.463
TX-8.9	437.7	234.7	0.772
TX - 10.1	140.2	74.4	0.173
TX - 10.2	21.2	10.7	0.032
TX - 10.3	864.9	481.2	1.183

Mã cây	AGB_kg/tree	C(AGB)_kg/tree	V_m3
TX - 10.4	261.8	134.0	0.385
TX - 10.5	88.9	50.9	0.195
TX - 10.6	1147.1	600.4	1.653
TX - 10.7	19.2	9.8	0.033
TX - 10.8	16.3	8.9	0.027
TX - 10.9	118.3	64.0	0.217
TX - 10.10	28.3	15.4	0.057
TX - 10.11	37.1	18.5	0.055
TX - 10.12	134.0	75.0	0.205
TX - 10.13	526.1	295.6	0.967
TX - 10.14	129.4	69.7	0.158
TX - 10.15	341.1	179.1	0.641
TX - 11.1	167.4	85.2	0.204
TX - 11.2	21.0	9.9	0.030
TX - 11.3	150.4	82.5	0.218
TX - 11.4	16.6	8.8	0.019
TX - 11.5	210.3	106.6	0.196
TX - 11.6	102.8	59.3	0.256
TX - 11.7	65.3	31.9	0.071
TX - 11.8	200.9	109.1	0.331
TX - 11.9	402.3	212.2	0.458
TX - 11.10	5.0	2.8	0.013
TX - 11.11	6.1	3.4	0.012
TX - 11.12	41.4	21.8	0.068
TX - 11.13	276.6	139.6	0.266
TX 12.1	65.4	34.1	0.071
TX 12.2	265.5	146.7	0.252
TX 12.3	733.6	401.6	1.025
TX 12.4	34.4	19.2	0.058
TX 12.5	3.9	2.1	0.007
TX 12.6	410.1	226.4	0.461
TX 12.7	944.3	528.4	0.887
TX 12.8	5.9	3.1	0.008
TX 12.9	138.5	73.4	0.181
TX 12.10	180.4	96.9	0.200
TX 1.1 TA	13.8	5.6	0.027
TX 1.2 TA	201.4	80.1	0.234
TX 1.3 TA	762.4	327.0	1.258
TX 1.4 TA	554.3	228.5	0.654
TX 1.5 TA	1385.5	549.7	2.207
TX 1.6 TA	716.7	308.7	1.024
TX 2.1 TA	126.2	50.9	0.330
TX 2.2 TA	18.3	7.5	0.039

Mã cây	AGB_kg/tree	C(AGB)_kg/tree	V_m3
TX 2.3 TA	52.0	21.7	0.149
TX 2.4 TA	7.1	2.9	0.026
TX 3.1 TA	182.1	72.2	0.264
TX 3.2 TA	274.4	116.3	0.397
TX 3.3 TA	18.0	7.4	0.019
TX 3.4 TA	611.5	246.6	2.131
TX 3.5 TA	660.0	244.1	1.619
TX 3.6 TA	1860.0	719.0	3.637
TX 3.7 TA	25.3	8.3	0.053
TX 3.8 TA	1497.7	632.6	2.756
TX 4.1 TA	44.6	18.8	0.090
TX 4.2 TA	435.1	183.8	0.899
TX 4.3 TA	2159.2	951.8	3.104
TX 4.4 TA	1600.5	663.1	2.596
TX 4.5 TA	99.9	37.5	0.296
TX 4.6 TA	844.7	342.3	1.502
TX 5.1 TA	18.8	7.8	0.073
TX 5.2 TA	79.3	34.3	0.190
TX 5.3 TA	12.8	5.6	0.027
TX 5.4 TA	52.2	22.8	0.202
TX 6.1 TA	57.0	23.2	0.069
TX 6.2 TA	1359.9	580.3	2.841
TX 6.3 TA	1580.7	647.5	3.727
TX 6.4 TA	230.6	91.5	0.493
TX 6.5 TA	678.6	282.0	1.517
TX 6.6 TA	222.8	91.5	0.352

Phụ lục 12: Bộ dữ liệu AGB và BGB

Mã cây	AGB_kg/tree	BGB_kg/tree
TX 7.1	1631.1	175.8
TX 7.2	501.4	48.6
TX 7.3	15.4	2.4
TX 7.4	52.9	3.9
TX 7.5	16.0	2.2
TX 7.6	32.2	3.4
TX 7.7	59.0	6.1
TX 7.8	7.0	1.5
TX 7.9	11.6	0.9
TX 7.1	6.2	0.8
TX 7.11	31.5	3.3
TX 7.12	62.0	4.7
TX 7.13	14.7	1.5
TX 7.14	16.4	2.2
TX-8.1	865.3	84.4
TX-8.2	285.9	35.8
TX-8.3	319.3	66.4
TX-8.4	648.0	68.1
TX-8.5	55.8	19.1
TX-8.6	47.4	5.4
TX-8.7	672.3	51.9
TX-8.8	448.5	81.1
TX-8.9	437.7	83.5
TX-8.10	18.2	8.5
TX-8.11	17.8	2.7
TX-8.13	32.1	5.2
TX-8.14	99.2	28.5
TX-8.15	24.9	3.4
TX-8.16	11.2	1.3
TX-8.17	25.0	4.8
TX - 9.1	27.9	6.4
TX - 9.2	46.6	33.8
TX - 9.6	40.9	10.9
TX - 9.7	117.4	61.3
TX - 9.8	24.4	4.2
TX - 9.10	28.3	3.7
TX - 9.11	13.4	2.1
TX - 9.12	53.6	10.8
TX - 9.13	2.9	0.6
TX - 9.14	22.4	4.2
TX - 9.15	19.4	3.5
TX - 10.2	21.2	2.5

Mã cây	AGB_kg/tree	BGB_kg/tree
TX - 10.8	16.3	3.8
TX - 10.10	28.3	3.3
TX - 10.11	37.1	5.5
TX - 11.2	21.0	2.4
TX - 11.4	16.6	1.3
TX - 11.7	65.3	10.8
TX - 11.10	5.0	0.7
TX - 11.11	6.1	1.3
TX - 11.12	41.4	6.5
TX 12.1	65.4	21.1
TX 12.2	265.5	50.5
TX 12.3	733.6	117.8
TX 12.4	34.4	4.5
TX 12.5	3.9	0.5
TX 12.8	5.9	1.3
TX 13.1	15.8	9.3
TX 13.2	18.0	4.1
TX 14.1	42.2	5.9
TX 14.2	9.8	2.5
TX 14.3	35.4	6.6
TX 14.4	60.9	10.2
TX 14.5	14.8	2.1
TX 15.1	7.3	1.1
TX 15.2	52.7	7.8
TX 15.3	21.9	2.7
TX-16.1	25.5	2.2
TX-16.5	19.8	5.5
TX-16.6	14.5	2.3
TX-17.3	23.8	3.6
TX-17.4	10.0	1.1
TX-17.5	20.7	3.5
TX 18.3	41.9	5.6
TX-19.3	61.9	13.7
TX-19.5	26.9	4.7
TX-19.6	21.4	2.1
TX-19.7	19.7	3.1
TX-19.8	34.7	6.0
TX-20.5	5.3	1.1
TX-20.8	28.2	7.1
TX-20.9	9.5	3.0

Phụ lục 13: Bộ dữ liệu C(BGB) và BGB

Mã cây	BGB_kg	C(BGB)_kg
TX 7.1	175.8	86.8
TX 7.2	48.6	23.0
TX 7.3	2.4	1.2
TX 7.4	3.9	1.6
TX 7.5	2.2	0.8
TX 7.6	3.4	1.3
TX 7.7	6.1	2.9
TX 7.8	1.5	0.7
TX 7.9	0.9	0.3
TX 7.1	0.8	0.4
TX 7.11	3.3	1.6
TX 7.12	4.7	2.4
TX 7.13	1.5	0.6
TX 7.14	2.2	1.1
TX-8.1	84.4	45.8
TX-8.3	66.4	34.6
TX-8.4	68.1	25.6
TX-8.5	19.1	9.1
TX-8.6	5.4	3.1
TX-8.7	51.9	24.3
TX-8.8	81.1	40.2
TX-8.9	83.5	41.7
TX - 10.2	2.5	1.2
TX - 10.8	3.8	1.9
TX - 10.10	3.3	0.7
TX - 10.11	5.5	2.3
TX - 11.2	2.4	1.0
TX - 11.4	1.3	0.6
TX - 11.7	10.8	5.0
TX - 11.10	0.7	0.3
TX - 11.11	1.3	0.7
TX - 11.12	6.5	3.4
TX 12.1	21.1	11.2
TX 12.2	50.5	19.8
TX 12.3	117.8	63.6
TX 12.4	4.5	2.3
TX 12.5	0.5	0.2
TX 12.8	1.3	0.6
TX-1Đ.1R	34.0	16.5
TX-1Đ.2R	51.5	23.7
TX-1Đ.3R	75.9	29.4
TX-1Đ.4R	87.3	37.6

Mã cây	BGB_kg	C(BGB)_kg
TX-1Đ.5R	78.9	35.6
TX-1Đ.6R	13.0	6.4
TX-1Đ.8R	19.9	9.1
TX-1Đ.9R	28.6	12.7
TX-1Đ.10R	127.2	61.6
TX-1Đ.11R	80.2	42.7
TX-1Đ.12R	52.7	23.0
TX-1Đ.13R	26.7	7.9
TX-1Đ.14R	85.0	39.7
TX-1Đ.15R	90.9	43.1
TX-1Đ.16R	10.1	3.4
TX-1Đ.17R	95.6	31.5
TX2.1R	44.2	23.3
TX2.2R	47.5	23.1
TX2.3R	12.1	5.1
TX2.4R	30.4	14.0
TX2.5R	14.8	6.7

Phụ lục 14: Bộ dữ liệu C(BGB) và BGB

Mã cây	C(BGB)_kg/tree	C(AGB)_kg/tree
TX 7.1	86.8	699.9
TX 7.2	23.0	246.6
TX 7.3	1.2	7.7
TX 7.4	1.6	25.9
TX 7.5	0.8	7.4
TX 7.6	1.3	16.5
TX 7.7	2.9	30.4
TX 7.8	0.7	3.1
TX 7.9	0.3	5.8
TX 7.1	0.4	2.9
TX 7.11	1.6	15.6
TX 7.12	2.4	31.5
TX 7.13	0.6	7.4
TX 7.14	1.1	6.3
TX-8.1	45.8	484.0
TX-8.3	34.6	176.9
TX-8.4	25.6	357.6
TX-8.5	9.1	32.2
TX-8.6	3.1	27.5
TX-8.7	24.3	332.5
TX-8.8	40.2	234.1
TX-8.9	41.7	234.7
TX - 10.2	1.2	10.7
TX - 10.8	1.9	8.9
TX - 10.10	0.7	15.4
TX - 10.11	2.3	18.5
TX - 11.2	1.0	9.9
TX - 11.4	0.6	8.8
TX - 11.7	5.0	31.9
TX - 11.10	0.3	2.8
TX - 11.11	0.7	3.4
TX - 11.12	3.4	21.8
TX 12.1	11.2	34.1
TX 12.2	19.8	146.7
TX 12.3	63.6	401.6
TX 12.4	2.3	19.2
TX 12.5	0.2	2.1
TX 12.8	0.6	3.1

Phụ lục 15: Bộ dữ liệu H/DBH

DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m	DBH_cm	H_m
4.7	5.3	7	7.4	8.5	9	9.9	13.9	13	13.8	17.1	16.1	23.5	23.4	31.1	15
5	7.9	7	8.5	8.5	10.5	10	11.6	13	15.2	17.6	17.2	23.7	13.4	31.6	21.5
5	6.3	7	7.1	8.5	12.4	10	8.3	13.1	9.4	17.8	15.5	23.8	26.8	31.7	20.1
5.1	7.1	7.1	10.4	8.6	8	10.1	12.5	13.7	10	18	14.6	24	20.4	32.4	23.9
5.2	4.7	7.2	7.6	8.6	9.9	10.1	12.8	14	18.7	18	16.5	24	14.6	32.4	18.9
5.3	6.9	7.2	8.5	8.6	9.5	10.2	10.2	14	12.6	18.1	12.1	24.1	12.1	32.5	23
5.6	8.8	7.3	9.4	8.7	6.5	10.2	8.9	14	14.8	18.3	15.3	24.1	12.1	32.5	19.6
5.6	4.5	7.3	10	8.7	11.3	10.2	9.5	14.1	10.3	18.4	16.7	24.2	10	33	27.3
5.6	5.5	7.5	9	8.8	13.1	10.5	8.6	14.6	11.3	18.5	15.6	24.4	16	33.1	19.6
5.7	8.7	7.5	8.7	8.8	10.5	10.6	10.8	15	14.4	18.9	13.1	24.4	22	33.8	23
5.8	5.3	7.6	10.2	8.8	9.6	10.7	14.1	15.1	14.1	19.3	17.5	24.5	25.2	34	18.25
5.9	7.4	7.6	9.4	8.9	6.5	10.8	9.7	15.2	17	19.6	15	24.8	14.2	34.5	19.5
6.1	5.5	7.6	6.3	8.9	8.8	10.8	10.6	15.4	9.8	19.6	16.5	25.1	27	35.1	24
6.4	7.4	7.7	9.4	8.9	10.3	11	8.3	15.4	19.6	20	14.8	25.4	21	36	19.5
6.4	9.8	7.7	9.4	9	12.4	11	12	15.5	10.7	20.1	13.2	25.4	17.2	36.4	18.5
6.4	6.1	7.8	12.5	9	11.5	11.1	12.56	15.5	9.3	20.3	10.6	25.5	16	37	21.8
6.5	8	7.9	9.9	9	7.8	11.2	11.6	15.6	13.6	20.5	18.8	26	17.5	37.4	24.1
6.5	7.5	7.9	10.5	9	11.6	11.2	8.4	15.8	15.3	20.7	15.4	26	13.5	38.6	22
6.5	11.5	7.9	8.4	9.3	7.3	11.3	13.1	15.8	12.9	20.8	22.5	26.5	17.5	38.7	17.3
6.5	9.7	8	9.8	9.3	11.2	11.4	10.9	15.9	19.2	21.2	12.8	26.8	20.5	39.8	22.2
6.5	8.1	8	7.8	9.4	8	11.5	13.2	16	13	21.6	23.5	26.8	14.8	40	16.4
6.5	8.8	8.1	6	9.4	9.1	11.6	11	16.2	10.5	21.7	15.5	27.1	18.8	40.4	22
6.6	6.5	8.1	8.9	9.5	9.7	11.6	9	16.5	11.8	22	21.4	27.5	15.4	41	23.8
6.7	3.9	8.1	13.2	9.7	10.7	11.9	12.8	16.5	20.8	22.1	18	28.3	21	41.5	27.3
6.8	6.3	8.2	11.9	9.7	7.7	12.1	12.7	16.5	15	22.5	15.6	28.7	21.9	42.6	19.1
6.8	6.9	8.2	8.3	9.8	16.6	12.2	8.8	16.6	10.2	22.8	13.5	29.5	20.3	44	24.5
7	9.5	8.3	7	9.8	7.5	12.3	13.2	16.9	14.5	23	16.5	30.5	15.8	45	25
7	7.8	8.3	7.3	9.8	12.5	12.3	7.1	17	13.9	23.2	18.2	30.5	24.2	46	25
7	8.2	8.3	9.2	9.9	11	12.6	15.3	17	14.8	23.4	14.8	30.8	23.6	46.1	32.5
47.8	21	49	22.8	52.5	26.2	53.5	23.5	55.4	26.5	56	24.7	56.7	22.9	60.8	22
														76	27.5

Phụ lục 16: Bộ dữ liệu V theo DBH và H

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX 1.1	55.4	26.5	3.365
TX 1.2	6.7	3.9	0.009
TX 1.3	8.6	8.0	0.024
TX 1.4	7.0	9.5	0.024
TX 1.5	9.4	8.0	0.035
TX 1.6	6.1	5.5	0.009
TX 1.7	5.1	7.1	0.010
TX 1.8	19.3	17.5	0.283
TX 1.9	13.0	13.8	0.106
TX 1.1	12.1	12.7	0.081
TX 1.11	13.1	9.4	0.082
TX 1.12	27.1	18.8	0.635
TX 1.13	27.5	15.4	0.543
TX 2.1	8.3	7.0	0.023
TX 2.2	9.0	12.4	0.054
TX 2.3	8.6	9.9	0.036
TX 2.4	7.2	7.6	0.018
TX 2.5	7.1	10.4	0.020
TX 2.6	9.7	10.7	0.047
TX 2.7	60.8	22.0	2.787
TX 3.1	24.0	20.4	0.690
TX 3.2	12.6	15.3	0.104
TX 3.3	8.8	13.1	0.053
TX 3.4	15.1	14.1	0.150
TX 3.5	11.1	12.6	0.073
TX 3.6	7.7	9.4	0.023
TX 3.7	56.7	22.9	2.689
TX 3.8	9.9	11.0	0.055
TX 3.9	5.3	6.9	0.011
TX 4.1	5.7	8.7	0.018
TX 4.2	8.2	11.9	0.035
TX 4.3	8.8	10.5	0.033
TX 4.4	7.6	10.2	0.027
TX 4.5	11.9	12.8	0.094
TX 4.6	17.1	16.1	0.222
TX 4.7	24.4	16.0	0.530
TX 4.8	40.4	22.0	1.402
TX 5.1	15.4	9.8	0.090
TX 5.2	10.8	9.7	0.058
TX 5.3	12.2	8.8	0.073
TX 5.4	14.1	10.3	0.092
TX 5.5	8.8	9.6	0.033

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX 5.6	9.4	9.1	0.042
TX 5.7	6.5	8.0	0.017
TX 5.8	6.5	7.5	0.014
TX 5.9	5.0	7.9	0.011
TX 6.1	26.8	20.5	0.605
TX 6.2	15.0	14.4	0.126
TX 6.3	18.3	15.3	0.229
TX 6.4	8.7	6.5	0.027
TX 6.5	8.9	6.5	0.022
TX 6.6	8.6	9.5	0.036
TX 6.7	6.8	6.3	0.015
TX 6.8	76.0	27.5	4.470
TX 7.1	47.8	21.0	2.082
TX 7.2	26.8	14.8	0.486
TX 7.3	6.8	6.9	0.018
TX 7.4	10.1	12.5	0.079
TX 7.5	7.3	9.4	0.022
TX 7.6	11.4	10.9	0.060
TX 7.7	16.5	11.8	0.124
TX 7.8	5.9	7.4	0.010
TX 7.9	6.4	7.4	0.016
TX 7.1	5.8	5.3	0.009
TX 7.11	8.9	8.8	0.045
TX 7.12	11.5	13.2	0.096
TX 7.13	7.0	7.8	0.019
TX 7.14	7.5	9.0	0.021
TX-8.1	38.6	22.0	1.420
TX-8.2	28.3	21.0	0.587
TX-8.3	24.4	22.0	0.512
TX-8.4	34.5	19.5	0.968
TX-8.5	16.6	10.2	0.130
TX-8.6	11.6	11.0	0.069
TX-8.7	33.1	19.6	0.896
TX-8.8	24.0	14.6	0.463
TX-8.9	31.6	21.5	0.772
TX-8.10	12.3	13.2	0.094
TX-8.11	7.6	9.4	0.019
TX-8.12	13.0	15.2	0.123
TX-8.13	8.0	9.8	0.034
TX-8.14	15.8	15.3	0.152
TX-8.15	9.3	7.3	0.030
TX-8.16	6.4	9.8	0.019
TX-8.17	9.7	7.7	0.034

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX - 9.1	11.0	8.3	0.041
TX - 9.2	17.8	15.5	0.192
TX - 9.3	13.7	10.0	0.096
TX - 9.4	11.2	11.6	0.067
TX - 9.5	10.2	10.2	0.044
TX - 9.6	11.3	13.1	0.064
TX - 9.7	20.3	10.6	0.166
TX - 9.8	10.2	8.9	0.036
TX - 9.9	15.5	10.7	0.123
TX - 9.10	10.1	12.8	0.054
TX - 9.11	8.1	6.0	0.015
TX - 9.12	11.6	9.0	0.063
TX - 9.13	5.2	4.7	0.005
TX - 9.14	8.2	8.3	0.025
TX - 9.15	8.3	7.3	0.024
TX - 10.1	15.8	12.9	0.173
TX - 10.2	7.9	9.9	0.032
TX - 10.3	35.1	24.0	1.183
TX - 10.4	16.5	20.8	0.385
TX - 10.5	18.5	15.6	0.195
TX - 10.6	39.8	22.2	1.653
TX - 10.7	7.9	10.5	0.033
TX - 10.8	7.9	8.4	0.027
TX - 10.9	18.4	16.7	0.217
TX - 10.10	10.8	10.6	0.057
TX - 10.11	9.0	11.5	0.055
TX - 10.12	15.4	19.6	0.205
TX - 10.13	30.8	23.6	0.967
TX - 10.14	16.9	14.5	0.158
TX - 10.15	24.5	25.2	0.641
TX - 11.1	18.9	13.1	0.204
TX - 11.2	8.1	8.9	0.030
TX - 11.3	20.1	13.2	0.218
TX - 11.4	7.0	8.2	0.019
TX - 11.5	16.5	15.0	0.196
TX - 11.6	21.7	15.5	0.256
TX - 11.7	10.6	10.8	0.071
TX - 11.8	22.1	18.0	0.331
TX - 11.9	23.2	18.2	0.458
TX - 11.10	5.6	8.8	0.013
TX - 11.11	6.4	6.1	0.012
TX - 11.12	10.2	9.5	0.068
TX - 11.13	19.6	15.0	0.266

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX 12.1	18.3	4.3	0.071
TX 12.2	19.6	16.5	0.252
TX 12.3	36.4	18.5	1.025
TX 12.4	10.0	11.6	0.058
TX 12.5	4.7	5.3	0.007
TX 12.6	22.0	21.4	0.461
TX 12.7	32.4	23.9	0.887
TX 12.8	5.6	4.5	0.008
TX 12.9	15.9	19.2	0.181
TX 12.10	17.6	17.2	0.200
TX 13.1	9.0	7.8	0.027
TX 13.2	7.5	8.7	0.025
TX 13.3	8.3	9.2	0.026
TX 13.4	37.4	24.1	1.132
TX 13.5	26.5	17.5	0.396
TX 14.1	9.3	11.2	0.042
TX 14.2	6.6	6.5	0.013
TX 14.3	9.9	13.9	0.066
TX 14.4	10.7	14.1	0.070
TX 14.5	6.5	11.5	0.022
TX 14.6	28.7	21.9	0.754
TX 14.7	42.6	19.1	1.159
TX 14.8	22.8	13.5	0.370
TX 15.1	5.6	5.5	0.009
TX 15.2	11.0	12.0	0.065
TX 15.3	9.5	9.7	0.041
TX 15.5	34.4	11.3	0.538
TX 15.6	38.7	17.3	1.033
TX-16.1	7.8	12.5	0.040
TX-16.2	23.5	23.4	0.467
TX-16.3	23.8	26.8	0.646
TX-16.4	14.0	18.7	0.152
TX-16.5	7.7	9.4	0.027
TX-16.6	7.0	7.4	0.018
TX-16.7	25.1	27.0	0.642
TX-17.1	24.8	14.2	0.400
TX-17.2	24.1	12.1	0.275
TX-17.3	8.9	10.3	0.042
TX-17.4	6.5	9.7	0.019
TX-17.5	8.7	11.3	0.039
TX 18.1	18.1	12.1	0.188
TX 18.2	25.5	16.0	0.468
TX 18.3	9.8	7.5	0.040

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX-19.1	14.6	11.3	0.109
TX-19.2	31.1	15.0	0.701
TX-19.3	12.3	7.1	0.052
TX-19.4	33.8	23.0	1.319
TX-19.5	10.0	8.3	0.039
TX-19.6	10.5	8.6	0.044
TX-19.7	7.6	6.3	0.019
TX-19.8	11.2	8.4	0.055
TX-20.1	23.7	13.4	0.299
TX-20.2	18.0	14.6	0.235
TX-20.3	22.5	15.6	0.337
TX-20.4	7.2	8.5	0.024
TX-20.5	5.0	6.3	0.009
TX-20.6	30.5	15.8	0.679
TX-20.8	8.1	13.2	0.043
TX-20.9	6.5	8.1	0.017
TX 1.1 TA	7.0	8.5	0.027
TX 1.2 TA	17.0	13.9	0.234
TX 1.3 TA	36.0	19.5	1.258
TX 1.4 TA	26.0	17.5	0.654
TX 1.5 TA	41.0	23.8	2.207
TX 1.6 TA	34.0	18.3	1.024
TX 2.1 TA	20.0	14.8	0.330
TX 2.2 TA	8.5	9.0	0.039
TX 2.3 TA	14.0	12.6	0.149
TX 2.4 TA	6.5	8.8	0.026
TX 3.1 TA	17.0	14.8	0.264
TX 3.2 TA	26.0	13.5	0.397
TX 3.3 TA	7.0	7.1	0.019
TX 3.4 TA	33.0	27.3	2.131
TX 3.5 TA	37.0	21.8	1.619
TX 3.6 TA	56.0	24.7	3.637
TX 3.7 TA	8.5	10.5	0.053
TX 3.8 TA	45.0	25.0	2.756
TX 4.1 TA	9.8	12.5	0.090
TX 4.2 TA	25.4	21.0	0.899
TX 4.3 TA	53.5	23.5	3.104
TX 4.4 TA	49.0	22.8	2.596
TX 4.5 TA	15.2	17.0	0.296
TX 4.6 TA	32.5	23.0	1.502
TX 5.1 TA	8.5	12.4	0.073
TX 5.2 TA	16.0	13.0	0.190
TX 5.3 TA	8.0	7.8	0.027

Mã cây	DBH_cm	H_m	V_m3
TX 5.4 TA	14.0	14.8	0.202
TX 6.1 TA	9.0	11.6	0.069
TX 6.2 TA	46.0	25.0	2.841
TX 6.3 TA	52.5	26.2	3.727
TX 6.4 TA	23.0	16.5	0.493
TX 6.5 TA	30.5	24.2	1.517
TX 6.6 TA	18.0	16.5	0.352

Phụ lục 17: Dữ liệu dung trọng và carbon đất (SOC) các ô nghiên cứu

Số hiệu mẫu	Địa phương	Loại đất	Đá mẹ	Khối lượng mẫu đất (g)	Khối lượng khô (g)	V đất ướt (cm ³)	Dung trọng khô đất (g/cm ³)	%C	SOC tấn/ha
TX1D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đắk 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 - Đắk Nông	Đất giàu mùn , nâu đỏ	Bazan	500	320.0	385.8025	0.829	2.10	86.9
TX3D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đắk Nông	Đất giàu mùn , nâu đỏ	Bazan	500	321.0	425.9307	0.754	1.22	45.8
TX4D TB	Quảng Trục - Tuy Đức - Đắk 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 - Đắk 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 - Đắk 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 - Đắk 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'Drăk - Đắk Lắk	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'Drăk - Đắk Lắk	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 - Đắk Lắk	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 - Đắk Lắk	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'Drăk - Đắk Lắk	Đất xám sỏi sạn sâu	Phiến sét	500	404.1	358.6801	1.126	1.70	95.7
TX14 D TB	Cty Ln M'Drăk - Đắk Lắk	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'Drăk - Đắk Lắk	Đất xám sỏi sạn sâu	Phiến sét	500	451.3	290.3600	1.554	1.72	133.8

Số hiệu mẫu	Địa phương	Loại đất	Đá mẹ	Khối lượng mẫu đất (g)	Khối lượng khô (g)	V dat uot (cm ³)	Dung trong khô đất (g/cm ³)	%C	SOC tấn/ha
TX 16D TB	Cty Ln Krông Bông - Đắk Lắk	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 - Đắk Lắk	Đất xám có tầng loang lổ 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 - Đắk 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 - Đắk Nông	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	Mắc ma axit	500	315.6	371.1952	0.850	1.88	79.7

Phụ lục 18: Dữ liệu SOC với các nhân tố sinh thái

Ma so o	P_mm_nam	Tkk (oC)	pH dat	Maso_dame	TAGTB_tan_ha	SOC_tan_ha
TX1	2418	22.2	6.3	1	154.5	75.7
TX2	2418	22.2	6.8	2	69.2	86.9
TX3	2418	22.2	6.5	2	104.0	45.8
TX4	2418	22.2	6.2	1	121.9	51.1
TX5	2418	22.2	6	1	34.5	72.6
TX6	2418	22.2	6.4	1	336.6	78.2
TX7	2418	22.2	6.8	1	253.1	112.2
TX8	2100	25	6.8	3	360.5	189.7
TX9	2100	25	5.7	3	358.0	163.4
TX10	1750	27	6.3	1	246.6	81.6
TX11	1750	27	4	1	191.1	121.4
TX12	2500	23	6.8	2	208.5	131.2
TX13	2100	25	7	3	66.5	95.7
TX14	2100	25	7	3	302.3	123.2
TX15	2100	25	6.5	3	123.8	133.8
TX16	1750	27	6.2	1	364.4	87.9
TX17	1750	27	6.3	1	194.3	83.9
TX18	2500	23	7.5	1	119.6	104.3
TX19	2418	22.2	6.7	2	263.2	92.9
TX20	2418	22.2	6.7	1	235.7	79.7

Phụ lục 19: Dữ liệu sinh khối và carbon của thảm mục thảm tươi, gỗ chết ở các lâm phần

Ma so o	Tthai	DTC	Bhg_tan_ha	Bli_tan_ha	Bdw_tan_ha	Chg_tan_ha	Cli_tan_ha	Cdw_tan_ha
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	19.12	107.80	0.00	6.65	30.17	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 20: Giá trị sinh khối, carbon và điều tra lâm phần của các ô nghiên cứu

Mã ô	XUTM	YUTM	N/ha	BA_m2 ha	M_m3 ha	TAGTB tan_ha	TBGTB tan_ha	TAGTC tan_ha	TBGTC tan_ha	TTB tan_ha	TTC_tan_ha	TB t_ha	TC t_ha
TX1	765,440	1,344,734	1180	29	205	155	26	72	11	181	84	190	162
TX2	755,717	1,334,079	610	10	99	69	9	32	4	78	36	87	126
TX3	756,819	1,333,820	1932	19	155	104	14	49	6	118	55	126	103
TX4	762,276	1,337,696	1372	19	179	122	16	57	7	138	64	149	119
TX5	762,009	1,338,083	2200	9	51	34	5	16	2	40	18	58	97
TX6	763,364	1,341,051	1522	43	478	337	43	158	19	380	177	507	292
TX7	755,056	1,353,301	1920	44	346	253	39	119	17	292	135	293	248
TX8	256 041	1 402 240	1065	42	538	361	42	169	19	403	188	404	378
TX9	255,915	1,402,011	1054	44	511	358	46	168	21	404	188	405	352
TX10	238,352	1,370,892	935	34	361	247	31	116	14	278	129	287	215
TX11	237,569	1,371,652	983	27	271	191	26	89	11	217	101	219	223
TX12	239,966	1,575,157	1025	34	285	209	32	98	14	240	111	242	243
TX13	258,775	1,390,477	985	11	97	67	9	31	4	76	35	88	137
TX14	259,252	1,390,739	1415	44	425	302	42	142	18	344	160	345	283
TX15	257,884	1,391,237	370	17	166	124	18	58	8	142	66	143	200
TX16	245,912	1,387,143	1485	49	524	364	49	171	22	413	192	415	281
TX17	243,873	1,388,813	3330	39	275	194	30	91	12	224	103	225	187
TX18	237,859	1,565,734	2375	24	172	120	18	56	7	137	63	138	168
TX19	746,239	1,352,425	1335	38	332	263	44	123	20	307	143	310	238
TX20	746,732	1,352,766	1780	38	331	236	34	110	15	269	125	290	213
A1	747,937	1,356,116	1800	48	331	253	44	119	19	297	137		
A2	747,895	1,355,662	1530	23	154	117	20	55	9	138	64		
A3	747,395	1,354,992	1470	39	293	215	34	101	14	249	115		
A4	746,055	1,354,289	1300	92	800	665	120	310	58	784	369		

Mã ô	XUTM	YUTM	N/ha	BA_m2 ha	M_m3 ha	TAGTB tan_ha	TBGTB tan_ha	TAGTC tan_ha	TBGTC tan_ha	TTB tan_ha	TTC_tan_ha	TB t_ha	TC t_ha
A5	745,751	1,354,897	1750	62	523	391	60	183	27	452	210		
A6	746,055	1,354,921	910	27	192	146	24	68	11	171	79		
A7	761,003	1,342,569	1160	35	269	200	32	94	14	232	107		
A8	759,554	1,342,093	1580	53	459	335	50	157	22	385	179		
A9	746,975	1,358,447	1360	19	129	94	15	44	6	109	50		
A10	746,960	1,358,965	2420	51	357	258	41	121	17	299	138		
A11	750,636	1,351,420	1540	35	296	209	30	98	13	239	111		
A13	744,673	1,360,931	1230	64	727	533	71	249	33	604	282		
A14	746,146	1,360,081	890	26	224	159	22	74	10	181	84		
B1	765,117	1,343,514	1030	37	331	235	33	110	14	268	124		
B2	759,814	1,336,089	670	26	257	186	25	87	11	211	98		
B3	740,277	1,360,296	1640	53	539	390	53	183	24	444	207		
B4	756,557	1,351,561	2000	40	340	241	34	113	15	275	127		
B5	757,015	1,360,316	1180	27	235	166	24	78	10	190	88		
B6	740,956	1,360,379	1280	73	755	545	74	255	33	620	289		
B7	754,626	1,351,281	1570	48	460	329	45	154	20	374	174		
C1	746,282	1,352,373	1240	48	491	349	47	163	21	396	184		
C2	746,339	1,352,679	1640	47	424	298	42	140	18	340	158		
C3	746,784	1,353,278	1460	26	229	158	22	74	9	179	83		
C4	746,825	1,353,526	1430	25	222	152	20	71	9	172	80		
C5	746,784	1,353,676	1670	30	246	177	26	83	11	204	94		
C6	747,149	1,352,584	1520	21	166	117	17	55	7	134	62		
C7	747,660	1,351,913	2320	59	553	378	50	177	21	428	198		
C8	747,034	1,352,232	1930	52	534	362	46	170	20	408	189		
C9	746,906	1,352,064	1490	38	390	268	34	126	15	302	140		
D4	762,154	1,340,708	1350	21	194	131	17	62	7	148	69		

Mã ô	XUTM	YUTM	N/ha	BA_m2 ha	M_m3 ha	TAGTB tan_ha	TBGTB tan_ha	TAGTC tan_ha	TBGTC tan_ha	TTB tan_ha	TTC_tan_ha	TB t_ha	TC t_ha
D5	762,760	1,339,803	1340	32	301	218	31	102	14	249	116		
D6	767,827	1,345,511	1140	23	175	124	18	58	8	142	65		
D7	767,754	1,345,127	750	24	220	159	23	74	10	182	84		
D8	767,567	1,345,192	940	19	165	116	16	54	7	133	61		
D9	767,064	1,344,992	850	32	362	250	32	117	14	282	131		
D10	767,044	1,344,881	1270	29	257	178	25	83	10	202	94		
1	763,040	1,344,332	1100	36	332	234	32	110	14	267	124		
2	762,845	1,344,446	850	32	280	204	31	96	13	235	109		
3	762,627	1,344,296	910	48	638	421	47	197	21	468	218		
4	761,915	1,343,822	740	36	418	285	35	134	15	320	149		
5	763,053	1,343,657	1360	25	280	180	21	84	9	201	93		
6	763,564	1,345,620	1590	22	228	151	19	71	8	170	79		
7	764,135	1,346,008	740	26	255	181	25	85	11	206	96		
8	765,233	1,345,840	1460	34	242	179	29	84	12	208	96		
13	762,254	1,345,440	640	13	107	72	10	34	4	82	38		
15	765,579	1,344,262	690	31	286	201	28	94	12	229	106		
16	764,266	1,343,966	390	28	249	189	29	89	13	219	102		
21	761,640	1,344,624	1860	22	193	129	17	60	7	146	67		
22	764,209	1,344,158	660	22	225	158	21	74	9	179	83		
23	764,964	1,345,072	1300	34	275	198	30	93	13	228	106		
24	765,363	1,344,960	1890	25	208	144	20	68	9	164	76		
27	764,327	1,342,306	1710	48	463	324	44	152	19	367	170		
29	762,182	1,344,268	250	15	179	121	14	57	6	136	63		
30	762,171	1,343,096	1080	32	414	282	33	132	15	315	147		
32	764,332	1,341,824	1100	42	508	331	38	155	16	369	171		
33	763,193	1,343,849	1020	28	305	207	25	97	11	232	108		

Mã ô	XUTM	YUTM	N/ha	BA_m2 ha	M_m3 ha	TAGTB tan_ha	TBGTB tan_ha	TAGTC tan_ha	TBGTC tan_ha	TTB tan_ha	TTC_tan_ha	TB t_ha	TC t_ha
34	763,265	1,343,228	90	23	401	262	27	123	12	289	135		
35	763,755	1,343,964	670	20	207	140	17	66	7	157	73		
36	762,441	1,343,740	730	30	395	266	30	124	14	296	138		
40	762,070	1,343,343	980	49	426	308	45	144	19	353	164		
41	763,347	1,343,997	700	22	182	134	21	63	9	155	72		
42	763,701	1,345,113	1140	23	214	150	21	70	9	171	79		
43	764,265	1,345,012	1330	45	396	284	41	133	18	325	151		
44	764,446	1,344,368	1630	37	358	249	33	117	14	282	131		
45	763,455	1,343,660	1070	23	222	159	22	75	10	181	84		
46	762,337	1,344,180	940	24	221	155	21	73	9	176	82		
47	764,669	1,345,012	860	37	409	274	33	129	14	308	143		
48	765,086	1,344,859	870	21	174	124	18	58	8	143	66		
49	763,809	1,345,900	710	23	187	135	20	63	9	156	72		
51	763,601	1,343,734	1260	39	346	242	34	113	14	276	128		

Phụ lục 21: Dữ liệu tổng lượng carbon lâm phần và các nhân tố sinh thái ở các ô mẫu nghiên cứu

Mã ô	Xa	Huyen	Tinh	XUTM	YUTM	Thai	DTC	% TB	Vị trí	Do dọc	Hphoi	Do cao m	P mm_nam	Do_am_KK %	Tkk	Ket_cau dat	Ketvon_%	Da_noi %	pH dat	Day_dat cm	Dame	Maso dame	Loaidat	TTB tan_ha	TTC tan_ha	TB t_ha	TC_t_ha
TX1	Quảng tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765440	1344734	IIIA1	0.7	70	4	7	63	843	2418	83	22.2	1	0	0	6.3	>50	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	181	84	190	162
TX2	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	755717	1334079	IIIA1	0.5	15	2	0	0	376	2418	83	22.2		0	0	6.8	>50	Bazan	2	Đất giàu mùn , nâu đỏ	78	36	87	126
TX3	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	756819	1333820	IIB	0.7	70	4	12	62	520	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	>50	Bazan	2	Đất giàu mùn , nâu đỏ	118	55	126	103
TX4	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762276	1337696	IIB	0.8	70	4	15	270	619	2418	83	22.2	1	0	0	6.2	>50	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	138	64	149	119
TX5	Đắk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762009	1338083	IIA	0.5		4	10	340	648	2418	83	22.2	1	0	0	6	>50	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	40	18	58	97
TX6	Quảng Tân	Tuy Đức	Đắk Nông	763364	1341051	IIIA3	0.8	70	4	15	130	574	2418	83	22.2	1	0	5	6.4	>50	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	380	177	507	292
TX7	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	755056	1353301	IIIA3	0.8	0	5	5	25	860	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 100	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	292	135	293	248
TX8	Krông Á	Madrak	Đắk Lắk	256041	1402240	IIIA2	0.8	30	4	25	150	584	2100	83	25	1	17.5	2.5	6.8	> 100	Phiến sét	3	Đất xám có tầng loang lổ đỏ vàng	403	188	404	378
TX9	Krông Á	Madrak	Đắk Lắk	255915	1402011	IIIA2	0.8	20	4	23	125	642	2100	83	25	1	0	7	5.7	>50	Phiến sét	3	Đất xám có tầng loang lổ đỏ vàng	404	188	405	352
TX10	Yang Mao	Krông Bông	Đắk Lắk	238352	1370892	IIIA2	0.8	20	4	10	210	1068	1750	82	27	1	2.5	7.5	6.3	> 100	Mắc ma axit	1	Đất xám tầng mặt giàu mùn	278	129	287	215
TX11	Yang Mao	Krông Bông	Đắk Lắk	237569	1371652	IIIA1	0.8	15	4	18	250	1013	1750	82	27	2	0	3.55	4	>50	Mắc ma axit	1	Đất xám tầng mặt giàu mùn	217	101	219	223
TX12		K Bang	Gia Lai	239966	1575157	IIIA2	0.5	10	2	5	70	675	2500	80	23	1	0	0	6.8	>100	Bazan	2	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	240	111	242	243
TX13	Cư San	Madrak	Đắk Lắk	258775	1390477	IIIA1	0.7	40	4	28	280	403	2100	83	25	2	0	0	7	>50	Phiến sét	3	Đất xám sỏi sạn sâu	76	35	88	137
TX14	Cư San	Madrak	Đắk Lắk	259252	1390739	IIIA3	0.8	15	4	36	300	495	2100	83	25	1	5	7.5	7	>100	Phiến sét	3	Đất xám sỏi sạn sâu	344	160	345	283
TX15	Ea Trang	Madrak	Đắk Lắk	257884	1391237	IIIA1	0.7	10	4	35	60	440	2100	83	25	1	0	5	6.5	>100	Phiến sét	3	Đất xám sỏi sạn sâu	142	66	143	200
TX16	Cư D्रm	Krông Bông	Đắk Lắk	245912	1387143	IIIA3	0.8	25	4	22	129	681	1750	82	27	2	0	0	6.2	>100	Mắc ma axit	1	Đất xám tầng rất mỏng	413	192	415	281
TX17	Cư D्रm	Krông Bông	Đắk Lắk	243873	1388813	IIB	0.8	40	2	0	0	691	1750	82	27	2	10	0	6.3	>100	Mắc ma axit	1	Đất xám có tầng loang lổ đỏ vàng	224	103	225	187
TX18	Lơ ku	Kbang	Gia Lai	237859	1565734	IIIA1	0.4	0	5	10	50	476	2500	80	23	1	0	53.75	7.5	>100	Mắc ma axit	1	Đất nâu	137	63	138	168
TX19	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746239	1352425	IIIA3	0.8	30	2	0	0	824	2418	83	22.2	1	0	0	6.7	>100	Bazan	2	Đất giàu mùn , nâu đỏ	307	143	310	238
TX20	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746732	1352766	IIB	0.7	30	4	10	10	811	2418	83	22.2	1	7.5	10	6.7	>100	Mắc ma axit	1	Đất đỏ chua, rất nghèo ba zơ	269	125	290	213

Mã ô	Xa	Huyen	Tinh	XUTM	YUTM	Tthai	DTC	% TB	Vi tri	Do doc	Hphoi	Do cao m	P mm_nam	Do_am_KK %	Ttk	Ket_cau dat	Ketvon_%	Da_noi %	pH dat	Day_dat cm	Dame	Maso dame	Loaidat	TTB tan_ha	TTC tan_ha	TB t_ha	TC_t_ha
A1	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747937	1356116	IIB	0.8	15	4	12	285	842	2418	83	22.2	1	0	0	6.9	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	297	137		
A2	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747895	1355662	IIB	0.7	5	2	7	70	865	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	138	64		
A3	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747395	1354992	IIIA2	0.8	10	2	6	90	832	2418	83	22.2	2	0	0	6.9	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	249	115		
A4	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746055	1354289	IIIA1	0.7		4	28	150	729	2418	83	22.2	3	0	50	6.8	> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	784	369		
A5	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	745751	1354897	IIIA2	0.8	10	2	8	120	804	2418	83	22.2	2	0	0	6.4	> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	452	210		
A6	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746055	1354921	IIIA1	0.8	5	2	6	180	838	2418	83	22.2	1	10	0	6.8	> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	171	79		
A7	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	761003	1342569	IIIA2	0.6	30	4	13	130	756	2418	83	22.2	1	0	0	6.9	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	232	107		
A8	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	759554	1342093	IIIA1	0.5	30	4	16	60	679	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	385	179		
A9	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746975	1358447	IIIA2	0.8	5	4	10	240	820	2418	83	22.2	1			6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	109	50		
A10	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746960	1358965	IIIA2	0.8	5	4	10	260	789	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	299	138		
A11	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	750636	1351420	IIB	0.7	10	4	20	130	865	2418	83	22.2	2	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	239	111		
A13	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	744673	1360931	IIIA3	0.8	5	4	7	222	625	2418	83	22.2	2	10	10	6.9	> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	604	282		
A14	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746146	1360081	IIIA2	0.8		4	27	320	776	2418	83	22.2	3	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	181	84		
B1	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765117	1343514	IIIA1	0.7	20	4	10	170	799	2418	83	22.2	1	0	0		> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	268	124		
B2	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	759814	1336089	IIIA1	0.5	50	4	8	305	591	2418	83	22.2	1	0	0		> 100	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	211	98		
B3	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	740277	1360296	IIIA3	0.8	50	4	7	30	400	2418	83	22.2	2	10	30	6.9	> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	444	207		
B4	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	756557	1351561	IIB	0.8	30	3	15	250	831	2418	83	22.2	2	10	3	6.5	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	275	127		
B5	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	757015	1360316	IIIA2	8	15	5	16	330	804	2418	83	22.2	2	20	0	6.9	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	190	88		
B6	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	740956	1360379	IIIA3	0.8	50	4	25	120	428	2418	83	22.2	2	7	80		> 50	Bazan	2	Dat giao mun, nau do	620	289		
B7	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	754626	1351281	IIIA2	0.8	30	4	12	260	833	2418	83	22.2	2	7	0	6.7	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	374	174		
C1	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746282	1352373	IIIA3	0.8	20	4	10	30	792	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	396	184		

Mã ô	Xa	Huyen	Tinh	XUTM	YUTM	Tthai	DTC	% TB	Vi tri	Do doc	Hphoi	Do cao m	P mm_nam	Do_am_KK %	Ttk	Ket_cau dat	Ketvon_%	Da_noi %	pH dat	Day_dat cm	Dame	Maso dame	Loaidat	TTB tan_ha	TTC tan_ha	TB t_ha	TC_t_ha
C2	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746339	1352679	IIIA2	0.8	10	4	8	330	817	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	340	158		
C3	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746784	1353278	IIB	0.7	5	4	10	80	853	2418	83	22.2	2	20	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	179	83		
C4	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746825	1353526	IIIA1	0.7	15	4	5	120	828	2418	83	22.2	2	10	0	6.6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	172	80		
C5	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746784	1353676	IIIA1	0.7	10	4	7	85	826	2418	83	22.2	2	10	0	6.7	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	204	94		
C6	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747149	1352584	IIB	0.6	15	4	7	180	820	2418	83	22.2	1	0	0	6.8	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	134	62		
C7	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747660	1351913	IIIA2	0.8	10	4	9	100	812	2418	83	22.2	1	0	0	6.7	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	428	198		
C8	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	747034	1352232	IIIA1	0.7	5	4	5	170	840	2418	83	22.2	1	0	0	6.6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	408	189		
C9	Quảng Trục	Tuy Đức	Đắk Nông	746906	1352064	IIIA1	0.7	5	4	5	330	840	2418	83	22.2	1	0	0	6.7	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	302	140		
D4	Đăk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762154	1340708	IIB	0.8		4	17	315	601	2418	83	22.2	1	0	0	6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	148	69		
D5	Đăk Ngo	Tuy Đức	Đắk Nông	762760	1339803	IIB	0.6	26	4	15	115	680	2418	83	22.2	1	0	10	6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	249	116		
D6	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	767827	1345511	IIB	0.7	30	4	10	180	858	2418	83	22.2	1	0	0	6.3	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	142	65		
D7	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	767754	1345127	IIIA1	0.6	25	4	10	45	824	2418	83	22.2	1	0	0	6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	182	84		
D8	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	767567	1345192	IIB	0.6	40	4	9	45	874	2418	83	22.2	1	0	0	6.2	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	133	61		
D9	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	767064	1344992	IIIA2	0.7	10	4	9	330	804	2418	83	22.2	1	0	0	6.1	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	282	131		
D10	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	767044	1344881	IIB	0.7	40	4	9	270	817	2418	83	22.2	1	0	0	6.2	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	202	94		
1	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763040	1344332	IIIA2	0.7	20	4	8	339	766	2418	83	22.2	1	0	0	6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	267	124		
2	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762845	1344446	IIIA2	0.7	50	4	10	50	766	2418	83	22.2	1			6.3	> 70	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	235	109		
3	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762627	1344296	IIIA2	0.8	20	4	8	190	783	2418	83	22.2	1	0	0	6	> 150	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	468	218		
4	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	761915	1343822	IIIA2	0.8	30	4	16	260	827	2418	83	22.2	2	0	0	6.3	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	320	149		

Mã ô	Xa	Huyen	Tinh	XUTM	YUTM	Tthai	DTC	% TB	Vi tri	Do doc	Hphoi	Do cao m	P mm_nam	Do_am_KK %	Ttk	Ket_cau dat	Ketvon_%	Da_noi %	pH dat	Day_dat cm	Dame	Maso dame	Loaidat	TTB tan_ha	TTC tan_ha	TB t_ha	TC_t_ha
5	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763053	1343657	IIB	0.6	70	2	0	0	783	2418	83	22.2	1	0	0		> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	201	93		
6	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763564	1345620	IIIA1	0.7	20	4	6	65	754	2418	83	22.2	1			6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	170	79		
7	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764135	1346008	IIB	0.5	50	4	12	355	803	2418	83	22.2	1			6.3	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	206	96		
8	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765233	1345840	IIB	0.7		4	14		858	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	208	96		
13	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762254	1345440	IIIA2	0.5	40	4	26	5	799	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	82	38		
15	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765579	1344262	IIB	0.6	70	4	8	50	808	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	229	106		
16	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764266	1343966	IIIA2	0.7	20	1	10	55	677	2418	83	22.2	3	0	50	6.2	> 30	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	219	102		
21	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	761640	1344624	IIIA2	0.6	30	4	16	30	788	2418	83	22.2	1			6.4	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	146	67		
22	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764209	1344158	IIIA2	0.8	30	4	9	240	730	2418	83	22.2	3	0	0	6.4	> 50	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	179	83		
23	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764964	1345072	IIIA2	0.8	20	4	10		843	2418	83	22.2	1			6.8	40	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	228	106		
24	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765363	1344960	IIIA2	0.8	20	5		70	828	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	164	76		
27	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764327	1342306	IIIA2	0.7	50	4	15	320	692	2418	83	22.2	1				> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	367	170		
29	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762182	1344268	IIIA2	0.6	20	4	25	65	810	2418	83	22.2	1			6.2	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	136	63		
30	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762171	1343096	IIIA3	0.8	30	2			754	2418	83	22.2	1			6.3		Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	315	147		
32	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764332	1341824	IIIA2	0.8	20	4	6	170	742	2418	83	22.2	1				> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	369	171		
33	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763193	1343849	IIIA2	0.8	80	4	6	350	777	2418	83	22.2	1				> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	232	108		
34	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763265	1343228	IIIA3	0.8	80	4	32	90	723	2418	83	22.2	1	0	80		> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	289	135		
35	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763755	1343964	IIIA1	0.3	25	4	25	130	703	2418	83	22.2	2	0	20	6.5	55	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	157	73		
36	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762441	1343740	IIIA2	0.8	25	2	0		786	2418	83	22.2	1	0	0	6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	296	138		

Mã ô	Xa	Huyen	Tinh	XUTM	YUTM	Tthai	DTC	% TB	Vi tri	Do doc	Hphoi	Do cao m	P mm_nam	Do_am_KK %	Tkk	Ket_cau dat	Ketvon_%	Da_noi %	pH dat	Day_dat cm	Dame	Maso dame	Loaidat	TTB tan_ha	TTC tan_ha	TB t_ha	TC_t_ha
40	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762070	1343343	IIIA2	0.7	30	2	10		782	2418	83	22.2	1	0	0	6.4		Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	353	164		
41	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763347	1343997	IIB	0.7	40	4	9	15	762	2418	83	22.2	1				> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	155	72		
42	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763701	1345113	IIIA2	0.8	25	4	8	16	741	2418	83	22.2	3			6.5	20	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	171	79		
43	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764265	1345012	IIIA2	0.6	50	3	33	40	771	2418	83	22.2	2	0	30	6.4	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	325	151		
44	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764446	1344368	IIIA2	0.6	30	4	10	320	771	2418	83	22.2	1	0	0	6.6	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	282	131		
45	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763455	1343660	IIIA2	0.7	30	4	4.5	140	754	2418	83	22.2	2	0	0	6.3	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	181	84		
46	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	762337	1344180	IIIA2	0.7	30	2	4	50	832	2418	83	22.2	1	0	0	6.5	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	176	82		
47	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	764669	1345012	IIIA2	0.7	20	4	5	230	825	2418	83	22.2	1	0	0	6.7	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	308	143		
48	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	765086	1344859	IIIA2	0.6	20	4	18	150	826	2418	83	22.2	1	0	0	7	> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	143	66		
49	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763809	1345900	IIIA2	0.7	40	4	18	65	763	2418	83	22.2	3	0	0	6.5	20	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	156	72		
51	Quảng Tâm	Tuy Đức	Đắk Nông	763601	1343734	IIIA2	0.7	80	4	14	80	732	2418	83	22.2	1	0	0		> 100	Bazan	2	Dat do chua, rat ngheo kiem	276	128		

Phụ lục 22: Dữ liệu tuổi cây theo DBH và H

DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year	DBH_c m	H_ m	A- year
5.1	7.1	5	8.7	6.5	10	11.2	11.6	14	27.5	15.4	18	16.5	11.8	24	34.4	11.3	35	35.1	24	52
6.5	7.5	5	6.4	7.4	10	11.6	9	14	5.7	8.7	18	20.3	10.6	24	23.7	13.4	35	15.4	19.6	52
5	7.9	5	8	9.8	10	8.2	8.3	14	8.8	10.5	18	17.6	17.2	25	24	20.4	36	26.5	17.5	53
9.4	9.1	6	10.2	10.2	10	5.6	8.8	14	7.6	9.4	18	18.1	12.1	25	22.1	18	37	28.7	21.9	54
6.5	8	6	8.3	7.3	10	7	7.4	14	16.5	20.8	18	15.1	14.1	26	30.5	15.8	37	33.8	23	54
6.5	8.1	6	5.6	5.5	10	7.6	6.3	14	10.8	10.6	18	15.8	12.9	26	56.7	22.9	38	38.6	22	58
8.6	8	7	8.3	7	11	9	12.4	15	9.5	9.7	18	15.9	19.2	27	32.4	23.9	38	25.1	27	62
7	9.5	7	8.6	9.5	11	8.6	9.9	15	7.8	12.5	18	16.5	15	28	22.8	13.5	38	25.5	16	62
6.1	5.5	7	5.8	5.3	11	7.7	9.4	15	11.2	8.4	18	9.3	11.2	28	15	14.4	39	47.8	21	64
15.4	9.8	7	11	8.3	11	9.9	11	15	12.6	15.3	19	18	14.6	28	26.8	14.8	39	55.4	26.5	71
7.5	9	7	7.9	10.5	11	8.1	8.9	15	11.5	13.2	19	22.5	15.6	28	24	14.6	39	40.4	22	71
5.2	4.7	7	6.4	6.1	11	7	8.2	15	17.8	15.5	19	18.4	16.7	29	22	21.4	39	30.8	23.6	71
4.7	5.3	7	8.9	6.5	12	10.6	10.8	15	10.2	9.5	19	18.9	13.1	29	21.7	15.5	40	34.5	19.5	73
6.5	11.5	7	6.8	6.9	12	10	11.6	15	7.5	8.7	19	14.6	11.3	29	9.8	16.6	40	42.6	19.1	81
5	6.3	7	11.3	13.1	12	6.6	6.5	15	10.7	14.1	19	28.3	21	30	9.8	7.5	40	76.0	27.5	106
6.7	3.9	8	10.2	8.9	12	12.1	12.7	16	11	12	19	24.4	22	30	19.6	16.5	41			
12.2	8.8	8	6.5	9.7	12	18.3	15.3	16	9.7	10.7	20	16.9	14.5	30	24.4	16	42			
8.8	9.6	8	11.4	10.9	13	10.1	12.5	16	15.8	15.3	20	38.7	17.3	30	19.6	15	42			
7	7.8	8	11.6	11	13	5.9	7.4	16	18.5	15.6	20	20.8	22.5	30	17.1	16.1	43			
10.1	12.8	8	8.7	11.3	13	15.5	10.7	16	9	11.5	20	33.1	19.6	31	23.2	18.2	44			
5.6	4.5	8	10	8.3	13	8.1	6	16	7.9	9.9	21	24.8	14.2	31	27.1	18.8	46			
8.1	13.2	8	10.5	8.6	13	7.9	8.4	16	8.9	10.3	21	60.8	22	32	23.5	23.4	46			
13	13.8	9	7.2	8.5	13	7.7	9.4	16	19.3	17.5	22	18.3	4.3	32	23.8	26.8	46			
8.2	11.9	9	9.4	8	14	7.3	10	16	11.1	12.5 6	22	16.6	10.2	33	26.8	20.5	48			

14.1	10.3	9	13.1	9.4	14	5.3	6.9	17	8.3	9.2	22	37.4	24.1	33	39.8	22.2	49			
6.8	6.3	9	7.1	10.4	14	7.6	10.2	17	12.3	7.1	22	20.1	13.2	34	24.5	25.2	50			
9.3	7.3	9	8.9	8.8	14	7.3	9.4	17	12.3	13.2	23	14	18.7	34	24.1	12.1	51			
7.2	7.6	10	13	15.2	14	13.7	10	17	9.9	13.9	23	11.9	12.8	35	31.1	15	51			
10.8	9.7	10	9.7	7.7	14	9	7.8	17	8.8	13.1	24	36.4	18.5	35	31.6	21.5	52			

Phụ lục 23: Dữ liệu 61 ô mẫu sử dụng lập quan hệ sinh khối, carbon trên mặt đất với chỉ số ảnh vệ tinh SPOT5

Stt	X	Y	Số hiệu ô mẫu	Trạng thái rừng	Độ tàn che	Độ cao (m)	N (cây/ha)	BA (m ² /ha)	M (m ³ /ha)	TAGTB (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)
1	747895	1355662	A2	IIB	0.7	865	1530	23.41	154.5	117.2	54.9
2	746055	1354921	A6	IIIA1	0.8	838	910	26.78	191.8	146.2	68.5
3	746784	1353278	C3	IIB	0.7	853	1460	26.21	228.6	157.6	73.9
4	746784	1353676	C5	IIIA1	0.7	826	1670	30.37	246.3	177.4	83.1
5	767827	1345511	D6	IIB	0.7	858	1140	22.70	174.9	123.6	57.9
6	767567	1345192	D8	IIB	0.6	874	940	18.99	165.0	116.2	54.5
7	763679	1345601	6	IIIA1	0.7	754	1590	22.20	228.4	151.2	70.8
8	762259	1345448	13	IIIA2	0.5	799	640	12.54	107.0	72.3	33.9
9	764266	1343966	16	IIIA2	0.7	677	390	27.86	249.2	189.4	88.6
10	761640	1344624	21	IIIA2	0.6	788	1860	22.49	193.2	128.8	60.4
11	764209	1344158	22	IIIA2	0.8	730	660	21.55	225.5	158.1	74.0
12	765474	1345021	24	IIIA2	0.8	828	1890	24.74	208.1	144.0	67.5
13	763755	1343964	35	IIIA1	0.3	703	670	19.59	207.4	139.9	65.6
14	763347	1343997	41	IIB	0.7	762	700	21.88	182.0	134.3	62.9
15	763701	1345113	42	IIIA2	0.8	741	1140	23.38	213.9	150.1	70.4
16	763455	1343660	45	IIIA2	0.7	754	1070	22.85	222.5	159.4	74.6
17	762337	1344180	46	IIIA2	0.7	832	940	23.57	220.9	155.0	72.6
18	765086	1344859	48	IIIA2	0.6	826	870	21.27	173.6	124.2	58.2
19	763809	1345900	49	IIIA2	0.7	763	710	22.53	187.4	135.5	63.5
20	747395	1354992	A3	IIIA2	0.8	832	1470	39.32	292.7	215.0	100.8
21	750636	1351420	A11	IIB	0.7	865	1540	34.88	295.9	209.2	98.1
22	756557	1351561	B4	IIB	0.8	831	2000	39.81	339.7	240.9	112.9
23	762760	1339803	D5	IIB	0.6	680	1340	32.26	301.3	218.2	102.1
24	762845	1344446	2	IIIA2	0.7	766	850	32.15	279.5	204.0	95.6

Stt	X	Y	Số hiệu ô mẫu	Trạng thái rừng	Độ tàn che	Độ cao (m)	N (cây/ha)	BA (m ² /ha)	M (m ³ /ha)	TAGTB (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)
25	765579	1344262	15	IIB	0.6	808	690	30.55	286.1	201.5	94.4
26	764964	1345072	23	IIIA2	0.8	843	1300	34.09	275.1	198.2	92.9
27	764446	1344368	44	IIIA2	0.6	771	1630	37.41	357.8	248.7	116.5
28	763601	1343734	51	IIIA2	0.7	732	1260	39.37	346.0	241.9	113.4
29	746055	1354289	A4	IIIA1	0.7	729	1300	91.94	800.3	664.7	310.4
30	745751	1354897	A5	IIIA2	0.8	804	1750	62.01	522.6	391.5	183.3
31	759554	1342093	A8	IIIA1	0.5	679	1580	52.60	458.9	335.0	156.9
32	754626	1351281	B7	IIIA2	0.8	833	1570	47.93	460.2	329.1	154.1
33	746282	1352373	C1	IIIA3	0.8	792	1240	47.82	491.4	348.9	163.3
34	747660	1351913	C7	IIIA2	0.8	815	2320	59.00	552.9	378.1	177.3
35	767064	1344992	D9	IIIA2	0.7	804	850	32.15	362.4	250.3	117.2
36	762627	1344296	3	IIIA2	0.8	783	910	48.12	637.9	421.3	197.3
37	764213	1342290	27	IIIA2	0.7	692	1710	48.11	462.7	323.6	151.6
38	762171	1343096	30	IIIA3	0.8	754	1080	32.47	414.2	281.8	131.9
39	763265	1343228	34	IIIA2	0.8	723	90	23.28	401.1	262.0	122.6
40	762441	1343740	36	IIIA2	0.8	786	730	29.97	394.9	265.6	124.3
41	764265	1345012	43	IIIA2	0.6	771	1330	44.98	396.0	284.0	133.1
42	759814	1336089	B2	IIIA1	0.5	591	670	25.81	257.3	185.8	87.0
43	746825	1353526	C4	IIIA1	0.7	828	1430	25.34	221.8	151.8	71.2
44	747149	1352584	C6	IIB	0.6	820	1520	20.84	165.7	117.4	55.0
45	762154	1340708	D4	IIB	0.8	601	1350	20.61	194.2	131.2	61.5
46	767754	1345127	D7	IIIA1	0.6	824	750	23.59	220.5	159.0	74.5
47	767044	1344881	D10	IIB	0.7	817	1270	29.47	256.9	177.9	83.4
48	764134	1346007	7	IIB	0.5	803	740	26.14	255.2	181.1	84.8
49	765233	1345839	8	IIB	0.7	858	1460	33.99	242.0	179.3	84.0

Stt	X	Y	Số hiệu ô mẫu	Trạng thái rừng	Độ tàn che	Độ cao (m)	N (cây/ha)	BA (m ² /ha)	M (m ³ /ha)	TAGTB (tấn/ha)	TAGTC (tấn/ha)
50	762181	1344267	29	IIIA2	0.6	810	250	14.64	179.5	121.4	56.8
51	761003	1342569	A7	IIIA2	0.7	756	1160	35.29	268.7	200.1	93.8
52	765117	1343514	B1	IIIA1	0.7	799	1030	36.85	331.5	234.8	110.0
53	763040	1344332	1	IIIA2	0.7	766	1100	35.60	331.9	234.3	109.8
54	763355	1343612	33	IIIA2	0.8	777	1020	27.82	304.9	206.7	96.8
55	746339	1352679	C2	IIIA2	0.8	817	1640	46.57	423.9	298.0	139.6
56	747034	1352232	C8	IIIA1	0.7	840	1930	51.93	534.3	362.3	169.8
57	746906	1352064	C9	IIIA1	0.7	840	1490	37.67	389.8	268.0	125.5
58	761915	1343822	4	IIIA2	0.8	827	740	36.27	418.4	285.2	133.6
59	764476	1341907	32	IIIA3	0.8	742	1100	41.61	507.8	331.0	155.1
60	762070	1343342	40	IIIA2	0.7	782	980	48.89	426.4	308.4	144.5
61	764669	1345012	47	IIIA2	0.7	825	860	37.11	409.5	274.5	128.6

Phụ lục 24: Dữ liệu TAGTB theo phân cấp ảnh tự động 3 lớp

So hieu o	TAGTB t_ha o mau	TAGTC t_ha o mau	Class_Name	Class_Id
A8	335	157	Class 1	1
41	134	63	Class 1	1
15	201	94	Class 1	1
44	249	117	Class 1	1
D9	250	117	Class 1	1
43	284	133	Class 1	1
42	150	70	Class 1	1
D8	116	54	Class 1	1
13	72	34	Class 1	1
6	151	71	Class 1	1
A6	146	68	Class 1	1
27	324	152	Class 2	2
30	282	132	Class 2	2
45	159	75	Class 2	2
16	189	89	Class 2	2
22	158	74	Class 2	2
46	155	73	Class 2	2
2	204	96	Class 2	2
21	129	60	Class 2	2
48	124	58	Class 2	2
24	144	68	Class 2	2
23	198	93	Class 2	2
D6	124	58	Class 2	2
49	135	63	Class 2	2
B7	329	154	Class 2	2
A11	209	98	Class 2	2
B4	241	113	Class 2	2
C1	349	163	Class 2	2
C5	177	83	Class 2	2
A2	117	55	Class 2	2
D5	218	102	Class 3	3
34	262	123	Class 3	3
51	242	113	Class 3	3
36	266	124	Class 3	3
35	140	66	Class 3	3
3	421	197	Class 3	3
C7	378	177	Class 3	3
A4	665	310	Class 3	3
A5	391	183	Class 3	3
A3	215	101	Class 3	3

Phụ lục 25: Dữ liệu TAGTB với các chỉ số DN của 4 band ảnh SPOT

Ma so o	X	Y	b1	b2	b3	b4	TAGTB t_ha	TAGTC t_ha
1	763040	1344332	79	44	171	75	234.3	109.8
2	762845	1344446	77	44	167	75	204.0	95.6
3	762627	1344296	79	44	178	74	421.3	197.3
4	761915	1343822	78	44	167	74	285.2	133.6
6	763679	1345601	80	46	164	71	151.2	70.8
7	764135	1346008	80	47	157	69	181.1	84.8
8	765233	1345840	80	47	166	73	179.3	84.0
13	762259	1345448	78	45	156	71	72.3	33.9
15	765579	1344262	80	47	160	73	201.5	94.4
16	764266	1343966	79	45	165	73	189.4	88.6
21	761640	1344624	81	46	172	77	128.8	60.4
22	764209	1344158	84	48	179	82	158.1	74.0
23	764964	1345072	81	48	169	73	198.2	92.9
24	765474	1345021	84	50	181	83	144.0	67.5
27	764213	1342290	81	48	168	82	323.6	151.6
29	762182	1344268	80	45	176	74	121.4	56.8
30	762171	1343096	82	46	177	75	281.8	131.9
32	764477	1341908	81	47	185	82	331.0	155.1
33	763356	1343612	81	46	187	82	206.7	96.8
34	763265	1343228	82	46	193	80	262.0	122.6
35	763755	1343964	86	50	191	87	139.9	65.6
36	762441	1343740	82	47	185	81	265.6	124.3
40	762070	1343343	82	46	190	82	308.4	144.5
41	763347	1343997	81	46	160	70	134.3	62.9
42	763701	1345113	78	45	160	72	150.1	70.4
43	764265	1345012	77	44	154	67	284.0	133.1
44	764446	1344368	79	46	163	71	248.7	116.5
45	763455	1343660	80	45	180	76	159.4	74.6
46	762337	1344180	81	46	177	77	155.0	72.6
47	764669	1345012	77	45	166	70	274.5	128.6
48	765086	1344859	79	46	175	76	124.2	58.2
49	763809	1345900	83	48	176	76	135.5	63.5
51	763601	1343734	83	47	192	84	241.9	113.4
A11	750636	1351420	76	42	176	79	209.2	98.1
A2	747895	1355662	80	46	178	81	117.2	54.9
A3	747395	1354992	76	41	200	88	215.0	100.8
A4	746055	1354289	83	49	184	89	664.7	310.4
A5	745751	1354897	83	45	195	79	391.5	183.3
A6	746055	1354921	75	40	173	72	146.2	68.5
A7	761003	1342569	78	44	182	76	200.1	93.8

Ma so o	X	Y	b1	b2	b3	b4	TAGTB t_ha	TAGTC t_ha
A8	759554	1342093	77	44	165	75	335.0	156.9
B1	765117	1343514	82	48	171	74	234.8	110.0
B2	759814	1336089	76	43	177	80	185.8	87.0
B4	756557	1351561	84	50	180	78	240.9	112.9
B7	754626	1351281	80	45	175	75	329.1	154.1
C1	746282	1352373	73	40	180	75	348.9	163.3
C2	746339	1352679	75	41	192	83	298.0	139.6
C3	746784	1353278	78	44	179	77	157.6	73.9
C4	746825	1353526	77	43	196	84	151.8	71.2
C5	746784	1353676	79	48	167	90	177.4	83.1
C6	747149	1352584	75	40	187	80	117.4	55.0
C7	747660	1351913	75	40	186	80	378.1	177.3
C8	747034	1352232	77	42	194	82	362.3	169.8
C9	746906	1352064	74	40	191	79	268.0	125.5
D10	767044	1344881	82	48	161	70	177.9	83.4
D4	762154	1340708	78	45	161	81	131.2	61.5
D5	762760	1339803	80	44	198	80	218.2	102.1
D6	767827	1345511	86	53	171	76	123.6	57.9
D7	767754	1345127	84	50	164	72	159.0	74.5
D8	767567	1345192	81	48	158	70	116.2	54.5
D9	767064	1344992	83	49	164	70	250.3	117.2

THUYẾT MINH ĐỀ TÀI ĐÃ ĐƯỢC PHÊ DUYỆT
