

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

NGUYỄN THỊ HÀ

**NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI,
TRỮ LƯỢNG CÁC BON RỪNG NGẬP MẶN TRÊN CƠ SỞ
ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ GIS TẠI TỈNH CÀ MAU**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP

Hà Nội, 2007

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

NGUYỄN THỊ HÀ

**NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI,
TRỮ LƯỢNG CÁC BÓN RỪNG NGẬP MẶN TRÊN CƠ SỞ
ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ GIS TẠI TỈNH CÀ MAU**

Chuyên ngành: Lâm sinh

Mã số: 62 62 02 05

LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS.TS. VIÊN NGỌC NAM

TS. LÂM ĐẠO NGUYỄN

Hà Nội, 2017

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả

NCS. NGUYỄN THỊ HÀ

LỜI CẢM ƠN

Luận án này được thực hiện và hoàn thành theo Chương trình đào tạo Tiến sĩ của Trường Đại học Lâm nghiệp, Xuân Mai, Hà Nội. Nhân dịp hoàn thành luận án, Tác giả bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới PGS.TS Viên Ngọc Nam, TS. Lâm Đạo Nguyên, GS.TS. Nguyễn Xuân Quát, là những người trực tiếp hướng dẫn, giúp đỡ cho tác giả trong quá trình tổ chức thực hiện và hoàn thành báo cáo luận án.

Xin được trân trọng cảm ơn GS.TS. Vũ Tiến Hình, PGS.TS. Phạm Xuân Hoàn, PGS.TS Trần Quang Bảo, PGS.TS. Phùng Văn Khoa, PGS. TS. Bùi Thế Đồi (Đại học Lâm nghiệp); TS. Bùi Việt Hải (Đại học Nông Lâm TP.HCM); TS. Phạm Bách Việt (Viện Địa lý Tài nguyên TP. HCM) đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu trong quá trình hoàn thành Luận án.

Cũng nhân dịp này, xin được cảm ơn các Cán bộ thuộc Viện Sinh thái rừng và Môi trường Trường Đại học Lâm nghiệp, Cán bộ Viện Địa lý Tài nguyên TP.HCM, Cán bộ Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vệ tinh miền Nam đã giúp đỡ, tạo điều kiện hỗ trợ trong quá trình xử lý số liệu, trân trọng cảm ơn các Cán bộ thuộc Chi cục Kiểm lâm Cà Mau, các LNT và VQG Đất Mũi đã giúp đỡ tôi trong quá trình thu thập số liệu.

Xin trân trọng cảm ơn Ban Giám hiệu, Tập thể Bộ môn Lâm sinh, Khoa Lâm học, Tập thể và lãnh đạo Phòng đào tạo Sau Đại học Trường Đại học Lâm nghiệp; Ban Giám đốc Phân hiệu (Phân hiệu Đại học Lâm nghiệp) và Khoa Quản lý tài nguyên rừng và Môi trường đã động viên, giúp đỡ tạo điều kiện cho Tác giả hoàn thành luận án này.

Cuối cùng xin cảm ơn gia đình đã luôn đồng hành, động viên và chia sẻ những khó khăn cùng tôi trong quá trình thực hiện Luận án.

Tác giả luận án

NCS. Nguyễn Thị Hà

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Ý nghĩa
AGB	Sinh khối trên mặt đất (tấn/kg)
BĐKH:	Biến đổi khí hậu
C:	Các bon – carbon
CDM:	Clean Development Mechanism – Cơ chế phát triển sạch
CER:	Certified Emission Reduction – Giảm phát thải được chứng nhận
CH ₄ :	Methane – Mêtan
CO ₂ :	Carbon Dioxide – Cácbonic
CO ₂ e:	Carbon Dioxide Equivalent – Đơn vị cácbonic tương đương
COP:	Conference of the Parties (UNFCCC) – Hội nghị các Bên tham
DVMTR:	Dịch vụ môi trường rừng
FAO:	Tổ chức Nông lương thế giới
ER:	Emissions Reductions – Giảm phát thải
GIS:	Hệ thống thông tin địa lý
GHG:	Greenhouse Gas – Khí nhà kính
KNK:	Khí nhà kính
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change – Ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu
RNM:	Rừng ngập mặn
REDD:	Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng
REDD+:	Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng, Bảo tồn và tăng cường trữ lượng Các bon và Quản lý rừng bền vững.
UNEP:	Chương trình Môi trường Liên hợp quốc
UNFCCC	Công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu
WMO:	Tổ chức Khí tượng Thế giới
C0,3	Chu vi thân cây tại vị trí 0,3 m từ chân rễ chống cây Đước (cm)
D0,3	Đường kính tại vị trí 0,3 m từ chân rễ chống cây Đước (cm)

Dt	Đường kính tán từng cây (m)
HH	Phân cực ngang cả chiều phát và thu sóng phản xạ
HV	Phát theo phân cực ngang, thu theo phân cực đứng
Hvn	Chiều cao vút ngọn (m)
RNM:	Rừng ngập mặn
TAGB	Tổng sinh khối trên mặt đất quần thể (tấn/ha)
TC	Độ tàn che
VV	Phân cực đứng cả phát và thu sóng phản xạ
Wki	Khối lượng khô kiệt của mẫu i sau khi sấy (kg)
Wti	Khối lượng tươi của mẫu i trước khi sấy (kg)
Wt	Tổng sinh khối cây (kg, tấn/ha)
Wsk	Sinh khối khô bộ phận thân (kg, tấn/ha)
WBrk	Sinh khối khô bộ phận cành (kg, tấn/ha)
Wrk	Sinh khối khô bộ phận rễ (kg, tấn/ha)
Wlk	Sinh khối khô bộ phận lá (kg, tấn/ha)
WSt	Sinh khối tươi bộ phận thân (kg, tấn/ha)
WBrt	Sinh khối tươi bộ phận cành (kg, tấn/ha)
Wrt	Sinh khối tươi bộ phận rễ (kg, tấn/ha)
Wlt	Sinh khối tươi bộ phận lá (kg, tấn/ha)

MỤC LỤC

	Trang
TRANG PHỤ BÌA	
LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	iii
MỤC LỤC	v
DANH MỤC CÁC BẢNG	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH	x
MỞ ĐẦU	1
1. Sự cần thiết.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài	3
2.1. Mục tiêu tổng quát	3
2.2. Mục tiêu cụ thể.....	3
3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	3
4. Những đóng góp mới của đề tài	4
5. Đối tượng, phạm vi và giới hạn nghiên cứu.....	4
6. Kết cấu của luận án	5
Chương 1: TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	6
1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới liên quan đến đề tài	6
1.1.1. Vai trò của các bể chứa các bon trong việc giảm thiểu biến đổi khí hậu.....	6
1.1.2. Những nghiên cứu về sinh khối và các bon của rừng	9
1.1.3. Viễn thám và GIS ứng dụng trong nghiên cứu tài nguyên rừng	18
1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến đề tài	27
1.2.1. Những nghiên cứu về sinh khối và các bon của rừng	27
1.2.2. Nghiên cứu sinh khối và các bon của rừng ngập mặn.....	31
1.2.3. Viễn thám và GIS ứng dụng trong nghiên cứu sinh khối rừng	34
1.3. Thảo luận.....	36
Chương 2: NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	39
2.1. Nội dung nghiên cứu	39

2.2. Phương pháp nghiên cứu.....	39
2.2.1. Quan điểm và phương pháp luận.....	39
2.2.2. Phương pháp kế thừa tài liệu.....	43
2.2.3. Phương pháp thu thập số liệu sinh khối trên mặt đất.....	43
2.2.4. Phương pháp xử lý số liệu sinh khối trên mặt đất.....	49
2.2.5. Phương pháp nghiên cứu mối tương quan giữa dữ liệu viễn thám (giá trị phản xạ phổ, chỉ số NDVI và hệ số tán xạ ngược) với sinh khối rừng Đước.....	56
Chương 3: ĐẶC ĐIỂM ĐỐI TƯỢNG VÀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU.....	66
3.1. Đặc điểm đối tượng nghiên cứu.....	66
3.1.1. Đặc điểm phân bố Đước.....	66
3.1.2. Hình thái và đặc điểm sinh trưởng.....	66
3.1.3. Đặc tính sinh thái.....	67
3.1.4. Công dụng và ý nghĩa kinh tế.....	67
3.2. Đặc điểm khu vực nghiên cứu.....	67
3.2.1. Vị trí địa lý, địa hình và giới hạn lãnh thổ.....	67
3.2.2. Khí hậu.....	68
3.2.3. Sông ngòi – Thủy văn.....	69
3.2.4. Tài nguyên đất.....	69
3.2.5. Tài nguyên rừng.....	70
Chương 4: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN.....	71
4.1. Nghiên cứu sinh khối và các bon bằng phương pháp đo đếm trực tiếp.....	71
4.1.1. Phương trình sinh khối cây cá thể.....	71
4.1.2. Phương trình sinh khối quần thể Đước.....	81
4.1.3. Phương trình tích lũy các bon của quần thể Đước.....	90
4.1.4. Tương quan giữa sinh khối và tuổi rừng Đước.....	92
4.1.5. Lượng giá giá trị tích lũy các bon của rừng.....	94
4.2. Nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon của rừng dựa vào phương pháp sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám và GIS.....	95
4.2.1. Phân loại lớp phủ rừng ngập mặn sử dụng ảnh quang học.....	95

4.2.2. Phân tích quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược và giá trị phản xạ trên ảnh vệ tinh và sinh khối rừng trên mặt đất	96
4.2.3. Mô hình tương quan hồi quy ước tính sinh khối rừng	105
4.2.4. Bản đồ sinh khối và các bon của rừng Đước tại Cà Mau.....	111
4.3. Thảo luận kết quả nghiên cứu	115
4.3.1. Về kết quả ước tính sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất	115
4.3.2. Về mối quan hệ giữa sinh khối với các nhân tố điều tra lâm phần	116
4.3.3. Về mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon	118
4.3.4. Đối với phương pháp ứng dụng viễn thám trong ước tính sinh khối rừng ...	119
KẾT LUẬN, TỒN TẠI VÀ KIẾN NGHỊ	121
1. Kết luận	121
2. Tồn tại	123
3. Kiến nghị	124
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	125
TÀI LIỆU THAM KHẢO	126
PHỤ LỤC	

DANH MỤC CÁC BẢNG

TT	Tên bảng	Trang
1.1	Phương trình tương quan của cây Đước dựa vào đường kính ngang ngực	18
1.2	Mô hình hồi quy ước tính sinh khối trích xuất từ dữ liệu ảnh	23
2.1	Số lượng ô tiêu chuẩn sử dụng trong luận án	44
2.2	Số lượng cây tiêu chuẩn giải tích để xây dựng phương trình sinh khối cá thể	46
2.3	Các dạng phương trình tương quan tổng quát được sử dụng	50
4.1	Kết cấu sinh khối theo các bộ phận cây cá thể Đước	71
4.2	Mô hình ước tính tổng sinh khối tươi trên mặt đất của cây Đước	72
4.3	Kết quả kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi cây cá thể	74
4.4	Tỉ lệ sinh khối khô trung bình theo cấp tuổi	75
4.5	Kết quả tính hệ số biến động sinh khối khô theo cấp tuổi.	76
4.6	Kết quả tính số cây tiêu chuẩn cần chặt hạ xác định tỷ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi (n số cây)	76
4.7	Mô hình ước tính tổng sinh khối khô trên mặt đất của cây Đước	77
4.8	Kiểm tra sai số tương đối phương trình sinh khối khô theo quần thể	78
4.9	Kết quả tính hệ số các bon cho các bộ phận của cây theo cấp tuổi	79
4.10	Phương trình ước tính các bon cây cá thể Đước	80
4.11	Kiểm tra sai số tương đối phương trình các bon theo cấp tuổi	80
4.12	Mô hình ước tính sinh khối của quần thể Đước	89
4.13	Mô hình ước tính các bon của quần thể Đước	91
4.14	Tăng trưởng sinh khối của rừng Đước theo tuổi	92
4.15	Ước lượng giá trị hấp thụ CO ₂ của rừng Đước	95
4.16	Mô hình hồi quy một biến giữa giá trị tán xạ trên ảnh ALOS PALSAR và sinh khối trên mặt đất	105
4.17	Mô hình hồi quy đa biến giữa giá trị tán xạ trên ảnh ALOS PALSAR và sinh khối trên mặt đất	106

4.18	Kết quả kiểm chứng mô hình dựa trên giá trị tán xạ ngược	107
4.19	Mô hình hồi quy một biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất	108
4.20	Mô hình hồi quy giữa Chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng trên mặt đất	109
4.21	Mô hình hồi quy đa biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất	109
4.22	Kết quả kiểm chứng mô hình	110
4.23	Kết quả kiểm chứng mô hình	111

DANH MỤC CÁC HÌNH

TT	Tên hình	Trang
1.1	Chu trình các bon toàn cầu (Watson, 2000)[95]	8
2.1	Sơ đồ quá trình nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon tại Cà Mau	42
2.2	Bản đồ vị trí phân bố ô tiêu chuẩn tại rừng ngập mặn tỉnh Cà Mau.	44
2.3	Chặt hạ, cân đo, lấy mẫu sinh khối tươi	47
2.4	Sơ đồ mô tả phương pháp xây dựng bản đồ sinh khối và tích lũy C	57
4.1	Kết cấu tỉ lệ sinh khối cây cá thể Đước	72
4.2	Biểu đồ mô tả mối quan hệ giữa sinh khối khô với các nhân tố điều tra của phương trình 1 và 3	73
4.3	Biểu đồ tỉ lệ sinh khối các bộ phận của quần thể Đước (%)	82
4.4	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi I	83
4.5	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi II	84
4.6	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi III.	85
4.7	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi IV.	86
4.8	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi V	87
4.9	Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi VI	88
4.10	Tỉ lệ trung bình tích lũy các bon trong 4 bộ phận lâm phần Đước	90
4.11	Biểu đồ quan hệ giữa sinh khối và tăng trưởng sinh khối theo tuổi	93
4.12	Bản đồ phân loại vùng có rừng ngập mặn tại Cà Mau	96
4.13	Quan hệ giữa tán xạ ngược và sinh khối trên 2 phân cực tương ứng với 4 cách trích xuất giá trị.	97
4.14	Ảnh Alos Palsar- HH sử dụng trích xuất giá trị tán xạ ngược	98
4.15	Quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược và sinh khối rừng trên mặt đất	99
4.16	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 50 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.	100
4.17	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 100 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.	101

4.18	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 120 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.	102
4.19	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 150 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.	103
4.20	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 200 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau	103
4.21	Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với giá trị cường độ phản xạ trên ảnh SPOT 5 của rừng Đước tỉnh Cà Mau.	104
4.22	Bản đồ phân cấp sinh khối rừng Đước tại tỉnh Cà Mau	112
4.23	Bản đồ tích lũy các bon rừng Đước tại tỉnh Cà Mau	114

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết

Biến đổi khí hậu (BĐKH) là một thách thức to lớn đối với toàn thể nhân loại. Nguyên nhân chủ yếu gây BĐKH là do sự gia tăng nhanh chóng nồng độ KNK trong khí quyển (IPCC, 2007)[50]. Theo ước tính của IPCC, các-bon-níc (CO_2) chiếm tới 60% nguyên nhân của sự nóng lên toàn cầu, nồng độ CO_2 trong khí quyển đã tăng 28% từ 288ppm lên 366ppm trong giai đoạn 1850-1998 (IPCC, 2000)[51] và giai đoạn 2010 - 2015 là 390ppm. Nỗ lực hiện nay của các quốc gia trên thế giới trong thỏa thuận Paris là giới hạn nhiệt độ trái đất tăng thêm ở mức 2 độ C, cố gắng chỉ ở trong mức 1,5 độ C và đưa nồng độ khí CO_2 trong khí quyển hiện nay từ mức 390ppm xuống mức 350ppm (tương đương năm 1990) trong khí quyển. Để thực hiện mục tiêu này, việc cắt giảm phát thải khí nhà kính (KNK) là một trong các giải pháp quan trọng hàng đầu.

Các khu rừng, các vùng đất và đại dương là các bồn chứa tự nhiên hấp thụ khí CO_2 , trong đó, rừng đóng vai trò quan trọng trong chu trình các bon toàn cầu, vì mỗi năm rừng hấp thụ khoảng 1/12 của lượng CO_2 trong khí quyển của trái đất và hệ sinh thái rừng tích lũy khoảng 72% trữ lượng các bon của trái đất (Malhi và cộng sự, 2002)[69]. Báo cáo đánh giá rừng toàn cầu được công bố trong năm 2010 cho thấy rừng của thế giới ước tính lưu trữ khoảng 289 tỉ tấn các bon trong sinh khối (FAO, 2010)[43]. Vì vậy, các phép đo chính xác về sinh khối và tích lũy các bon trong sinh khối rừng, đặc biệt là các khu rừng nhiệt đới là rất cần thiết cho sự hiểu biết hơn về chu trình các bon toàn cầu cũng như việc xây dựng và đánh giá các sáng kiến để giảm sự nóng lên toàn cầu. Hơn nữa, thông tin của sinh khối rừng là cần thiết để hỗ trợ quản lý tài nguyên rừng bền vững.

Các nghiên cứu chỉ ra rằng việc nghiên cứu sinh khối, các bon vẫn là một thử thách, đặc biệt là đối với những khu rừng đặc thù, khó tiếp cận trong đó có các khu rừng ngập mặn. Hiện nay việc nghiên cứu sinh khối, các bon của rừng được sử dụng nhiều phương pháp khác nhau. Trong bản hướng dẫn về kiểm kê khí nhà kính quốc gia của IPCC (IPCC, 2006)[52] đã đề cập đến 2 cách là trực tiếp và gián tiếp để tính sinh khối trên mặt đất. Trong một hướng nghiên cứu khác có đề cập phương pháp

tiếp cận dựa trên đo đếm thực địa, viễn thám và GIS (Lu, 2006)[63]. Mặc dù cung cấp độ chính xác tốt nhất nhưng các kỹ thuật truyền thống dựa trên đo đạc hiện trường rất tốn kém và mất thời gian. Kỹ thuật dựa trên dữ liệu vệ tinh thay thế với các phương pháp truyền thống bằng cách cung cấp thông tin không gian rõ ràng và cho phép giám sát lặp đi lặp lại, thậm chí đo đếm tại các địa điểm từ xa, một cách hiệu quả về chi phí. Viễn thám đã được chứng minh là rất cần thiết trong việc theo dõi và lập bản đồ hệ sinh thái rừng ngập mặn bị đe dọa (Blasco và cộng sự, 2001)[30]. Với lợi thế về khả năng cung cấp thông tin không gian, thời gian và thông tin đa quang phổ, đa phân cực, viễn thám có thể được sử dụng như một công cụ để ước tính sinh khối, các bon để đáp ứng các yêu cầu hiện tại... Tuy nhiên, dữ liệu viễn thám cũng có những nhược điểm trong nghiên cứu như đối với viễn thám quang học các khu vực nhiệt đới thường chịu ảnh hưởng của khí quyển do đó dữ liệu thường bị che khuất bởi mây, đối với dữ liệu radar thì không bị ảnh hưởng bởi khí quyển nhưng ở những khu vực rừng có trữ lượng sinh khối lớn thường bị bão hòa ở một mức độ tán xạ ngược nhất định.

Tại Việt Nam việc xác định trữ lượng sinh khối và tích lũy các bon rừng cho tới nay đã có rất nhiều công trình nghiên cứu, tuy nhiên đa số các công trình vẫn tiến hành theo phương pháp truyền thống. Công nghệ viễn thám được sử dụng trong nước cho tới nay phần nào mới chỉ đáp ứng được công tác thành lập bản đồ phân bố rừng, kiểm kê rừng... thông qua các dữ liệu ảnh viễn thám quang học như Landsat, SPOT. Việc xác định sinh khối của HST rừng bằng phương pháp viễn thám, đặc biệt là viễn thám siêu cao tần chủ động (viễn thám radar) đã có một số nghiên cứu và đem lại những kết quả nhất định, tuy nhiên đối với hệ sinh thái rừng ngập mặn những ứng dụng này còn rất hạn chế. Hơn nữa, độ chính xác khi xác định sinh khối rừng bằng dữ liệu viễn thám phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố ngoại cảnh. Do đó câu hỏi đặt ra là có mối tương quan cao giữa sinh khối và các bon của rừng với giá trị tán xạ, phản xạ trích xuất từ dữ liệu viễn thám quang học và radar hay không trong điều kiện rừng ngập mặn? Có thể thành lập được bản đồ sinh khối và tích lũy các bon từ dữ liệu viễn thám hay không?

Do đó, để trả lời các câu hỏi đặt ra cần có những thử nghiệm, phân tích, đánh

giá và so sánh giữa các nguồn dữ liệu khác nhau, các kênh ảnh, các phân cực và các thông số kỹ thuật khác nhau từ dữ liệu viễn thám và so sánh với phương pháp đo đếm thực địa, đề tài “Nghiên cứu mô hình ước tính sinh khối, trữ lượng các bon rừng ngập mặn trên cơ sở ứng dụng Viễn thám và GIS tại tỉnh Cà Mau” được thực hiện nhằm hoàn thiện cơ sở khoa học và đề xuất được mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon cho rừng Đước dựa trên dữ liệu viễn thám.

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

2.1. Mục tiêu tổng quát

Cung cấp được dữ liệu và mô hình ước tính sinh khối, tích lũy các bon của rừng ngập mặn phục vụ công tác quản lý, phục hồi, duy trì và phát triển hệ sinh thái rừng ngập mặn, đồng thời làm cơ sở tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng ở tỉnh Cà Mau và cung cấp thông tin hỗ trợ việc triển khai các dự án REDD⁺ ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

2.2. Mục tiêu cụ thể

Phân tích được mối tương quan giữa giá trị tán xạ chiết xuất từ hình ảnh radar đa phân cực và giá trị phản xạ chiết xuất từ ảnh quang học với sinh khối rừng trên mặt đất.

Xây dựng được mô hình ước tính trữ lượng sinh khối và tích lũy các bon của rừng ngập mặn dựa trên dữ liệu thực địa và dữ liệu viễn thám.

Ước lượng và thành lập được bản đồ sinh khối, tích lũy các bon của rừng ngập mặn tại khu vực nghiên cứu.

3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Về mặt khoa học: Góp phần làm sáng tỏ vai trò và xác định khả năng sản xuất sinh khối và dự trữ các bon trên mặt đất của rừng ngập mặn nhằm cung cấp cơ sở khoa học trong việc định giá giá trị dịch vụ môi trường rừng; đồng thời nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu về ước tính sinh khối, tích lũy các bon rừng ngập mặn trên cơ sở ứng dụng ảnh viễn thám và GIS tại tỉnh Cà Mau.

Về mặt thực tiễn: Đề xuất một số mô hình ước tính sinh khối và trữ lượng tích lũy các bon của rừng ngập mặn nhằm hỗ trợ các nhà quản lý rừng trong việc điều tra, quy hoạch, sử dụng biện pháp kỹ thuật lâm sinh, lập kế hoạch bảo vệ, phát

triển rừng và tính toán chi trả dịch vụ môi trường rừng. Bên cạnh đó, các phép đo chính xác về sinh khối và tích lũy các bon trong sinh khối rừng ngập mặn góp phần nâng cao sự hiểu biết hơn về chu trình các bon cũng như việc xây dựng và đánh giá các sáng kiến để giảm sự nóng lên toàn cầu.

4. Những đóng góp mới của đề tài

- Ứng dụng ảnh viễn thám vào điều tra sinh khối và các bon cho rừng Đước tại tỉnh Cà Mau.

- Cung cấp được số liệu về sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất và ngưỡng bão hòa của sinh khối rừng đối với giá trị phản xạ và tán xạ ngược trên ảnh viễn thám tại tỉnh Cà Mau.

- Đề xuất được mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất của rừng bằng dữ liệu viễn thám siêu cao tần và quang học cho đối tượng đặc thù là rừng Đước tỉnh Cà Mau.

5. Đối tượng, phạm vi và giới hạn nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

Sinh khối và các bon trên mặt đất của rừng Đước (*Rhizophora apiculata* BL.) bao gồm các bộ phận: thân, cành, lá và rễ trên mặt đất.

Phạm vi và giới hạn nghiên cứu

Về không gian:

Nghiên cứu được xác định giới hạn trong khu vực ven biển thuộc tỉnh Cà Mau, nơi có diện tích RNM phân bố và chú trọng tới các khu vực điển hình về loài Đước (*Rhizophora apiculata* BL.) và mỗi ảnh viễn thám chỉ nghiên cứu trên một cảnh ảnh.

Về thời gian:

Luận án nghiên cứu dựa trên dữ liệu ảnh ALOS Palsar năm 2010 và ảnh SPOT5 năm 2013, trên địa bàn tỉnh Cà Mau, thời điểm gần với dữ liệu đo đếm thực địa.

Về đối tượng nghiên cứu:

Chỉ nghiên cứu giải tích điển hình cây Đước (*Rhizophora apiculata* BL.) bao gồm 4 bộ phận: Thân, cành, lá và rễ trên mặt đất, không nghiên cứu dưới mặt đất.

Chỉ khảo sát đặc tính kỹ thuật và đặc tính tương tác của ảnh viễn thám ALOS

PALSAR kênh L (kích thước pixel 12,5 x12,5 m) với 2 phân cực HH, HV và ảnh viễn thám quang học SPOT 5 (kênh 1, 2, 3, 4) với độ phân giải không gian là 10 x 10m.

Về số lượng cây giải tích

Thông thường, để xây dựng một phương trình sinh khối khô cho mỗi cấp tuổi đòi hỏi số cây phải đủ lớn, thông thường từ 50 cây trở lên. Nếu làm như vậy thì đòi hỏi số cây mẫu cần thiết để xây dựng phương trình cũng như kiểm nghiệm phương trình cho tất cả các cấp tuổi là rất lớn, tối thiểu 250 cây cho 5 cấp tuổi, do đó, trong khuôn khổ đề tài luận án không thực hiện được và cũng không thực sự cần thiết, do đó luận án chỉ xây dựng phương trình sinh khối tươi chung cho các cấp tuổi với số lượng 63 cây giải tích và sau đó xác định tỉ lệ sinh khối khô của từng cấp tuổi để xây dựng phương trình sinh khối khô cho từng cấp tuổi.

6. Kết cấu của luận án

Ngoài các nội dung như: Lời cam đoan; Lời cảm ơn, Mục lục, Danh mục bảng biểu, Hình ảnh, Danh mục các từ viết tắt; Danh mục các công trình đã công bố; Tài liệu tham khảo và Phụ lục. Phần chính của luận án dài 136 trang và có kết cấu như sau:

- Mở đầu: 5 trang
- Chương 1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu: 33 trang
- Chương 2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu: 26 trang
- Chương 3: Đặc điểm khu vực và đối tượng nghiên cứu: 5 trang
- Chương 4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận: 50 trang
- Kết luận, tồn tại và kiến nghị: 4 trang

Chương 1

TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới liên quan đến đề tài

1.1.1. Vai trò của các bể chứa các bon trong việc giảm thiểu biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu (BĐKH) là một trong những thách thức lớn nhất đối với nhân loại trong thế kỷ XXI. Biến đổi khí hậu là những biến đổi trong môi trường vật lý hoặc sinh học gây ra những ảnh hưởng có hại đáng kể đến thành phần, khả năng phục hồi hoặc sinh sản của các hệ sinh thái tự nhiên và hoạt động của các hệ thống kinh tế - xã hội hoặc đến sức khỏe và phúc lợi của con người (UNFCCC, 2005a)[91]. Nguyên nhân chính làm biến đổi khí hậu trái đất là do sự gia tăng các hoạt động tạo ra các chất thải khí nhà kính, các hoạt động khai thác quá mức các bể hấp thụ và bể chứa khí nhà kính như sinh khối rừng, các hệ sinh thái biển, ven bờ và đất liền khác.

Các bằng chứng thu thập được trong những năm 60 và 70 thế kỷ trước cho thấy sự tăng lên đáng kể của nồng độ các bonic (CO_2) trong khí quyển đã làm gia tăng sự quan tâm của cộng đồng khoa học quốc tế mà trước tiên là các nhà nghiên cứu khí hậu. Tuy nhiên, cũng phải mất hàng chục năm sau, vào năm 1988, Ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu mới được thành lập bởi Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) và Chương trình Môi trường Liên hợp quốc (UNEP). Tổ chức này đã đưa ra báo cáo đánh giá lần đầu tiên vào năm 1990 trên cơ sở nghiên cứu và ý kiến của 400 nhà khoa học trên thế giới. Bản báo cáo đã kết luận, hiện tượng nóng lên toàn cầu là có thật và cần phải có những hành động kịp thời để đối phó với hiện tượng này (UNFCCC, 2005b; (dẫn theo Phan Minh Sáng và cộng sự, 2006)[19].

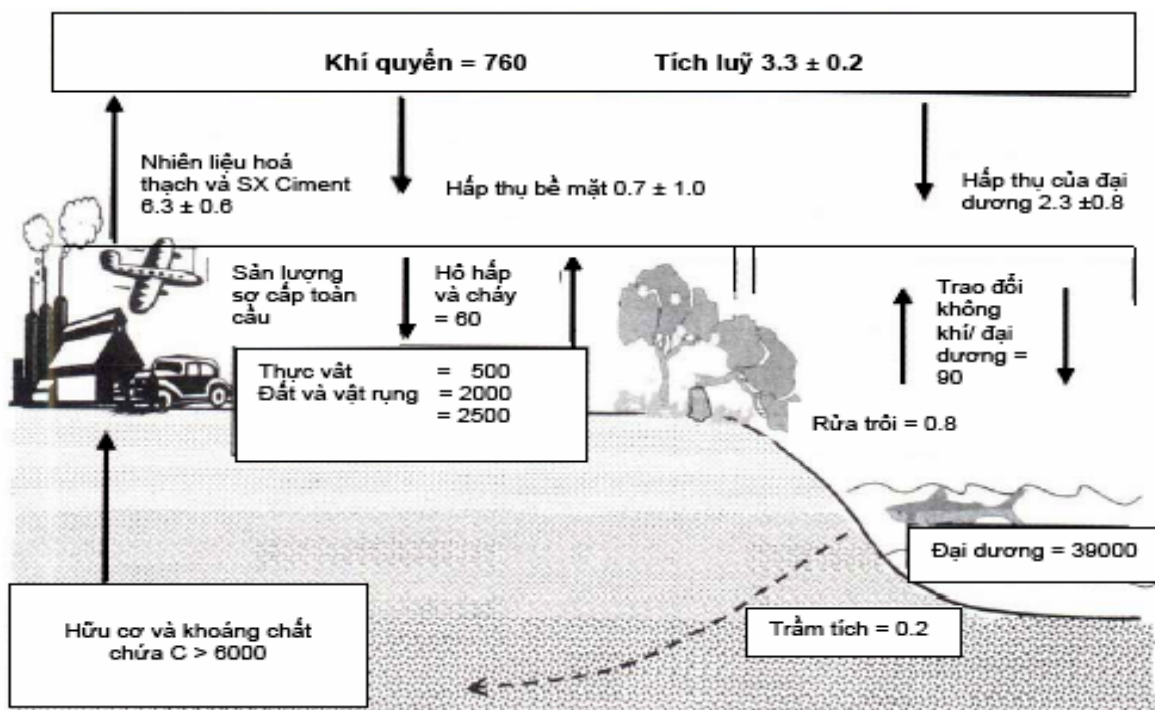
Nhận biết được tầm quan trọng của của việc hạn chế sự gia tăng khí nhà kính và sự ấm dần lên của trái đất, Hội nghị Liên hợp quốc về môi trường và Phát triển năm 1992 đã thông qua Công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu (UNFCCC) và chính thức có hiệu lực vào tháng 3/1994. UNFCCC là Công ước qui định một cơ sở khung tổng quát cho những nỗ lực quốc tế nhằm ứng phó với những biến đổi khí hậu trên qui mô toàn cầu. Mục tiêu của Công ước là nhằm ngăn ngừa những hoạt động có hại của loài người đến hệ khí hậu trên trái đất (UNFCCC, 2005a)[91].

Rừng có vai trò quan trọng trong chu trình các bon toàn cầu vì nó đóng góp 80% trữ lượng sinh khối trên mặt đất. CO₂ được coi như là khí nhà kính vì nó có ảnh hưởng rất lớn đến biến đổi khí hậu toàn cầu. Kể từ năm 1850, con người đã phát hành khoảng 480 tỉ tấn CO₂ vào khí quyển thông qua việc đốt nhiên liệu hóa thạch và thay đổi sử dụng đất. Hoạt động con người đã gây ra sự gia tăng mức độ các bon trong khí quyển và làm gián đoạn chu kỳ các bon toàn cầu. Tuy nhiên, bản chất các bon có cơ chế được thu hồi và lưu trữ trong các bể chứa các bon cô lập chủ yếu được lưu trữ trên cây rừng được gọi là sinh khối của cây hoặc rừng. Ban Liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPPC) xác định năm bể chứa các bon trong sinh khối hệ sinh thái, cụ thể là sinh khối trên mặt đất, sinh khối dưới mặt đất, vật rụng, mảnh vụn gỗ và chất hữu cơ trong đất. Trong số tất cả các bể chứa các bon, sinh khối trên mặt đất chiếm phần lớn. Nhiều tác giả cho rằng trữ lượng các bon chiếm 50% hoặc 45% sinh khối khô của các bộ phận cây, hệ sinh thái rừng lưu giữ khoảng 72% trữ lượng các bon trên mặt đất của trái đất (Malhi và cộng sự, 2002)[69].

Theo Báo cáo của Quỹ Bảo tồn thiên nhiên thế giới (WWF) và Hội Công nghiệp sinh khối châu Âu (AEBIOM), sinh khối cung cấp một nguồn năng lượng hiệu quả đồng thời lại là nguồn năng lượng các bon trung tính, có thể đảm bảo tới 15% nhu cầu năng lượng của các nước công nghiệp vào năm 2020, hiện tại, nguồn sinh khối mới chỉ đạt 1% nhu cầu. Sinh khối có thể cung cấp năng lượng cho 100 triệu hộ gia đình tương đương với công suất và có thể thay thế gần 400 nhà máy điện truyền thống lớn. Lợi thế to lớn của sinh khối so với các nguồn năng lượng tái tạo khác như năng lượng gió và mặt trời là sinh khối có thể dự trữ và sử dụng khi cần, đồng thời luôn ổn định, tình hình cấp điện không bị thất thường (Bauen và cộng sự, 2004)[29]. Báo cáo của WWF và AEBIOM nêu rõ sinh khối có thể làm giảm các phát tán CO₂ (khí chủ yếu gây nóng lên toàn cầu) gần 1.000 tấn/năm - tương đương lượng phát tán hàng năm của Canada và Italy cộng lại (Bauen và cộng sự, 2004)[29].

Những nghiên cứu về các bể các bon cũng được cộng đồng khoa học quốc tế quan tâm. Theo Watson (2000), trong chu trình các bon toàn cầu, lượng các bon lưu trữ trong thực vật thân gỗ và trong lòng đất khoảng 2,5 Tt, trong khi đó khí quyển

chỉ chứa khoảng 0,8 Tt (Watson, 2000)[95].



Hình 1.1. Chu trình các bon toàn cầu (Watson, 2000)[95]

(1 Tt C = 1.000 tỉ tấn C, 1Gt C = 1tỉ tấn C)

Trong chu trình các bon toàn cầu trên cũng cho thấy, tổng lượng các bon thải ra hằng năm (thập kỷ 1980, từ 1980 – 1989) do các hoạt động của con người là 5,7 – 6,9 tỉ tấn các bon/năm, trong khi đó lượng hấp thụ bề mặt và của đại dương chỉ từ 2,1 – 3,8 tỉ tấn các bon/năm (Watson, 2000)[95]. Như vậy đã có sự chênh lệch giữa hấp thụ và phát thải.

Trên phạm vi toàn cầu, rừng tích lũy khoảng 1.146 tỉ tấn các bon. Trong đó phân ra: rừng ở vĩ độ thấp (nhiệt đới và á nhiệt đới) là 37 %, rừng ở các vĩ độ cao là 49 %, còn lại 14 % thuộc về rừng ở vĩ độ trung bình (dẫn theo Nguyễn Văn Thêm, 2001)[22].

Theo Watson (2000), tổng cộng hấp thụ các bon toàn cầu trong thực vật và đất trên 1m là khoảng 2477 tỉ tấn các bon, trong đó rừng phương bắc có diện tích là $13,7 \times 10^6 \text{ km}^2$ nhưng hấp thụ lượng các bon nhiều nhất 559 tỉ tấn các bon, rừng nhiệt đới có lượng hấp thụ các bon là 428 tỉ tấn các bon [95].

Oo và cộng sự (2006) đã nghiên cứu sinh khối để đánh giá lượng tích lũy các bon trong sinh khối của rừng trồng 2 loài cây Bạch đàn và Keo (*Eucalyptus*

camaldulensis và *Acacia catechu*), quần thể cây bụi và thảm cỏ ở một vùng có khí hậu khô hạn, thành phố Nyaung U town, Myanmar. Kết quả cho thấy, khả năng tích lũy các bon trong sinh khối của rừng, cây bụi và thảm cỏ ở vùng khô hạn thấp hơn nhiều so với những vùng có khí hậu mát hơn [79].

Theo ước tính hoạt động trồng rừng và tái trồng rừng trên thế giới có tỷ lệ hấp thụ CO₂ ở sinh khối trên mặt đất và dưới mặt đất là 0,4 – 1,2 tấn/ha/năm ở vùng cực bắc, 1,5 – 4,5 tấn/ha/năm ở vùng ôn đới, và 4 - 8 tấn/ha/năm ở các vùng nhiệt đới (IPPC, 2000)[51]. Tổng lượng các bon mà hoạt động trồng rừng trên thế giới có thể hấp thụ tối đa trong vòng 55 năm (1995 – 2050) là vào khoảng 60 - 87 tỉ tấn , với 70 % ở rừng nhiệt đới, 25 % ở rừng ôn đới và 5 % ở rừng cực Bắc (Cairns và cộng sự, 1997)[36]. Tổng cộng rừng trồng có thể hấp thụ được 11 - 15 % tổng lượng CO₂ phát thải từ nhiên liệu hóa thạch trong thời gian tương đương (Brown, 1997)[31].

Zech và cộng sự (1989) ước lượng rằng diện tích trồng rừng cần thiết để hấp thụ CO₂ còn thừa ra thải vào không khí hàng năm là 800 triệu hécta, và để thay thế nhiên liệu hóa thạch cần diện tích rừng tương ứng là 1.300 – 2.000 triệu hécta (dẫn theo Phan Minh Sáng và cộng sự, 2006)[19].

Nhìn chung, các nhà nghiên cứu đều quan tâm đến sự tăng lên của CO₂ trong khí quyển, những ảnh hưởng của nó đến môi trường sống và nhấn mạnh vai trò của hệ sinh thái rừng trong việc giảm thiểu khí gây hiệu ứng nhà kính. Điều đó cho thấy rằng việc nghiên cứu sinh khối, khả năng lưu trữ các bon và sự hấp thụ CO₂ của hệ sinh thái rừng là hết sức cần thiết.

Những bằng chứng cho thấy vai trò của hệ sinh thái rừng liên quan đến giảm thiểu biến đổi khí hậu, đặc biệt là khả năng tích lũy các bon trong sinh khối của hệ sinh thái rừng. Do đó việc nghiên cứu khả năng lưu trữ các bon trong sinh khối và quản lý, giám sát và dự báo được nguồn các bon lưu trữ trong các hệ sinh thái rừng là rất quan trọng.

1.1.2. Những nghiên cứu về sinh khối và các bon của rừng

Sinh khối được xác định là tất cả chất hữu cơ ở dạng sống (còn ở trên cây) và chết ở trên hoặc ở dưới mặt đất (Brown, 1997)[31]. Nó cũng là tổng lượng chất hữu

ơ có được trên một diện tích tại một thời điểm và được tính bằng tấn/ha theo khối lượng khô (Ong và cộng sự, 2004)[78]. Sinh khối cũng được định nghĩa là tổng khối lượng vật chất hữu cơ sống hoặc chết, trên và dưới mặt đất, được thể hiện bằng tấn chất khô trên một đơn vị diện tích. Các bon trong sinh khối của các hệ sinh thái rừng thường tập trung ở bốn bộ phận chính: Thảm thực vật còn sống trên mặt đất, vật rơi rụng, rễ cây và đất rừng. Việc xác định lượng các bon trong rừng thường được thực hiện thông qua xác định sinh khối rừng (Neil và cộng sự, 2000)[75]. Do những khó khăn trong việc thu thập dữ liệu sinh khối dưới mặt đất, nên hầu hết các nghiên cứu dự đoán sinh khối đều dựa trên sinh khối trên mặt đất (AGB) (Lu, 2006)[63]. Ước tính chính xác sinh khối rừng là rất quan trọng đối với nhiều ứng dụng, từ thương mại đến sử dụng gỗ (Morgan và cộng sự, 1985)[74] và cả chu trình các bon toàn cầu. Việc nghiên cứu sinh khối cây rừng cũng có ý nghĩa rất quan trọng trong việc đánh giá, quản lý và sử dụng rừng một cách có hiệu quả.

1.1.2.1. Nghiên cứu về sinh khối và các bon của các hệ sinh thái rừng

Ước tính sinh khối tích lũy trong hệ sinh thái rừng là rất quan trọng để đánh giá năng suất và tính bền vững của rừng. Đối với nghiên cứu sinh khối, cây được chia thành: Sinh khối gỗ thân cây, vỏ cây, cành sống, cành cây chết, lá, rễ lớn và vừa, và cuối cùng rễ nhỏ.

Theo Art và Marks (1971), một héc ta rừng rụng lá ôn đới trưởng thành có sinh khối khoảng 422 tấn, rừng nhiệt đới là 415 tấn, rừng ôn đới thường xanh là 575 tấn (dẫn theo Nguyễn Văn Thêm, 2001)[22]. Sinh khối và năng suất của rừng thay đổi theo tuổi rừng. Việc xác định sinh khối rừng và tích lũy Các bon có nhiều phương pháp khác nhau, mỗi phương pháp có những ưu điểm riêng, tuy nhiên phương pháp phổ biến hiện nay vẫn là phương pháp đo đếm trực tiếp thông qua việc chặt hạ cây.

Công trình “Hướng dẫn theo dõi sự tích lũy các bon ở các dự án trồng rừng và hệ thống nông lâm kết hợp” đã mô tả một hệ thống những phương pháp với mức chi phí thấp để theo dõi sự tích lũy các bon ở với 3 kiểu sử dụng đất: Rừng trồng, rừng tự nhiên, hệ thống nông lâm kết hợp. Hệ thống đánh giá sự thay đổi các bon trong bốn bể chứa chính, đó là: sinh khối trên mặt đất, sinh khối dưới mặt đất, đất

và lớp vật rụng (MacDicken, 1997)[67]

Trong những năm gần đây, các phương pháp nghiên cứu định lượng và mô hình dự báo sinh khối cây rừng đã được áp dụng thông qua việc chặt hạ cây để đo đếm trực tiếp sinh khối và các mối quan hệ giữa sinh khối cây với các nhân tố điều tra dễ đo đếm như đường kính ngang ngực, chiều cao cây, chiều dài tán, tỉ trọng gỗ... giúp cho việc dự đoán nhanh sinh khối để xác định trữ lượng tích lũy các bon trong sinh khối rừng và tiết kiệm chi phí trong quá trình thực hiện.

Các phương pháp dựa trên lĩnh vực đo sinh khối có thể được chia thành hai nhóm, là trực tiếp và gián tiếp (Overman và cộng sự, 1994)[80]. Phương pháp đo đếm trực tiếp bao gồm chặt hạ cây để xác định sinh khối thông qua cân đo trọng lượng thực tế của các bộ phận cây như thân, cành, lá và cân đo trọng lượng sinh khối sau khi được sấy khô (Supriya và cộng sự, 2009)[90]. Phương pháp đo đếm trực tiếp được giới hạn trong khu vực và kích thước cây mẫu nhỏ, xác định sinh khối chính xác nhưng mất nhiều thời gian và công sức, chi phí lớn. Phương pháp không khả thi cho quy mô khu vực rộng lớn và không áp dụng cho các loài đang bị đe dọa, được áp dụng nhiều cho đối tượng thảm tươi, cây bụi và trảng cỏ. Phương pháp gián tiếp nhằm mục đích xây dựng một mối tương quan giữa sinh khối với các chỉ tiêu như đường kính, chiều cao, mật độ cây bằng phương pháp phân tích hồi quy (Brown và cộng sự, 1989)[33], (Henry và cộng sự, 2010)[47]. Phương pháp này đã được phát triển để ước tính tổng sinh khối từ các phép đo thay thế thông qua đường kính 1,3 m. Ước tính chính xác nhất khi chúng được hiệu chỉnh số lượng mẫu từ các loài quan tâm. Đối với những loài nguy cấp, quý hiếm đôi khi không cần lấy mẫu để xây dựng mối tương quan.

Phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất để ước tính sinh khối rừng là phương pháp thông qua phương trình tương quan. Phương trình tương quan là một phương pháp hấp dẫn nhất trong việc định lượng tích lũy Các bon trong sinh khối rừng vì cho phép sử dụng các biến đo đếm dễ dàng như đường kính, chiều cao và thể tích cây. Phương pháp này cho phép tính ước tính sinh khối cây riêng lẻ từ việc đo kích thước của cây. Sự phát triển và ứng dụng của phương trình tương quan là tiêu chuẩn để ước tính sinh khối trên mặt đất (José, 2009)[55]. Các phương trình

tương quan được phát triển và áp dụng cho kiểm kê rừng để đánh giá sinh khối và trữ lượng các bon của rừng. Nhiều nhà nghiên cứu đã phát triển phương trình dự đoán sinh khối tổng quát với nhiều loại rừng và loài cây khác nhau (Basuki và cộng sự, 2009)[28]. Một số công trình xây dựng phương trình cho rừng hỗn loài với nhiều cây khác nhau, một số xây dựng cho một số loài cây cụ thể trong quy mô hẹp hoặc cho khu vực và toàn cầu.

Hiện nay, ở các nước trên thế giới, phương pháp mô hình thống kê toán học đã được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu khoa học. Việc sử dụng các thuật toán thích hợp cho việc thiết lập các mô hình ước lượng sinh khối cũng rất quan trọng. Phân tích hồi quy là cách tiếp cận được sử dụng thường xuyên nhất cho việc phát triển các mô hình ước lượng sinh khối (Mitchard và cộng sự, 2011)[72], (Sun và cộng sự, 2011)[89], (Lu, 2005)[62], (Roy và cộng sự, 1996)[83], (Heiskanen, 2006)[46].

Theo Finlayson và cộng sự (1993), cho rằng sinh khối cây Tràm có thể tính toán dễ dàng ngoài thực địa thông qua việc đo đạc DBH của các cá thể cây rừng. Mối quan hệ giữa DBH và sinh khối tươi của Tràm được các tác giả mô tả bằng phương trình tương quan có dạng: $\log(FW) = 2,266 \times \log(DBH) - 0,502$. Các tác giả trên đã cho rằng phương trình này sử dụng tốt cho cả 2 loài Tràm *Melaleuca cajuputi* và *Melaleuca viridiflora*, với sinh khối được tính bằng trọng lượng tươi [44].

Zhang và cộng sự (2013) đã thực hiện nghiên cứu ở rừng nhiệt đới lá rộng thường xanh ở Quảng Đông, Trung Quốc để ước tính sinh khối trên mặt đất bằng cách sử dụng phương trình tương quan. Bằng cách chặt hạ 21 cây có đường kính dao động từ 4,8 và 34,4 cm đã xây dựng được phương trình tương quan dựa bộ phận trên thân, cành và lá. Ông cũng cho rằng, đối với dự đoán sinh khối rừng nhiệt đới có thể không cần thiết đo chiều cao cây vì tốn nhiều thời gian và công sức [99].

Van và cộng sự (2000)[92] đã xây dựng phương trình dự báo sinh khối các thành phần trên mặt đất của loài cây Tràm (*Melaleuca viridiflora*) tại Nam Florida dựa trên đường kính thân cây tại vị trí ngang ngực (DBH) và cho rằng DBH là một chỉ tiêu tốt nhất dùng dự đoán sinh khối toàn bộ hoặc các thành phần riêng lẻ như

thân, cành, lá, bao quả và hạt. Phương trình có dạng:

$$\ln(W) = \ln(a) + b \cdot \ln(D) \quad [99]$$

Zianis và cộng sự (2004) đã có công trình nghiên cứu “Đơn giản hóa phương trình tương quan sinh khối rừng”. Tác giả đã đơn giản hóa phương trình tương quan xác định sinh khối rừng, từ hàm mũ $W = a \cdot D^b$ sang dạng hàm logarit 2 chiều $\ln W = \ln a + b \cdot \ln D$ với các tham số a, b được xác định theo phương trình $a = 7,0281 \cdot b^{4,7558}$, $b = 1,9262 + 0,6972 \cdot b^*$ ($0 < b^* < 1$) [101].

Lu và cộng sự (2004)[65] đã tiến hành nghiên cứu sinh khối ở rừng Amazon. Ông cũng đã sử dụng phương pháp phân tích hồi quy phát triển các mô hình hồi quy để dự đoán sinh khối rừng. Nghiên cứu thực địa được tiến hành đo lường và tính toán sinh khối rừng trên mặt đất dựa trên đường kính ngang ngực (DBH) và chiều cao cây. Tổng cộng có 26 ô mẫu thứ cấp với kết quả sinh khối khoảng 24-160 tấn / ha và giá trị trung bình là 89 tấn / ha, và tổng cộng 14 ô mẫu rừng trưởng thành với sinh khối khoảng 111-495 tấn / ha và trung bình của toàn khu vực là 248 tấn / ha. Nhiều phân tích tương quan hồi quy được sử dụng để dự báo sinh khối rừng trong các nghiên cứu này.

Cai và cộng sự (2013)[35] đã chặt hạ 120 cây để đo sinh khối trên mặt đất, xây dựng phương trình tương quan cho mười loài cây trong rừng thứ sinh ở phía Đông Bắc Trung Quốc. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp lấy mẫu để xác định sinh khối của các bộ phận (bao gồm thân, cành, vỏ và lá) của 120 cây mẫu, từ đó xây dựng các phương trình tương quan dựa trên đường kính ngang ngực, chiều cao cây và chiều dài tán.

Khun và cộng sự (2012)[56] đã đề xuất một phương pháp ước lượng các bon lưu trữ trong rừng ở Seima, Campuchia. Để xác định sinh khối trên mặt đất thì 75 cây đại diện cho ba loài ưu thế được chặt hạ, sinh khối các bộ phận trên mặt đất trong nghiên cứu là bộ phận thân, cành, rễ và lá. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng có sự tương quan tương đối cao giữa $D_{1,3}^2 \times H$ với tổng sinh khối trên mặt đất cho 3 loài *D. tuberculatus*, *T. tomentosa* và *P. siamensis* (tương ứng với $r = 0,97$, $0,99$ và $0,99$). Do đó phương trình tương quan được xây dựng trong nghiên cứu này có thể ứng dụng trong việc ước tính trữ lượng sinh khối.

Moore (2010)[73], đã tiến hành nghiên cứu ở Bắc đảo của New Zealand để phát triển một loạt các phương trình dựa trên chiều cao và đường kính của loài Thông radiata (*Pinus radiata* D. Don). Trong nghiên cứu của mình, phương trình hồi quy được phát triển để ước tính tổng sinh khối trên mặt đất (ABG) với các chỉ tiêu khác nhau của cây bao gồm, đường kính ngang ngực, chiều cao và $D_{1.3}^2 \times H$.

Chave và cộng sự (2005)[37] đã phát triển phương trình tương quan dự báo sinh khối tươi và sinh khối khô của cây đứng cho rừng nhiệt đới. Các mô hình hồi quy đã được các nhà khoa học sử dụng một cách đáng tin cậy để dự đoán sinh khối trên mặt đất trên một phạm vi rộng lớn của rừng nhiệt đới trong một số dự án xác định sinh khối và trữ lượng các bon. Các mô hình tương quan được xây dựng là hàm phi tuyến tính dựa trên mối quan hệ giữa sinh khối trên mặt đất (AGTB) với đường kính (D), chiều cao (H) và tỉ trọng gỗ (ρ).

$$AGTB = 0,0509 * \rho * D^2 H$$

$$AGTB = 0,112 * (\rho * D^2 H)^{0,916}$$

$$AGTB = 0,0776 * (\rho * D^2 H)^{0,940}$$

Mani và cộng sự (2007)[71] đã nghiên cứu sinh khối trên mặt đất đối với rừng khô nhiệt đới thường xanh ở vùng nội địa và ven biển thuộc bán đảo Ấn Độ, 10 ô định vị đã được bố trí xây dựng trên một ha trên 5 lập địa khác nhau và đã sử dụng hai phương trình hồi quy tuyến tính mô tả mối quan hệ giữa sinh khối trên mặt đất (ABG) với tiết diện ngang thân cây (BA) và chiều cao cây (H) để tính sinh khối trên mặt đất. Phương trình (1) là mô tả tốt nhất mối quan hệ giữa tiết diện ngang và sinh khối trên mặt đất và được sử dụng để tính sinh khối trên mặt đất rừng khô nhiệt đới thường xanh cho toàn khu vực.

$$ABG = 12,05 + 0,876(BA) \quad (1)$$

$$ABG = 11,27 + 6,03(BA) + 1,83(H) \quad (2)$$

Ngoài những phương pháp trên thì trong nghiên cứu của Okimoto và cộng sự (2013)[77] đã ước tính cổ định các bon ròng của một cây ngập mặn đại diện tại khu

vực Đông Nam Á, là cây Đước. Hai phương pháp khác nhau đã được thực hiện: Phương pháp phân tích trao đổi khí và phương pháp phân tích đường cong tăng trưởng. Phương pháp phân tích trao đổi khí được dựa trên tính các giá trị các bon giữa hấp thụ quang hợp và phát thải hô hấp. Hai tham số hấp thụ và phát thải được tính toán bằng cách sử dụng tỷ lệ quang hợp của lá đơn để đáp ứng với ánh sáng và nhiệt độ; tỷ lệ hô hấp của thân cây và nhánh để đáp ứng với nhiệt độ. Giá trị của sự cố định các bon ròng hàng năm cho rừng 4, 5 và 9 tuổi được ước tính là 2,5-30,5 tấn C/ha/năm. Giá trị ước tính bằng phương pháp phân tích trao đổi khí là cao hơn so với kết quả bằng phương pháp phân tích đường cong tăng trưởng.

Như vậy, có rất nhiều công trình nghiên cứu về sinh khối trên mặt đất. Các tác giả đã thực hiện nhiều phương pháp khác nhau để ước tính sinh khối. Phương pháp được sử dụng nhiều nhất đó là phương pháp dựa trên phương trình tương quan giữa sinh khối với các chỉ tiêu điều tra của lâm phần hay cây tiêu chuẩn. Tuy nhiên, mức độ chính xác của các phương trình phụ thuộc vào các chỉ tiêu điều tra khác nhau, nhiều tác giả khẳng định sinh khối cây trên mặt đất phụ thuộc nhiều vào đường kính thân cây và đưa ra hàm tương quan một nhân tố là đường kính ngang ngực (Finlayson và cộng sự, 1993)[44], (Zhang và cộng sự, 2013)[99], (Van và cộng sự, 2000)[92], (Zianis và cộng sự, 2004)[101], nhưng một số tác giả lại khẳng định để có kết quả tốt hơn để ước tính sinh khối trên mặt đất còn phụ thuộc vào chiều cao cây. Do đó, sinh khối cây trên mặt đất phụ thuộc vào 2 chỉ tiêu cả đường kính ngang ngực và chiều cao cây, đặc biệt là tổ hợp ($D_{1.3}^2 \times H_{vn}$) được nhiều tác giả sử dụng (Lu, 2006)[63], (Shuo và cộng sự, 2013)[85], (Khun và cộng sự, 2012)[56], (Moore, 2010)[73], (Jerome và cộng sự, 2005)[54].

Hầu hết các phương trình tương quan ước tính sinh khối đều là hàm mũ và có một biến là đường kính ngang ngực. Tuy nhiên, một số tác giả cho rằng mức độ chính xác của các phương trình phụ thuộc vào các chỉ tiêu điều tra khác nhau, nhiều tác giả khẳng định sinh khối cây trên mặt đất chỉ phụ thuộc nhiều vào đường kính thân cây và đưa ra hàm tương quan 1 nhân tố là đường kính ngang ngực (Finlayson và cộng sự, 1993)[44], (Zhang và cộng sự, 2013)[99], (Van và cộng sự, 2000)[92], (Zianis và cộng sự, 2004)[101], nhưng một số tác giả lại khẳng định để có kết quả

tốt hơn để ước tính sinh khối trên mặt đất còn phụ thuộc vào chiều cao cây. Do đó, sinh khối cây trên mặt đất phụ thuộc vào 2 chỉ tiêu cả đường kính ngang ngực và chiều cao cây, đặc biệt là tổ hợp ($D_{1.3}^2 \times H_{vn}$) được nhiều tác giả sử dụng (Lu, 2006)[63], (Cai và cộng sự, 2013)[35], (Khun và cộng sự, 2012)[56], (Moore, 2010)[73], (Chave và cộng sự, 2005)[37].

Số lượng cây mẫu chặt hạ phục vụ xây dựng phương trình tương quan cũng biến động tùy theo loài cây và loại rừng. (Cai và cộng sự, 2013)[35], đã chặt hạ 120 cây để đo sinh khối trên mặt đất để xây dựng phương trình tương quan cho mười loài cây, (Zhang và cộng sự, 2013)[99] và cộng sự chặt hạ 21 cây có đường kính dao động từ 4,8 đến 34,4 cm, (Khun và cộng sự, 2012)[56] chặt hạ 75 cây đại diện cho ba loài ưu thế để xác định sinh khối trên mặt đất.

1.1.2.2. Nghiên cứu sinh khối và các bon của rừng ngập mặn

Rừng ngập mặn (RNM) là loại rừng phân bố ở vùng cửa sông, ven biển nhiệt đới và cận nhiệt đới, nơi có thủy triều ra vào hàng ngày (Phạm Văn Ngọt và cộng sự, 2012)[11]. Rừng ngập mặn đóng vai trò trong việc bảo vệ đê biển và cải tạo môi trường sinh thái. Ngoài các giá trị cung cấp các lâm sản có giá trị như gỗ, củi, than, tanin, là nguồn cung cấp thức ăn cho các loài thủy sản, là nơi cư trú và làm tổ của nhiều loài chim, động vật ở nước, thú quý hiếm, rừng ngập mặn còn đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu biến đổi khí hậu toàn cầu nhờ khả năng tích lũy các bon trong sinh khối của rừng. Trên quy mô toàn cầu, rừng ngập mặn ở vùng nhiệt đới có sinh khối trên mặt đất cao hơn nhiều so với ở các vùng ôn đới (Komiyama và cộng sự, 2008)[57].

Wanthongchai và cộng sự (2006) đã nghiên cứu vai trò của rừng ngập mặn trong tích tụ các bon ở tỉnh Trat, Thái Lan với phương pháp phân tích hàm lượng các bon chứa trong sinh khối khô. Kết quả lượng các bon trung bình chứa trong ba loài nghiên cứu (*Rhizophora mucronata*, *R. apiculata*, *B. cylindrica*) chiếm 47,77 % khối lượng khô và ở rừng nhiều tuổi thì hấp thu lượng các bon nhiều hơn rừng ít tuổi. Lượng các bon cao nhất là loài *R. apiculata* 11 tuổi với 74,75 tấn/ha, *Rhizophora mucronata* với 65,50 tấn/ha trong khi cũng tuổi đó *B. cylindrica* chỉ có 1,47 tấn/ha bởi vì hai loài trên sinh trưởng tốt hơn (Wanthongchai và cộng sự, 2006)[94].

Subarudi và cộng sự (2004) đã phân tích chi phí cho việc thiết kế và triển khai dự án CDM tại tỉnh Cianjur, miền Tây Java, Indonesia với diện tích là 17,5 ha (đất của các hộ nông dân). Đây là một trong những dự án CDM đã được thiết lập trong một số tỉnh ở Indonesia và được cấp vốn bởi tổ chức JIFPRO của Nhật Bản. Kết quả cho thấy trữ lượng các bon hấp thụ từ 19,5 – 25,5 tấn C/ha [88].

Ross và cộng sự (1998) đã nghiên cứu sinh khối và năng suất trên mặt đất của các quần thể rừng ngập mặn ở vườn Quốc gia Biscayne, Florida (USA) từ sau cơn bão Andrew (1992) đã chỉ ra rằng chức năng quan trọng của cấu trúc tự nhiên của quần thể trong việc chống bão của hệ thống rừng ngập mặn. Theo đó, đặc biệt kích thước và sự phân bố của các bộ phận cấu thành sinh khối có vai trò rất lớn đến khả năng chống bão của rừng [82].

Christensen (1978) đã nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp của rừng Đước ở rừng ngập mặn đảo Phuket trên bờ biển Tây, Thái Lan. Kết quả cho thấy tổng lượng sinh khối trên mặt đất ở rừng 15 tuổi là 159 tấn sinh khối khô trên một héc ta. Lượng tăng trưởng hàng năm tính cho toàn bộ thân, cành, lá và rễ ước tính khoảng 20 tấn/ha/năm. Tổng năng suất sinh khối khô ước tính là 27 tấn/ha/năm. So sánh lượng vật rụng của rừng ngập mặn và rừng mưa nhiệt đới cho thấy lượng vật rụng hàng năm của rừng ngập mặn cao hơn so với rừng mưa nhiệt đới do rừng ngập mặn nhỏ tuổi và sinh trưởng nhanh hơn [39].

Các phương pháp nghiên cứu về sinh khối và các bon rừng ngập mặn cũng đã được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Trong đó, phương pháp sử dụng phương trình tương quan cho rừng ngập mặn đã được phát triển trong nhiều thập kỷ để ước lượng sinh khối và tăng trưởng của rừng (Komiyama và cộng sự, 2008)[57].

Komiyama và cộng sự (2008), đã đánh giá về phương trình tương quan, sinh khối và năng suất rừng ngập mặn, bằng cách so sánh từ 72 bài báo nghiên cứu về cây rừng ngập mặn, đã tổng hợp các phương trình tương quan ước tính sinh khối dựa vào đường kính ngang ngực của nhiều loài cây của HST rừng này. Tất cả các phương trình đều là hàm mũ và có một biến là đường kính ngang ngực. Việc đo đường kính thân cây hoặc chu vi là thực tế hơn so với các chỉ tiêu khác như chiều cao vì một số khu vực có tầng tán dày sẽ khó quan sát chiều cao để đo đếm một cách chính xác [57].

Bảng 1.1. Phương trình tương quan của cây Đước dựa vào đường kính ngang ngực

Tên loài	Phương trình tương quan	Nguồn tác giả
<i>Rhizophora apiculata</i>	$W_{top} = 0,235 \times DBH^{2,42}$ $r^2 = 0,98$, n = 57 $D_{max} = 28$ cm,	Ong và cộng sự. (2004)
<i>Rhizophora mangle</i>	$W_{top} = 0,178 \times DBH^{2,47}$ $r^2 = 0,98$, n = 17.	Imbert và Rollet (1989)
<i>Rhizophora</i> spp.	$W_{top} = 0,128 \times DBH^{2,60}$ $r^2 = 0,92$, n = 9, $D_{max} = 32$ cm.	Fromard và cộng sự. (1998)
	$W_{top} = 0,105 \times DBH^{2,68}$ $r^2 = 0,99$, n = 23, $D_{max} = 25$ cm.	Clough và Scott (1989)

Nguồn: (Komiyama và cộng sự, 2008)[57]

1.1.3. Viễn thám và GIS ứng dụng trong nghiên cứu tài nguyên rừng

Sự phát triển của công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã hỗ trợ đắc lực cho việc quản lý cơ sở dữ liệu, phân tích dữ liệu để lựa chọn các giải pháp quản lý, sử dụng bền vững và có hiệu quả nguồn tài nguyên. Công nghệ tích hợp dữ liệu GIS và Viễn thám tạo nên một giải pháp cập nhật, xây dựng dữ liệu, phân tích biến động hiệu quả và hỗ trợ ra quyết định nhanh, trên phạm vi rộng với giá thành rẻ so với biện pháp truyền thống (Nguyễn Kim Lợi và cộng sự, 2009)[5].

Viễn thám thu nhận từ xa các thông tin về các đối tượng, hiện tượng trên trái đất bằng cách sử dụng năng lượng điện từ như ánh sáng, nhiệt, sóng cực ngắn như một phương tiện để điều tra và đo đạc những đặc tính của đối tượng (Nguyễn Ngọc Thạch và cộng sự, 1997)[21]. Hiện nay có rất nhiều dữ liệu viễn thám được ứng dụng nhiều như: Ảnh quang học, ảnh hồng ngoại và ảnh radar. Ảnh viễn thám có thể được lưu theo các kênh ảnh đơn (ảnh trắng đen) hoặc các kênh ảnh được tổ hợp (ảnh màu) ở dạng số trong máy tính hoặc có thể in ra giấy, tùy theo mục đích người sử dụng. Viễn thám trong dải sóng nhìn thấy và hồng ngoại được sử dụng nhiều nhất vì cho hình ảnh chất lượng rất cao và hợp với tư duy giải đoán của con người. Hạn chế chính là phụ thuộc vào thời tiết nên khi trời trong, không mây, mưa... tài liệu thu được mới có thể sử dụng. Dữ liệu này được nghiên cứu nhiều trong phân loại thảm thực vật, theo dõi biến động thảm thực vật và xói mòn bờ biển...

Viễn thám radar chủ động thu những bức xạ tán xạ hoặc phản xạ từ vật thể sau khi được phát ra từ các máy phát đặt trên vật mang. Kỹ thuật chủ động được ứng dụng nhiều và cho hiệu quả cao bởi lẽ điều kiện quan trắc không bị giới hạn bởi điều kiện không mây của khí quyển (Rosillo-Calle và cộng sự, 2012)[81]. Tuy nhiên việc giải đoán vẫn còn nhiều khó khăn bởi lẽ những thông tin thu được phản ánh chủ yếu trạng thái cấu trúc vật lý bề mặt của đối tượng chứ không liên quan nhiều tới thành phần vật chất của đối tượng. Gần đây, kỹ thuật này đang được quan tâm nghiên cứu phát triển và hứa hẹn một tương lai ứng dụng, đặc biệt cho các vùng nhiệt đới ẩm có mưa và mây hầu như quanh năm.

Phương pháp viễn thám được ứng dụng rất có hiệu quả cho việc nghiên cứu diễn biến và quản lý tài nguyên nói chung vì những lý do: Ảnh vệ tinh có tầm bao quát rộng; Có khả năng giám sát sự biến đổi của tài nguyên, môi trường trái đất trong đó có tài nguyên rừng; Sử dụng các dải phổ đặc biệt khác nhau để quan trắc các đối tượng và phản ánh trung thành bề mặt đất với mối quan hệ và tác động qua lại giữa các hợp phần tự nhiên cũng như giữa con người với thiên nhiên. Thông qua đó ảnh vệ tinh phản ánh khách quan về hiện tượng, tài nguyên và cho phép xác định nhiều loại đất rừng và rừng thông qua các dấu hiệu gián tiếp (Nguyễn Ngọc Thạch và cộng sự, 1997)[21].

Từ năm 1972, với việc phóng vệ tinh Tài nguyên Trái đất thứ nhất (ERTS-1) (sau đổi tên là Landsat 1), nước Mỹ đã khởi đầu công nghệ giám sát môi trường và nghiên cứu các hệ sinh thái từ vũ trụ. Từ đó, viễn thám đã trở thành phương tiện chủ đạo cho công tác giám sát tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Nhiều trạm thu ảnh vệ tinh được xây dựng ở nhiều nơi trên thế giới và ảnh vệ tinh của bất kỳ một nơi nào cũng được thu ở nhiều trạm mặt đất. Tiếp sau đó là các vệ tinh của SPOT, IRS (Ấn Độ), JERS (Nhật) và đến nay là các vệ tinh có độ phân giải siêu cao, đa giải phổ đã mở ra nhiều ứng dụng mới một cách hoàn chỉnh, đã đóng góp rất lớn cho công tác kiểm kê rừng của địa phương và quốc gia trong nhiều thập kỷ qua (Malingreau, 1993)[70]. Công nghệ không gian quan sát trái đất được áp dụng trong kiểm kê và giám sát rừng khá nổi tiếng như: Landsat MSS, ETM, TM, SPOT đa quang phổ và toàn sắc, NOAA-AVHRR...(Malingreau, 1993)[70].

Trong lâm nghiệp, viễn thám có thể sử dụng trong việc xác định và phân tích các khu rừng, tình trạng suy thoái rừng và mức độ tác động nghiêm trọng của con người thông qua việc phá rừng, cháy rừng và nông lâm kết hợp. Với vệ tinh có độ phân giải cao, cho phép phân biệt các lớp phủ khác nhau như các đối tượng rừng, đất rừng và cây bụi, trong khi các thông số thực vật cho phép xác định rừng cây lá rộng, cây lá kim và hỗn giao. Vệ tinh viễn thám cũng có thể hỗ trợ trong việc quản lý rừng bằng cách cung cấp thông tin về địa hình, đường giao thông và cũng cho phép giám sát hàng năm hoặc thậm chí giám sát hàng tháng trên diện tích rất lớn như các tỉnh hoặc quốc gia (Malingreau, 1993)[70].

GIS cũng được sử dụng như một mô hình để cải thiện ước tính sinh khối trên mặt đất của rừng từ việc sử dụng dữ liệu về đặc điểm vật lý (loại đất, độ dốc, độ cao so với mặt biển) và thời tiết (vùng khí hậu nông nghiệp, lượng mưa hàng năm) và số liệu về đường kính ngang ngực của những cây mẫu để ước lượng sinh khối trên mặt đất bằng phương trình hồi quy. Mối quan hệ của các yếu tố về thời tiết (các biến độc lập) và sinh khối trên mặt đất (biến phụ thuộc) được xác định thông qua phân tích hồi quy tuyến tính đa biến. Kết quả phương trình được ứng dụng để dự đoán sinh khối tiềm năng trên mặt đất của rừng, từ đó xây dựng một bản đồ ước lượng sinh khối trên mặt đất (Maggale-macandong và cộng sự, 2006)[68].

1.1.3.1. Viễn thám và GIS ứng dụng trong nghiên cứu sinh khối rừng

Nạn phá rừng đã ảnh hưởng rất lớn đến chức năng dịch vụ của các hệ sinh thái trong đó có HST rừng và ảnh hưởng nghiêm trọng đến khí hậu và kịch bản biến đổi khí hậu toàn cầu. Hoạt động của con người như đốt cháy nhiên liệu hóa thạch và chuyển đổi mục đích sử dụng đất, cháy rừng, phá rừng... đã làm gia tăng nhanh chóng lượng khí CO₂ vào trong khí quyển (Lu, 2006)[63]. Do đó nhu cầu giám sát và quản lý rừng ngày càng tăng, đặc biệt là cấu trúc sinh khối lâm phân, cấu trúc rừng và đa dạng sinh học (Sinha và cộng sự, 2015)[86].

Sinh khối, nói chung, bao gồm các sinh khối sống trên mặt đất và dưới mặt đất, như cây, cây bụi, dây leo, rễ, và các vật rụng và chất hữu cơ đã chết. Do những khó khăn trong việc thu thập dữ liệu sinh khối dưới mặt đất, cho nên những nghiên cứu nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung ước lượng sinh khối trên mặt đất

(AGB). Trong những năm gần đây kỹ thuật viễn thám đã trở nên phổ biến trong ước tính AGB (Lu, 2005)[62], (Nelson và cộng sự, 2000)[76], (Steininger, 2000)[87], (Zheng và cộng sự, 2004)[100].

Phần lớn những nghiên cứu trước đây về dự báo AGB chủ yếu đối với rừng lá kim vì cấu trúc lâm phần và thành phần loài cây tương đối đơn giản. Ở những khu rừng nhiệt đới ẩm ướt, các nghiên cứu về ước lượng AGB trở thành vấn đề vì cấu trúc đứng phức tạp và phong phú đa dạng về thành phần loài (Zheng và cộng sự, 2004)[100], (Steininger, 2000)[87], (Lu, 2005)[62].

Có nhiều cách tiếp cận khác nhau để ước tính sinh khối rừng: 1. Đo đạc thực địa (Brown và cộng sự, 1989)[33], (Brown và cộng sự, 1992)[34], (Brown, 1997)[31], (Brown, 2002)[32], (Houghton, 2005)[49]; (2) viễn thám (Nelson và cộng sự, 2000)[76], (Dong và cộng sự, 2003)[42], (Heiskanen, 2006)[46], (Lu và cộng sự, 2004)[65], (Lu, 2005)[62], (Lu và cộng sự, 2012)[64] và (3) GIS (Brown, 1997)[31], (Iverson và cộng sự, 1994)[53], (Wijaya và cộng sự, 2010)[97]. Kỹ thuật truyền thống dựa vào việc đo đạc thực địa là cách chính xác nhất cho việc thu thập dữ liệu sinh khối. Thu thập đủ số liệu đo đạc thực địa là một điều kiện tiên quyết để phát triển các mô hình ước tính AGB và đánh giá kết quả ước lượng AGB. Tuy nhiên, cách tiếp cận này thường tốn nhiều thời gian, công sức, và đặc biệt khó thực hiện ở vùng sâu vùng xa; bên cạnh đó phương pháp này không thể cung cấp sự phân bố không gian của sinh khối rừng trong khu vực rộng lớn. Phương pháp GIS dựa trên sử dụng dữ liệu đo đạc thực địa phụ trợ cũng khó khăn vì những vấn đề trong việc có được các dữ liệu phụ trợ chất lượng tốt, các mối quan hệ gián tiếp giữa AGB và dữ liệu phụ trợ. Do đó, phương pháp tiếp cận dựa trên GIS cũng đã không ứng dụng rộng rãi cho ước tính AGB mà chủ yếu là kết hợp với viễn thám. Những lợi thế của dữ liệu viễn thám, chẳng hạn như thu thập dữ liệu lặp lại, khái quát, được mã hóa dạng số cho phép xử lý nhanh một khối lượng lớn dữ liệu, và các mối tương quan cao giữa các băng phổ và chỉ số thực vật đã trở thành nguồn dữ liệu lớn cho ước tính sinh khối trên vùng rộng lớn, đặc biệt là trong những khu vực khó tiếp cận (Lu, 2006)[63]. Vì vậy, ước tính sinh khối dựa trên dữ liệu viễn thám ngày càng thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học.

Sử dụng kỹ thuật viễn thám để ước sinh khối trên mặt đất cung cấp một phương pháp thay thế cho phương pháp truyền thống trong việc ước tính sinh khối của các hệ sinh thái rừng. Với khả năng chụp không gian rõ ràng, thông tin và khu vực giám sát rộng lớn và lặp lại cho thấy đây là một phương pháp rất hiệu quả về chi phí, vì thế nó trở nên phổ biến để ước lượng tăng trưởng tích lũy và năng suất sinh khối trên một diện tích của rừng (Rosillo-Calle và cộng sự, 2012)[81].

Trong thập kỷ qua, nhiều nghiên cứu tập trung vào phát triển các mối quan hệ giữa các thông số cấu trúc rừng như tiết diện ngang, sinh khối, tầng tán, chiều cao cây hoặc đường kính ngang ngực (DBH) với giá trị phản xạ của bức xạ điện từ. Việc so sánh các mối quan hệ trong các chỉ tiêu cấu trúc lâm phần khác nhau và điều kiện môi trường (độ ẩm đất, loài, cấu trúc tán, ...) là cơ sở để đánh giá tiềm năng rừng trong sản xuất sinh khối. Mặc dù vậy, sự thiếu hiểu biết một cách rõ ràng trong các mối quan hệ của các thông số và giá trị phản ánh từ các hình ảnh vệ tinh có thể cho ra những kết quả nghèo nàn. Tuy nhiên, sự phát triển đáng kể trong công nghệ gần đây đã cho phép hình thành một phép đo chính xác hơn với chi phí thấp hơn và có thể hỗ trợ các nhà nghiên cứu đối mặt với thách thức này.

Trong nghiên cứu sinh khối, các bon rừng, việc sử dụng các thuật toán thích hợp cho việc thiết lập các mô hình ước lượng sinh khối kết hợp thông tin từ dữ liệu viễn thám là rất quan trọng. Phân tích hồi quy là cách tiếp cận được sử dụng thường xuyên nhất cho việc phát triển các mô hình ước lượng sinh khối. Cách tiếp cận này thường sử dụng kết quả tính toán sinh khối ở các ô mẫu là biến phụ thuộc, còn biến độc lập là các đặc trưng quang phổ, chỉ số thực vật... Các mô hình giả định rằng các biến sinh khối tương quan tuyến tính với phản ứng quang phổ. Ngoài ra một số nghiên cứu lựa chọn một số mô hình nhân tố điều tra không tuyến tính với sinh khối (Li và cộng sự, 2010)[61].

Nói chung, sinh khối trên mặt đất có thể được ước tính trực tiếp từ sử dụng dữ liệu viễn thám với phương pháp tiếp cận khác nhau, chẳng hạn như phân tích hồi quy đa biến, “người hàng xóm gần nhất” (K nearest-neighbour) và mạng lưới Neural và gián tiếp ước tính từ các thông số tán, đường kính tán, được lấy từ dữ liệu viễn thám được sử dụng thông qua mô hình phân tích hồi quy hoặc tán xạ khác nhau của thực vật.

Lu và cộng sự (2004, 2005, 2012) đã tiến hành nghiên cứu sinh khối ở rừng Amazon. Nhiều phân tích tương quan hồi quy được sử dụng để dự báo sinh khối rừng trong các nghiên cứu này. Các giá trị sinh khối trung bình ở các ô mẫu được liên kết tương ứng với các giá trị trung bình được trích xuất từ dữ liệu ảnh với 3 x 3 pixel. Các kết quả phân tích hồi quy được tóm tắt trong bảng sau:

Bảng 1.2. Mô hình hồi quy ước tính sinh khối trích xuất từ dữ liệu ảnh

Các biến	Mô hình	R ²
Đặc trưng phổ	$AGBSF = 667,72 - 13,92 \times fb4$	0,75
	$AGBMF = 1024,14 - 54,96 \times fb5$	0,16
Kết cấu	$AGBSF = 164,62 - 2,27 \times fvar$	0,23
	$AGBMF = 134,57 + 19,29 \times fcon$	0,39
Kết hợp	$AGBSF = 480,82 - 8,06 \times fb4 - 0,98 \times fvar$	0,76
	$AGBMF = 753,31 - 43,21 \times fb5 + 17,89 \times fcon$	0,50

Nguồn: Lu và cộng sự (2004, 2005, 2012)

Các kết quả phân tích hồi quy của nghiên cứu này cho thấy yếu tố đặc trưng quang phổ dự báo sinh khối rừng thứ sinh tốt hơn yếu tố kết cấu, còn đối với rừng nguyên sinh thì cả hai yếu tố này đều không cho dự báo hiệu quả sinh khối rừng. Tuy nhiên, sự kết hợp hai yếu tố đặc trưng phổ và kết cấu lại có thể dự báo tốt hơn đối với sinh khối của rừng nguyên sinh. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng kết cấu hình ảnh là một biến số quan trọng để ước lượng sinh khối rừng trưởng thành, nhưng không phải cho rừng thứ sinh (Lu và cộng sự, 2004)[65], (Lu, 2005)[62], (Lu và cộng sự, 2012)[64].

Viễn thám quang học đã thành công trong nghiên cứu sinh khối rừng nhưng giới hạn trên một số vùng địa lý. Khu vực nhiệt đới, nơi mà vấn đề mây che phủ là chủ yếu, nó có thể không được thực sự hữu dụng. Trong những điều kiện này, radar cảm biến từ xa cung cấp các giải pháp tốt nhất vì nó có một số lợi thế hơn viễn thám quang học như có thể làm việc ở tất cả mọi thời tiết, ngày và đêm; xuyên qua mây, thực vật, đất khô, cát, khô tuyết; nhạy cảm với bề mặt nhám, tính chất điện môi và độ ẩm; nhạy cảm với sự phân cực và tần số; khả năng thu nhận hình ảnh từ các loại phân cực (HH, VV, HV và VH); và phân tích sinh khối (Sinha và cộng sự, 2015)[86].

Có hai phương pháp ước lượng sinh khối từ dữ liệu radar được sử dụng rộng rãi nhất trong các phương pháp được sử dụng ước tính sinh khối cho rừng (1) sử dụng các giá trị tán xạ và (2) kỹ thuật giao thoa, cùng với phân tích các phân cực (Sinha và cộng sự, 2015)[86].

Phân tích hồi quy là phương pháp ưa thích nhất cho dự báo sinh khối liên quan giá trị tán xạ ngược để đo sinh khối rừng. Điều này đã được thử nghiệm trên nhiều lập địa khác nhau của rừng lá kim phía Bắc bang Florida (Mỹ) và Landes (Pháp) (Dobson và cộng sự, 1992)[40] với kết quả chính xác. Mức độ sinh khối bão hòa là khoảng 200 tấn / ha tại kênh P và 100 tấn / ha tại kênh L và kênh C hệ số tán xạ ngược cho thấy ít nhiều nhạy cảm với tổng sinh khối trên mặt đất. Mối quan hệ quan sát giữa VV và HV tán xạ ngược trở lại với sinh khối tán cây, trong khi HH lại có liên quan đến cả thân cây và sinh khối tán cây. Bước sóng dài hơn (kênh L và P) với phân cực (HV và VH) cho ra kết quả tốt hơn cho các nghiên cứu sinh khối hơn bước sóng ngắn (dải X và C) với các phân cực (HH hoặc VV) (Dobson và cộng sự, 1992)[41], (Hamdan và cộng sự, 2011)[45].

Các vấn đề quan trọng với phương pháp này là độ bão hòa mức độ của các bước sóng và độ phân cực khác nhau có liên quan trong nhiều nghiên cứu. Các yếu tố bão hòa phụ thuộc vào bước sóng khác nhau (SAR), phân cực (đồng phân cực và phân cực chéo), cấu trúc đứng thảm thực vật và đặc điểm điều kiện mặt đất. Hoekman và cộng sự (Hoekman và cộng sự, 1997)[48] đã đề xuất việc sử dụng kết hợp kênh C và L đối với rừng lá kim. Lucas và cộng sự (Lucas và cộng sự, 2007)[66] nhấn mạnh về sự khác biệt về điều kiện độ ẩm bề mặt và cấu trúc thảm thực vật để phát triển thuật toán hồi quy ước tính AGB và kết luận rằng dữ liệu PALSAR (L-band) thu được trong quá trình độ ẩm bề mặt và lượng mưa tối thiểu sẽ ước tính sinh khối gỗ AGB tốt hơn. Tính phân cực của dữ liệu radar SAR đã được chú ý cao trong các phương pháp xử lý, phân tích ảnh và là các thông số quan trọng trong phân tích xác định đối tượng. Kết quả nghiên cứu của các tác giả đã cho thấy có tương quan giữa tán xạ ngược ở các phân cực khác nhau với sinh khối rừng. Ngoài ra, các phương pháp phân tích ảnh radar SAR cùng với ảnh quang học cho các đối tượng thảm phủ thực vật cũng đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu khác.

Như vậy dữ liệu viễn thám đã được ứng dụng nhiều trong ước tính sinh khối rừng, tuy nhiên mỗi loại dữ liệu có những ưu và nhược điểm khác nhau tùy theo từng đối tượng rừng và điều kiện vật lý.

Về dữ liệu quang học, cách tiếp cận thường sử dụng kết quả tính toán sinh khối ở các ô mẫu là biến phụ thuộc, còn biến độc lập là các đặc trưng quang phổ, chỉ số thực vật... Các mô hình giả định rằng các biến sinh khối tương quan tuyến tính với phản ứng quang phổ. Các nghiên cứu sử dụng viễn thám quang học thường dùng chỉ số thực vật để ước tính sinh khối trên mặt đất. Phương pháp dùng chỉ số thực vật có thể làm giảm ảnh hưởng của độ phản xạ của các yếu tố môi trường đến kết quả phân tích nên chỉ số này luôn được áp dụng đặc biệt cho vùng rừng có cấu trúc phức tạp. Hạn chế lớn nhất của phương pháp này là chỉ số thực vật có mối liên hệ mật thiết với hàm lượng chất diệp lục trong lá cây mà ít phụ thuộc vào cành và thân cây, thành phần có hàm lượng sinh khối lớn nhất. Như vậy, chỉ số thực vật phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện thời tiết nên việc xác định sinh khối sẽ rất khác biệt phụ thuộc nhiều vào điều kiện thời tiết và loại cây; dữ liệu chịu ảnh hưởng nhiều đến khí quyển, thường bị mây che nên dẫn đến một số khu vực thiếu dữ liệu. Sử dụng ảnh viễn thám quang học để tính sinh khối rừng trên mặt đất cũng gặp vấn đề bão hòa dữ liệu khi sinh khối rừng đạt 15 kg/m^2 hoặc tuổi rừng đạt 15 năm ở những cánh rừng thứ sinh nhiệt đới (MacDicken, 1997)[67], (Wang và cộng sự, 2009)[93], cấu trúc phức tạp của rừng, tính phức tạp của môi trường, ảnh hưởng của bóng tán và bóng địa hình là các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả tính toán sinh khối rừng trên mặt đất (MacDicken, 1997)[67].

1.1.3.2. Viễn thám và GIS tiếp cận trong nghiên cứu rừng ngập mặn

Viễn thám đã được chứng minh rộng rãi là điều cần thiết trong việc theo dõi và lập bản đồ bị đe dọa hệ sinh thái rừng ngập mặn. Nhiều nghiên cứu về đề tài này đã được thực hiện trên toàn cầu. Rừng ngập mặn ven biển nhiệt đới và cận nhiệt đới là một trong những hệ sinh thái bị đe dọa và dễ bị tổn thương nhất trên thế giới. Sự mất tích môi trường sống trong suốt hai thập kỷ qua được ước tính là khoảng 36% tổng diện tích rừng ngập mặn trên toàn cầu. Mặc dù tỷ lệ giảm đã chậm lại kể từ những năm 1980, tỷ lệ tổn thất trung bình hàng năm của rừng ngập mặn của -0,66%

trong những năm 2000-2005 vẫn còn đáng báo động (Kuenzer và cộng sự, 2011)[59].

Viễn thám đã được chứng minh rộng rãi là điều cần thiết trong việc theo dõi và lập bản đồ bị đe dọa cho các hệ sinh thái rừng ngập mặn. Nhiều nghiên cứu về đề tài này đã được thực hiện trên toàn cầu. Rừng ngập mặn ven biển nhiệt đới và cận nhiệt đới là một trong những hệ sinh thái bị đe dọa và dễ bị tổn thương nhất trên thế giới. Sự mất tích môi trường sống trong suốt hai thập kỷ qua được ước tính là khoảng 36% tổng diện tích rừng ngập mặn trên toàn cầu. Mặc dù tỷ lệ giảm đã chậm lại kể từ những năm 1980, tỷ lệ tổn thất trung bình hàng năm của rừng ngập mặn là - 0,66% trong những năm 2000-2005 vẫn còn đáng báo động (Kuenzer và cộng sự, 2011)[59]. Các chương trình quốc tế, chẳng hạn như Công ước Ramsar về Đất ngập nước hoặc Nghị định thư Kyoto, đều nhấn mạnh tầm quan trọng của việc bảo vệ, đưa ra các biện pháp và các hoạt động bảo tồn để ngăn chặn sự mất thêm của rừng ngập mặn.

Trong bối cảnh đó, viễn thám được coi là công cụ của sự lựa chọn để cung cấp thông tin về không gian, thời gian và phân bố hệ sinh thái của rừng ngập mặn; về sự khác biệt loài, tình trạng sức khỏe và sự thay đổi liên tục của các quần thể rừng ngập mặn. Các thông tin trên có thể dựa trên các cảm biến khác nhau từ dữ liệu viễn thám có độ phân giải từ trung bình đến cao và cả dữ liệu viễn thám radar. Kỹ thuật cảm ứng từ xa đã chứng tỏ một tiềm năng để phát hiện, xác định, xây dựng bản đồ và theo dõi tình trạng rừng ngập mặn, là một công cụ trợ giúp cần thiết để quản lý và định chính sách và ra quyết định trong quản lý tài nguyên.

Các nghiên cứu về rừng ngập mặn có sử dụng kỹ thuật viễn thám đã được áp dụng, đặc biệt trong lĩnh vực xây dựng bản đồ và đánh giá diễn biến rừng. Viễn thám đã được chứng minh là rất cần thiết trong việc theo dõi và lập bản đồ hệ sinh thái rừng ngập mặn bị đe dọa (Blasco và cộng sự, 2001)[30]. Nhiều nghiên cứu về chủ đề này đã được thực hiện trên toàn cầu. Bởi vì các hệ sinh thái rừng ngập mặn có liên quan đặc biệt về mặt sinh thái và kinh tế, có nhu cầu cấp bách đối với các biện pháp bảo tồn và phục hồi. Vì vậy, việc cập nhật thông tin có liên quan trong phạm vi và điều kiện của hệ sinh thái rừng ngập mặn là rất quan trọng. Rừng ngập

mặt điển hình là loại rừng bị ngập không thường xuyên và thường nằm ở các khu vực không thể tiếp cận, phương pháp quan sát và khảo sát truyền thống rất tốn thời gian và chi phí. Để giải quyết những vấn đề này, quy mô lớn, dài hạn, hiệu quả về chi phí giám sát thì công cụ quản lý bằng bản đồ được yêu cầu, trong đó có sử dụng công nghệ viễn thám (Wang và cộng sự, 2009)[93].

Viễn thám rừng ngập mặn cung cấp thông tin quan trọng: kiểm kê môi trường sống (xác định mức độ, các loài và thành phần các loài, tình trạng sức khỏe,...); giám sát và phát hiện các thay đổi (sử dụng đất, độ che phủ, bảo tồn và tái trồng rừng thành công, phát triển lâm nghiệp và nuôi trồng thủy sản); hỗ trợ đánh giá hệ sinh thái; đánh giá năng suất (ước lượng sinh khối); yêu cầu quản lý đa dạng (hoạt động nuôi trồng thủy sản, quản lý bảo tồn, hướng dẫn quản lý và chiến lược); điều tra quy hoạch; đánh giá chất lượng nước; cung cấp thông tin cho quản lý thiên tai; cung cấp một số thông tin để có sự hiểu biết tốt hơn về các mối quan hệ, quá trình, chức năng sinh thái và sinh học (Selvam và cộng sự, 2003)[84].

Tuy nhiên, rừng ngập mặn phát triển ở vùng tiếp giáp và giao thoa giữa đất liền và biển. Do đó, ba đặc điểm chính góp phần vào thành điểm ảnh trong hình ảnh viễn thám là thảm thực vật, đất và nước. Bất kỳ thành phần nào cũng bị ảnh hưởng bởi các tương tác thủy triều theo mùa và ngày đêm. Những điều kiện trên cũng ảnh hưởng đến đặc tính quang phổ của các thành phần trong dữ liệu ảnh, (Blasco và cộng sự, 2001)[30] mô tả họ như những trở ngại lớn đối với một đặc tính phản xạ của các đối tượng.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến đề tài

1.2.1. Những nghiên cứu về sinh khối và các bon của rừng

Ở Việt Nam trong nhiều năm qua, việc nghiên cứu sinh khối và các bon của thảm thực vật đã được nhiều nhà khoa học quan tâm. Những kết quả đó đã đóng góp rất lớn vào sự phát triển và hoàn thiện phương pháp nghiên cứu sinh khối và các bon trong các hệ sinh thái rừng .

Lê Hồng Phúc (1996)[14] đã có công trình “Đánh giá sinh trưởng tăng trưởng, sinh khối và năng suất rừng trồng Thông ba lá (*Pinus keysia*) vùng Đà Lạt, Lâm Đồng”. Tác giả đã kết luận rằng mật độ rừng trồng ảnh hưởng lớn tới sinh trưởng, tăng trưởng, sinh khối và năng suất của rừng.

Vũ Tấn Phương (2006)[15] đã nghiên cứu trữ lượng các bon thảm tươi và cây bụi tại các vùng đất không có rừng ở các huyện Cao Phong và Đông Bắc và Hà Trung, Thạch Thành và Ngọc Lạc, tỉnh Thanh Hóa. Năm dạng cỏ được nghiên cứu là cỏ chỉ, cỏ lông lợn, cỏ lá tre, lau lách và té guột; cây bụi gồm cây cao dưới 2 m và cây cao 2 - 3 m. Tác giả xác định trữ lượng các bon thông qua việc xác định sinh khối tươi và khô của thảm tươi và cây bụi. Kết quả cho thấy lau lách có trữ lượng các bon cao nhất 20 tấn/ha, cây bụi 2 - 3 m khoảng 14 tấn/ha. Cỏ chỉ, cỏ lông lợn có lượng các bon thấp nhất khoảng 3,9 tấn/ha.

Đã có rất nhiều nghiên cứu về sinh khối được thực hiện từ trước cho đến nay về sinh khối và tích tụ các bon là dựa trên phương pháp mô hình thống kê và phân tích hồi quy. Theo phương pháp này, sinh khối cây rừng được xác định từ mối quan hệ của nó với các nhân tố điều tra khác của cây như chiều cao, đường kính ngang ngực, tiết diện ngang, thể tích hoặc tổ hợp của các nhân tố này của cây: Y (sinh khối, tích tụ các bon) = f (nhân tố điều tra cây).

Vũ Văn Thông (1998)[24], đã nghiên cứu cơ sở xác định sinh khối cây cá lè và lâm phần Keo lá tràm tại tỉnh Thái Nguyên. Tác giả cũng đã thiết lập được một số mô hình dự đoán sinh khối cây cá lè bằng phương pháp sử dụng cây mẫu. Theo nghiên cứu, dạng hàm $W = a + b.D_{1.3}$ và $\ln W = a + b.\ln D_{1.3}$ mô tả tốt mối quan hệ giữa sinh khối các bộ phận với chỉ tiêu sinh trưởng đường kính. Tuy nhiên, đề tài này cũng mới dừng lại ở việc nghiên cứu sinh khối các bộ phận trên mặt đất, chưa tiến hành nghiên cứu sinh khối rễ và lượng vật rơi.

Lê Hồng Phúc (1995)[13], đã mô tả quá trình biến đổi sinh khối Thông ba lá ở khu vực Đà Lạt trên hai cấp đất II và III bằng hàm Schumacher có dạng: $P_t = a \cdot \exp(-b/A - c)$ (Trong đó P_t = sinh khối, A = tuổi rừng, a = sinh khối lớn nhất ở tuổi thành thực, c = tham số lấy giá trị từ 0,2 – 2,0).

Khi lập biểu sinh khối cho cây cá thể và lâm phần Thông ba lá, Lê Hồng Phúc (1996)[14] đã sử dụng mối quan hệ đa tuyến tính giữa tổng sinh khối (P (kg)) với đường kính thân cây (D (cm)) và chiều cao thân cây (H (m)) theo dạng: $\ln P = a + b \ln H + c \ln D$;

Viên Ngọc Nam và cộng sự (2011)[9], đã dựa trên số liệu cân, đo, phân tích

thống kê, tính toán của 40 cây giải tích để dựng các mô hình tương quan giữa sinh khối của cây cá thể và đường kính ($D_{1,3}$) thân cây đối với rừng Tràm (*Melaleuca cajuputi* Powell) ở xã Gáo Giồng, huyện Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp, trong đó, sử dụng 34 cây tiêu chuẩn giải tích để xây dựng phương trình, 6 cây giải tích còn lại được dùng để kiểm tra phương trình. Các phương trình hồi qui giữa sinh khối tươi của các bộ phận với $D_{1,3}$. Trong nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng phương trình mô tả tốt nhất quan hệ giữa sinh khối, các bon của cây Tràm với $D_{1,3}$ là phương trình có dạng $Y = a \cdot D_{1,3}^b$.

Để xây dựng những mô hình sinh khối dùng vào việc dự đoán nhanh sinh khối cây cá thể và lâm phần của rừng Tràm, Phạm Xuân Quý (2011)[18] đã sử dụng mô hình sinh khối 2 nhân tố phù hợp nhất được kiểm định từ 4 hàm. Kết quả những mô hình phù hợp nhất có dạng:

+ Đối với tổng sinh khối tươi

$$TSK_{(t)} = 4,30778 - 0,30002 \cdot D + 0,5525 \cdot D^2 - 2,6941 \cdot H + 0,31404 \cdot H^2 \quad (9)$$

với $R^2 = 97,3\%$; $Se = \pm 1,96$; $MAE = 1,13$.

+ Đối với tổng sinh khối khô

$$TSK_{(k)} = 3,83132 - 0,73775 \cdot D + 0,34323 \cdot D^2 - 1,91565 \cdot H + 0,23273 \cdot H^2 \quad (13)$$

với $R^2 = 96,5\%$; $Se = \pm 1,26$; $MAE = 0,77$.

Kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ rằng, sinh khối tươi và sinh khối khô của các bộ phận trên mặt đất của rừng Tràm (*Melaleuca cajuputi*) có mối quan hệ rất chặt chẽ với đường kính thân cây và chiều cao thân cây.

Các công trình nghiên cứu về sinh khối của các tác giả trên đều dựa vào phương pháp mô hình thống kê và phân tích hồi quy để xây dựng được các mô hình tương quan giữa sinh khối với các yếu tố điều tra. Cơ sở của phương pháp là dựa trên cơ sở xác định sinh khối, ứng dụng phương pháp mô hình hóa để biểu diễn để biểu diễn các mối quan hệ giữa sinh khối với các nhân tố, từ đó xác định lượng các bon trong sinh khối và đánh giá khả năng hấp thụ CO_2 của thực vật rừng. Phương pháp này đơn giản, dễ thực hiện và có chi phí thấp, giúp cho việc ứng dụng vào thực tiễn nhanh và thuận lợi, đặc biệt phù hợp với điều kiện kinh tế xã

hội của những nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

Các công trình nghiên cứu về sinh khối của các tác giả trên đều đã xây dựng được các mô hình tương quan giữa sinh khối với đường kính ngang ngực. Tất cả các phương trình sinh khối xây dựng được đều có dạng hàm logarit 1 hoặc 2 chiều hoặc là hàm với hai biến số. Yếu tố có mối quan hệ tương quan chặt chẽ với sinh khối cây rừng đó là đường kính và chiều cao của cây.

Ngoài phương pháp sử dụng mô hình tương quan để dự báo sinh khối, Ngô Đình Quế và cộng sự (2006)[17] đã nghiên cứu khả năng hấp thụ CO₂ của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam dựa trên một số phương pháp khác. Theo tác giả, phương pháp chung để đánh giá khả năng hấp thụ CO₂ là tính toán và dự báo sinh khối khô của rừng trên đơn vị diện tích (tấn/ha) tại một thời điểm trong quá trình sinh trưởng. Từ đó tính trực tiếp lượng CO₂ hấp thụ và tồn trữ trong vật chất hữu cơ của rừng hoặc khối lượng các bon được tính với bình quân là 50 % của sinh khối khô, rồi từ các bon lại suy ra CO₂ theo phương pháp của Morikawa Y. mà tổ chức JIFPRO sử dụng. Theo tác giả, có thể phân chia phương pháp tính sinh khối rừng thành ba nhóm:

Nhóm thứ nhất dùng biểu sinh khối, cách này cho độ chính xác cao do việc đo tính khối lượng khô các bộ phận rừng (thân, cành, vỏ, lá ...)

Nhóm thứ hai dùng biểu sản lượng, còn gọi là biểu quá trình sinh trưởng để có tổng trữ lượng thân cây gỗ/ha cho từng độ tuổi A (m³/ha), nhân với tỉ trọng khô bình quân của loài cây gỗ đó để có khối lượng khô thân cây, lại nhân với hệ số chuyển đổi cho từng loại rừng để có sinh khối khô.

Nhóm thứ ba không có hai loại biểu nói trên thì lập ô tiêu chuẩn, chọn một số cây để cân đo sinh khối tươi và khô. Từ đó sẽ tính tổng lượng tích lũy CO₂ trong quá trình quang hợp để tạo thành các chất hữu cơ cho cây rừng.

Ở nghiên cứu này các tác giả đã đo đếm sinh trưởng, năng suất rừng trồng ở 180 ô tiêu chuẩn, giải tích cây điển hình, để cân đo sinh khối tươi và khô. Từ đó xây dựng các hệ số quy đổi tính lượng CO₂ hấp thụ từ trữ lượng rừng và xây dựng đường hồi quy tuyến tính giữa lượng CO₂ hấp thụ với năng suất gỗ và năng suất sinh học.

Để xây dựng dự án thử nghiệm, ước tính đầu tiên về việc giảm phát thải khí thông qua trồng rừng đã được thực hiện dựa trên cơ sở các số liệu có tính đại diện về sản lượng trong khu vực dự án, Trung tâm Nghiên cứu Sinh thái và Môi trường rừng cũng đã tiến hành định lượng về việc giảm phát thải khí thông qua trồng rừng. Kết quả nghiên cứu cho thấy Keo lai có tiềm năng giảm phát thải bình quân tương đương với 17,4 tấn CO₂/ha.

Bảo Huy (2012)[2], đã có công trình nghiên cứu về hấp thụ CO₂ của rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Lần đầu tiên ở Việt Nam, tác giả đã thiết lập được hoàn chỉnh mô hình toán học để ước tính sinh khối và các bon cho cây rừng và lâm phần của kiểu rừng lá rộng thường xanh của Tây Nguyên đạt độ tin cậy theo yêu cầu quốc tế. Trong nghiên cứu này, tác giả cũng đã kết hợp 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 SPOT 5 và kết quả đạt được với độ tin cậy cao.

Huỳnh Nhân Trí và cộng sự (2014)[25] đã đưa ra các cơ sở khoa học xây dựng mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối, các bon rừng trên cơ sở thu thập số liệu sinh khối, phân tích các bon từ chặt hạ cây rừng ở rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên, đã phân tích để đưa ra các cơ sở cho việc xây dựng mô hình sinh trắc ước tính sinh khối và các bon rừng bao gồm: i) lựa chọn số biến số tối ưu cho mô hình theo chỉ tiêu Cp của Mallows và để đạt được độ tin cậy cần có bốn biến số là đường kính (DBH), chiều cao (H), khối lượng thể tích gỗ (WD) và diện tích tán lá (CA); ii) ước lượng các tham số của mô hình tốt bằng phương pháp bình phương tối thiểu, đồng thời nếu có trọng số sẽ giúp cho việc nắn mô hình sát với số liệu quan sát hơn; iii) lựa chọn hàm số thích hợp dựa vào 7 tiêu chí R²(%) cao, tiêu chuẩn T kiểm tra tham số với P<0.05, CF tiến đến 1, AIC bé nhất, S% bé nhất, đồ thị Normal P-P bám sát đường chéo có tọa độ (0,0) và (1,1), đồ thị biến động phần dư (residuals) là hằng số theo giá trị ước lượng qua hàm.

1.2.2. Nghiên cứu sinh khối và các bon của rừng ngập mặn

Theo số liệu năm 2008 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn thì diện tích rừng ngập mặn trên cả nước chỉ còn khoảng trên 209.741 ha tập trung chủ yếu ở vùng ven biển Nam Bộ (128 537 ha), trong đó rừng đặc dụng còn 28.311 ha và

rừng phòng hộ 118.715 ha cần được bảo vệ nghiêm ngặt, không được khai thác gỗ, than, củi, tanin (Phạm Văn Ngọt và cộng sự, 2012)[11]. Diện tích nhiều nhất tập trung ở khu vực Nam Bộ, trong đó chủ yếu là diện tích rừng Đước trồng.

Sinh khối trung bình trên mặt đất của các loại rừng khác nhau có sự khác biệt đáng kể (Vũ Tấn Phương và cộng sự, 2013)[16]. Ở Cà Mau và Kiên Giang, rừng trồng Đước 16 tuổi là 80,10 tấn/ha, rừng trồng Mắm đen là 109,81 tấn/ha và rừng Mắm trắng tự nhiên là 232,6 tấn/ha. Khả năng hấp thụ các bon trung bình của rừng trồng Đước, Mắm đen và Mắm trắng tự nhiên lần lượt là 136,6 tấn CO₂/ha, 511,6 tấn CO₂/ha và 198,7 tấn CO₂/ha. Giá trị hấp thụ CO₂ của rừng phụ thuộc vào sinh trưởng của rừng. Giá trị hấp thụ CO₂ bình quân của rừng trồng Đước là 3,3 triệu đồng/ha/năm; của rừng trồng Mắm đen là 10 triệu đồng/ha/năm và rừng Mắm trắng tự nhiên là 32,7 triệu đồng/ha. Với diện tích gần 27.500 ha, mỗi năm rừng ngập mặn ở Cần Giờ hấp thụ được hơn 9,5 triệu tấn CO₂ (Viên Ngọc Nam và cộng sự, 2011)[9].

Rừng Đước Cà Mau cung cấp một lượng rơi 9,75 tấn/ha/năm; trong đó lượng rơi của lá chiếm 79,71% (Nguyễn Hoàng Trí, 1986)[26]. Rừng Đước 12 tuổi trồng ở Cần Giờ cung cấp lượng rơi trung bình 8,47 tấn/ha/năm; trong đó lá chiếm 75,42% (Viên Ngọc Nam, 1996)[6]. Theo Klaus Schmitt, Dự án GTZ CZM - Bảo tồn rừng ngập mặn Sóc Trăng, cứ mỗi hécta RNM cho 3,6 tấn mùn bã hữu cơ/năm, đây là nguồn thức ăn của nhiều loài cá biển (Phạm Văn Ngọt và cộng sự, 2012)[11].

Lê Tấn Lợi và cộng sự (2014)[4] đã nghiên cứu tích lũy các bon của rừng ngập mặn tại cồn Ông Trang huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau trên ba loại trạng thái. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tổng lượng cacbon tích lũy trong 1 ha tại cồn Ông Trang cao nhất tại trạng thái rừng Đước đôi chiếm ưu thế là 448,47 tấn/ha, kế đến là tại trạng thái rừng Vẹt tách chiếm ưu thế là 423,74 tấn/ha và tích lũy các bon tại trạng thái Mắm trắng chiếm ưu thế là thấp nhất 387,65 tấn/ha.

Viên Ngọc Nam và cộng sự (2011)[9] đã nghiên cứu tích tụ các bon của rừng Đước đôi (*Rhizophora apiculata* Blume) trồng ở Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả cho thấy tỉ lệ các bon tích lũy trong cây cá thể của thân là cao nhất và tăng theo khi đường kính tăng, tỉ lệ các bon

tích lũy trong lá giảm dần khi đường kính tăng lên trong khi đó cành và rễ tương đối ít biến động. Tích lũy các bon trong quần thể là 97,26 tấn các bon/ha, biến động từ 58,68 – 138,65 tấn các bon/ha hay 356,76 tấn CO₂/ha biến động từ 215,66 – 508,39 tấn CO₂/ha. Lượng các bon tích lũy trong bộ phận thân cao nhất, cành, rễ và thấp nhất là các bon của bộ phận lá.

Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng Đước (*Rhizophora apiculata*) trồng ở Cần Giờ (Viên Ngọc Nam, 1996)[6], (Viên Ngọc Nam, 1998)[7] kết quả cho thấy, sinh khối rừng Đước có lượng tăng từ 5,93 – 12,44 tấn/ha/năm, trong đó tuổi 4 có lượng tăng sinh khối thấp nhất và cao nhất ở tuổi 12; lượng tăng đường kính 0,46 – 0,81 cm/năm, trữ lượng thảm mục tích lũy các bon trên sàn rừng là 3,4 – 12,46 tấn/ha. Sử dụng phương trình tương quan giữa sinh khối các thành phần trên mặt đất với chu vi thân cây tại vị trí ngang ngực (GBH) để ước tính sinh khối. Phương trình có dạng: $\log W = a + b \cdot \log GBH$.

Phương trình tương quan $\log W = a + b \cdot \log GBH$ cũng đã được sử dụng để tính sinh khối các thành phần trên mặt đất của rừng Đước tại Cà Mau trong đó biến độc lập GBH được thay bằng chỉ tiêu đường kính ngang ngực (DBH) (Đặng Trung Tấn, 1999)[20]. Tác giả đã thực hiện thu mẫu sinh khối cây ở các cấp tuổi rừng: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 22 và 34. Lập các ô định vị và đo đếm trên 160 ô ở các cấp tuổi rừng khác nhau.

Phương trình tương quan giữa sinh khối với đường kính ngang ngực cũng được xây dựng để ước tính sinh khối quần thể Dà vôi (*Ceriops tagal* C. B. Rob) và Cóc trắng (*Lumnitzera racemosa*) trồng tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ - Thành phố Hồ Chí Minh (Viên Ngọc Nam và cộng sự, 2009)[8].

Tóm lại vấn đề biến đổi khí hậu hiện nay đã và đang là vấn đề mà toàn thể nhân loại đang quan tâm. Rừng là bể chứa các bon lớn nhất trên trái đất vì nó có khả năng hấp thụ CO₂ trong tự nhiên, là một thành phần chủ yếu quan trọng trong việc giảm thiểu và thích ứng với biến đổi khí hậu toàn cầu. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về khả năng hấp thụ CO₂ của các hệ sinh thái rừng trong đó có hệ sinh thái rừng ngập mặn. Nhiều phương pháp đo tính các bon cũng đã được công bố như phương pháp đo đếm trực tiếp tại thực địa, phương pháp sử dụng các hàm tương quan để dự đoán sinh khối và các bon của rừng.

Những đánh giá trên tập trung nhiều vào các phương pháp ước tính sinh khối trên mặt đất dựa vào việc giải tích các cây tiêu chuẩn trên các ô đo đếm. Tuy nhiên, vẫn cần có một phương pháp chính xác hơn và có thể thực hiện được trên diện tích rộng lớn, có thể vừa kết hợp nghiên cứu thực địa vừa có thể ứng dụng công nghệ vào trong nghiên cứu. Ứng dụng viễn thám và GIS là một trong những phương pháp đó.

1.2.3. Viễn thám và GIS ứng dụng trong nghiên cứu sinh khối rừng

Kỹ thuật viễn thám đã có nhiều thuận lợi hơn trong việc ước tính sinh khối trên mặt đất so với phương pháp truyền thống và cung cấp tiềm năng ước tính sinh khối trên mặt đất ở các quy mô khác nhau. Nhu cầu người sử dụng, đặc điểm dữ liệu viễn thám, quy mô khu vực nghiên cứu và hỗ trợ kinh phí có ảnh hưởng quan trọng quyết định đến thiết kế phương pháp ước tính sinh khối trên mặt đất. Kết hợp viễn thám và GIS cũng có ích trong việc cải thiện kết quả ước lượng AGB từ dữ liệu đa nguồn có sẵn.

Đối với ngành Lâm nghiệp ứng dụng công nghệ viễn thám được bắt đầu từ những năm 1970. Viễn thám được áp dụng đầu tiên ở Viện Điều tra quy hoạch rừng với tư liệu ảnh máy bay. Hệ thống mẫu giải đoán đơn giản được xây dựng cho từng loại rừng theo kiểu chụp ảnh, kiểu tán lá,... Các bản đồ về tài nguyên rừng, sinh khối rừng đã được thành lập. Tuy nhiên việc áp dụng công nghệ viễn thám tiên tiến với ảnh vệ tinh và hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong việc đánh giá hiện trạng tài nguyên rừng và đất lâm nghiệp mới chỉ được áp dụng trong những năm gần đây.

Một số ứng dụng của GIS và viễn thám điển hình đã và đang được ứng dụng trong ngành Lâm nghiệp phải kể đến như: Viễn thám – GIS trong quản lý và dự báo cháy rừng ở Cục Kiểm lâm; Viễn thám – GIS ứng dụng trong công tác theo dõi diễn biến rừng được áp dụng ở nhiều quy mô khác nhau; Viện Điều tra Quy hoạch rừng đã thực hiện bốn chu kỳ điều tra, đánh giá và theo dõi diễn biến tài nguyên rừng toàn quốc từ năm 1991 đến năm 2010, ảnh viễn thám đã được ứng dụng trong xây dựng bản đồ hiện trạng rừng toàn quốc cả bốn chu kỳ với nhiều loại ảnh viễn thám khác nhau. Trong dự án tổng điều tra kiểm kê rừng toàn quốc giai đoạn 2013-2016 đã sử dụng ảnh vệ tinh phân giải cao như SPOT-5, SPOT-6, VNREDSat-1 và ảnh có chất lượng tương đương để phân loại và xây dựng bản đồ hiện trạng rừng.

Trong nghiên cứu khoa học, Viễn thám và GIS cũng đã được ứng dụng để phân cấp lưu vực, phân loại lớp phủ thực vật, giám sát rừng... Hoàng Sỹ Động và cộng sự (2005) đã ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong phân cấp đầu nguồn hạ lưu sông Mê – Kông; Chu Thị Bình và cộng sự (2005) đã sử dụng ảnh vệ tinh Landsat MSS và Landsat TM cùng với các số liệu thu thập dưới mặt đất để tiến hành đánh giá lớp phủ thực vật tại Lương Sơn – Hòa Bình giai đoạn 1984 – 1992 – 2001; (Đức Trần Trọng Đức và cộng sự, 2005)[1] sử dụng kỹ thuật viễn thám và GIS để giám sát biến động rừng ngập mặn Cần Giờ ...

Các ứng dụng của viễn thám cho đối tượng rừng cùng với việc sử dụng các dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian ngày càng cao (SPOT 5 - 2,5 m) đã trở thành phổ biến trong điều tra rừng nói chung và nghiên cứu sinh khối nói riêng. Hạn chế lớn của dữ liệu ảnh vệ tinh quang học là chất lượng của ảnh bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết, khí quyển, điều kiện chiếu sáng của mặt trời,... Trong khi đó dữ liệu ảnh vệ tinh radar SAR có độ phân giải không gian cao có thể khắc phục được những hạn chế này cho đến nay vẫn chưa được kết hợp nghiên cứu sử dụng rộng rãi cho các đối tượng trên bề mặt trái đất. Dữ liệu ảnh radar mới chỉ được sử dụng trong các nghiên cứu thử nghiệm để giám sát lũ lụt, lún đất, lớp phủ thực vật.... Với dữ liệu radar kênh L, phân cực kép, đa thời gian đã và đang được sử dụng cho nghiên cứu xác định mùa vụ và phạm vi trồng lúa và đánh giá sản lượng lúa cho vùng đồng bằng sông Cửu Long (Lâm Đạo Nguyên và cộng sự, 2009)[60], (Lâm Đạo Nguyên và cộng sự, 2012)[12].

Việc ứng dụng dữ liệu viễn thám trong xác định sinh khối trên mặt rừng thì không có nhiều. Một số nghiên cứu có thể kể đến như của (Bảo Huy và cộng sự, 2012)[3], nghiên cứu sinh khối cho rừng Tây Nguyên, công trình nghiên cứu ảnh radar trong xác định sinh khối rừng như (Trần Tuấn Ngọc, 2015)[10] xác định sinh khối rừng cho rừng Hòa Bình...

Nhìn chung, kết quả sử dụng tư liệu ảnh radar ở nước ta, nhất là trong Lâm nghiệp còn rất khiêm tốn do công nghệ xử lý khá mới mẻ và phức tạp. Nhưng về lâu dài, nó rất phù hợp với Việt Nam bởi cho phép quan sát bề mặt trái đất độc lập với điều kiện thời tiết và sự chiếu sáng của mặt trời. Đặc biệt, trong những năm tới khi

có dự án xây dựng trạm thu dữ liệu radar tại Việt Nam, thì những ứng dụng của nó ngày càng được mở rộng.

1.3. Thảo luận

Đo sinh khối trên mặt đất trong hệ sinh thái rừng, bao gồm rừng ngập mặn, là quan trọng cho các nghiên cứu lưu trữ các bon, giảm nhẹ biến đổi khí hậu và quản lý tài nguyên thiên nhiên. Nội dung trình bày trên đã đánh giá toàn diện các công trình và các vấn đề đã được thực hiện liên quan đến các phương pháp ước lượng sinh khối, là những cơ sở cần thiết cho quá trình triển khai và thực hiện đề tài. Trong quá trình thực hiện đề tài, chúng tôi đã có sự kế thừa một số phương pháp nghiên cứu và những lý luận mà các tác giả đã đúc kết được.

Việc định lượng trữ lượng các bon rừng tích lũy trong các bể chứa là vấn đề khá phức tạp, tốn nhiều chi phí, do những khó khăn trong việc thu thập dữ liệu sinh khối dưới mặt đất, nên hầu hết các nghiên cứu dự đoán sinh khối đều dựa trên sinh khối trên mặt đất (AGB) (Lu, 2006)[63], đây là bể chứa các bon lớn nhất trong hệ sinh thái rừng, là bộ phận có liên quan mật thiết nhất đến dữ liệu viễn thám. Do đó, đề tài luận án cũng chỉ nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất của rừng ngập mặn tại khu vực nghiên cứu.

Từ phân tổng quan trên cho thấy rằng, có nhiều phương pháp đã được các nhà khoa học trên thế giới cũng như trong nước đưa ra và áp dụng để xác định tích lũy các bon, khả năng hấp thụ CO₂ của rừng, từ việc đo đếm gián tiếp (xác định sinh khối,...) đến việc đo đếm bằng các thiết bị và công nghệ hiện đại (viễn thám, hệ thống thông tin địa lý). Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu được tiến hành để ước tính sinh khối rừng và trữ lượng các bon rừng, các phương pháp được mô tả và đánh giá đang hoạt động tốt, nhưng vẫn còn có những tồn tại và khó khăn để ước lượng chính xác sinh khối và các bon của rừng. Phương pháp đo đếm trực tiếp có độ chính xác cao, tuy nhiên, phải chặt hạ toàn bộ cây trong ô mẫu ảnh hưởng đến thảm thực vật, giới hạn trong khu vực và kích thước cây mẫu nhỏ; mất nhiều thời gian và công sức, vất vả và chi phí lớn. Phương pháp này không khả thi cho quy mô khu vực rộng lớn và không áp dụng cho các loài đang bị đe dọa. Phương pháp gián tiếp xây dựng một mối tương quan giữa sinh khối với các chỉ tiêu như đường kính, chiều

cao, mật độ cây bằng phương pháp phân tích hồi quy (Brown và cộng sự, 1989)[33], (Henry và cộng sự, 2010)[47] dựa trên kết quả giải tích các cây tiêu chuẩn để ước tính sinh khối trên mặt đất (José, 2009)[55], so với phương pháp đo đếm trực tiếp, phương pháp này giảm được chi phí và không ảnh hưởng nhiều đến thảm thực vật. Đây là cách tiếp cận được sử dụng nhiều nhất cho việc phát triển các mô hình ước lượng sinh khối (Mitchard và cộng sự, 2011)[72], (Sun và cộng sự, 2011)[89], (Lu, 2005)[62], (Roy và cộng sự, 1996)[83], (Heiskanen, 2006)[46]. Do đó, đây cũng là phương pháp đề tài thực hiện để ước tính sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất tại khu vực nghiên cứu.

Việc nghiên cứu sinh khối đã được thực hiện nhiều, trong đó có cả loài cây ngập mặn, tuy nhiên việc nghiên cứu thực địa kết hợp dữ liệu viễn thám thì chưa được nghiên cứu nhiều, đặc biệt là tại khu vực rừng ngập mặn tỉnh Cà Mau. Với điều kiện thực tế tại khu vực, việc xây dựng mô hình thống kê kết hợp ứng dụng viễn thám trong nghiên cứu sinh khối rừng là rất cần thiết vì dữ liệu viễn thám được thu thập dữ liệu lặp lại, xử lý nhanh một khối lượng lớn dữ liệu, có mối tương quan cao giữa các băng phổ và chỉ số thực vật, là nguồn dữ liệu lớn cho ước tính sinh khối trên vùng rộng lớn, đặc biệt là trong những khu vực khó tiếp cận (Lu, 2006)[63]. Phương pháp phân tích hồi quy là cách tiếp cận được sử dụng thường xuyên nhất cho việc phát triển các mô hình ước lượng sinh khối. Do đó, đề tài luận án lựa chọn cách tiếp cận này để nghiên cứu xây dựng mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon tại khu vực nghiên cứu.

Dựa vào những ưu nhược điểm của dữ liệu quang học và dữ liệu radar, tác giả nhận thấy với dữ liệu radar ALOS PALSAR (L-band) cho các nghiên cứu sinh khối cho ra kết quả tốt hơn hơn dữ liệu radar bước sóng ngắn hơn nên dữ liệu radar ALOS PALSAR (L-band) được lựa chọn để nghiên cứu cho đối tượng tại khu vực, tuy nhiên việc dự báo sinh khối các bon dựa vào viễn thám cũng phụ thuộc rất nhiều yếu tố và tùy theo loại rừng khác nhau có mức độ bão hòa phản xạ và tán xạ khác nhau, đặc biệt là rừng phân bố trong những khu vực có môi trường sinh lý phức tạp, với điều kiện tại khu vực độ ẩm bề mặt lớn và sinh khối cao có thể khó khăn cho việc xây dựng mô hình ước tính dựa trên dữ liệu radar nên tác giả sử dụng thêm dữ

liệu quang học để nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon cho rừng ngập mặn.

Việc nghiên cứu về sinh khối và các bon của rừng bằng việc ứng dụng các công nghệ cao kết hợp nghiên cứu thực địa để tính toán, dự báo còn rất ít. Do đó nghiên cứu thực nghiệm nhiều hơn nữa là cần thiết để cải thiện chất lượng của các phương pháp tiếp cận. Do đó chọn lựa, thực hiện đề tài này tác giả mong muốn tìm ra được phương pháp dự báo sinh khối và tích lũy các bon của rừng để góp phần làm cơ sở định giá giá trị môi trường của rừng cũng như làm cơ sở xác định phí dịch vụ môi trường phục vụ công tác quản lý và phát triển rừng bền vững.

Chương 2

NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

1). Nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất bằng phương pháp đo đếm trực tiếp tại tỉnh Cà Mau.

- + Nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon cây cá thể và quần thể
- + Nghiên cứu tỉ lệ sinh khối trung bình chung của cây Đước theo cấp tuổi
- + Nghiên cứu thiết lập các mô hình tương quan giữa sinh khối, tích lũy các bon với các chỉ tiêu sinh trưởng của cây cá thể và rừng Đước.

2). Nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon bằng phương pháp sử dụng ảnh Viễn thám và GIS tại khu vực nghiên cứu.

- + Phân tích đặc trưng tán xạ, phản xạ đối với sinh khối của rừng ngập mặn tại khu vực nghiên cứu.
- + Thiết lập mối tương quan giữa phổ phản xạ, chỉ số NDVI (ảnh quang học) hoặc tán xạ ngược (ảnh radar) với sinh khối, lượng tích lũy các bon của rừng.
- + Xây dựng và thành lập bản đồ sinh khối, tích lũy các bon của rừng ngập mặn bằng phương pháp viễn thám và GIS.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Quan điểm và phương pháp luận

Phương pháp luận của đề tài luận án dựa trên những quan điểm sau đây:

2.2.1.1. Đối với nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất dựa trên kết quả đo đếm thực địa của cây Đước

Thứ nhất là dựa trên đặc tính sinh học của thực vật về hấp thụ CO₂ để tạo ra sinh khối (C₆H₁₂O₆) và thải ra khí oxy thông qua quá trình quang hợp và chỉ ở thực vật mới có khả năng này. Sinh khối và lượng các bon tích lũy ở các bể chứa trong HST rừng có mối quan hệ hữu cơ, đồng thời năng lực tích lũy các bon của thực vật, đất rừng có mối quan hệ với các nhân tố sinh thái và thay đổi theo trạng thái và tuổi rừng. Do đó, nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon của các HST rừng nói chung được dựa vào nguyên tắc này.

Thứ hai, sinh khối cây gỗ và quần thể của cây Đước là tổng trọng lượng vật

chất hữu cơ trên cây đứng hay cây còn sống, bao gồm cả sinh khối trên mặt đất và dưới mặt đất. Tổng sinh khối trên mặt đất (W_t , tấn) của cây gỗ và quần thể bao gồm sinh khối thân (W_{st} , tấn); sinh khối cành (W_{br} , tấn) và sinh khối lá (W_l , tấn) và sinh khối rễ trên mặt đất (W_r , tấn). Trong khuôn khổ giới hạn đề tài nghiên cứu này, tác giả muốn làm rõ tổng sinh khối trên mặt đất của cây Đước.

Thứ ba, sinh khối trên mặt đất có mối quan hệ chặt chẽ với những thành phần dễ đo đạc trên thân cây như D (cm) và H (m). Vì thế, những mô hình ước tính sinh khối của cây cá thể có thể được xây dựng dựa trên hai biến D (cm) và H (m), nghĩa là $W_t = f(D)$ và $W_t = f(D, H)$. Sinh khối trên mặt đất của quần thể (TAGB, tấn) có thể được ước lượng dựa theo hàm $TAGB = f(M)$, $TAGB = f(M, D)$, $TAGB = f(M, D, N)$ hoặc $TAGB = f(M, D, H, N)$.

2.2.1.2. Đối với nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh

Thứ nhất, là dựa trên cơ sở vật lý của kỹ thuật viễn thám, cơ sở về phản xạ và tán xạ ngược của đối tượng cây rừng. Khả năng phản xạ phổ, tán xạ ngược của mỗi loại thực vật, mỗi loại trạng thái rừng, mỗi tuổi khác nhau là khác nhau. Do đó, căn cứ trên khả năng này của thực vật cũng như căn cứ vào sự biến động khác nhau về phản xạ phổ và tán xạ ngược của tư liệu ảnh viễn thám để có thể xây dựng mối tương quan giữa các yếu tố này để có thể đưa ra phương pháp tính toán nhanh sinh khối, lượng tích lũy các bon của các hệ sinh thái rừng. Đây là cơ sở để ước tính gián tiếp sinh khối, các bon và hấp thụ CO_2 của rừng theo không gian trên diện rộng bằng công nghệ viễn thám và GIS, từ đó có thể giảm chi phí đo tính trực tiếp trên bề mặt đất với độ tin cậy cho phép.

Thứ hai, đề tài tiếp cận phương pháp viễn thám vệ tinh SAR với các tham số quan sát radar khác nhau như tần số, phân cực khác nhau và dữ liệu vệ tinh SPOT 5 với các kênh phổ và chỉ số NDVI khác nhau. Các sóng điện từ và sóng rada tương tác với đối tượng rừng ngập mặn trên mặt đất và nhận được giá trị khác nhau của cường độ phản xạ, tán xạ ngược bởi bộ cảm biến tùy thuộc vào trạng thái rừng.

Thứ ba, đề tài sử dụng phương pháp mô hình thống kê trong phân tích tương quan giữa phản xạ phổ, hệ số tán xạ ngược radar và các thông số rừng ngập mặn để

chiết xuất giá trị sinh khối từ dữ liệu ảnh viễn thám. Cụ thể:

- Tiếp cận các phương pháp xử lý ảnh viễn thám radar (kênh L) và ảnh viễn thám quang học SPOT 5 (kênh 1, 2, 3, 4) trong phân loại đối tượng rừng ngập mặn.

- Phương pháp tính toán sinh khối ngoài thực địa, phân tích mẫu để xác định lượng tích lũy các bon trong sinh khối của rừng ngập mặn.

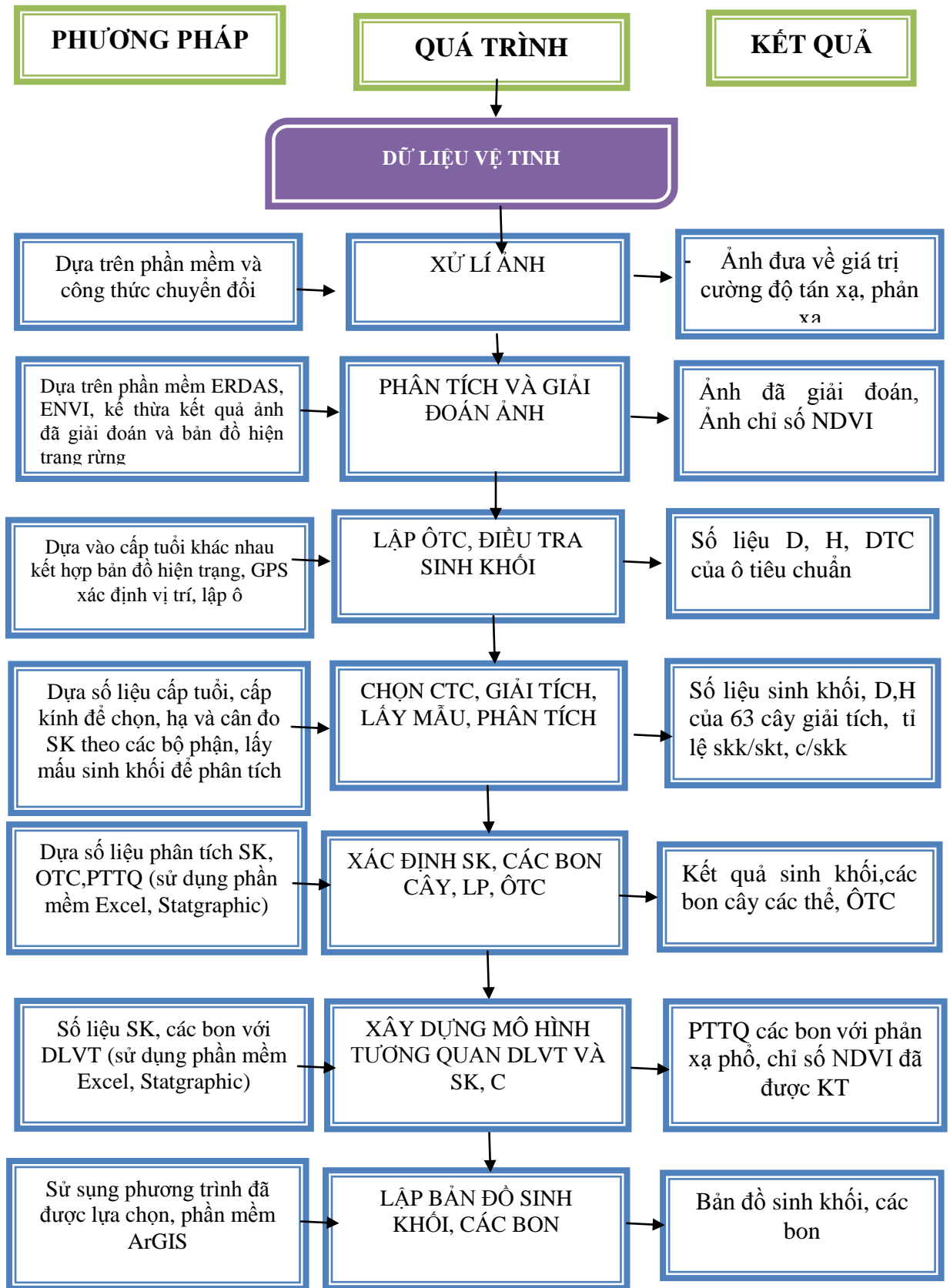
- Phương pháp khảo sát đặc trưng vật lý (tán xạ radar, phản xạ phổ) theo các trạng thái, sinh khối, tích lũy các bon rừng khác nhau.

- Phương pháp mô hình hồi quy tương quan giữa tán xạ radar, phản xạ phổ, chỉ số NDVI và thông số rừng ngập mặn để tính sinh khối, tích lũy các bon của rừng.

Từ những quan điểm trên, trên cơ sở các kết quả phân tích ảnh viễn thám và bản đồ hiện trạng rừng, lựa chọn các vùng mẫu và tiến hành điều tra thực địa. Tại thực địa, tiến hành điều tra, đo đếm các chỉ tiêu sinh trưởng trên các ô mẫu, lựa chọn cây tiêu chuẩn để giải tích xác định tỉ lệ sinh khối, tích lũy các bon của cây cá thể, từ đó xác định được sinh khối và tích lũy các bon của cây cá thể và quần thể rừng. Dựa trên những kết quả tính toán lượng tích lũy các bon được tính trên từng ô mẫu tiến hành lập mối tương quan giữa phản xạ phổ, chỉ số NDVI hoặc hệ số tán xạ ngược của ảnh radar với sinh khối, tích lũy các bon của rừng. Từ mô hình tiến hành lập bản đồ sinh khối, tích lũy các bon và hấp thụ CO₂.

Việc xây dựng các mô hình toán và các hệ số ước tính sinh khối tập trung sử dụng các nhân tố có khả năng đo đếm được ngoài hiện trường và có mối quan hệ mật thiết với sinh khối rừng. Các mô hình toán và các hệ số ước tính sinh khối trên mặt đất được tính toán theo các hướng dẫn của IPCC.

Toàn bộ quan điểm và nội dung nghiên cứu được mô phỏng tại hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ quá trình nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon tại Cà Mau

2.2.2. Phương pháp kế thừa tài liệu

Đề tài đã thừa kế một số tài liệu liên quan, bao gồm:

- Tài liệu về đặc điểm đối tượng và khu vực nghiên cứu: Đặc điểm sinh vật học, sinh thái học rừng Đước, điều kiện tự nhiên và xã hội khu vực nghiên cứu.
- Tài liệu liên quan đến hồ sơ, lý lịch rừng trồng, kết quả kiểm kê rừng, hiện trạng rừng các năm của tỉnh Cà Mau.
- Các loại bản đồ, ảnh viễn thám: Bản đồ hiện trạng rừng từ năm 2012 đến 2014, bản đồ hành chính, ảnh SPOT 5, ảnh Alos Palsar.
- Kết quả các công trình nghiên cứu có liên quan về sinh khối, thể tích, sinh trưởng rừng Đước,... tại khu vực tỉnh Cà Mau.

2.2.3. Phương pháp thu thập số liệu sinh khối trên mặt đất

2.2.3.1. Phương pháp thiết lập ô tiêu chuẩn và điều tra các chỉ tiêu sinh trưởng

a) Thiết lập các ô tiêu chuẩn ngoài thực địa

Đối với đo đếm rừng, sử dụng phương pháp ô tiêu chuẩn điển hình đại diện cho điều kiện tuổi rừng, sinh trưởng và phân bố khác nhau. Việc thiết lập, lựa chọn các OTC dựa trên cơ sở bản đồ hiện trạng rừng, ảnh vệ tinh và kết hợp với quá trình khảo sát thực địa. Ô tiêu chuẩn được lập đại diện cho các tuổi rừng khác nhau và khoảng cách giữa các OTC tối thiểu là cách 100m. Vị trí các OTC được xác định bằng máy định vị GPS (tọa độ các ô tiêu chuẩn được xác định trước dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh và bản đồ hiện trạng rừng kết hợp với khảo sát thực địa). Tổng số OTC điều tra được sử dụng cho từng nội dung của đề tài cụ thể như sau:

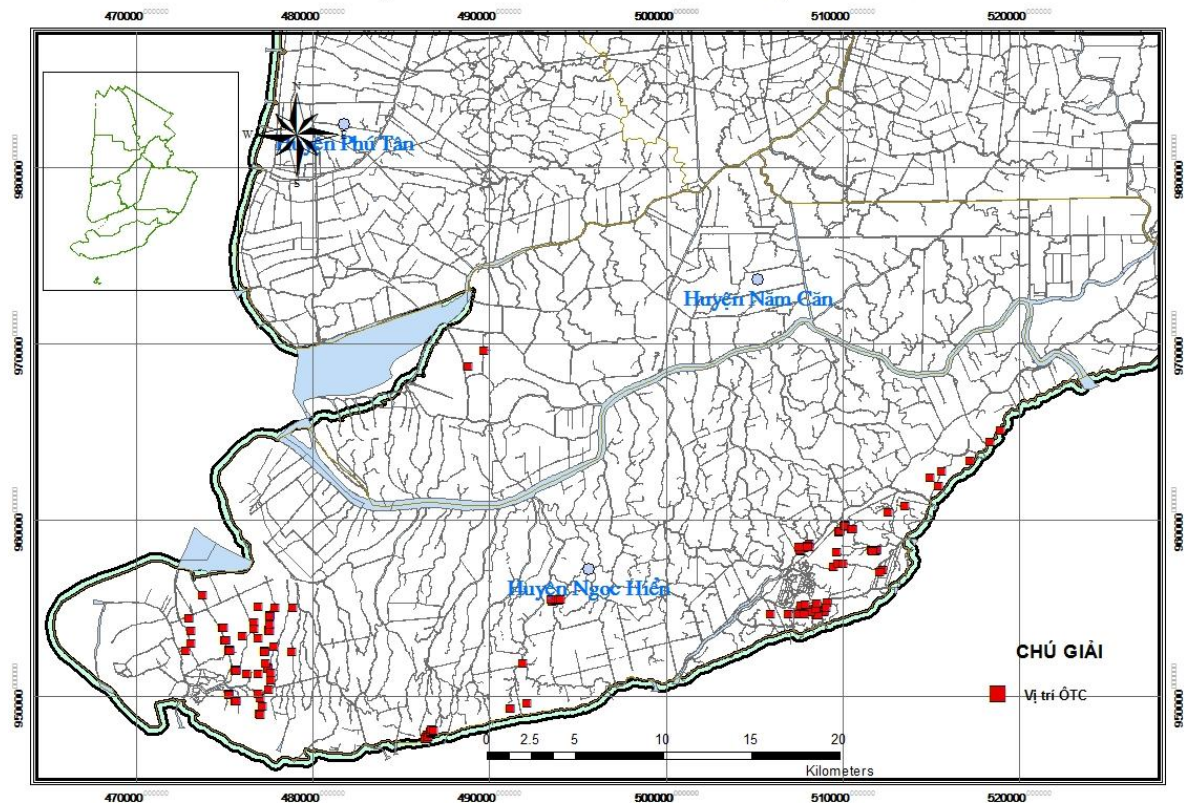
+ Để nghiên cứu sinh khối trên mặt đất đề tài đã lập 56 OTC (50m x 50m). Trong mỗi OTC, tiến hành lập 5 ô điều tra với diện tích 10 x 10 m với 4 ô ở 4 góc và 1 ô ở giữa để điều tra các chỉ tiêu sinh trưởng và sinh khối thực vật, Như vậy có 56 OTC x 5 = 280 ÔĐT có diện tích 100m²/ô điều tra. Ngoài ra đề tài sử dụng 5 ÔĐT(100m²/ô) đại diện cho 5 cấp tuổi để kiểm nghiệm phương trình sinh khối cây cá thể theo cấp tuổi.

+ Để nghiên cứu phân tích đặc trưng tán xạ và xây dựng mô hình dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh (Alos Palsar và SPOT 5): Với ảnh Alos Palsar đề tài sử dụng 159 ô kích thước 100 m² để phân tích giá trị tán xạ của ảnh Radar với sinh khối rừng và

với ảnh SPOT đề tài sử dụng 56 ô ô kích thước 100 m² để phân tích giá trị phản xạ và chỉ số NDVI với sinh khối rừng.

Bảng 2.1. Số lượng ô tiêu chuẩn sử dụng trong luận án

TT	Nội dung thực hiện	Số lượng ô tiêu chuẩn	
		Xây dựng phương trình	Kiểm nghiệm phương trình
1	Nghiên cứu sinh khối mặt đất	56 ô với 2500m ² /ô (50x50m)	5 ô với 100m ² /ô (10 x 10m). Mỗi ô đại diện cho mỗi cấp tuổi
3	Phân tích giá trị tán xạ của ảnh Radar với sinh khối rừng	139 ô 100m ² /ô (10 x 10m)	20 ô 100m ² /ô (10 x 10m)
4	Phân tích giá trị phản xạ và chỉ số NDVI với sinh khối rừng.	45 ô 100m ² /ô (10 x 10m)	11 ô 100m ² /ô (10 x 10m)



Hình 2.2. Bản đồ vị trí phân bố ô tiêu chuẩn tại rừng ngập mặn tỉnh Cà Mau.

b) Điều tra các chỉ tiêu sinh trưởng của cây trong ô tiêu chuẩn.

Sau khi lập ÔTC, tại các ô tiêu chuẩn tiến hành đo đếm toàn bộ chu vi thân cây ($C_{1,3}$), chiều cao vút ngọn (H_{vn}), đường kính tán, phẩm chất cây, vv... của các cây trong ô tiêu chuẩn. tiến hành điều tra các chỉ tiêu sinh trưởng của cây và lâm phần. Các chỉ tiêu điều tra trong ÔTC bao gồm: chu vi thân cây ($C_{1,3}$), chiều cao vút ngọn (H_{vn}), đường kính tán, phẩm chất cây.

+ Chu vi thân cây ($C_{1,3}$): Dùng thước đo chu vi thân cây tại độ cao 0,3m tính từ rễ chân nôm.

+ Chiều cao vút ngọn (H_{vn}) được đo bằng thước đo cao, chiều cao vút ngọn được tính từ rễ trên mặt đất đến ngọn.

+ Đường kính tán từng cây (D_T): Đường kính tán từng cây rừng được đo bằng sào và thước dây.

2.2.3.2. Phương pháp thu thập số liệu cho lập phương trình sinh khối cây cá thể

a) Phương pháp thu thập số liệu cho lập phương trình sinh khối tươi cây cá thể chung cho các cấp tuổi

- Phương pháp thu thập số liệu cho lập phương trình sinh khối tươi

Để xây dựng phương trình sinh khối tươi đề tài đã lựa chọn các cây tiêu chuẩn đại diện cho các ÔTC có cấp tuổi khác nhau dựa trên hồ sơ rừng và bản đồ hiện trạng rừng. Cây tiêu chuẩn được chọn có đường kính nhỏ nhất đến đường kính lớn nhất và đại diện cho các cấp tuổi rừng khác nhau. Cây tiêu chuẩn sinh trưởng và phát triển bình thường, không lệch tán, không bị sâu bệnh, không nằm ở bìa ÔTC. Số lượng cây tiêu chuẩn cho mỗi cấp tuổi được tính toán tối thiểu là 3 cây, tổng cộng có 113 cây tiêu chuẩn đã được chặt hạ và cân đo tính sinh khối các bộ phận của cây Đước, trong đó có 63 cây dùng để xây dựng phương trình sinh khối tươi và 15 cây để kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi, 35 cây để kiểm nghiệm phương trình sinh khô và phương trình các bon. Toàn bộ 113 cây tiêu chuẩn được chặt hạ có cỡ kính ($D_{1,3}$) biến động từ 2 cm và lớn nhất là 35 cm.

Căn cứ phân chia cấp tuổi: đối với cấp tuổi dựa vào năm trồng của rừng và căn cứ vào quy định phân cấp tuổi của cây Đước là 5 năm/cấp tuổi (Dự án điều tra, kiểm kê rừng của tổng cục Lâm nghiệp). Số lượng cây tiêu chuẩn được thể hiện ở bảng 2.2.

Bảng 2.2. Số lượng cây tiêu chuẩn giải tích để xây dựng phương trình sinh khối cá thể

TT	Cấp tuổi	Số lượng cây tiêu chuẩn xây dựng phương trình sinh khối tươi	Số lượng cây tiêu chuẩn sử dụng để kiểm nghiệm		
			Phương trình sinh khối tươi	Phương trình sinh khối khô	Phương trình sinh khối khô theo quần thể
1	I	12	3	7	10
2	II	14	3	7	10
3	III	12	3	7	10
4	IV	11	3	7	10
5	V	10	3	7	10
6	VI	4	0	0	0
Tổng số		63	15	35	50

Giải tích thân cây: Cây tiêu chuẩn sau khi chặt hạ, tiến hành dùng thước đo chiều dài thân cây, $D_{1,3}$ và đo tiết diện giữa đoạn 1 m cho đến hết thân cây, sử dụng cưa máy để tách các bộ phận thân, cành, rễ chông và tách riêng bộ phận lá. Dùng cân cân sinh khối tươi từng bộ phận riêng rẽ để xác định sinh khối tươi trên mặt đất. Tổng khối lượng các bộ phận sẽ là tổng sinh khối của thân cây.

Cân đo sinh khối tươi: phân chia cây giải tích làm 4 bộ phận: thân, cành, lá và rễ trên mặt đất, lần lượt cân từng bộ phận sinh khối tươi và ghi vào biểu điều tra sinh khối cây cá thể.

• **Lấy mẫu sinh khối:** Sau khi xác định sinh khối tươi của các cây giải tích, tiến hành lấy mẫu từng bộ phận sinh khối để dùng vào việc phân tích sinh khối khô và hàm lượng tích lũy các bon trong sinh khối cây rừng trong phòng thí nghiệm. Số mẫu được lấy là 12 mẫu/cây (4 bộ phận x 3 mẫu), mỗi mẫu thân, cành lấy khoảng 0,5 - 1kg, mẫu lá khoảng 0,2 – 0,5 kg. Mẫu lấy xong được cân ngay bằng cân điện tử để xác định khối lượng ban đầu. Mẫu được bảo quản trong túi nilon. Các mẫu được ghi đầy đủ ký hiệu và được phân tích tại phòng thí nghiệm của Viện Khoa học Lâm nghiệp Nam Bộ.



Hình 2.3. Chặt hạ, cân đo, lấy mẫu sinh khối tươi

- Phương pháp thu thập số liệu cho kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi:

Để kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi, sử dụng số liệu của 15 cây tiêu chuẩn chặt hạ (thể hiện trong bảng 2.2)

b) Phương pháp thu thập số liệu cho lập phương trình sinh khối khô cây cá thể theo cấp tuổi:

- Phương pháp thu thập số liệu cho lập phương trình sinh khối khô

Sử dụng số liệu phân tích sinh khối khô theo cấp tuổi của các cây tiêu chuẩn để xác định tỷ lệ khô chung cho từng cấp tuổi, sau đó nhân với phương trình sinh khối tươi thì được phương trình sinh khối khô cây cá thể theo cấp tuổi.

- Phương pháp thu thập số liệu cho kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô cây cá thể

Để kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô cây cá thể, sử dụng số liệu của 35 cây tiêu chuẩn chặt hạ (thể hiện trong bảng 2.2)

- Phương pháp thu thập số liệu cho kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô cây cá thể theo quần thể

Để kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô cây cá thể theo quần thể, sử dụng tổng số 50 cây tiêu chuẩn để kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô (thể hiện trong bảng 2.2). Cụ thể: Mỗi cấp tuổi sử dụng một ô tiêu chuẩn để kiểm nghiệm phương trình. Mỗi một ô chặt 10 cây có đường kính từ nhỏ đến lớn để xác

định sinh khối tươi cho các bộ phận cây Đước. Trong 10 cây chặt hạ tiến hành lấy mẫu sinh khối tươi để phân tích trong phòng thí nghiệm để xác định tỉ lệ sinh khối khô cho từng bộ phận, sau đó tính tỉ lệ sinh khối khô chung cho các bộ phận. Từ đây lấy tỉ lệ sinh khối khô chung nhân với sinh khối tươi của 10 cây chặt hạ được sinh khối khô của từng cây, 10 cây tiêu chuẩn được chặt hạ đại diện cho các cấp kính, mỗi cấp kính 2 cây. Sau đó tính sinh khối khô bình quân cho từng cấp kính. Nhân sinh khối bình quân này với số cây của từng cấp kính sẽ được tổng sinh khối từng cỡ kính. Cộng sinh khối khô của các cỡ kính lại, được sinh khối khô của ô tiêu chuẩn. Các cấp kính được chia với cự li như nhau. Cách tiến hành cụ thể như sau:

- Tính phạm vi phân bố đường kính cho từng ô tiêu chuẩn: $R = D_{max} - D_{min}$
- Tính cự li cấp kính: $K = R/5$
- Xác định giới hạn trên và dưới cho từng cấp kính theo công thức chung:

Cấp kính thứ i , giới hạn dưới $D_{i-} = D_{min} + (i-1) * K$; giới hạn trên $D_{i+} = D_{min} + i * K$

- Chính lí số liệu, được số cây tương ứng từng cấp kính

c) Phương pháp thu thập số liệu cho thiết lập phương trình sinh khối khô quần thể.

- Phương pháp thu thập số liệu cho thiết lập phương trình sinh khối khô quần thể

Sử dụng số liệu điều tra về các chỉ tiêu sinh trưởng, cấp đất, cấp tuổi và sinh khối của 56 OTC đã được trình bày ở trên bao gồm các chỉ tiêu: $D_{1,3}$, H_{vn} , N (mật độ), M (trữ lượng) và sinh khối khô từng ô tiêu chuẩn để thiết lập phương trình sinh khối khô quần thể.

- Phương pháp thu thập số liệu cho kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô quần thể: đề tài sử dụng số liệu 5 ô tiêu chuẩn ở các cấp tuổi khác nhau để kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô quần thể.

- Phương pháp xác định cấp đất: Dùng biểu cấp đất đã lập cho loài Đước vùng Nam Bộ của tác giả Phạm Trọng Thịnh (2007) [23]. Theo đó dựa vào biểu cấp đất đã xây dựng cho cây Đước tại vùng Nam Bộ được phân chia theo cấp chiều cao, tác giả sử dụng chiều cao trung bình của các ÔTC tra vào biểu tương ứng với giới hạn cấp chiều cao để xác định cấp đất của rừng.

2.2.4. Phương pháp xử lý số liệu sinh khối trên mặt đất

2.2.4.1. Phân tích xác định tỉ lệ sinh khối khô và hàm lượng các bon tích lũy trong mẫu sinh khối trên mặt đất

Số liệu phục vụ cho thiết lập phương trình khối cây cá thể là số liệu của 63 cây mẫu. Các cây mẫu này được chặt hạ điều tra sinh khối tươi, sinh khối khô và các bon. Số liệu điều tra và phân tích trong phòng cần phải đảm bảo có các chỉ tiêu tt cây, d, h, dt, Wtchung, Wt thân, Wt cành, Wt lá, Wt rễ; Wk chung, Wk thân, Wk cành, Wl lá, Wk rễ; hệ số các bon chung và từng bộ phận

Xác định sinh khối khô mẫu: Xác định bằng phương pháp tủ sấy ở nhiệt độ 105°C . Mẫu sinh khối được đưa vào phòng thí nghiệm, được sấy khô ở 105°C đối với thân, cành rễ và ở 80°C đối với lá cho đến khi trọng lượng không đổi, sấy trong phòng khoảng 72 giờ, cân ba lần có trị số không đổi là mẫu đã khô ổn định. Mẫu sau khi sấy xong được cân lại để xác định tỉ lệ giữa sinh khối khô và sinh khối tươi. Từ đây suy ngược lại theo tỷ lệ rút mẫu được khối lượng sinh khối khô cho từng bộ phận cây.

Hàm lượng các bon trong bộ phận: Mẫu sau khi sấy khô được tiến hành phân tích hàm lượng các bon để tính tỉ lệ % các bon trong từng bộ phận sinh khối khô của cây. Mẫu phân tích hàm lượng các bon trong sinh khối được phân tích bằng phương pháp đốt trực tiếp bằng máy NC Analyzer 2100 tại phòng thí nghiệm của Viện Khoa học Lâm nghiệp Nam Bộ.

2.2.4.2. Nghiên cứu thiết lập các mô hình tương quan ước tính sinh khối của cây cá thể và quần thể Đước

1). Thiết lập mô hình ước tính sinh khối tươi cây cá thể

Đề tài xây dựng phương trình sinh khối tươi chung cho các cấp tuổi dựa vào số liệu 63 cây giải tích. Từ phương trình sinh khối tươi này, khi biết tỷ lệ sinh khối khô và tỷ lệ các bon trong sinh khối khô của cây ở mỗi cấp tuổi sẽ suy diễn được phương trình sinh khối khô và phương trình các bon theo cấp tuổi.

Mô hình sinh khối tươi được thiết lập cho cây cá thể để ước tính sinh khối tươi dựa trên mối quan hệ chặt chẽ giữa sinh khối với các nhân tố sinh trưởng của cây phù hợp với quy luật sinh trưởng và dựa trên quan điểm nội suy từ các chỉ tiêu để

đo đếm sang các chỉ tiêu khó đo đếm một cách đơn giản nhất.

Trong luận án đã mô hình hóa mối quan hệ giữa sinh khối tươi với các nhân tố có quan hệ theo dạng hàm tổng quát: $Y_i = f(x_j)$

Trong đó: Y_i : Sinh khối tươi từng bộ phận thân cây theo cấp đường kính; x_j : Các nhân tố điều tra rừng như đường kính, chiều cao hoặc tổ hợp biến ví dụ $D_{1,3}^2H$, $D_{1,3}H$. Tổ hợp tất cả các trường hợp đổi biến số để dò tìm hàm tối ưu.

Mô hình được thiết lập dựa vào phương pháp giải tích thân cây nhằm ứng dụng để ước tính sinh khối và một số nhân tố khác mà không phải chặt hạ cây.

Luận án đã sử dụng một số dạng hàm tuyến tính từ một đến nhiều biến, tổ hợp biến hoặc hàm phi tuyến tính được đổi biến số về tuyến tính để thăm dò và lựa chọn hàm tối ưu; các mô hình được xử lý trong phần mềm thống kê Statgraphics Centurion. Biến phụ thuộc y là sinh khối của cây rừng hoặc sinh khối quần thể rừng; biến số độc lập là x_i bao gồm: Các nhân tố điều tra rừng như đường kính ngang ngực ($D_{1,3}$, cm), chiều cao cây (H_{vn} , m), thể tích (V , m^3), mật độ (N , cây/ha).

Cơ sở dữ liệu để thiết lập mô hình cho cây cá thể bao gồm số liệu đường kính ngang ngực ($D_{1,3}$, cm), chiều cao cây (H_{vn} , m), sinh khối khô các bộ phận trên mặt đất của 46 cây giải tích. Còn số liệu 15 cây tiêu chuẩn chặt hạ được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình.

Tiến hành thăm dò các phương trình tương quan giữa các nhân tố. Từ đó chọn phương trình tương quan mô tả tốt nhất các mối quan hệ trên để xác định sinh khối tươi của cây cá thể.

*** Các dạng phương trình tương quan tổng quát được sử dụng để xây dựng mô hình ước tính sinh khối.**

Bảng 2.3. Các dạng phương trình tương quan tổng quát được sử dụng

TT	Phương trình tổng quát	TT	Phương trình tổng quát
1	$Y = (a + b.x)^2$	11	$Y = (a + b.\sqrt{x})^2$
2	$Y = 1/(a + b/x)$	12	$Y = \sqrt{a + b.x^2}$
3	$Y = a + b.\log x$	13	$Y = \exp(a + b.x)$
4	$Y = a + b.x^2$	14	$Y = a.x^b$

5	$Y = a + b.x + c.x^2$	15	$Y = a.exp(-b.x^{-c})$
6	$Y = a + b.x.z$	16	$\log Y = a + b.logx + c.logz$
7	$Y = a + b.x.z^2$	17	$\log Y = a + b.log(x.z)$
8	$Y = a + b.x^2.z$	18	$\log Y = a + b.log(x^2.z)$
9	$Y = a + b.x + c.x^2.z$	19	$\log Y = a + b.log(x.z^2)$
10	$Y = a + b.z + c.x^2.z$	20	$\log Y = a + b.logx + c.log(x.z)$

Trong đó : Y : biến phụ thuộc là W, TAGB,...

x, z : biến độc lập $D_{1,3}$, H_{vn} , M,...

a, b, c : các tham số của phương trình.

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

Việc lựa chọn các biến tham gia vào mô hình và lựa chọn hàm tối ưu nhất phụ thuộc vào nhiều chỉ tiêu thống kê. Trong đề tài đã sử dụng một số chỉ tiêu để làm căn cứ lựa chọn hàm như sau:

- Hệ số xác định R^2 : Về tổng quát thì hàm tốt nhất khi R^2 đạt cao nhất. Tuy nhiên có trường hợp R^2 đạt cao nhất nhưng chưa phải là hàm phù hợp nhất, do vậy cần dựa thêm các chỉ tiêu thống kê khác.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

SST: Tổng bình phương (Total sum of Squares), $SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$

SSR: Tổng bình phương sai lệch từ mô hình (Regression sum of Squares)

$$TSS = \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2$$

SSE: Tổng bình phương sai lệch phần dư (Residual sum of Squares)

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

- Kiểm tra sự tồn tại của các tham số của mô hình và mô hình: Yêu cầu các tham số của mô hình và mô hình đều tồn tại ở mức có ý nghĩa ($p < 0,05$).

- Chỉ số thống kê SEE (sai số ước lượng chuẩn: Standard Error of Est.), MAE

(sai số tuyệt đối trung bình) và SSR (tổng sai lệch bình phương): phương trình tốt nhất khi 3 chỉ số này của phương trình nhỏ nhất.

- Nhân tố điều chỉnh (CF), (Ong và cộng sự, 2004)[78] (Chave, 2005) [37]:
 $CF = \exp(RSE^2/2)$ (2.3). CF luôn lớn hơn 1. Trong đó RSE (Residual standard error) là sai tiêu chuẩn của phần dư hay là sai số của mô hình (SEE). Khi RSE càng lớn thì CF càng lớn, có nghĩa mô hình càng có độ tin cậy thấp. Mô hình tốt khi CF càng tiến dần đến 1.

- Biến động trung bình S%: để kiểm tra khả năng ứng dụng của các phương trình và đánh giá mức độ sai lệch, biến động trung bình của giá trị ước lượng qua mô hình với thực tế quan sát:

$$S\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_{lt} - Y_{tn}}{Y_{tn}}$$

Trong đó: Y_{tn} : Giá trị thực nghiệm quan sát

Y_{lt} : giá trị dự báo qua mô hình

S %: Sai số tương đối

* Kiểm nghiệm phương trình:

Sau khi lựa chọn phương trình tiến hành kiểm tra khả năng tồn tại của phương trình bằng các dữ liệu của các cây còn lại không tham gia tính toán thông qua sai số tương đối giữa kết quả lí thuyết và thực tế, việc kiểm nghiệm phương trình được xác định bằng công thức:

$$\Delta\% = \left| \frac{Y_{lt} - Y_{tt}}{Y_{lt}} \right| * 100$$

Trong đó: $\Delta\%$: sai số tương đối

Y_{tt} : thực tế Y_{lt} : lý thuyết

Kiểm nghiệm phương trình cần quan tâm đến các loại sai số: $\Delta\%$ max; $\Delta\%$ min, $\Delta\%$ BQ; % sai số mang dấu -; % sai số mang dấu +;

2) Thiết lập mô hình sinh khối khô theo cấp tuổi

Để thiết lập mô hình sinh khối khô theo cấp tuổi, cần xác định tỉ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi. Sau đó sử dụng phương trình sinh khối tươi nhân với tỉ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi.

a) Tính số cây mẫu cần chặt hạ xác định tỷ lệ sinh khối khô cho mỗi cấp tuổi

Số cây tiêu chuẩn cần chặt hạ xác định tỷ lệ sinh khối khô cho mỗi cấp tuổi được tính theo công thức:

$$N=(t_{(a/2)}^2*S_{\%}^2)/\Delta^2$$

Trong đó $t_{(a/2)}$ là giá trị t tra bảng được cho bằng 2; $S_{\%}$ là biến động tỷ lệ sinh khối khô chung cũng như từng bộ phận của cây

b) Xác định tỉ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi

- *Xác định hệ số chuyển đổi sinh khối tươi sang sinh khối khô (P) của mẫu sấy*: Dựa trên các mẫu phân tích sinh khối tại phòng thí nghiệm, hệ số chuyển đổi từ sinh khối tươi sang sinh khối khô kiệt được tính theo công thức tổng quát sau:

$$P_i = \frac{W_{ki}}{W_{ti}}$$

Trong đó: W_{ki} là khối lượng khô kiệt của mẫu i sấy ở nhiệt độ 105°C đối với bộ phận thân, cành, rễ và nhiệt độ 80°C đối với bộ phận lá; W_{ti} là khối lượng tươi của mẫu i trước khi sấy.

- *Xác định tỉ lệ sinh khối khô của từng bộ phận theo cấp tuổi*: bằng giá trị trung bình tỉ lệ giữa sinh khối khô/sinh khối tươi từng bộ của các mẫu sấy có cùng cấp tuổi.

- *Xác định tỉ lệ sinh khối khô chung theo cấp tuổi*: bằng tỉ lệ sinh khối khô của từng bộ phận theo cấp tuổi nhân với tỉ lệ % tương ứng của từng bộ phận chia cho 100.

$$Pt(A_i) = (Ps(A_i)*Ps(\%)+ PbrA_i*Pbr(\%)+ PlA_i*Pl(\%)+ PrA_i*Pr(\%))/100$$

Trong đó: $Pt(A_i)$: tỉ lệ sinh khối khô chung của cấp tuổi i

$Ps(A_i)$: tỉ lệ sinh khối khô của bộ phận thân ở cấp tuổi i

$Pbr(A_i)$: tỉ lệ sinh khối khô của bộ phận cành ở cấp tuổi i

$Pl(A_i)$: tỉ lệ sinh khối khô của bộ phận lá ở cấp tuổi i

$Pr(A_i)$: tỉ lệ sinh khối khô của bộ phận rễ ở cấp tuổi i

$Ps(\%)$: Tỉ lệ phần trăm sinh khối tươi của bộ phận thân so với tổng sinh khối tươi của cây cá thể.

$Pbr(\%)$: Tỉ lệ phần trăm sinh khối tươi của bộ phận thân so với tổng sinh khối tươi của cây cá thể.

$Ps(\%)$: Tỉ lệ phần trăm sinh khối tươi của bộ phận thân so với tổng sinh khối

tươi của cây cá thể.

Ps(%): Tỷ lệ phần trăm sinh khối tươi của bộ phận thân so với tổng sinh khối tươi của cây cá thể.

b) Xây dựng mô hình ước tính sinh khối khô theo cấp tuổi: Bằng phương trình sinh khối tươi nhân tỉ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi.

c) Kiểm nghiệm phương trình sinh khối theo quần thể

- **Xác định sinh khối khô thực tế của 5 ô tiêu chuẩn tương ứng với 5 cấp tuổi:** Mỗi cấp tuổi sử dụng một ô tiêu chuẩn để kiểm nghiệm phương trình. Mỗi một ô chặt 10 cây có đường kính từ nhỏ đến lớn để xác định sinh khối tươi cho các bộ phận cây Đước. Trong 10 cây chặt hạ tiến hành lấy mẫu sinh khối tươi để phân tích trong phòng thí nghiệm để xác định tỉ lệ sinh khối khô cho từng bộ phận, sau đó tính tỉ lệ sinh khối khô chung cho các bộ phận. Từ đây lấy tỉ lệ sinh khối khô chung nhân với sinh khối tươi của 10 cây chặt hạ được sinh khối khô của từng cây. 10 cây tiêu chuẩn được chặt hạ đại diện cho các cấp kính, mỗi cấp kính 2 cây. Sau đó tính sinh khối khô bình quân cho từng cấp kính. Nhân sinh khối bình quân này với số cây của từng cấp kính sẽ được tổng sinh khối từng cỡ kính. Cộng sinh khối khô của các cỡ kính lại, được sinh khối khô của ô tiêu chuẩn.

- **Xác định sinh khối tươi lý thuyết:** sử dụng phương trình sinh khối tươi đã được xây dựng để xác định sinh khối tươi lý thuyết bằng cách thay đường kính của 10 cây chặt hạ vào phương trình sinh khối tươi. Nhân sinh khối tươi của từng cây với tỉ lệ sinh khối khô chung cho từng cấp tuổi được sinh khối khô lý thuyết cho từng cây. Cộng tổng sinh khối khô của 10 cây này được tổng sinh khối khô lý thuyết.

Xác định sai số từng cây và sai số quần thể (S%):

$$S \% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_{lt} - Y_{tn}}{Y_{tn}}$$

Trong đó: Y_{tn} : Giá trị thực nghiệm quan sát

Y_{lt} : Giá trị dự báo qua mô hình

S % : Sai số tương đối

Quá trình kiểm nghiệm phương trình cần quan tâm đến các chỉ số: $\Delta\%$ max; $\Delta\%$ min, $\Delta\%$ BQ; % sai số mang dấu -; % sai số mang dấu +; kết luận có sai số hệ

thống không; sai số tổng sinh khối cây kiểm tra $\Delta\%$ ($\sum w$)

- **Đánh giá chung về độ chính xác hay sai số của phương trình:** Sau khi đã kiểm tra phương trình cho từng cây và cho từng ô tiêu chuẩn, tiến hành đánh giá độ chính xác hay sai số khi sử dụng phương trình.

5). Tính toán các chỉ tiêu sinh khối, các bon, hấp thụ CO₂ của cây cá thể và quần thể

a). **Tính toán sinh khối khô (theo hướng dẫn của IPCC, 2006 [51] và theo giáo trình Điều tra rừng)**

- **Tính sinh khối khô, các bon và CO₂ của cây cá thể:**

Sau khi có tỉ lệ giữa sinh khối khô và sinh khối tươi (Pi) và tỉ lệ hàm lượng các bon trong sinh khối khô của từng bộ phận của cây. Tiến hành xác định sinh khối và tích lũy các bon của từng bộ phận của cây giải tích như sau:

Xác định sinh khối khô từng bộ phận (thân, cành, lá, rễ trên mặt đất) của cây cá thể theo cấp kính: sinh khối khô từng bộ phận (thân, cành, lá, rễ) của cây cá thể giải tích được xác định = Sinh khối tươi x tỉ lệ khô/tươi (Pi) từng bộ phận của cây theo từng cỡ kính (mỗi bộ phận có tỉ lệ sinh khối khô/ tươi khác nhau được phân tích từ phòng thí nghiệm):

$$W(\text{Sk, Brk, Lk, Rk}) = W(\text{St, Brt, Lt, Rt}) \times P_i$$

Trong đó: W(Sk, Brk, Lk, Rk) là sinh khối khô các bộ phận cây cá thể giải tích và W(St, Brt, Lt, Rt) là sinh khối tươi của bộ phận cây cá thể giải tích. Pi: là tỉ lệ sinh khối khô/tươi của cỡ kính i.

Sinh khối khô cây cá thể: Sinh khối khô cây cá thể được tính bằng tổng sinh khối của các bộ phận của cây cá thể (gồm sinh khối khô của thân, cành, lá và rễ trên mặt đất).

Tích lũy các bon của từng bộ phận cây giải tích = Sinh khối khô x % tích lũy các bon trong từng bộ phận (tỉ lệ % các bon được phân tích từ phòng thí nghiệm).

Tích lũy các bon của cây giải tích = tổng tích lũy các bon trong sinh khối khô của từng bộ phận. Tổng lượng CO₂ của cây cá thể hấp thụ = Tích lũy C của cây giải tích x 3,67

- **Xác định sinh khối khô của quần thể:** Được tính toán bằng tổng sinh khối của các cây trong ô tiêu chuẩn và tính cho trên 1 ha bằng cách sử dụng phương trình

sinh khối khô tương ứng với từng cấp tuổi của ô tiêu chuẩn hoặc sử dụng phương trình sinh khối tươi và tỉ lệ sinh khối khô chung cho các bộ phận để tính sinh khối khô của quần thể theo các bước như sau:

Bước 1: Xác định cấp tuổi của ô tiêu chuẩn

Bước 2: Xác định tỉ lệ sinh khối khô chung tương ứng với cấp tuổi của ô tiêu chuẩn.

Bước 3: Sử dụng phương trình sinh khối tươi để xác định sinh khối tươi cho ô tiêu chuẩn

Bước 4: Nhân sinh khối tươi với tỉ lệ sinh khối khô của ô tiêu chuẩn được sinh khối khô của ô tiêu chuẩn.

- **Xác định trữ lượng gỗ của quần thể:** Dùng phương trình thể tích đã lập cho loài Đước của tác giả Phạm Trọng Thịnh (2006) để tính thể tích cho từng cây $V = 10^{-4,3460} \times D^{2,01} \times H^{0,965}$ và trữ lượng gỗ ô tiêu chuẩn.

- **Phân chia cấp kính rừng Đước:** Đối với cấp kính, dựa vào đường kính lớn nhất và nhỏ nhất để xác định cấp kính và số cấp kính, bằng phần mềm Statgraphic centurion XVI.

b) Xác định hệ số các bon cho các bộ phận thân cây theo cấp tuổi

Trong đề tài này, hệ số các bon được hiểu là tỷ lệ các bon so với sinh khối khô của các mẫu sậy.

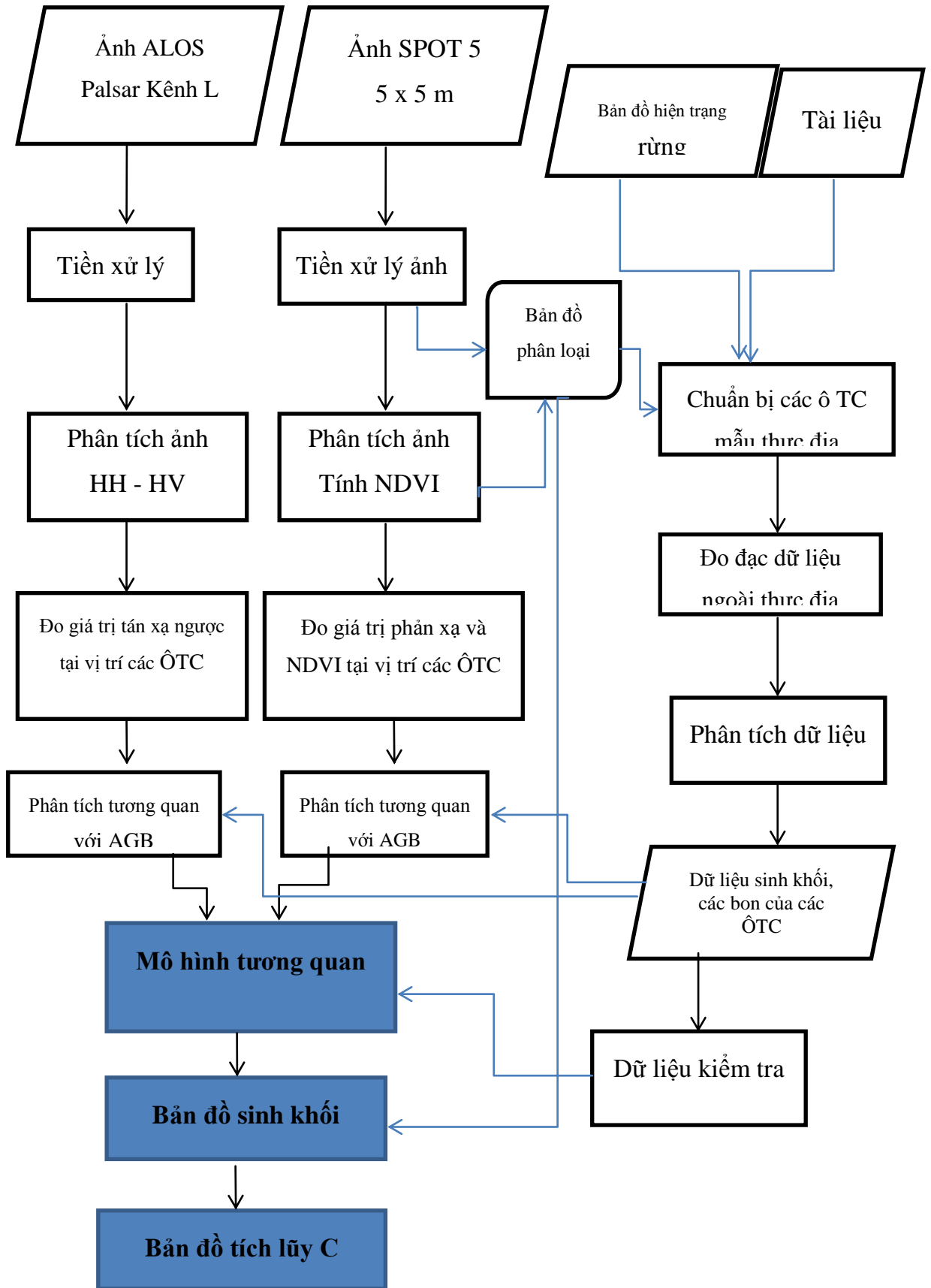
Hệ số các bon chung được tính theo công thức

$$P(ch) = X_{th} * K_{th} + X_{ca} * K_{ca} + X_{La} * K_{La} + X_R * K_{tR}$$

Trong đó: X là tỷ lệ sinh khối khô của từng bộ phận so với tổng sinh khối khô phần trên mặt đất của cây; K là hệ số các bon của từng bộ phận

2.2.5. Phương pháp nghiên cứu mối tương quan giữa dữ liệu viễn thám (giá trị phản xạ phổ, chỉ số NDVI và hệ số tán xạ ngược) với sinh khối rừng Đước

Các bước tiến hành nghiên cứu mối tương quan giữa phản xạ phổ, chỉ số NDVI và hệ số tán xạ ngược với sinh khối tích lũy các bon của rừng ngập mặn để tính sinh khối, tích lũy các bon trên mặt đất của rừng tỉnh Cà Mau được thực hiện theo miêu tả trong sơ đồ 2.6.



Hình 2.4. Sơ đồ mô tả phương pháp xây dựng bản đồ sinh khối và tích lũy C

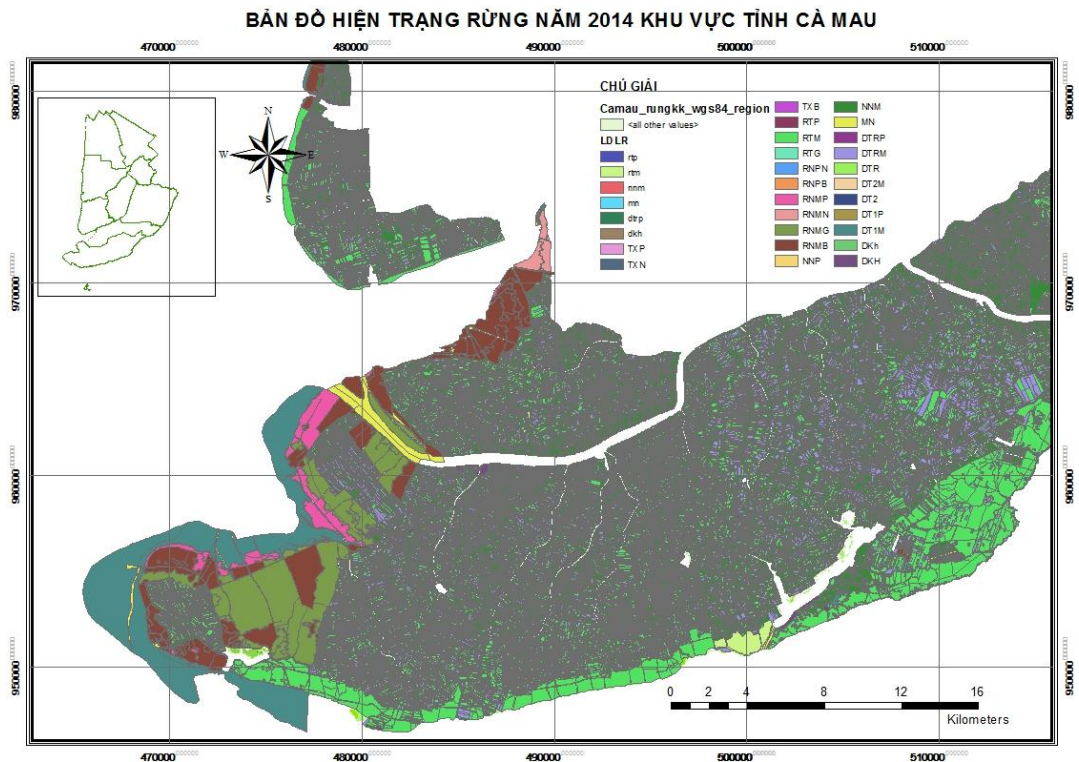
1). Dữ liệu ảnh vệ tinh và dữ liệu thực địa

Dữ liệu thực địa:

Bộ dữ liệu về sinh khối và tích lũy các bon của 85 OTC (56 ô diện tích $2.500m^2$ và 29 ô diện tích $100m^2$) đã được tính toán và được chuẩn hóa về cùng thời điểm với ảnh viễn thám (sử dụng hàm tăng trưởng giữa sinh khối và tuổi rừng để chuẩn hóa) dùng để xây dựng mối tương quan với giá trị tán xạ, phản xạ và NDVI của dữ liệu viễn thám và để kiểm tra mô hình.

Dữ liệu bản đồ

Bản đồ số hiện trạng rừng của tỉnh Cà Mau do Chi cục Kiểm lâm Cà Mau cung cấp.



Hình 2.5. Bản đồ hiện trạng rừng năm 2014 của tỉnh Cà Mau

Dữ liệu ảnh vệ tinh

Dữ liệu ảnh thu thập cho nghiên cứu gồm hai loại ảnh quang học và ảnh radar có thời gian gần với thời gian đo đạc số liệu thực địa. Các dữ liệu này đã được xử lý ở mức thông thường từ nơi cung cấp bao gồm hiệu chỉnh khí quyển, hiệu chỉnh hình học (Hệ tọa độ quốc tế WGS-84).

Dữ liệu ảnh vệ tinh quang học

Tác giả sử dụng ảnh SPOT5 ngày 26/1/2013 độ phân giải 10 m của khu vực nghiên cứu để tách thông tin về lớp phủ rừng ngập mặn khu vực nghiên cứu và nghiên cứu, phân tích mối quan hệ giữa sinh khối với giá trị phản xạ của các kênh ảnh và chỉ số NDVI.

Dữ liệu ảnh vệ tinh Radar

Vệ tinh ALOS (The Advanced Land Observing Satellite) là vệ tinh quan sát Trái đất của Nhật Bản được phóng lên quỹ đạo vào tháng 1 năm 2006. Đây là thế hệ vệ tinh cải tiến tiếp theo vệ tinh tài nguyên JERS-1 và ADEOS, các bộ cảm trên vệ tinh này tích hợp nhiều kỹ thuật tiên tiến được sử dụng cho thành lập bản đồ địa hình, giám sát vùng, theo dõi thiên tai và điều tra tài nguyên.

PALSAR là bộ cảm siêu cao tần lắp đặt trên vệ tinh ALOS, là loại đầu thu được cải tiến so với bộ cảm SAR thế hệ trước trên vệ tinh JERS-1. PALSAR hoạt động trong dải tần L-band (1.270 MHz), có đầy đủ các loại phân cực như phân cực đơn (phát phân cực ngang thu lại phân cực ngang - HH, hoặc phát phân cực đứng thu về phân cực đứng -VV), chế độ phân cực kép (phát phân cực ngang thu lại cả phân cực ngang và phân cực đứng - HH+HV hay phát phân cực đứng thu lại cả phân cực đứng và phân cực ngang -VV+VH) hay toàn bộ bốn kiểu phân cực (HH+HV+VH+VV).

Ảnh ALOS PALSAR được cung cấp bởi Trung tâm Phân tích dữ liệu viễn thám Trái đất (ERSDAC) với các mức xử lý sau:

- Mức 1.0: Dữ liệu của 1 cảnh đã được chiết tách từ dữ liệu thu được, dữ liệu này ở dạng 8 bit.

- Mức 1.1: Dữ liệu được đưa về độ phân giải của RADAR độ mở tổng hợp (SAR) nhưng vẫn nằm trong hệ tọa độ khoảng cách nghiêng (slant range coordination) như lúc thu ảnh.

- Mức 1.5: Dữ liệu sau khi chuyển về độ phân giải mặt đất, độ phân giải theo hướng bay và được nắn chỉnh hình học về lưới chiếu bản đồ (Geo-coded).

Trong nghiên cứu này, dữ liệu phân cực ALOS – PALSAR (mức 1,5) với kích thước pixel 12,5 m x 12,5 m được sử dụng cho ước tính sinh khối và các bon. Dữ liệu được thu ngày 8/10/2010 với chế độ phân cực kép (phát phân cực ngang thu

lại cả phân cực ngang và phân cực đứng - HH+HV). Phân cực HH và HV được lựa chọn để phân tích. Có một khoảng thời gian chênh lệch khoảng 1 năm giữa dữ liệu radar và dữ liệu đo đạc thực địa. Đây là một hạn chế của nghiên cứu, sự khác biệt này có thể ảnh hưởng đến kết quả mô hình và ước tính sinh khối và các bon.

2) Tiền xử lý ảnh viễn thám

a) Tiền xử lý ảnh quang học

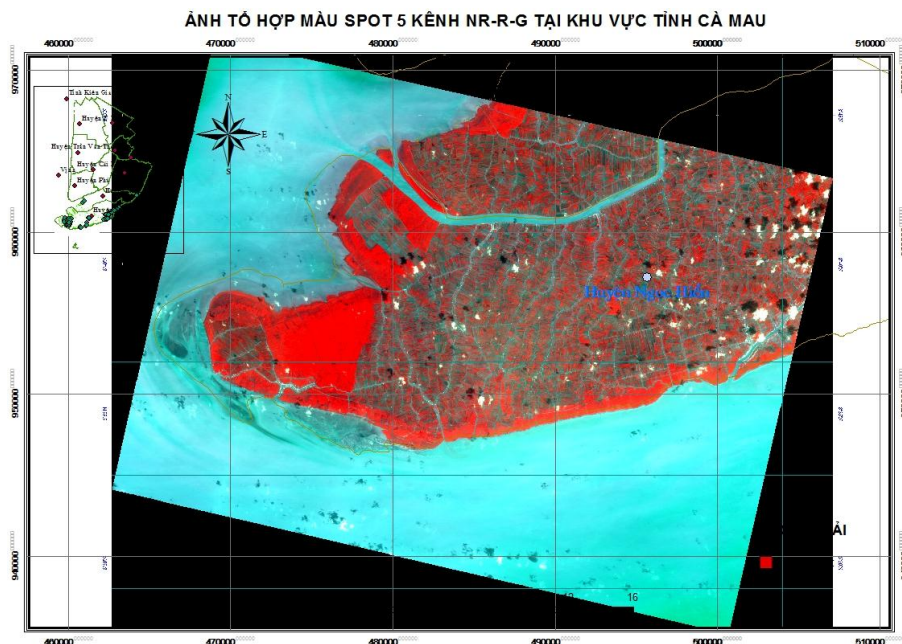
Hiệu chỉnh ảnh quang học

Các dữ liệu ảnh SPOT đã được xử lý mức hiệu chỉnh khí quyển theo mô hình chung của nơi cung cấp ảnh, do vậy không xử lý thêm về khí quyển.

Trước quá trình phân tích, giải đoán, ảnh vệ tinh cần được nắn chỉnh hình học để hạn chế sai số vị trí. Kết quả giải đoán phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của ảnh. Do vậy, công đoạn nắn chỉnh hình học ảnh vệ tinh rất quan trọng cho các bước phân tích tiếp theo. Mục đích của quá trình nắn là chuyển đổi các ảnh về hệ tọa độ WGS -84.

Chuyển đổi hệ tọa độ: Đăng ký ảnh SPOT 5 thu nhận với ảnh SPOT 5 2013 đã được hiệu chỉnh.

Tăng cường ảnh, để ảnh được thể hiện rõ nét trong quá trình giải đoán và tách lớp trên ảnh và được sử dụng phương pháp tăng cường ảnh lọc trung bình.



Hình 2.6. Ảnh tổ hợp màu giả của ảnh SPOT5

Sử dụng phần mềm ENVI 5.0 để thực hiện quá trình giải đoán ảnh và phân tích ảnh.

Chuyển giá trị số sang giá trị phản xạ phổ

Chuyển đổi giá trị bức xạ trên vệ tinh (at- satellite radiance) từ DN sang giá trị thực cho tất cả các kênh: Đối với mỗi loại vệ tinh, tùy thuộc vào thiết bị sẽ có cách tính và những hệ số chuyển đổi riêng trong hiệu chỉnh bức xạ. Ảnh vệ tinh SPOT5 được hiệu chỉnh theo công thức (El Hajj và cộng sự, 2008)[43]:

$$L_{TOA}^k = X^k / (A_k G_m^k) \quad (2.1)$$

Trong đó, G_m^k - Analog giá trị gain, A_k – Hiệu chỉnh hệ số tuyệt đối, được cung cấp sẵn trong metadata của ảnh Spot

Chuyển đổi giá trị thực bức xạ trên vệ tinh sang giá trị phản xạ trên vệ tinh đối với các kênh nhìn thấy và hồng ngoại gần (El Hajj và cộng sự, 2008)[43]:

$$\rho_{TOA}^k = \frac{\pi L_{TOA}^k d^2}{E^k \cos(\theta_s)} \quad (2.2)$$

ρ_{TOA}^k : Giá trị phản xạ trên vệ tinh đối với bước sóng λ , không có đơn vị

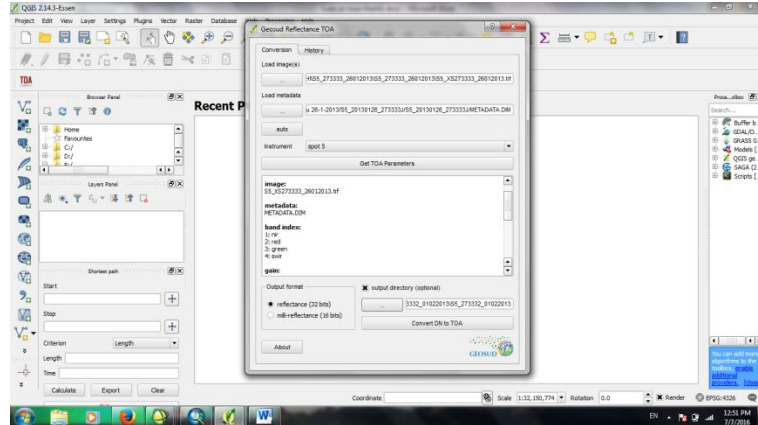
d : Khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời, theo đơn vị thiên văn

E^k : Độ chiếu sáng của khí quyển tầng trên từ Mặt trời trung bình ($W.m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$) của kênh k

θ_s : Góc thiên đỉnh Mặt trời $\theta_s = 90 - SUN_ELEVATION$

Kênh	G_m^k	θ_s	d	E^k
1: nir	1.67954	38.096435	0.984444507	1047
2: red	1.56629	38.096435	0.984444507	1575
3: green	1.10305	38.096435	0.984444507	1858
4: swir	10.4904	38.096435	0.984444507	234

Quá trình chuyển đổi giá trị bức xạ trên vệ tinh (at- satellite radiance) từ DN sang giá trị phản xạ cho tất cả các kênh được thực hiện bằng công cụ trên phần mềm QGIS 2.14.



Hình 2.7. Thao tác chuyển giá trị DN sang giá trị phản xạ cho ảnh SPOT 5

b) Tiền xử lý ảnh radar

Chuyển đổi giá trị số của ảnh về giá trị cường độ tán xạ ngược: Dữ liệu ảnh radar khi thu thập là dạng dữ liệu số (DN – Digital number) được lượng tử hóa theo giá trị số, do vậy để đồng hóa toàn bộ dữ liệu phải chuyển đổi từ ảnh giá trị số sang ảnh có giá trị tán xạ ngược. Sử dụng phần mềm BEST chuyên xử lý ảnh radar hoặc phần mềm ENVI để chuyển đổi theo dạng cường độ decibel (dB) hoặc theo linear. Giá trị tán xạ ngược được tính theo công thức:

$$\sigma_{i,j}^0 = 10 \cdot \log_{10}(DN^2) + CF \quad (\text{cho mức } 1.5; 2.1). \quad (2.3)$$

Trong đó: $\sigma_{i,j}^0$: Hệ số tán xạ ngược của phần tử ảnh

DN: Giá trị số của ảnh cần xử lý

CF : Hệ số xác định, CF = -83

- **Chuyển đổi hệ tọa độ:** Các dữ liệu khi thu thập có hệ tọa độ địa lý theo Datum WGS-84 nên phải chuyển về hệ tọa độ mặt phẳng.

- Lọc nhiễu theo phương pháp Frost với cửa sổ lọc 3x3 theo phần mềm ENVI.

3) Phân tích ảnh viễn thám

Phân loại lớp phủ rừng ngập mặn sử dụng quang học

Dữ liệu ảnh quang học được nắn chỉnh hình học khớp với dữ liệu ảnh Radar và phân loại theo phương pháp có kiểm định. Diện tích rừng ngập mặn ven biển khu vực nghiên cứu được tách chiết và dùng để phục vụ việc thiết kế tuyến thực địa cũng như giới hạn khu vực có diện tích rừng ngập mặn để tính toán sinh khối. Luận

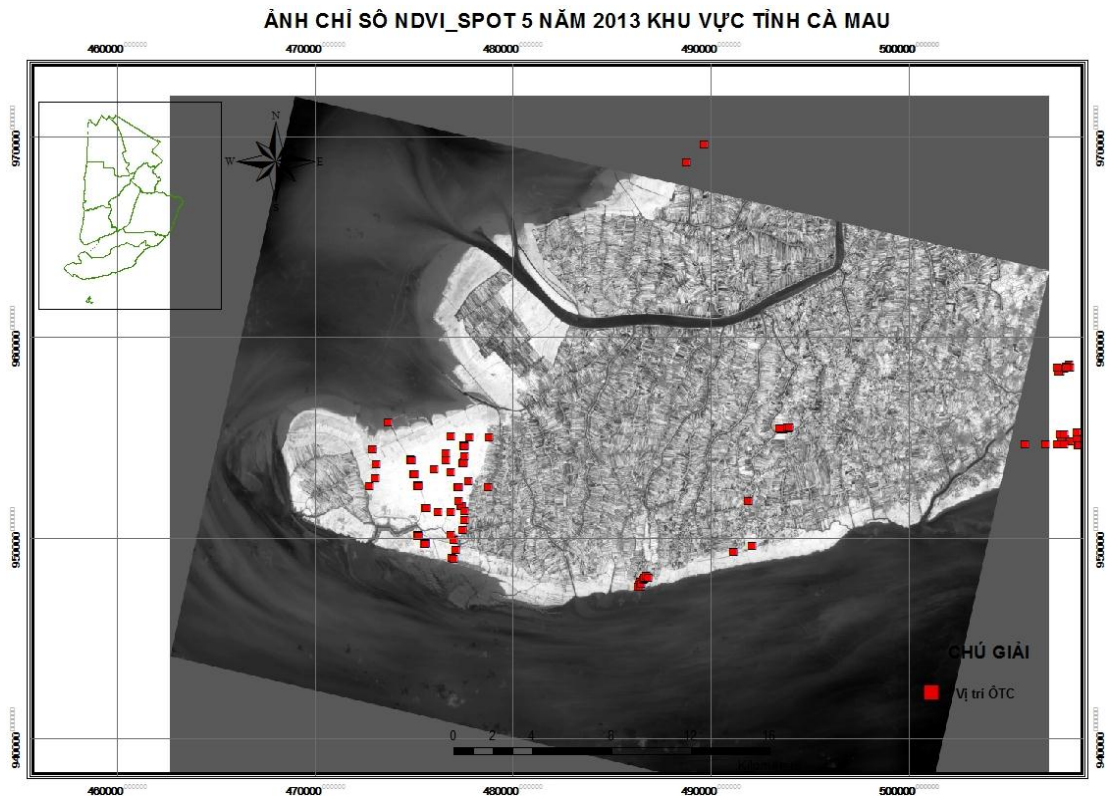
án thử nghiệm 2 phương pháp phân loại.

Phương pháp phân loại có kiểm định: Dựa trên các mẫu khóa ảnh đã được thu thập tại thực địa tương ứng trên ảnh tổ hợp màu giả 3 kênh ảnh NIR – RED - GREEN; lựa chọn các mẫu trên ảnh, định nghĩa các vùng mẫu và tiến hành phân lớp bằng phân loại có giám sát (Maximum Likelihood). Sử dụng phần mềm ENVI 5.0 để thực hiện quá trình giải đoán ảnh và phân lớp thực phủ. Sử dụng phần mềm ArcGIS để biên tập bản đồ thực phủ từ ảnh.

Phân loại dựa trên ảnh chỉ số thực vật: Xác định ngưỡng chỉ số NDVI tương ứng với vùng có thực vật phân bố sau đó dùng công cụ trong phần mềm ARCGIS để tách vùng có rừng và không có rừng.

4). Đo giá trị trên ảnh tại vị trí các ô tiêu chuẩn

Ảnh ALOS PALSAR và ảnh SPOT 5 sau khi được nắn chỉnh và chuyển về giá trị tán xạ ngược và giá trị phản xạ, NDVI thì việc xác định vị trí các ô tiêu chuẩn trên ảnh là khá dễ dàng trên ảnh căn cứ vào tọa độ của chúng được đo đạc ngoài thực địa. Giá trị tán xạ và phản xạ, NDVI một số điểm ảnh liên quan đến vị trí ô tiêu chuẩn được đo và lấy trung bình. Tiến hành đo giá trị tán xạ ngược trên ảnh tại vị trí tương ứng với các ô tiêu chuẩn bằng cách sử dụng công cụ Zonal Attributes của ERDAS và công cụ Extract Multi Values to points trên phần mềm ArcGIS.



Hình 2.8. Ảnh chỉ số NDVI năm 2013 khu vực rừng ngập mặn tỉnh Cà Mau

ẢNH ALOS PALSAR GIÁ TRỊ TÁN XẠ NGƯỢC SAU LỌC KHÔNG GIAN



Hình 2.9. Ảnh Alos Palsar năm 2010 sau xử lý tại khu vực tỉnh Cà Mau

5) Phân tích đặc trưng tán xạ, phản xạ, xây dựng mô hình tương quan và lập bản đồ sinh khối

Phân tích đặc trưng tán xạ, phản xạ

Phân tích đặc trưng tán xạ, phản xạ trên các điểm lấy mẫu khác nhau tại khu vực nghiên cứu. Phân tích mối tương quan giữa giá trị tán xạ chiết xuất từ hình ảnh radar đa phân cực và sinh khối ABG và mối tương quan giữa giá trị phản xạ, NDVI chiết xuất từ hình ảnh quang học để đánh giá về mức độ bảo hòa cũng như khả năng ứng dụng ảnh viễn thám trong ước tính sinh khối rừng.

Thiết lập hàm tương quan

Đây là bước lập hàm tương quan giữa giá trị tán xạ trên ảnh và sinh khối của lớp lớp phủ thực vật dựa trên hàm hồi quy. Mục đích của việc xây dựng hàm hồi quy là định lượng mối quan hệ giữa biến phụ thuộc sinh khối với một hoặc nhiều biến độc lập trích xuất từ ảnh.

Sau khi tính được sinh khối, các bon, lượng hấp thụ CO₂ tại các ô tiêu chuẩn của vùng mẫu. Tiến hành thử nghiệm các phương pháp khác nhau trong ứng dụng ảnh vệ tinh như lựa chọn các mô hình tương quan để xây dựng mối tương quan giữa sinh khối, các bon, lượng hấp thụ CO₂ với phản xạ phổ, chỉ số NDVI hoặc chỉ số tán xạ ngược, phương pháp phân loại phi giám định, phân tích tương quan giữa sinh khối, các bon, lượng hấp thụ CO₂ của rừng với giá trị ảnh...

Đề tài đã lựa chọn một số mô hình toán học để thử nghiệm và thiết lập mối tương quan giữa giá trị phản xạ, chỉ số NDVI (ảnh quang học) và tán xạ ngược (ảnh radar) với sinh khối của rừng. Lựa chọn mô hình tương quan thích hợp để đo tính sinh khối và kiểm tra khả năng ứng dụng của các mô hình thông qua những số liệu vùng mẫu ngoài thực địa. Các ô tiêu chuẩn tham gia vào xây dựng hàm hồi quy sẽ không được sử dụng để đánh giá giá trị sinh khối tính (số liệu này không tham gia vào xây dựng mô hình tương quan).

Lập bản đồ sinh khối: Dựa trên mô hình hồi qui đơn biến và đa biến đã được xây dựng để lập bản đồ sinh khối, tích lũy các bon của rừng. Sử dụng mô hình tương quan đã xây dựng để nội suy và lập bản đồ sinh khối, tích lũy các bon và hấp thụ CO₂ tại khu vực nghiên cứu bằng phần mềm ArcGIS.

Chương 3

ĐẶC ĐIỂM ĐỐI TƯỢNG VÀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU

3.1. Đặc điểm đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu cụ thể ở đề tài này là rừng ngập mặn với loài cây chủ yếu là cây Đước phân bố, tại khu vực ven biển, huyện Ngọc Hiển và Năm Căn, tỉnh Cà Mau.

3.1.1. Đặc điểm phân bố Đước

- Tên Việt Nam: Đước.
- Tên khoa học: *Rhizophora apiculata* Blume
- Chi: *Rhizophora*.
- Thuộc họ: *Rhizophoraceae*.

Đước là loài cây mọc chủ yếu ở rừng ngập mặn, phân bố theo vùng cửa sông ven biển nhiệt đới, chỉ có một số loài ở á nhiệt đới.

Đước xuất hiện ở Campuchia, Việt Nam, Ấn Độ, Thái Lan, Miến Điện, Malaysia, Indonesia, Philippines... Trong đó Đước phân bố rộng rãi ở vùng ngập mặn hay lợ, mỗi ngày nước rút đi để rễ không ngập trong nước nhiều giờ. Ở những vùng đất cao ít ngập nước Đước phát triển chậm, chiều cao khoảng 10 – 17 m.

Ở Việt Nam, Đước gặp nhiều ở RNM ven biển phía Nam, là một trong những loài tiên phong trên vùng đất ngập mặn ven biển, mọc nhiều trên đất bùn mới đọng. Đây là loài cây có khả năng phòng hộ và bảo vệ môi trường ven biển, chống xói lở, lấn biển rất tốt.

3.1.2. Hình thái và đặc điểm sinh trưởng

Đước là loài cây gỗ lớn ở rừng ngập mặn, khi đạt đến tuổi thành thực tự nhiên cây có thể đạt chiều cao 25 – 30 m, đường kính ($D_{1,3}$) là 0,7 – 1,0 m, vỏ đen hay nâu sậm với các đường nứt ngang vòng qua thân, gỗ màu đỏ, có đường tủy, rễ phụ hình chòm nôm cao tới 3 m. Lá hình bầu dục dài 15 cm, rộng 6 cm, đầu nhọn, gân chính và cuống màu đỏ dài từ 1,5 – 3 cm, lá bẹ màu hồng hay hơi đỏ dài từ 4 – 8 cm.

Hoa tự hình tán hay hoa trên cuống dài 0,5 – 1 cm, mọc từ nách lá, hoa không cuống, rộng từ 3 – 4 mm, xuất phát từ các búp hình noãn dài từ 15 – 20 cm.

Lá nhỏ cong lên đầy thịt, có kẻ hờ hình rặng bao vòng phần dưới của hoa, đài hoa có 4 thành cong vào trong, nhọn và dài từ 10 – 14 mm, rộng từ 6 – 8 mm. Cánh hoa nhọn, mỏng, không có lông, xoay quanh một nhụy có diện dài từ 8 – 11 mm, nhụy có 12 cái, 4 ở ngoài đài hoa không cuống nhọn dài từ 6 – 7,5 mm, bầu noãn bán hạ phần trên cao hơn mặt đĩa 1,5 – 2,5 mm vòi nhụy dài từ 0,5 – 1 mm đầu chóp có một mũi tằm màu hồng khi trái chín. Cây ra hoa vào tháng 3 – 4, trái chín vào tháng 8 – 11.

3.1.3. Đặc tính sinh thái

Đước là loài cây thích hợp với vùng khí hậu nhiệt đới, thích nghi với những vùng đất ngập mặn mới được bồi tụ ven biển và các cửa sông, nơi có thủy triều lên xuống hàng ngày. Là loài cây ưa sáng mọc nhanh, là một trong những loài cây tiên phong, nhưng sau đó bền vững và ổn định về cấu trúc. Đước sinh trưởng tốt trên đất bùn và sét mềm, có độ pH từ 4 – 8, không phát triển trên đất bí chặt, úng nước lâu ngày. Đước tái sinh hạt rất mạnh, ít tái sinh chồi và có đặc điểm cây con nảy mầm trước khi hạt rơi xuống đất (hiện tượng “thai sinh”).

3.1.4. Công dụng và ý nghĩa kinh tế

Gỗ Đước màu lợt, dễ chế biến khi còn tươi, để lâu trở nên dầm, khó cưa xẻ. Đước không chịu được sự thay đổi bất thường của nhiệt độ, dễ bị mối mọt phá hại, bền khi ở trong khô. Cây tốt, thân thẳng dùng làm gỗ xây dựng, cây cong làm củi và chất đốt hoặc hầm than là rất tốt. Cây có đường kính lớn dùng để xẻ làm ván và đồ mộc gia dụng. Hàm lượng Tanin chiếm khoảng 30% trong vỏ cây Đước, tỷ lệ này tăng khi cây già, được sử dụng trong ngành thuộc da, nhuộm chài lưới trong ngành đánh bắt thủy hải sản.

Than Đước có nhiệt lượng cao, do đó hiện nay rất được ưa chuộng. Hiện nay mặt hàng than của rừng Đước rất có giá trị và đang được xuất khẩu đi các nước khu vực châu Á như: Hàn Quốc, Nhật Bản... là nguồn thu nhập đáng kể của những hộ dân nhận đất nhận rừng tại khu vực.

3.2. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

3.2.1. Vị trí địa lý, địa hình và giới hạn lãnh thổ

Cà Mau là tỉnh cực Nam của Việt Nam, thuộc khu vực Đồng bằng châu thổ

sông Cửu Long, được tái lập ngày 01/01/1997. Lãnh thổ gồm 2 phần: Phần đất liền và vùng biển chủ quyền.

Phần đất liền: Diện tích 5.294,87 km², xếp thứ 2 và bằng 12,97% diện tích khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, bằng 1,58% diện tích cả nước. Trong đó, diện tích đất nuôi trồng thủy sản trên 266.735 ha, đất trồng lúa 129.204 ha, đất lâm nghiệp 103.723 ha.

Nằm ở 8⁰34' đến 9⁰33' vĩ độ Bắc và 104⁰43' đến 105⁰25 kinh độ Đông, cách thành phố Hồ Chí Minh 370 km, cách thành phố Cần Thơ 180 km về phía Nam. Theo đường chim bay, từ Bắc tới Nam dài 100 km.

Phía Bắc giáp tỉnh Kiên Giang, phía Đông Bắc giáp tỉnh Bạc Liêu, phía Đông và Đông Nam giáp biển Đông và phía Tây giáp Vịnh Thái Lan. Cà Mau nằm trên bán đảo, có vị trí địa lý khá đặc biệt, với ba mặt tiếp giáp biển. Cà Mau nằm ở trung tâm vùng biển các nước Đông Nam Á nên rất thuận lợi giao lưu, hợp tác kinh tế với các nước trong khu vực.

Cà Mau là vùng đồng bằng, có nhiều sông rạch, có địa hình thấp, bằng phẳng và thường xuyên bị ngập nước. Cao độ địa hình khu vực từ 0,5 m đến 1,5 m. Hướng địa hình nghiêng dần từ Bắc xuống Nam, từ Đông Bắc xuống Tây Nam. Phần lớn đất đai ở Cà Mau là vùng đất trẻ do phù sa bồi lắng, tích tụ qua nhiều năm tạo thành, rất màu mỡ và thích hợp cho việc nuôi trồng thủy sản, trồng lúa, trồng rừng ngập mặn, ngập lợ...

Bờ biển phía Đông từ cửa sông Gành Hào (huyện Đầm Dơi) đến vùng cửa sông Rạch Gốc (huyện Ngọc Hiển) bị xói lở, có nơi mỗi năm bị xói lở trên 20 mét. Ngược lại, vùng Bãi Bồi - Mũi Cà Mau hàng năm được phù sa bồi đắp từ 50 đến 80 mét.

3.2.2. Khí hậu

Cà Mau là tỉnh đồng bằng ven biển, nằm trong khu vực nội chí tuyến Bắc bán cầu, cận xích đạo, đồng thời nằm trong khu vực gió mùa châu Á nên khí hậu ở Cà Mau ôn hoà thuộc vùng cận xích đạo, nhiệt đới gió mùa, có 2 mùa mưa nắng rõ rệt.

Mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 11, trung bình từ 170 đến 200 ngày/năm. Vùng biển phía tây và khu vực tây Nam của tỉnh, mùa mưa mưa thường bắt đầu sớm hơn và kết thúc muộn hơn các khu vực khác. Lượng mưa trung bình giữa

các tháng vào mùa mưa chênh lệch nhau không nhiều và nằm trong khoảng từ 200 mm đến 400 mm/ tháng.

Mùa nắng từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình cả năm dao động từ 26,6⁰C đến 27,7⁰C; nhiệt độ trung bình cao nhất trong năm là vào tháng 4 và tháng 5, khoảng 28,6⁰C. Riêng từ năm 2001 đến 2005 nhiệt độ trung bình tháng 4 dao động từ 29,2⁰C đến 29,7⁰C. Nhiệt độ trung bình thấp nhất vào tháng 1, khoảng 25,6⁰C. Như vậy, chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất khoảng 3⁰C.

Chế độ gió vừa chịu ảnh hưởng của đặc trưng cho vùng nhiệt đới lại vừa chịu ảnh hưởng của các cơ chế gió mùa khu vực Đông Nam Á. Hàng năm, có 2 mùa gió chủ yếu: gió mùa đông (gió mùa Đông Bắc) từ tháng 11 năm trước đến tháng 4 năm sau và gió mùa hạ (gió mùa Tây Nam), bắt đầu từ tháng 5 đến tháng 10. Mùa khô hướng gió thịnh hành theo hướng Đông Bắc và Đông. Mùa mưa gió thịnh hành theo hướng Tây Nam hoặc Tây. Vào mùa mưa, thỉnh thoảng có dông hay lốc xoáy tới cấp 7, cấp 8. Bão tuy có nhưng không nhiều và không lớn. Thời tiết, khí hậu ở Cà Mau thuận lợi cho phát triển ngư - nông - lâm nghiệp theo hướng sản xuất hàng hóa lớn.

3.2.3. Sông ngòi – Thủy văn

Cà Mau có hệ thống sông ngòi, kênh rạch chằng chịt và đan xen nhau như mạng nhện, chiếm 3,02% diện tích tự nhiên, trong đó có nhiều sông lớn, mực nước sâu, dẫn phù sa bồi đắp vào sâu trong đất liền như các sông: Tam Giang, Gành Hào, Bảy Háp, Sông Đốc, Đầm Dơi, Cái Tàu, Trèm Trèm... Tổng chiều dài sông ngòi khoảng 7.000 km, rất thuận tiện cho vận tải, giao thông đường thủy.

3.2.4. Tài nguyên đất

Cà Mau là vùng đất mới do phù sa bồi tụ, được hình thành bởi 2 dòng hải lưu ở biển Đông và Vịnh Thái Lan, nhận phù sa của sông Cửu Long bồi đắp. Nhìn chung đất đai của tỉnh là đất trẻ, mới được khai phá sử dụng, có độ phì nhiêu trung bình khá, hàm lượng chất hữu cơ cao nhưng do bị nhiễm phèn, nhiễm mặn nên thích hợp cho việc nuôi trồng thủy sản, trồng rừng ngập mặn, ngậ lợ.

Cà Mau có các nhóm đất chính:

Nhóm đất mặn có diện tích là 150.278 ha, chiếm 28,84% diện tích tự nhiên, được phân bố chủ yếu ở các huyện Đầm Dơi, Cái Nước, Ngọc Hiển, Năm Căn, Trần Văn Thời, U Minh, Thới Bình. Nhóm đất mặn được hình thành trên các vùng tràm tích biển và tràm tích sông biển. Đây là loại đất trẻ, chịu ngập triều thường xuyên hoặc định kỳ.

Nhóm đất phèn có diện tích là 334.925 ha, chiếm 64,27% diện tích tự nhiên; phân bố chủ yếu ở các huyện Thới Bình, U Minh và Trần Văn Thời.

Nhóm đất phèn nhiễm mặn phân bố ở những vùng ven biển. Đối với diện tích đất phèn không ngập mặn có thể trồng lúa trong mùa mưa, trồng các cây công nghiệp chịu phèn như: Mía, Khóm, Chuối, Tràm... Đối với diện tích phèn bị ngập mặn có thể trồng rừng ngập mặn, nuôi thủy sản. Ngoài ra, còn có nhóm đất bãi bồi với diện tích 9.507 ha, phân bố ở các huyện Ngọc Hiển và Phú Tân.

3.2.5. Tài nguyên rừng

Đến năm 2012, Cà Mau có tổng diện tích rừng khoảng 103.723 ha, chiếm 77% rừng của vùng đồng bằng sông Cửu Long, chủ yếu là rừng ngập nước. Trong đó, rừng tự nhiên là 9.179 ha, rừng trồng là 94.544 ha. Cà Mau có 3 loại rừng chính: rừng ngập mặn, rừng ngập lợ và rừng trên đảo.

Rừng ngập mặn: Rừng ngập mặn Cà Mau có hệ sinh thái độc đáo và đa dạng, có diện tích gần 69.000ha phân bố ở các huyện Ngọc Hiển, Năm Căn, Đầm Dơi và Phú Tân. Trong đó, phân bố tập trung lớn nhất là huyện Ngọc Hiển.

Rừng ngập mặn Cà Mau là một thảm thực vật với nhiều loài cây như: Đước, Mắm, Vẹt, Bần, Dá, Su, Cóc, Dà, Chà là, Dương xỉ, dây leo... Trong đó, Đước là loài cây chiếm đại đa số và có giá trị kinh tế cao. Theo số liệu thống kê của Trung tâm Nghiên cứu và Ứng dụng rừng ngập Minh Hải (12/1998), rừng ngập mặn Cà Mau có 101 loài cây. Trong đó, có 32 loài cây rừng ngập mặn chính thức thuộc 27 họ.

Chương 4

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Nghiên cứu sinh khối và các bon bằng phương pháp đo đếm trực tiếp

Mục đích thực hiện nội dung này là xây dựng được các phương trình sinh khối và các bon phục vụ cho điều tra trực tiếp từ mặt đất sinh khối và các bon cây cá thể và lâm phần rừng Đước trồng ở Cà Mau.

4.1.1. Phương trình sinh khối cây cá thể

4.1.1.1. Phương trình sinh khối tươi cây cá thể

Từ số liệu giải tích 63 cây cá thể, luận án đã xây dựng phương trình sinh khối tươi chung cho các cấp tuổi. Từ phương trình sinh khối tươi này, căn cứ tỷ lệ sinh khối khô và tỷ lệ các bon trong sinh khối khô của cây ở mỗi cấp tuổi sẽ suy diễn được phương trình sinh khối khô và phương trình các bon theo cấp tuổi.

a). Sinh khối tươi và kết cấu sinh khối cây cá thể

Sinh khối tươi và kết cấu sinh khối cây cá thể theo các bộ phận của cây được xác định thông qua chặt hạ 63 cây mẫu và được tổng hợp trong phụ lục 1 và phụ lục 2. Kết quả nghiên cứu cấu trúc sinh khối theo các bộ phận của cây được thể hiện trong bảng 4..

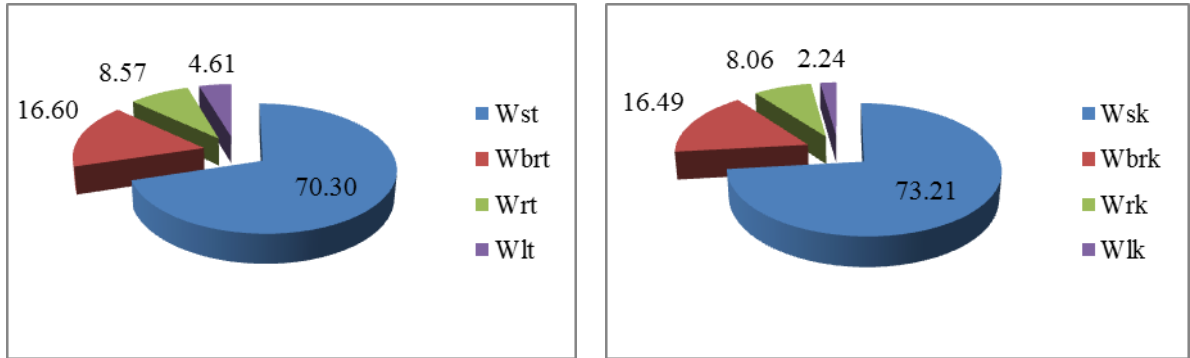
Bảng 4.1. Kết cấu sinh khối theo các bộ phận cây cá thể Đước

TT	Bộ phận	Tỉ lệ sinh khối tươi (%)	Tỉ lệ sinh khối khô (%)
1	Thân	70,30	73,21
2	Cành	16,60	16,49
3	Rễ	8,57	8,06
4	Lá	4,61	2,24
Tổng		100	100

Nhận xét:

Kết quả thể hiện ở bảng 4.1 và hình 4.1 cho thấy, tỉ lệ sinh khối tươi và sinh khối khô theo các bộ phận cây cá thể Đước có sự khác nhau. Tỉ lệ sinh khối tươi của bộ phận thân cây Đước chiếm nhiều nhất (70,3 %), tiếp đến là bộ phận cành (16,6%), bộ phận rễ (8,57%) và cuối cùng là bộ phận lá (4,61%). Đối với tỉ lệ sinh khối khô của cây Đước thì chiếm nhiều nhất vẫn là bộ phận thân (73,21 %), tiếp đến

là bộ phận cành (16,49 %), bộ phận rễ (8,06%) và cuối cùng là bộ phận lá (2,24%). Tỷ lệ sinh khối khô của bộ phận thân cao hơn tỷ lệ sinh khối tươi, còn lại các bộ phận khác thấp hơn, đặc biệt là bộ phận lá, điều này là phù hợp vì trong lá tươi lượng nước chiếm cao nhất nên tỷ lệ sinh khối khô là thấp nhất.



Kết cấu sinh khối tươi (%)

Kết cấu sinh khối khô (%)

Hình 4.1. Kết cấu tỉ lệ sinh khối cây cá thể Đước

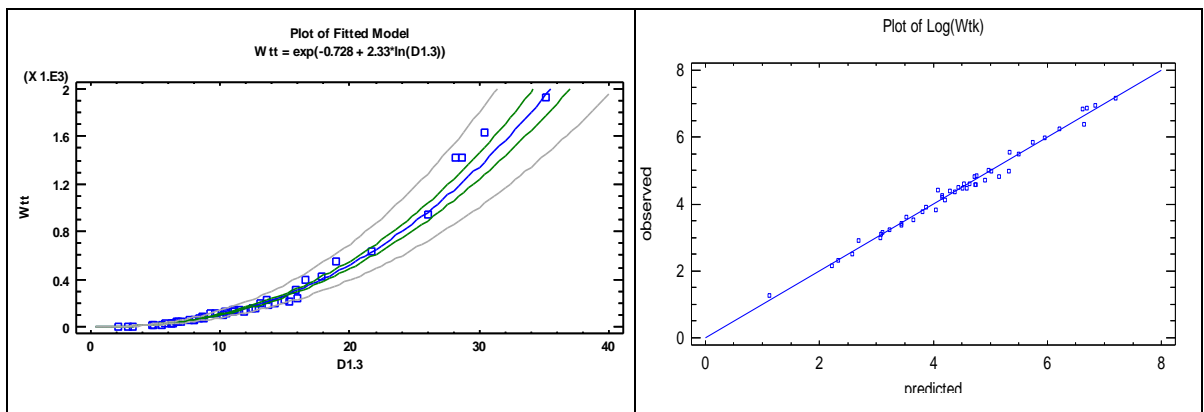
b). Phương trình sinh khối tươi cây cá thể

Tổng sinh khối tươi là một chỉ tiêu biểu thị năng suất của cây rừng đạt được tại thời điểm cụ thể, tổng sinh khối tươi của cây được xác định thông qua việc cân đo sinh khối sinh khối tươi của các bộ phận thân, cành, lá và rễ trên mặt đất ngoài thực địa. Một trong những phương pháp để tính được sinh khối tươi là sử dụng một số hàm toán học để mô phỏng mối quan hệ giữa sinh khối với một số nhân tố điều tra để đo đếm. Từ thử nghiệm để loại bỏ các phương trình tương quan không đáp ứng được những yêu cầu như đã trình bày tại Chương 2 về tương quan giữa tổng sinh khối với một số nhân tố điều tra cây cá thể, kết quả được thể hiện trong bảng 4.2.

Bảng 4.2: Mô hình ước tính tổng sinh khối tươi trên mặt đất của cây Đước

TT	Phương trình	Các chỉ tiêu thống kê					
		R ²	SSR	SEE	MAE	S %	CF
1	$W_{tt} = \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$	98,17	0,89	0,14	0,11	7,08	1,01
2	$\ln(W_{tt}) = -112,08 + 111,46 \cdot D_{1,3}^{0,02}$	98,11	0,84	0,14	0,11	7,17	1,02
3	$\ln(W_{tt}) = -98,478 + 97,99 \cdot D_{1,3}^{0,02} + 0,0363 \cdot H_{vn}$	98,24	0,72	0,13	0,10	7,78	1,01
4	$\ln(W_{tt}) = 104,74 - 105,4 \cdot D_{1,3}^{-0,02} + 0,0407 \cdot H_{vn}$	98,17	0,79	0,13	0,10	8,34	1,01
5	$\ln(W_{tt}) = -0,716 + 2,34 \cdot \ln(D_{1,3}) - 0,0115 \cdot \ln(H_{vn})$	98,06	0,89	0,14	0,11	7,02	1,01
6	$\ln(W_{tt}) = -7,658 + 7,519 \cdot D_{1,3}^{0,2} \cdot H_{vn}^{0,02} - 0,029 \cdot D_{1,3}$	98,23	0,73	0,13	0,10	7,71	1,0

Tất cả các phương trình và các tham số đều tồn tại ở mức rất có ý nghĩa về mặt thống kê và có hệ số tương quan cao, hệ số chính xác đều nằm trong giới hạn cho phép. Phương trình logarit 2 chiều, 2 nhân tố (phương trình 3) có R^2 (98,24 %) cao nhất, sai số tiêu chuẩn ước lượng, sai số trung bình tuyệt đối nhỏ và CF nhỏ, sai lệch trung bình S% là 7,78 % so với thực tế. Như vậy sinh khối cây có quan hệ chặt chẽ với 2 biến số $D_{1,3}$ và H_{vn} . Tuy nhiên, so với phương trình 1, cho thấy phương trình 1 tồn tại ở mức rất có ý nghĩa về mặt thống kê với hệ số tương quan cao, sai lệch trung bình S% là 7,08 % so với thực tế, có nghĩa là khi tăng thêm nhân tố H_{vn} thì cũng không có sự thay đổi lớn về mặt ước lượng sinh khối mà trong thực tế, việc đo đếm chỉ tiêu H_{vn} rất khó khăn. Do đó, lựa chọn phương trình 1 là phù hợp để ước lượng tổng sinh khối tươi của cây cá thể với mức độ tin cậy là 99 %. Phương trình có dạng sau: $W_{tt} = \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$ (4.1)



Hình 4.2. Biểu đồ mô tả mối quan hệ giữa sinh khối khô với các nhân tố điều tra của phương trình 1 và 3

Biểu đồ hình 4.2 cũng thể hiện mối quan hệ tương quan chặt chẽ giữa sinh khối tươi với nhân tố điều tra đường kính $D_{1,3}$.

c). Kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi cây cá thể

Kết quả kiểm tra, tính sai số tương đối của các phương trình sinh khối tươi của cây cá thể được thể hiện ở bảng 4.3.

Bảng 4.3. Kết quả kiểm nghiệm phương trình sinh khối tươi cây cá thể

TT	D 1,3 (cm)	Hvn (m)	Thân (kg)	Cành (kg)	Rễ	Lá (kg)	Wtt thự (kg)c	Wtt lt (kg)	Chênh lệch (kg)	Sai số (kg)
1	2,55	3,3	1,7	0,8	0,8	1,1	4,34	4,3	0,1	1,48
2	4,46	9,2	12,6	0,5	0,2	0,5	13,80	15,8	-2,0	-12,39
3	5,41	8	14,6	3,7	3,1	3,9	25,18	24,8	0,4	1,52
4	5,89	8	16,1	4,0	2,6	4,3	26,98	30,2	-3,2	-10,69
5	6,37	10,7	26,5	2,2	1,2	1,5	31,40	36,2	-4,8	-13,23
6	7,32	11,9	37,5	6,2	3	4	50,70	50,1	0,6	1,14
7	8,44	11,5	40,9	8,4	5,2	6,9	61,32	69,8	-8,5	-12,19
8	8,91	14,9	52,5	5,6	4,5	18	80,60	79,3	1,3	1,63
9	9,87	13,6	89,8	11,5	5,2	9	115,50	100,6	14,9	14,86
10	10,66	14,8	100,2	8,5	7,5	7	123,20	120,5	2,7	2,25
11	11,46	15	123,8	12	8,6	12	156,40	142,5	13,9	9,75
12	12,10	15	119,6	16,5	8,6	13	157,70	161,7	-4,0	-2,45
13	14,32	15,8	189	15,3	12,6	11,7	228,60	239,8	-11,2	-4,66
14	16,87	15,8	277,2	80	16	30	403,20	351,2	52,0	14,81
15	23,89	19,5	538,2	175	67	35	815,2	790,1	25,1	3,18
Tổng							2294,1	2216,7		
TB							286,77	147,78	5,16	-0,33
Min							4,34	4,28	-11,18	-13,23
Max							815,20	790,06	52,02	14,86
% sai số mang dấu +										40,0
% sai số mang dấu -										60,0
Sai số tổng sinh khối cây kiểm tra										3,37

Kết quả kiểm tra các phương trình sinh khối tươi có sai số tương đối khá thấp, phương trình có sai số tổng sinh khối cây kiểm tra thấp $S\% = 3,37$ nhỏ hơn 5%, với sai số các cây lớn nhất là 14,86 và nhỏ nhất là 1,14; % sai số mang dấu '+' là 40%, còn % sai số mang dấu - là 60% chứng tỏ phương trình không có sai số hệ thống. Vì vậy, có thể sử dụng các phương trình trên để tính sinh khối tươi cho cây cá thể với độ tin cậy 99 %.

4.1.1.2. Phương trình sinh khối khô cây cá thể

a) Tỷ lệ sinh khối khô cho các bộ phận thân cây theo cấp tuổi

Kết quả phân tích mẫu sấy khô trong phòng thí nghiệm phân theo cấp tuổi được tổng hợp trong bảng 4.4. Kết quả cho thấy, tỷ lệ sinh khối khô trung bình thân là $64,91 \pm 3,57$ %; cành cây là $60,77 \pm 3,97$ %; rễ chổng là $61,44 \pm 2,67$ %; và lá là $31,02 \pm 1,21$ %. So với một số loài cây khác như Keo (Vũ Văn Thông, 1998), Thông ba lá (Vũ Tấn Phương, 2011) thì tỷ lệ sinh khối khô/sinh khối tươi trong các bộ phận của Đước cao hơn từ 10 – 20%.

Bảng 4.4. Tỷ lệ sinh khối khô trung bình theo cấp tuổi

TT	Cấp tuổi	Tỷ lệ sinh khối theo các bộ phận (%)				
		Thân	Cành	Rễ	Lá	Chung
1	I	54,80	52,40	53,60	27,80	52,9
2	II	61,67	59,33	60,00	30,67	59,5
3	III	64,80	61,02	61,86	31,33	62,2
4	IV	66,33	64,67	63,19	32,10	64,0
5	V	66,94	62,55	62,00	30,90	63,9
6	VI	68,13	65,00	61,50	32,00	65,2
TB (%)		64,91	60,77	61,44	31,02	61,3
STDEV (%)		3,57	3,97	2,67	1,21	4,56

Tỷ lệ sinh khối khô trung bình theo cấp tuổi của cây Đước biến động từ 52,9 đến 65,2 % với tỷ lệ sinh khối khô cấp tuổi I là 52,9 %, cấp tuổi II là 59,5 %, cấp tuổi III là 62,2%, cấp tuổi IV là 64,0%, cấp tuổi V là 63,9% và cấp tuổi VI là 65,2%. Đây là cơ sở để xác định phương trình sinh khối khô theo cấp tuổi của cây cá thể Đước.

Để xây dựng phương trình sinh khối khô cây cá thể Đước theo cấp tuổi, trước hết cần xác định hệ số biến động sinh khối khô theo cấp tuổi và số cây tiêu chuẩn cần chặt hạ để xác định tỷ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi (n số cây) nhằm đảm bảo độ tin cậy cũng như tránh lãng phí trong chặt hạ cây. Đề tài đã tính toán và kết quả được tổng hợp trong bảng 4.5 và bảng 4.6.

Bảng 4.5. Kết quả tính hệ số biến động sinh khối khô theo cấp tuổi.

TT	Tuổi	Số cây mẫu	Đặc trưng	Đặc trưng theo các bộ phận				Chung
				Thân	Cành	Rễ	Lá	
1	I	5	Xbq (kg)	0,61	0,58	0,56	0,30	0,56
			S	0,030	0,020	0,010	0,03	0,02
			S%	4,80	2,50	3,56	4,8	4,07
2	II	4	Xbq (kg)	0,63	0,60	0,61	0,31	0,58
			S	0,020	0,020	0,006	0,003	0,008
			S%	2,30	2,17	2,19	1,79	3,64
3	III	3	Xbq (kg)	0,62	0,59	0,60	0,31	0,57
			S	0,002	0,015	0,005	0,003	0,003
			S%	2,95	4,04	2,51	0,83	3,37
4	IV	3	Xbq (kg)	0,68	0,66	0,64	0,32	0,63
			S	0,003	0,006	0,008	0,005	0,002
			S%	2,73	2,88	2,27	1,11	1,43
5	V	8	Xbq (kg)	0,67	0,63	0,61	0,31	0,64
			S	0,003	0,003	0,007	0,004	0,003
			S%	2,62	1,77	1,77	1,11	2,35
6	VI	3	Xbq (kg)	0,71	0,66	0,61	0,32	0,68
			S	0,006	0,012	0,003	0,003	0,009
			S%	3,75	2,00	0,58	0,58	3,22

Kết quả tính toán ở bảng 4.5 cho thấy tất cả các sai số ở các cấp tuổi đều rất nhỏ ($S < 0,05$). S% ở các cấp tuổi biến động từ 1,43 đến 4,07 < 5%, chứng tỏ tỉ lệ sinh khối khô ở các cấp tuổi biến động không lớn nên số cây chặt hạ dùng để lấy mẫu phân tích sinh khối khô ở các cấp tuổi sẽ không nhiều.

Bảng 4.6. Kết quả tính số cây tiêu chuẩn cần chặt hạ xác định tỷ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi (n số cây)

TT	Cấp tuổi	Số cây mẫu chặt hạ	Số cây cần thiết	Số cây theo các bộ phận (n)				Chung
				Thân	Cành	Rễ	Lá	
1	I	5	4	4,87	1,32	2,68	1,19	3,50
2	II	4	3	1,12	0,99	1,02	1,68	2,81
3	III	3	3	1,84	3,46	1,33	115	2,40
4	IV	3	2	1,58	1,75	1,09	1,26	1,44
5	V	8	2	1,45	1,66	1,66	1,26	1,17
6	VI	3	2	2,97	1,85	107	1,07	2,20

Số lượng mẫu cây cần chặt hạ lý thuyết ở các cấp tuổi biến động từ 2 – 4 cây/cấp tuổi, trong khi số lượng cây thực tế đã chặt hạ biến động từ 3 – 8 cây/cấp tuổi. Như vậy với dung lượng mẫu chặt hạ ở các cấp tuổi của đề tài, sử dụng để xây dựng phương trình sinh khối khô theo cấp tuổi là đảm bảo đủ dung lượng cần thiết và đủ độ tin cậy.

b) Phương trình ước tính sinh khối khô cây cá thể

Sinh khối khô là một chỉ tiêu biểu thị năng suất của cây rừng đạt được tại thời điểm cụ thể, tổng sinh khối khô của cây được xác định sau khi loại bỏ thành phần nước trong sinh khối tươi của cây rừng thông qua việc sấy mẫu sinh khối sinh khối tươi của các bộ phận thân, cành, lá và rễ trên mặt đất. Tuy nhiên, việc làm này sẽ tốn nhiều thời gian, do đó một trong những phương pháp để tính được sinh khối khô là sử dụng tỉ lệ sinh khối khô đã được sấy trong phòng thí nghiệm với một số hàm toán học để ước tính sinh khối khô.

Phương trình tương quan giữa tổng sinh khối khô cây cá thể được xác định bằng phương trình sinh khối tươi nhân với tỉ lệ sinh khối khô theo cấp tuổi. Kết quả các mô hình ước tính sinh khối khô theo cấp tuổi được thể hiện trong bảng 4.7.

Bảng 4.7. Mô hình ước tính tổng sinh khối khô trên mặt đất của cây Đước

Cấp tuổi	Phương trình lập được
I	$W_{tk} = 0,529 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
II	$W_{tk} = 0,595 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
III	$W_{tk} = 0,622 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
IV	$W_{tk} = 0,640 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
V	$W_{tk} = 0,639 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
VI	$W_{tk} = 0,652 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$

Kết quả mô hình ước tính tổng sinh khối khô trên mặt đất của cây cá thể Đước ở bảng 4.7, cho thấy tỉ lệ sinh khối khô trong phương trình tăng lên theo cấp tuổi.

c). Kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô theo quần thể

Kết quả kiểm nghiệm phương trình sinh khối khô cây cá thể theo quần thể được thể hiện trong bảng 4.8.

Bảng 4.8. Kiểm tra sai số tương đối phương trình sinh khối khô theo quần thể

Cấp tuổi	Phương trình lập được	Wtk _{thucte}	Wtk _{lth}	Sai số tương đối S %			Sai số mang dấu + (%)	Sai số mang dấu - (%)
				Max	Min	BQ		
I	$Wtk = 0,529 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D1,3))$	66,40	70,96	12,01	4,14	8,55	50	50
II	$Wtk = 0,595 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D1,3))$	175,17	189,14	17,04	1,91	9,09	60	40
III	$Wtk = 0,622 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D1,3))$	362,76	360,46	11,04	0,42	3,68	60	40
IV	$Wtk = 0,640 \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D1,3))$	473,54	450,08	21,51	1,38	7,62	60	40
V	$Wtk = 0,639 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D1,3))$	592,14	572	21,51	1,91	7,90	50	50

Nhận xét:

Kết quả kiểm tra đánh giá sai số tương đối của các phương trình sinh khối khô theo cấp tuổi thể hiện ở bảng 4.8 cho thấy: phương trình có sai số tương đối lớn nhất là phương trình sinh khối khô cấp tuổi II ($S \% = 9,09$), sai số tương đối nhỏ nhất là phương trình cấp tuổi 3 ($S \% = 3,68$), Tuy nhiên, sai số tương đối của tất cả các phương trình sinh khối khô theo cấp tuổi đều nằm trong giới hạn cho phép ($\Delta \% = 3,68 - 9,09 < 10 \%$). Sai số mang dấu + biến động từ 50 – 60% ở các cấp tuổi, còn Sai số mang dấu - biến động từ 40 – 50%, chứng tỏ không có sai số hệ thống. Vì vậy, tất cả các phương trình đều đủ độ tin cậy và có thể sử dụng để tính sinh khối cho quần thể Đước.

4.1.1.2. Phương trình các bon cây cá thể

a). Hệ số các bon cho các bộ phận thân cây theo cấp tuổi

Trong đề tài, hệ số các bon được hiểu là tỉ lệ các bon chứa trong sinh khối khô của các mẫu sậy đã được phân tích. Hệ số các bon của các bộ phận của các mẫu sậy so với sinh khối khô ở các cấp tuổi là không thay đổi, còn hệ số các bon chung phụ thuộc vào tỉ lệ % sinh khối khô của các bộ phận cây. Do đó, hệ số các bon chung của các cấp tuổi được tính bằng cách nhân hệ số các bon của các bộ phận tương ứng với tỉ lệ sinh khối khô của từng cấp tuổi. Kết quả tính hệ số các bon chung theo cấp tuổi được tổng hợp trong bảng 4.9.

Bảng 4.9. Kết quả tính hệ số các bon cho các bộ phận của cây theo cấp tuổi

TT	Cấp tuổi	Hệ số các bon theo các bộ phận				Hệ số C chung
		Thân	Cành	Rễ	Lá	
1	I	0,45	0,43	0,42	0,40	0,44
2	II	0,46	0,43	0,43	0,40	0,45
3	III	0,48	0,44	0,44	0,41	0,47
4	IV	0,49	0,46	0,46	0,41	0,47
5	V	0,50	0,47	0,47	0,41	0,49
6	VI	0,48	0,48	0,47	0,42	0,48

Nhận xét:

Kết quả tính toán hệ số các bon ở bảng 4.9 cho thấy: hệ số các bon chung của cây Đước theo cấp tuổi là biến động ít (từ 0,44 - 0,49), ở cấp tuổi I là 0,44, cấp tuổi II là 0,45, cấp tuổi III, IV là 0,47, cấp tuổi V là 0,49, còn lại ở cấp tuổi VI là 0,48. Như vậy, tỉ lệ các bon chiếm trong sinh khối khô của cây Đước ở các tuổi khác nhau ít biến động, do đó, có thể sử dụng hệ số các bon chung cho cây Đước khi sử dụng vào thực tế.

b) Phương trình các bon theo cấp tuổi

Phương trình các bon theo cấp tuổi được xây dựng bằng cách sử dụng phương trình sinh khối khô của từng cấp tuổi nhân với hệ số các bon của từng cấp tuổi. Kết quả phương trình các bon theo cấp tuổi được tổng hợp trong bảng 4.10.

Bảng 4.10. Phương trình ước tính các bon cây cá thể Đước

Cấp tuổi	Phương trình lập được
I	$W_c = 0,230 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
II	$W_c = 0,266 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
III	$W_c = 0,290 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
IV	$W_c = 0,304 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
V	$W_c = 0,314 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$
VI	$W_c = 0,312 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$

Kết quả xây dựng mô hình ước tính các bon trên mặt đất của cây cá thể Đước có hệ số của phương trình tăng lên theo cấp tuổi. Riêng cấp tuổi VI giảm vì hệ số các bon chung cấp tuổi VI (0,49) giảm và thấp hơn cấp tuổi V (0,49).

c) Kiểm nghiệm phương trình

Bảng 4.11. Kiểm tra sai số tương đối phương trình các bon theo cấp tuổi

Cấp tuổi	Phương trình lập được	$W_{c_{thucte}}$ (tấn)	$W_{c_{lth}}$ (tấn)	Sai số tương đối S %			Sai số mang dấu +	Sai số mang dấu -	Sai số tổng
				Max	Min	BQ			
I	$W_c = 0,230 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$	3,44	3,48	15,21	-11,51	1,95	50,00	50,00	-1,26
II	$W_c = 0,266 * \exp(-0,728 + 2,33 * \ln(D_{1,3}))$	6,76	6,80	16,75	-11,39	-0,30	40,00	60,00	-0,53
III	$W_c = 0,290 * \exp(-0,728 +$	15,16	14,69	19,89	-17,16	-0,07	40,00	60,00	3,06

	$2,33 \cdot \ln(D_{1,3})$								
IV	$W_c = 0,304 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$	28,19	28,20	15,73	-20,06	-0,81	50,00	50,00	-0,06
V	$W_c = 0,314 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$	146,31	139,38	21,00	-22,47	0,40	60,00	40,00	4,73

Kết quả kiểm tra đánh giá sai số tương đối của các phương trình các bon theo cấp tuổi cho thấy: phương trình có sai số tương đối lớn nhất là phương trình sinh khối khô cấp tuổi V ($S\% = 4,37$), sai số tương đối nhỏ nhất là phương trình cấp tuổi IV ($S\% = -0,06$), Tuy nhiên sai số tương đối của tất cả các phương trình các bon theo cấp tuổi đều nằm trong giới hạn cho phép ($\Delta\% = 0,06 - 4,37 < 10\%$). Sai số mang dấu + và sai số mang dấu - đều biến động từ 40 - 60% ở các cấp tuổi, chúng tỏ không có sai số hệ thống. Vì vậy, tất cả các phương trình đều đủ độ tin cậy và có thể sử dụng để tính các bon cho quần thể Đước.

4.1.2. Phương trình sinh khối quần thể Đước

Trước đây, trong kinh doanh rừng nhà lâm nghiệp đặc biệt quan tâm đến năng suất mà rừng đạt được trong một chu kỳ kinh doanh hay trong một chu kỳ đời sống của cây rừng. Năng suất đó chính là tổng thể tích cây đứng tính cho trên một đơn vị diện tích. Ngày nay, ngoài việc quan tâm đến năng suất rừng đạt được thì còn quan tâm đến giá trị dịch vụ môi trường mà rừng mang lại. Do đó, nghiên cứu sinh khối quần thể là cơ sở để các nhà quản lý lâm nghiệp đề xuất các biện pháp kỹ thuật nhằm tăng năng suất của rừng cũng như nâng cao về giá trị môi trường của rừng.

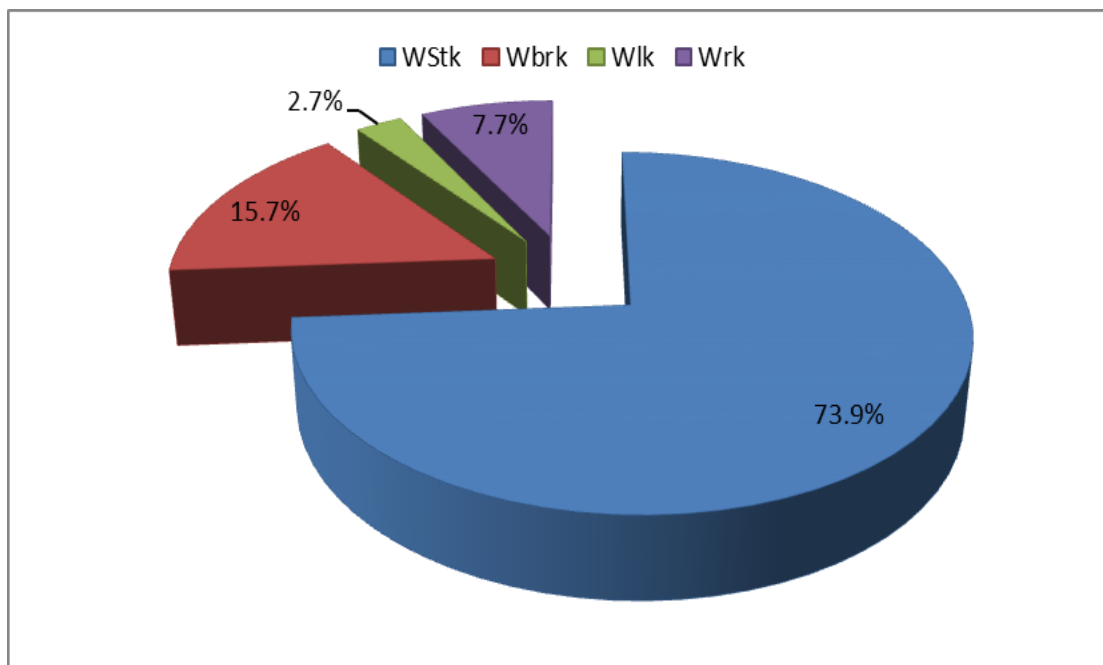
4.1.2.1. Kết cấu sinh khối khô quần thể Đước theo cấp tuổi

Trong nội dung này, sinh khối của quần thể được tính toán từ các phương trình sinh khối khô cá thể theo cấp tuổi. Tổng hợp sinh khối của tất cả các cây trong một quần thể sẽ là tổng sinh khối của quần thể. Kết quả tính toán sinh khối quần thể được thể hiện ở phụ lục 5.

Kết quả tính toán sinh khối (phụ lục 5) cho thấy tỉ lệ sinh khối của các bộ phận trên tổng sinh khối ở các quần thể biến động rất nhỏ. Cụ thể:

Tỉ lệ sinh khối khô thân cây của quần thể cao, chiếm bình quân là 73,9%, tỉ lệ sinh khối cành trung bình chiếm 15,7%, tỉ lệ sinh khối lá chiếm 2,7%, còn lại sinh khối rễ trung bình chiếm 7,7%. Tổng sinh khối của quần thể trung bình đạt 237 tấn/ha, biến động từ 92,1– 352,8 tấn/ha). Kết quả cũng cho thấy, mật độ ở các quần thể khác nhau, ảnh hưởng đến sinh khối của rừng. Mật độ nhỏ nhất (1.040 cây/ha, tương ứng sinh khối 194,8 tấn/ha) hay mật độ lớn nhất (15.800 cây/ha tương ứng 131,8 tấn/ha) rừng không đạt sinh khối cao nhất mà do sự bố trí không gian dinh dưỡng giữa các cây và việc tận dụng tối đa không gian dinh dưỡng (mật độ cho sinh khối cao nhất là 2.420 cây/ha tương ứng 352,8 tấn/ha). Biện pháp tỉa thưa để điều chỉnh không gian dinh dưỡng hợp lý giữa các cây rừng là cách để nâng cao năng suất của rừng. Cùng một tuổi nhưng cấp đất khác nhau cũng cho sinh khối khác nhau. Ở cấp đất I sinh khối rừng đạt cao hơn so với cấp đất II.

Ở biểu đồ hình 4.3 cũng cho thấy sinh khối thân chiếm phần lớn sinh khối cây, còn 3 bộ phận cành, lá, rễ chông chiếm một lượng nhỏ.



Hình 4.3. Biểu đồ tỉ lệ sinh khối các bộ phận của quần thể Đước (%)

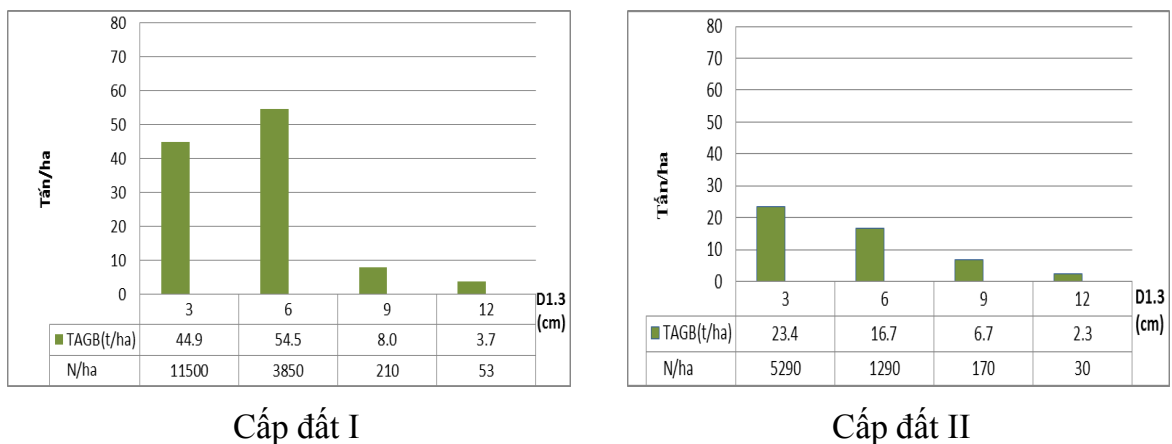
So sánh với kết quả nghiên cứu sinh khối khô rừng ngập mặn của Nguyễn Hoàng Trí, 1986 (rừng Đước trưởng thành đạt trung bình 171,3 tấn/ha) và của Viên Ngọc Nam, 2003 (rừng Mắm trắng đạt trung bình 208,62 tấn/ha) cho thấy sinh khối của rừng Đước ở Cà Mau cao hơn so với ở kết quả nghiên cứu ở khu vực khác và của loài cây ngập mặn khác.

4.1.2.2. Phân bố sinh khối khô quần thể Đước theo cấp tuổi và cấp đất

Phân bố sinh khối khô của quần thể theo cấp tuổi và cấp đất được thể hiện ở phụ lục 7 và phụ lục 8. Theo kết quả tính toán phụ lục và biểu đồ cho thấy, sinh khối của quần thể Đước biến động theo đường kính và theo cấp tuổi. Sinh khối của các quần thể tăng dần theo cấp tuổi cũng như tăng lên theo đường kính.

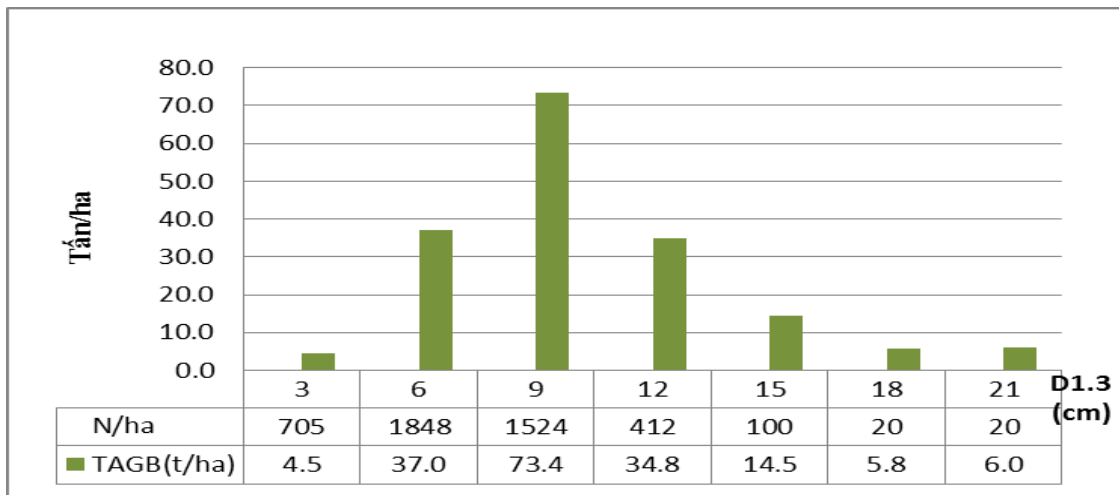
Đối với cấp đất I: Tổng sinh khối quần thể ở cấp tuổi I là 112,0 tấn/ha; cấp tuổi II là 159,9 tấn/ha; cấp tuổi III là 216,0 tấn/ha; cấp tuổi IV là 278,8 tấn/ha; cấp tuổi V là 312,8 tấn/ha và cấp tuổi VI là 347,7 tấn/ha. Đối với cấp đất II: Tổng sinh khối quần thể ở cấp tuổi I là 53,0 tấn/ha; cấp tuổi II là 158,3 tấn/ha; cấp tuổi III là 216,8 tấn/ha; cấp tuổi IV là 278,8 tấn/ha; cấp tuổi V là 323,6 tấn/ha và cấp tuổi VI là 331,7 tấn/ha. Rừng Đước ở cấp đất I có sinh khối cao hơn ở cấp đất II, tuy nhiên điều này còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như mật độ cũng liên quan đến sinh khối.

Cấp tuổi càng tăng thì biên độ cấp kính càng tăng. Điều này có thể giải thích rằng, mặc dù rừng bị phá hủy do bão sau năm 1979 và được trồng lại nhưng do không có tác động, điều tiết về mật độ nên có sự cạnh tranh khá lớn về không gian sống, dẫn đến cấp kính có sự phân hóa mạnh. Bên cạnh đó, quá trình tái sinh tự nhiên vẫn diễn ra thường xuyên.

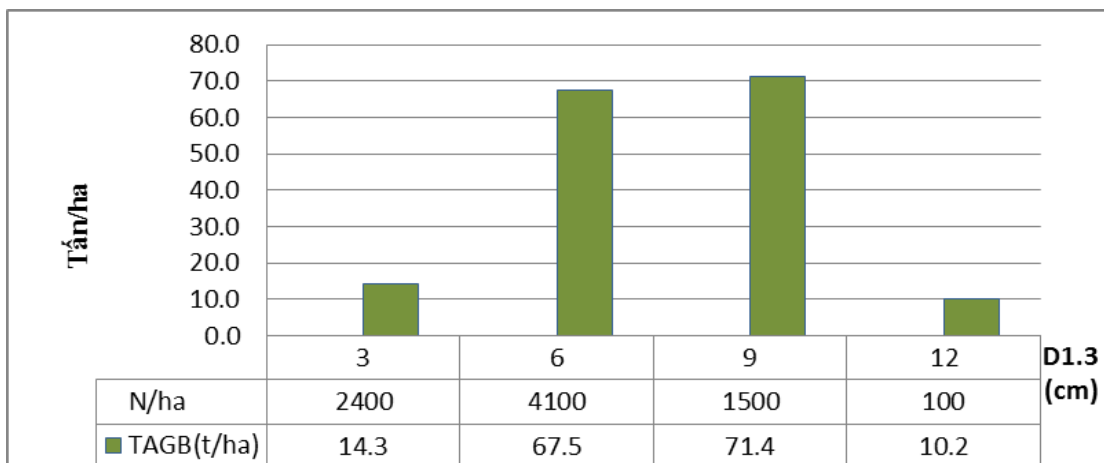


Hình 4.4. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi I

Đánh giá sinh khối từng cấp tuổi, kết quả cho thấy, ở cấp tuổi I, quần thể rừng Đước chưa có sự phân hóa mạnh về đường kính, điều này có nghĩa là trong quần thể chưa có hoặc ít có sự cạnh tranh về không gian dinh dưỡng. Quần thể có sinh khối phân bố từ cấp kính từ 3 cm đến cấp kính 12 cm, tập trung nhiều nhất ở cỡ kính 3cm và 6 cm; lượng sinh khối tập trung cao nhất là cỡ kính 6, mặc dù mật độ phân bố nhiều nhất là ở cấp kính 3 cm. Đối với cấp đất I, sinh khối phân bố cao nhất là ở cỡ kính 6 với 54,5 tấn/ha, cấu trúc sinh khối tương đối ổn định, có dạng một đỉnh lệch trái về phía cây đường kính nhỏ, còn ở cấp đất II, sinh khối cao nhất tập trung ở cỡ kính 3cm với 23,4 tấn/ha, cấu trúc sinh khối có dạng phân bố giảm về phía cây đường kính lớn.



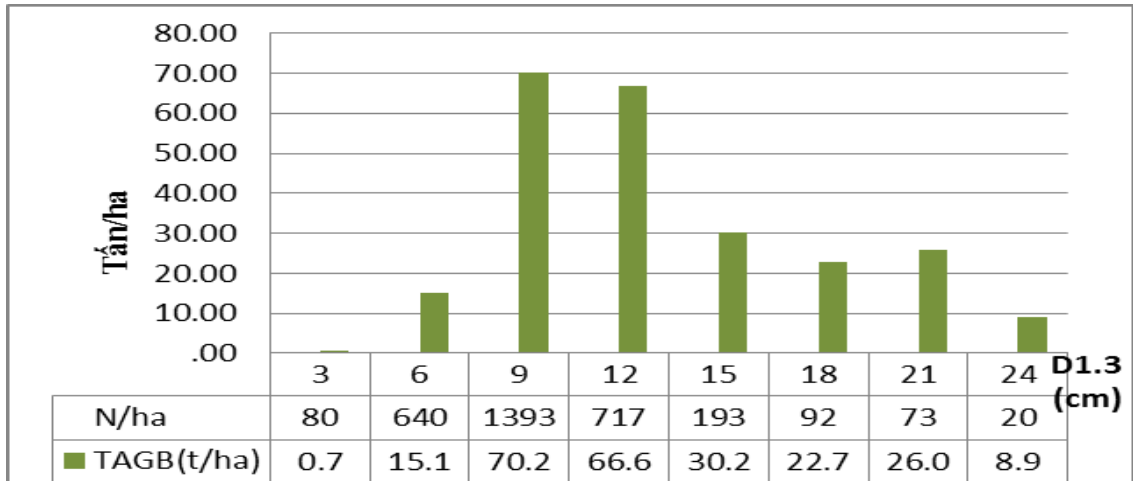
Cấp đất I



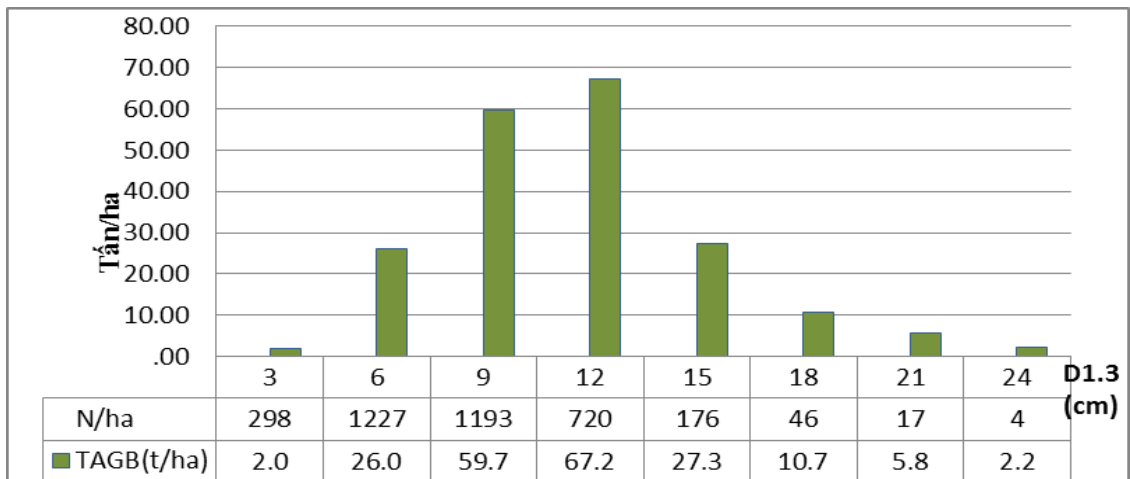
Cấp đất II

Hình 4.5. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi II

Dựa vào biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi II hình 4.5 ta thấy: Đối với cấp đất I, sinh khối khô của quần thể ở cấp tuổi II tập trung chủ yếu ở cỡ kính 6 – 12 cm; cao nhất là cỡ kính 9 cm, có tổng sinh khối là 73,4 tấn/ha. Sinh khối ở cấp tuổi này có cấu trúc một đỉnh, phân bố chuẩn, còn đối với cấp đất II, biên độ phân bố cỡ kính từ 3 – 12 cm, sinh khối tập trung cao nhất ở cỡ kính 9cm với 71,4 tấn/ha.



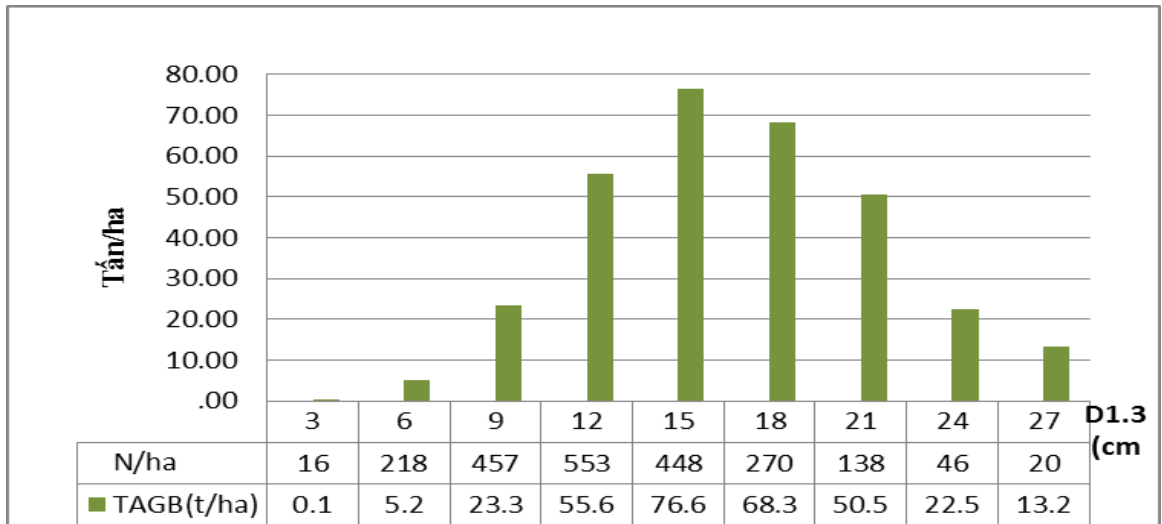
Cấp đất I



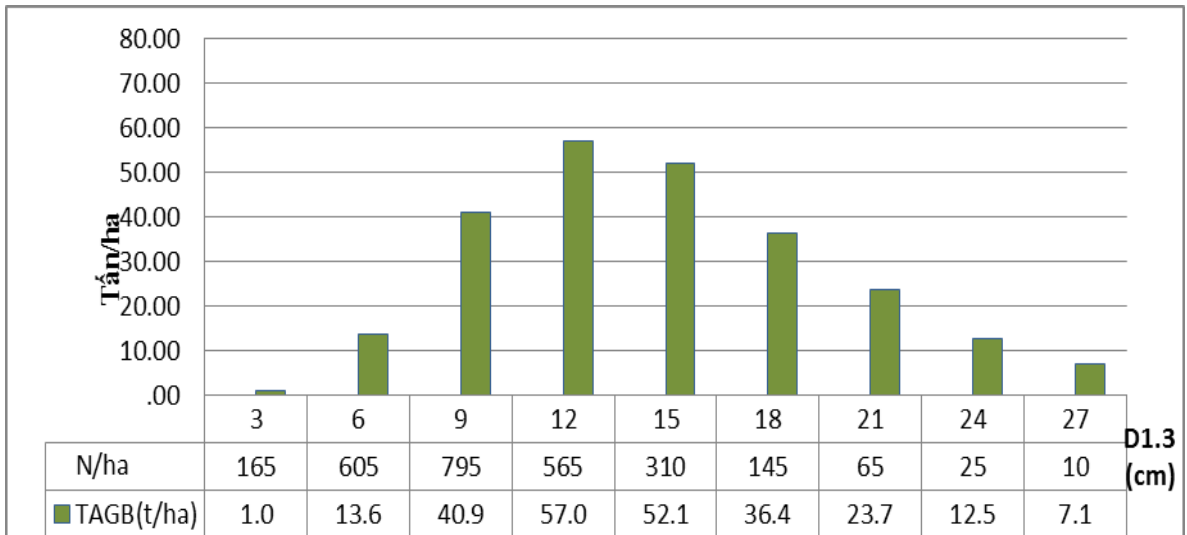
Cấp đất II

Hình 4.6. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi III.

Ở cấp tuổi III, đối với cấp đất I, sinh khối quần thể tập trung chủ yếu và cao nhất ở cỡ kính 9 cm (70,2 tấn/ha), cấu trúc sinh khối phân hóa nhiều đỉnh. Đối với cấp đất II, sinh khối quần thể tập trung chủ yếu và cao nhất ở cỡ kính 12 cm (67,2 tấn/ha), cấu trúc sinh khối phân bố một đỉnh.



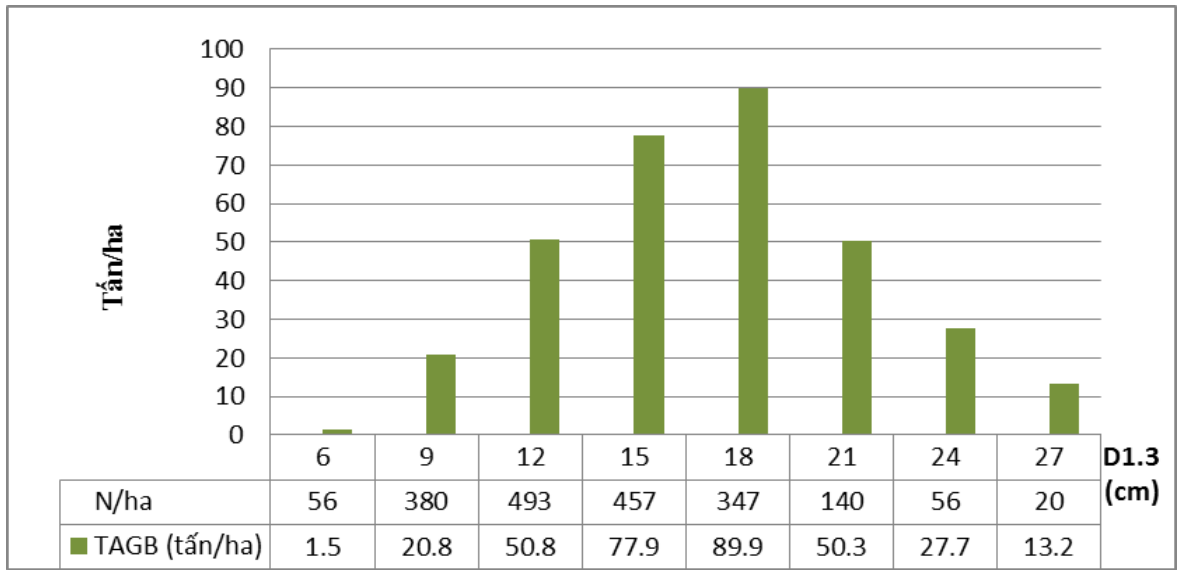
Cấp đất I



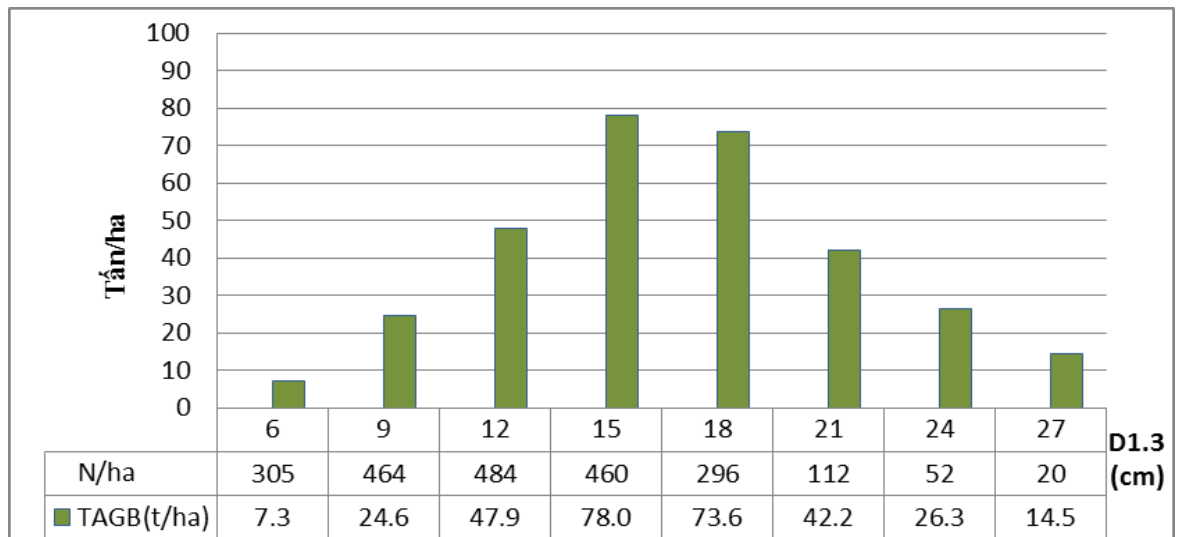
Cấp đất II

Hình 4.7. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi IV.

So với kết quả ở rừng cấp tuổi III, sinh khối rừng ở cấp tuổi IV phân hóa nhiều cỡ kính hơn, từ 3 – 27 cm. Mật độ số cây ở cỡ kính nhỏ giảm xuống. Cấu trúc rừng một đỉnh, đạt chuẩn. Sinh khối tập trung ở cấp kính 12 cm đến cấp kính 18 cm, cao nhất là cấp kính 15 cm, đạt 76,6 tấn/ha, với mật độ 448 cây/ha đối với cấp đất I, còn đối với cấp đất II, sinh khối tập trung ở cấp kính 9 cm đến cấp kính 15 cm, cao nhất là cấp kính 12 cm, đạt 57,0 tấn/ha, với mật độ 565 cây/ha.



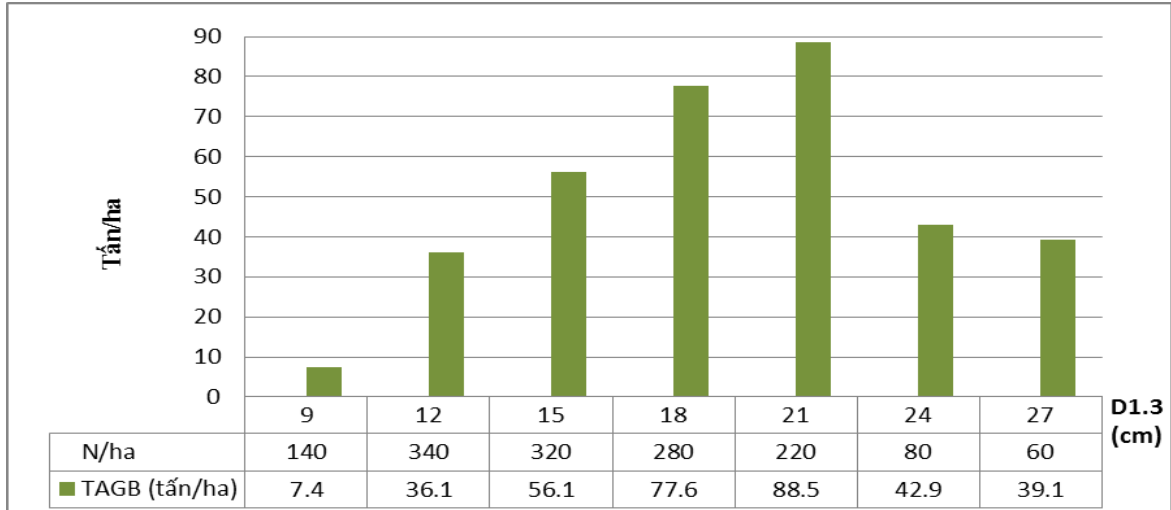
Cấp đất I



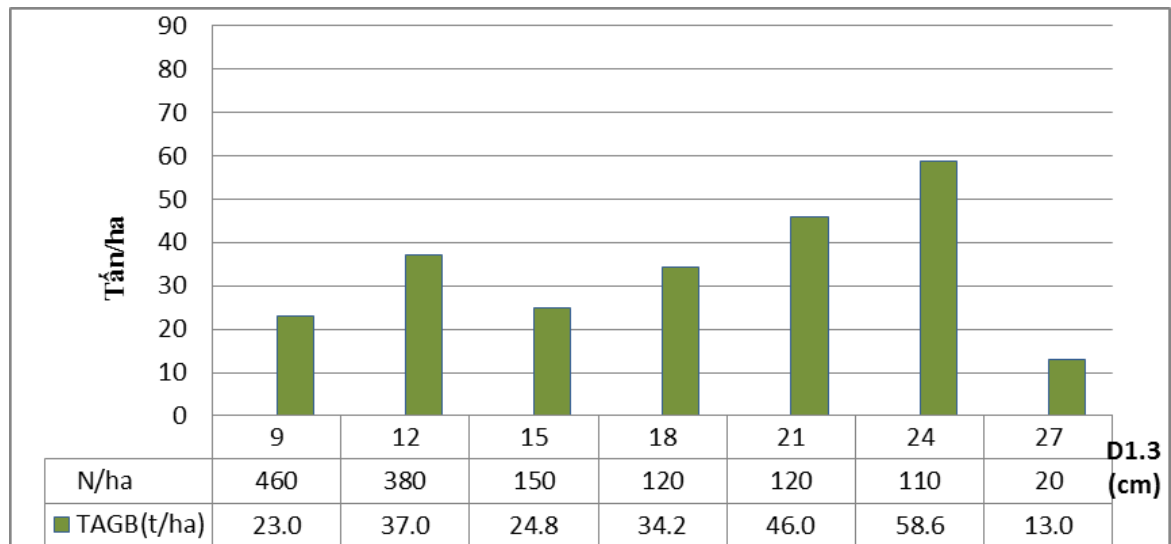
Cấp đất II

Hình 4.8. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi V

Ở cấp tuổi cấp tuổi V, cấu trúc sinh khối có dạng một đỉnh và có phân bố đạt chuẩn, sinh khối tập trung chủ yếu ở cấp kính 15 cm và 18 cm ở cả hai cấp đất. Rừng ở cấp tuổi V có cấu trúc phân bố đạt chuẩn.



Cấp đất I



Cấp đất II

Hình 4.9. Biểu đồ cấu trúc sinh khối của quần thể Đước cấp tuổi VI.

So với kết quả ở cấp tuổi từ I - V, cấu trúc sinh khối quần thể rừng Đước cấp tuổi trên VI đã có sự biến động. Cấu trúc sinh khối lúc này phân hóa nhiều đỉnh, Điều này cho thấy rừng đã thành thực, thể hiện một cấu trúc không bền vững, cần có sự khai thác, điều chỉnh cấu trúc hợp lý, thúc đẩy lớp cây kế cận để tăng cường tích lũy sinh khối cho rừng góp phần nâng cao giá trị sinh thái của rừng, đặc biệt là ở cấp đất II.

4.1.2.2. Phương trình sinh khối khô quần thể Đước

Ngoài việc xây dựng mô hình ước tính sinh khối khô cho cây cá thể, trong đề tài còn tiến hành phân tích tương quan hồi quy giữa sinh khối khô của quần thể

Được với các nhân tố điều tra và sinh trưởng của rừng. Việc thiết lập các mô hình quan hệ giữa các nhân tố này sẽ hỗ trợ nhanh cho việc ước tính sinh khối quần thể. Bằng thử nghiệm nhiều dạng hàm khác nhau giữa sinh khối khô quần thể với một số nhân tố điều tra và sinh trưởng cơ bản của lâm phần thông qua thăm dò với các hàm 1 biến, hàm đa biến và tổ hợp biến nhằm lựa chọn được mô hình tối ưu nhất để ước tính sinh khối quần thể. Các biến đã được đưa vào trong các hàm để thử nghiệm bao gồm: $D_{1,3}$, Hvn, N (mật độ), M (trữ lượng).

Bảng 4.12. Mô hình ước tính sinh khối của quần thể Được

TT	Mô hình	Các chỉ tiêu thống kê					
		R^2	SSR	SEE	MAE	S %	CF
1	$TAGB = \exp(0,823 + 0,874 \cdot \ln(M))$	95,2	0,461	0,0923	0,082	8,2	1,0
2	$\log(TAGB) = \exp(0,768 + 0,0873 \cdot \ln(M^2))$	95,5	0,0173	0,0179	0,0158	8,4	1,0
3	$\log(TAGB) = 1,01 + 0,773 \cdot \log(M) + 0,151 \cdot \log(D_{1,3})$	95,8	0,405	0,0874	0,0703	7,1	1,0
4	$\log(TAGB) = -3,25 + 0,507 \cdot \log(M) + 0,446 \cdot \log(N/ha) + 1,06 \cdot \log(D_{1,3})$	98,3	0,164	0,0561	0,0437	4,4	1,0
5	$\log(TAGB) = -2,49 + 0,472 \cdot \log(M) + 0,526 \cdot \log(N/ha) + 1,98 \cdot \log(D_{1,3}) - 1,29 \cdot \log(Hvn)$	98,8	0,112	0,0469	0,0335	3,5	1,0
6	$\log(TAGB) = -3,05 + 0,564 \cdot \log(M) + 0,357 \cdot \log(N/ha) + 0,543 \cdot \log(Hvn \cdot D_{1,3})$	97,7	0,221	0,0651	0,0536	5,3	1,0

Kết quả bảng 4.12 ta thấy, các mô hình ước tính sinh khối của quần thể Được đều có các chỉ tiêu thống kê nằm trong giới hạn cho phép. Trong đó, mô hình tương quan một nhân tố giữa lượng sinh khối với trữ lượng rừng có hệ số tương quan khá cao ($R^2 = 95,5$) (mô hình 2) với sai số nhỏ nhất. Khi thêm các biến số khác vào thì mô hình đa biến có hệ số xác định tăng lên ($R^2 = 98,8$), trong đó mô hình 5 tương quan giữa sinh khối quần thể với $D_{1,3}$, H_{vn} , mật độ (N) và trữ lượng có hệ số tương quan cao nhất ($R^2 = 98,8$), sai số tương đối thấp nhất (S% = 3,5) với SSR = 0,11, SEE = 0,05, MAE = 0,03. Tuy nhiên, mô hình một nhân tố $\log(TAGB) = \exp(0,768 + 0,0873 \cdot \ln(M^2))$ có SSR = 0,02 nhỏ nhất, phù hợp hơn khi ứng dụng vào thực tiễn,

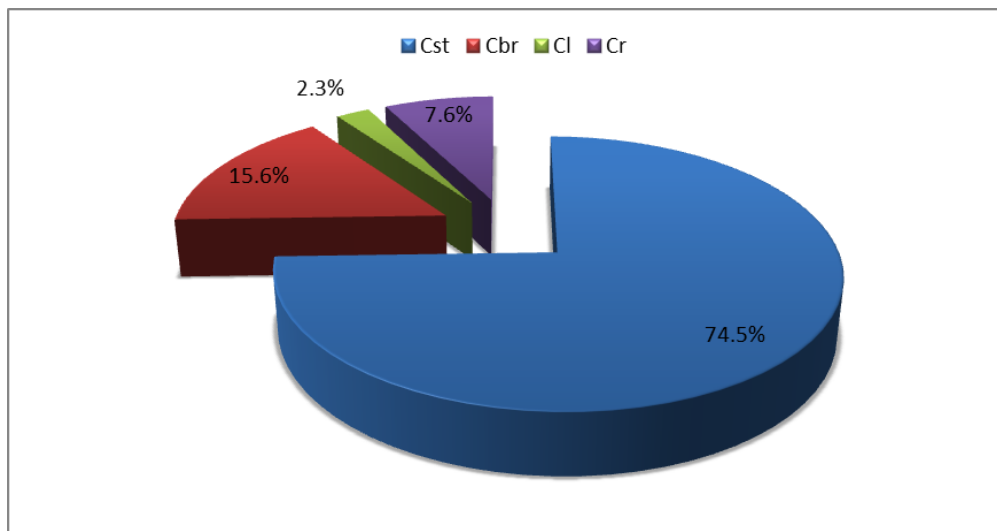
do đó có thể sử dụng mô hình này để ước sinh khối của quần thể Đước. Mô hình có dạng: $\log(\text{TAGB}) = \exp(0,768 + 0,0873 \cdot \ln(M^2))$.

4.1.3. Phương trình tích lũy các bon của quần thể Đước

4.1.3.1. Khả năng tích lũy các bon của quần thể Đước

Trữ lượng các bon trong sinh khối của quần thể rừng Đước được tính dựa trên các mô hình ước tính các bon cây cá thể. Kết quả xác định tỉ lệ tích lũy các bon trong sinh khối trên mặt đất và các bộ phận cây của quần thể đước thể hiện trong phụ lục 9. Kết quả nghiên cứu cho thấy quần thể Đước tại khu vực có mật độ biến động từ 1.040 – 15.800 cây/ha có trữ lượng gỗ từ 27,2 – 365,6 m³/ha. Lượng C trong sinh khối rừng giao động từ 16,4 – 188,5 tấn C/ha, trung bình đạt 113,3 tấn C/ha. C tập trung chủ yếu ở phần sinh khối thân (84,5 tấn C/ha) chiếm khoảng 74,5 %; trong sinh khối cành là 17,7 tấn C/ha, chiếm 15,6 %; trong sinh khối rễ trên mặt đất 8,5 tấn/ha, chiếm 7,6%; còn lại trong sinh khối lá là 2,6 tấn C/ha, chiếm 2,3 %.

Khả năng hấp thụ CO₂ của rừng biến động từ 60,0 – 691,7 tấn CO₂/ha. Khả năng hấp thụ CO₂ cao nhất tương ứng với đường kính trung bình của quần thể là 11,7 cm, mật độ là 2.580 cây/ha. Kết quả trên cũng cho thấy, có thể do sự điều tiết không gian sinh sống của rừng hay điều tiết mật độ dẫn đến có sự khác biệt về khả năng hấp thụ CO₂ của rừng. Vì vậy để tăng cường sự hấp thụ CO₂ của rừng cần có sự điều tiết không gian dinh dưỡng hợp lý để cây phát triển tối ưu nhất.



Hình 4.10. Tỉ lệ trung bình tích lũy các bon trong 4 bộ phận lâm phần Đước

Tỷ lệ C tích lũy trung bình trong các bộ phận của các lâm phần Đước được minh họa tại hình 4.10. Quan sát ở biểu đồ cũng cho thấy, tích lũy các bon cao nhất trong thân cây (74,5%), tiếp đến là trong cành cây (15,6%), còn lại trong lá và rễ trên mặt đất là thấp nhất, rễ cây là 6,6 % và lá cây với tỉ lệ là 2,3%.

4.1.3.2. Mô hình ước tính các bon của quần thể Đước

Ngoài việc xây dựng mô hình ước tính trữ lượng các bon cho cây cá thể, trong đề tài còn tiến hành phân tích tương quan hồi quy giữa trữ lượng các bon của quần thể Đước với các nhân tố điều tra và sinh trưởng của rừng. Việc thiết lập các mô hình quan hệ giữa các nhân tố này sẽ hỗ trợ cho việc ước tính các bon trong các bể chứa khó đo đếm từ bể chứa dễ đo đếm. Điều này còn góp phần làm cơ sở cho các nhà quản lý có thể tính toán nhanh chóng lượng C trong quần thể.

Bằng thử nghiệm nhiều dạng hàm khác nhau giữa lượng C được tích lũy với một số nhân tố điều tra và sinh trưởng cơ bản của lâm phần thông qua thăm dò với các hàm 1 biến, hàm đa biến và tổ hợp biến nhằm lựa chọn được mô hình tối ưu nhất để ước tính trữ lượng C trong quần thể. Các biến đã được đưa vào trong các hàm để thử nghiệm bao gồm: $D_{1,3}$, H_{nv}, N (mật độ), M (trữ lượng).

Kết quả xây mô hình ước tính trữ lượng C trong quần thể rừng Đước được tổng hợp trong bảng 4.13.

Bảng 4.13. Mô hình ước tính các bon của quần thể Đước

TT	Mô hình lập được	Các chỉ tiêu thống kê					
		R ²	SSR	SEE	MAE	S %	CF
1	$\ln(\text{TAGC}) = -0,254 + 0,938 \cdot \ln(M)$	96,4	0,39	0,08	0,08	8,1	1,00
2	$\text{TAGC} = 1 / (0,000663 + 1,65/M)$	98,4	0,05	0,03	0,04	7,9	1,00
3	$\ln(\text{TAGC}) = -3,93 + 0,902 \cdot \ln(D_{1,3}) + 0,398 \cdot \ln(N) + 0,639 \cdot \ln(M)$	98,4	0,18	0,06	0,05	4,9	1,00
4	$\ln(\text{TAGC}) = -3,23 + 0,606 \cdot \ln(M) + 0,472 \cdot \ln(N) + 1,76 \cdot \ln(D_{1,3}) - 1,2 \cdot \ln(H_{nv})$	98,8	0,13	0,05	0,04	4,1	1,00
5	$\ln(\text{TAGC}) = -3,73 + 0,689 \cdot \ln(M) + 0,319 \cdot \ln(N) + 0,459 \cdot \ln(H_{nv} \cdot D_{1,3})$	98,0	0,22	0,06	0,06	5,7	1,01

Kết quả thử nghiệm mô hình tối ưu để ước tính các bon của quần thể Đước với hàm một biến số đến hàm 4 biến số (Bảng 4.13) cho thấy, hàm một biến số và hàm đa biến có R^2 rất cao, cao nhất là hàm đa biến với $R^2 = 98,8$. Khi xét sai số tương đối thì ta thấy, biến động giữa thực tế và lý thuyết của mô hình đơn biến là cao nhất (8,1%). Tuy nhiên, khi sử dụng hàm đa biến để ước tính các bon của quần thể Đước trong thực tiễn khá phức tạp. Trong khi mô hình đơn biến, mô hình 2 có hệ số xác định rất cao ($R^2 = 98,4$) với các chỉ số sai số $SSR = 0,05$; $SEE = 0,03$; $MAE = 0,04$ là thấp nhất so với mô hình còn lại. Do đó, mô hình được lựa chọn để ước tính tích lũy C của quần thể Đước là mô hình 2 với hệ số tương quan cao ($R^2 = 98,4$). Mô hình có dạng: $TAGC = 1/(0,000663 + 1,65/M)$ với mức độ tin cậy 95%.

4.1.4. Tương quan giữa sinh khối và tuổi rừng Đước.

Kết quả nghiên cứu xây dựng phương trình tương quan giữa sinh khối với tuổi rừng Đước cho thấy, giữa sinh khối với tuổi lâm phần (A, năm) tồn tại mối liên hệ chặt chẽ theo mô hình $\ln(D) = \ln(m) + b/A^{-2}$. Mô hình mối liên hệ có dạng: $\ln(AGB) = 1/(0,166425 + 3,85965 \cdot A^{-2,0})$ với $R^2 = 89,49$, với $RSS = 0,0003$, $SEE = 0,007$, $MAE = 0,005$.

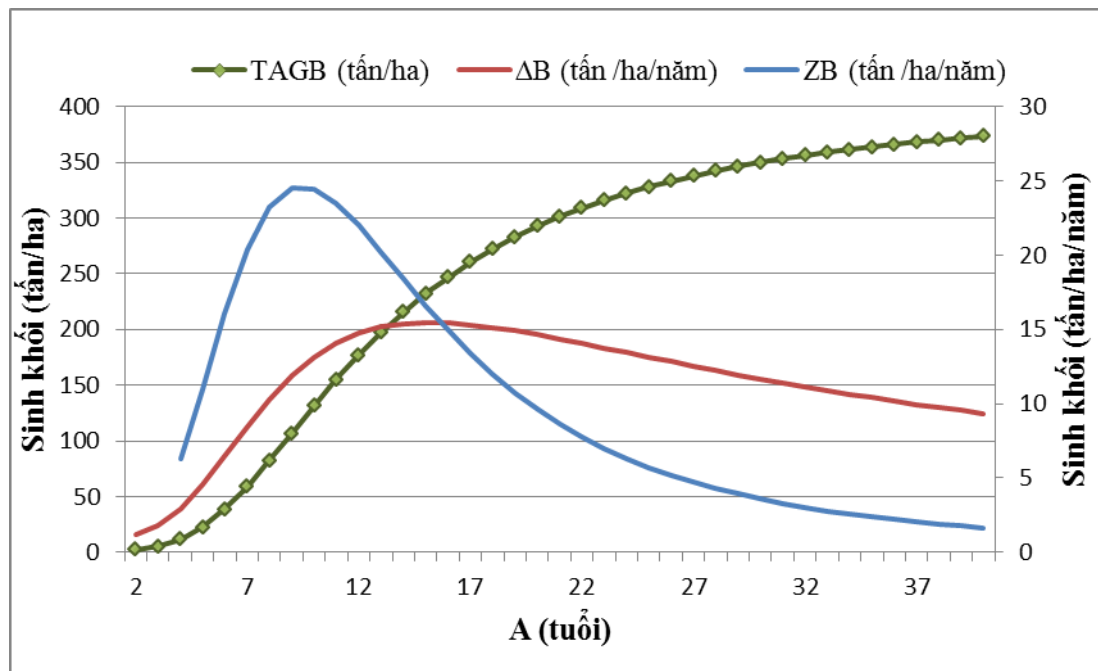
Kết quả nghiên cứu về sinh khối theo tuổi và lượng tăng trưởng sinh khối của rừng Đước theo tuổi được thể hiện trong bảng 4.14:

Bảng 4.14. Tăng trưởng sinh khối của rừng Đước theo tuổi

A (tuổi)	TAGB (tấn/ha)	ΔB (tấn /ha)	ZB (tấn /ha)	A (tuổi)	TAGB (tấn/ha)	ΔB (tấn /ha)	ZB (tấn /ha)
3	5,36	1,79		22	309,19	14,05	7,77
4	11,62	2,91	6,26	23	316,19	13,75	7,00
5	22,58	4,52	10,96	24	322,51	13,44	6,32
6	38,65	6,44	16,07	25	328,23	13,13	5,72
7	59,05	8,44	20,40	26	333,42	12,82	5,19
8	82,31	10,29	23,26	27	338,14	12,52	4,72
9	106,83	11,87	24,52	28	342,43	12,23	4,30
10	131,31	13,13	24,47	29	346,35	11,94	3,92
11	154,82	14,07	23,52	30	349,94	11,66	3,59

12	176,84	14,74	22,01	31	353,23	11,39	3,29
13	197,09	15,16	20,25	32	356,25	11,13	3,02
14	215,50	15,39	18,41	33	359,03	10,88	2,78
15	232,12	15,47	16,62	34	361,60	10,64	2,57
16	247,05	15,44	14,93	35	363,97	10,40	2,37
17	260,43	15,32	13,38	36	366,16	10,17	2,19
18	272,42	15,13	11,99	37	368,20	9,95	2,03
19	283,16	14,90	10,74	38	370,09	9,74	1,89
20	292,78	14,64	9,62	39	371,84	9,53	1,76
21	301,42	14,35	8,64	40	373,48	9,34	1,64

Từ số liệu ở bảng 4.14 cho thấy, sinh khối bình quân lâm phần rừng Đước sinh trưởng khá nhanh trong khoảng 16 năm đầu; trong đó lượng tăng trưởng hàng năm (ZB) đạt cao nhất 24,52 tấn/năm ở tuổi 9, tuổi 10 và sau đó giảm dần. Kết quả nghiên cứu tăng trưởng sinh khối của lâm phần Đước làm cơ sở cho việc chuẩn hóa sinh khối về các thời điểm khác nhau gần với thời điểm thu ảnh viễn thám.



Hình 4.11. Biểu đồ quan hệ giữa sinh khối và tăng trưởng sinh khối theo tuổi

Biến thiên đường cong mô phỏng quan hệ giữa sinh khối và tuổi rừng ở biểu đồ hình 4.11 cho thấy sinh khối tăng dần theo tuổi, tuổi càng cao thì tổng sinh khối càng cao, ở tuổi 36 sinh khối đạt mức 366 tấn/ha và từ tuổi này trở đi đường cong

không còn đi lên nữa mà đồ thị bắt đầu đi theo hướng ngang dần và song song với trục biểu diễn tuổi rừng, như vậy, đối với rừng Đước tại khu vực nghiên cứu, sau tuổi 36 mức độ tăng sinh khối là không đáng kể. Đối với biến thiên đường cong mô phỏng quan hệ giữa sinh khối và tăng trưởng hàng năm có dạng một đỉnh lệch trái tăng dần ở tuổi rừng nhỏ và đạt mức tăng trưởng cao nhất ở tuổi 9 với mức sinh khối 24,52 tấn/ha và sau đó giảm dần, tuổi càng cao tăng trưởng hàng năm càng giảm và gần như không tăng, trên tuổi 35 mức tăng trưởng không đáng kể điều này hoàn toàn phù hợp với quy luật sinh trưởng của cây rừng.

4.1.5. Lượng giá giá trị tích lũy các bon của rừng

Hiện nay, giá một tín chỉ các bon (tấn CO₂ qui đổi) được tính cho nhiều loại dự án khác nhau với mức giá cũng khác nhau như CDM (cơ chế phát triển sạch), JI (cơ chế đồng thực hiện), IET (Cơ chế buôn bán phát thải) và REDD⁺. Giá bán tín chỉ các bon từ các dự án này cũng thay đổi theo năm. Năm 2010, giá trung bình là 6 USD/tấn CO₂, giá trung bình lên 7,3 USD/ tấn CO₂ vào năm 2011 chủ yếu từ các dự án năng lượng tái tạo và REDD. Năm 2012, giá trung bình cho việc bồi hoàn lâm nghiệp 7,8 USD/tấn CO₂. Trong đầu năm 2014, theo ngân hàng thế giới (WB) trung bình giá bán tín dụng ban hành là 5 - 6 USD/tấn CO₂ (World Bank, 2014)[98] . Cuộc đấu giá đầu tiên được tổ chức vào ngày 15 tháng 7 năm 2015, với sự tham dự 28 nhà thầu đến từ 17 quốc gia, có 12 người chiến thắng từ các nước đang phát triển. Giá thanh toán bù trừ đấu giá là 2,4 – 8,7 USD/tấn CO₂(Kossoy và cộng sự, 2015)[58]. Hầu như tất cả các dự án cắt giảm phát thải REDD⁺ là hiện đang giao dịch trên thị trường các bon tự nguyện. Giá bán này được ước tính dựa trên giá bán tín chỉ các bon trong các hoạt động lâm nghiệp trên thế giới, sau COP21, dự kiến giá sẽ thay đổi theo chiều hướng tăng lên.

Từ thị trường giá cả biến động như trên, nghiên cứu này có sử dụng các loại giá khác nhau để ước tính giá trị hấp thụ CO₂ của rừng. Các giá sử dụng để tính toán là mức thấp nhất, mức cao nhất và mức dự kiến trong tương lai với: 2,4 USD/tấn CO₂, 8,7 USD/tấn CO₂ và 10 USD/tấn CO₂. Giá trị USD được chuyển sang VNĐ theo tỷ giá thời điểm tháng 4 năm 2016 là khoảng 22.000 VNĐ. Dựa vào kết quả ước tính sinh khối rừng theo cấp tuổi (phụ lục 6) để tính lượng CO₂ mà rừng hấp thụ và giá bán một tấn CO₂ để ước tính giá trị. Kết quả ước tính tiền có thể thu được từ bán tín chỉ các bon của rừng Đước được tổng hợp trong Bảng 4.15.

Bảng 4.15. Ước lượng giá trị hấp thụ CO₂ của rừng Đước

Cấp tuổi	Lượng tín chỉ (tấn CO ₂)	Giá trị hấp thụ CO ₂ cho một ha rừng (1.000 đồng)		
		Giá bán 2,4 USD/tấn CO ₂	Giá bán 8,7 USD/tấn CO ₂	Giá bán 10 USD/tấn CO ₂
I	138,5	7.314,3	26.514,2	30.476,1
II	280,0	14.782,4	53.586,1	61.593,2
III	358,0	18.901,2	68.516,9	78.755,1
IV	473,0	24.974,1	90.531,2	104.058,8
V	545,7	28.812,9	104.446,6	120.053,6
VI	612,1	32.318,0	117.152,6	134.658,2

Như vậy, với giá bán tín chỉ các bon từ 2,4 – 10 USD/tấn CO₂, thì giá trị hấp thụ các bon cho một ha rừng từ tín chỉ các bon hay tiền bán từ bán tín chỉ các bon cho 1 ha rừng Đước sẽ từ 7,3 – 30,5 triệu/ha đối với cấp tuổi I, từ 14,7 – 61,6 triệu/ha cho cấp tuổi II; từ 18,9 – 78,8 triệu/ha với cấp tuổi III; khoảng 25,0 – 104,1 triệu/ha cho cấp tuổi IV, từ 28,8 – 120,1 triệu/ha với cấp tuổi V và cấp tuổi VI từ 32,3 – 134,7 triệu/ha.

Dựa trên kết quả ước tính này, thì ngoài những quyền lợi và lợi ích mà trước đây các chủ rừng đã được hưởng lợi thì các chủ rừng còn được chi trả dịch vụ môi trường rừng thông qua giá trị hấp thụ CO₂. Như vậy khoản thu nhập của chủ rừng sẽ tăng lên, rừng sẽ được quản lý, bảo vệ hiệu quả hơn và có những biện pháp tác động để gia tăng về giá trị môi trường rừng.

4.2. Nghiên cứu sinh khối và tích lũy các bon của rừng dựa vào phương pháp sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám và GIS.

4.2.1. Phân loại lớp phủ rừng ngập mặn sử dụng ảnh quang học

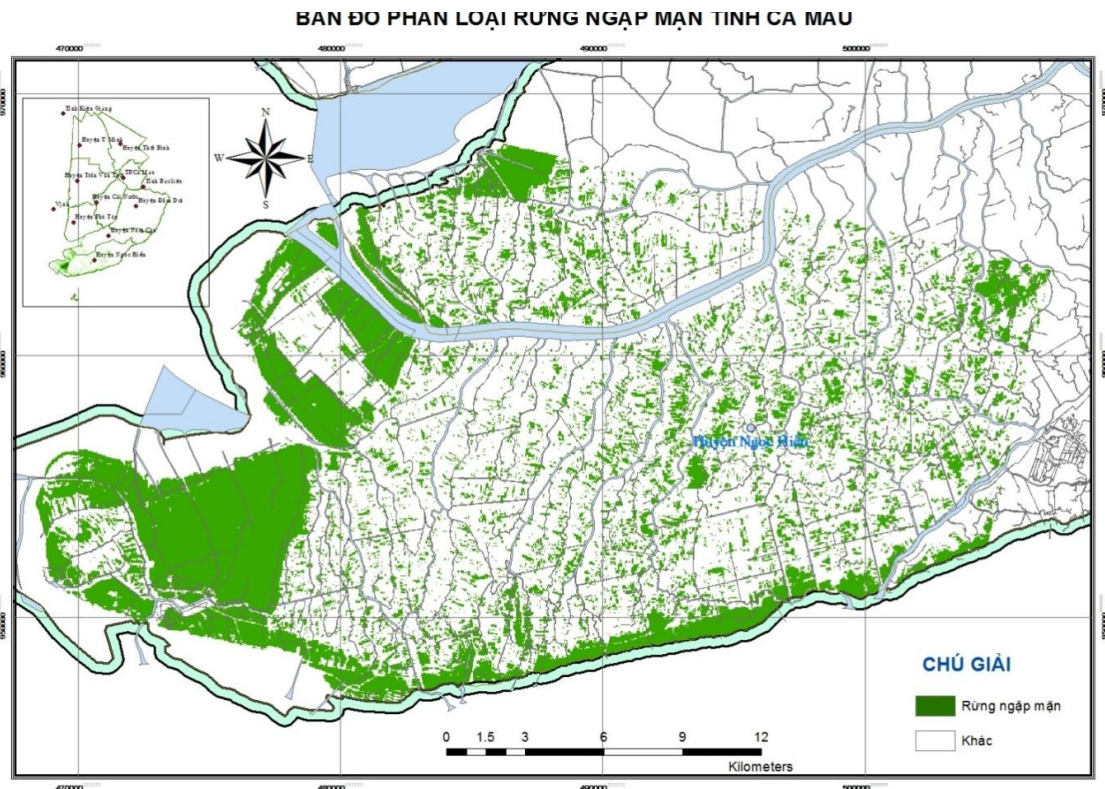
Việc tiến hành phân loại lớp phủ trong nghiên cứu này được chia thành 2 loại: có rừng và không có rừng. Kết quả phân loại nhằm mục đích tách diện tích đất có rừng ngập mặn để tính toán sinh khối tại khu vực nghiên cứu theo hàm hồi qui tìm được.

Kết quả thử nghiệm cho thấy, tại khu vực nghiên cứu, khi sử dụng phương pháp phân loại có kiểm định dựa trên các mẫu khóa ảnh đã được thu thập tại thực địa tương ứng trên ảnh tổ hợp màu giả 3 kênh ảnh NIR – RED - GREEN để phân

loại khó khăn hơn đối với khu vực diện tích rừng nhỏ và xen với vuông tôm. Do đó quá trình phân loại mất thời gian và kết quả phân loại có độ chính xác không cao.

Còn phân loại dựa trên ảnh chỉ số thực vật đối với khu vực này cho kết quả rất tốt và tiết kiệm thời gian, chỉ cần xác định ngưỡng chỉ số NDVI tương ứng với vùng có thực vật phân bố sau đó dùng công cụ trong phần mềm ARCGIS để tách vùng có rừng và không có rừng.

Kết quả phân loại lớp phủ theo chỉ số thực vật NDVI được thể hiện trong hình 4.12.



Hình 4.12. Bản đồ phân loại vùng có rừng ngập mặn tại Cà Mau

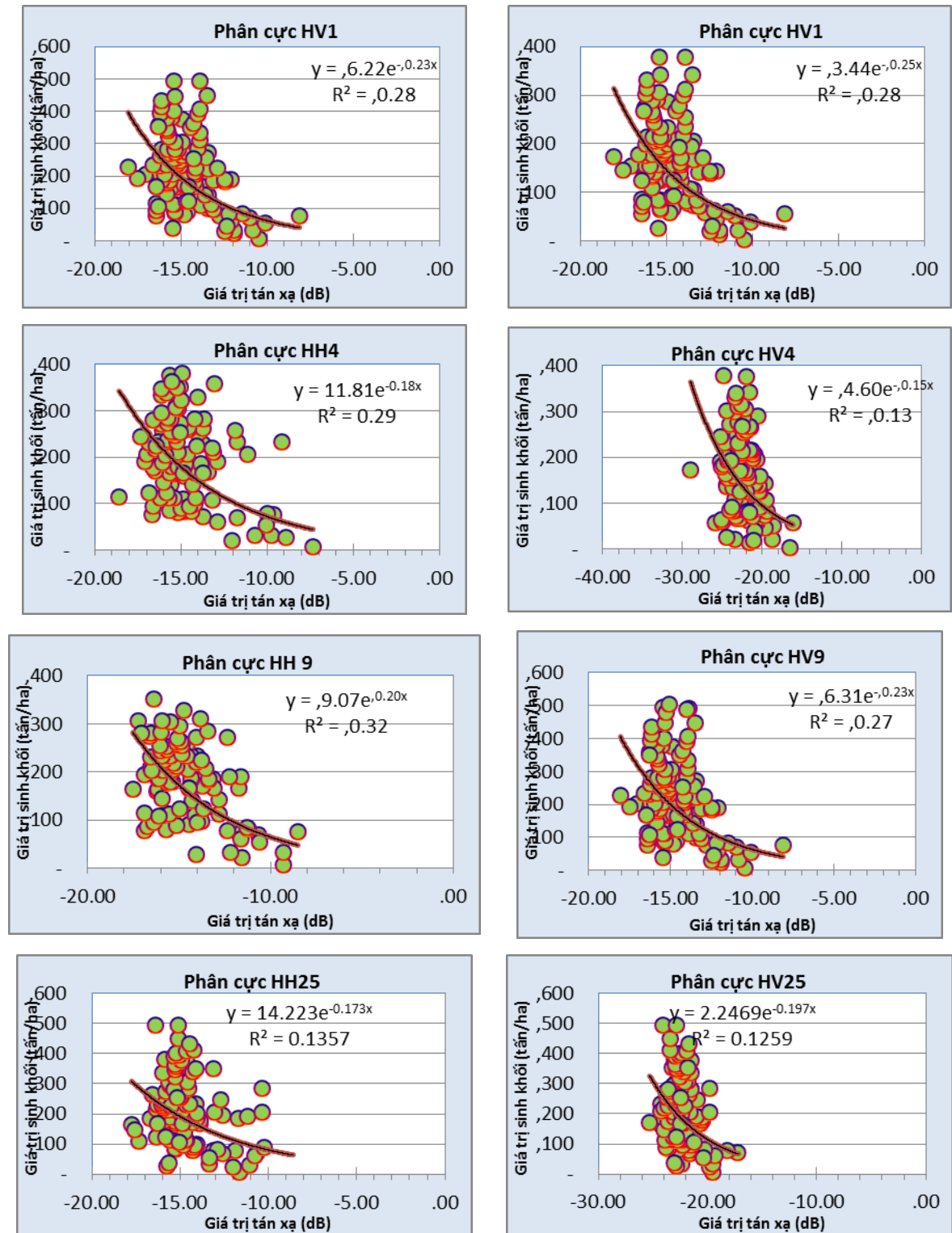
4.2.2. Phân tích quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược và giá trị phản xạ trên ảnh vệ tinh và sinh khối rừng trên mặt đất

4.2.2.1. So sánh phương pháp trích xuất giá trị phản xạ, tán xạ ngược

a) So sánh phương pháp trích xuất giá trị tán xạ ngược

Phương pháp trích xuất giá trị khác nhau có ảnh hưởng đến kết quả ước tính sinh khối, do đó khi trích xuất giá trị tán xạ ngược cần thử nghiệm trên nhiều cách thức khác nhau để mang lại độ tin cậy tốt nhất. Với việc thử nghiệm 4 cách trích

xuất giá trị tán xạ ngược khác nhau là 1 pixel, 4 pixel (2x2), 9 pixel (3x3) và 25 pixel (5x5), kết quả được thể hiện trong biểu đồ hình 4.13



Hình 4.13. Quan hệ giữa tán xạ ngược và sinh khối trên 2 phân cực tương ứng với 4 cách trích xuất giá trị.

Kết quả thử nghiệm cho thấy, trích xuất giá trị trung bình của phân cực HH có mức độ tương quan cao tăng dần khi tăng số lượng pixel lấy mẫu, giá trị trích xuất tán xạ ngược trung bình của 9 pixel đạt mức tương quan cao nhất, khi trích xuất giá trị trung bình của 25 pixel kết quả của cả 2 phân cực không làm tăng thêm mức độ tương quan giữa sinh khối và giá trị tán xạ ngược. Do đó, việc trích xuất giá trị trung bình trên 9 pixel trên ảnh có độ tin cậy cao hơn đối với điều kiện khu vực này.



Hình 4.14. Ảnh Alos Palsar- HH sử dụng trích xuất giá trị tán xạ ngược

b). Phân tích phương pháp trích xuất giá trị phản xạ trên ảnh quang học

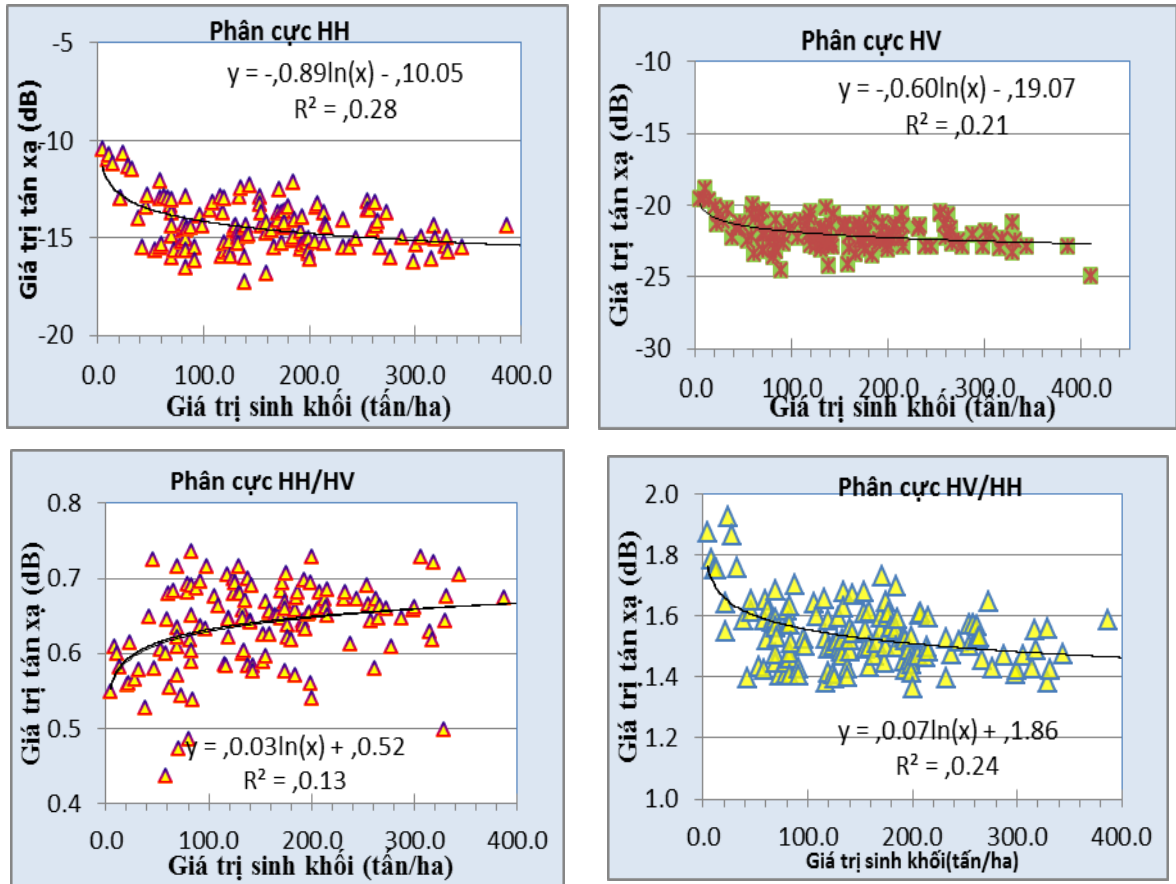
Kết quả khảo sát phương pháp lọc nhiễu và trích xuất giá trị phản xạ trên ảnh SPOT5 cũng đạt được kết quả tương tự như ảnh radar Alos Palsar kênh L. Trích xuất giá trị cường độ phản xạ trung bình của 9 pixel trên các kênh ảnh cho kết quả tốt nhất.

4.2.2.2. Quan hệ giữa giá trị trên ảnh vệ tinh và sinh khối rừng trên mặt đất.

a). Quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược trên ảnh vệ tinh ALOS PALSAR và sinh khối rừng trên mặt đất.

Kết quả được trình bày trong hình 4.15, chi tiết được tổng hợp tại Phụ lục 11.

(Bảng số liệu trong phụ lục 11)

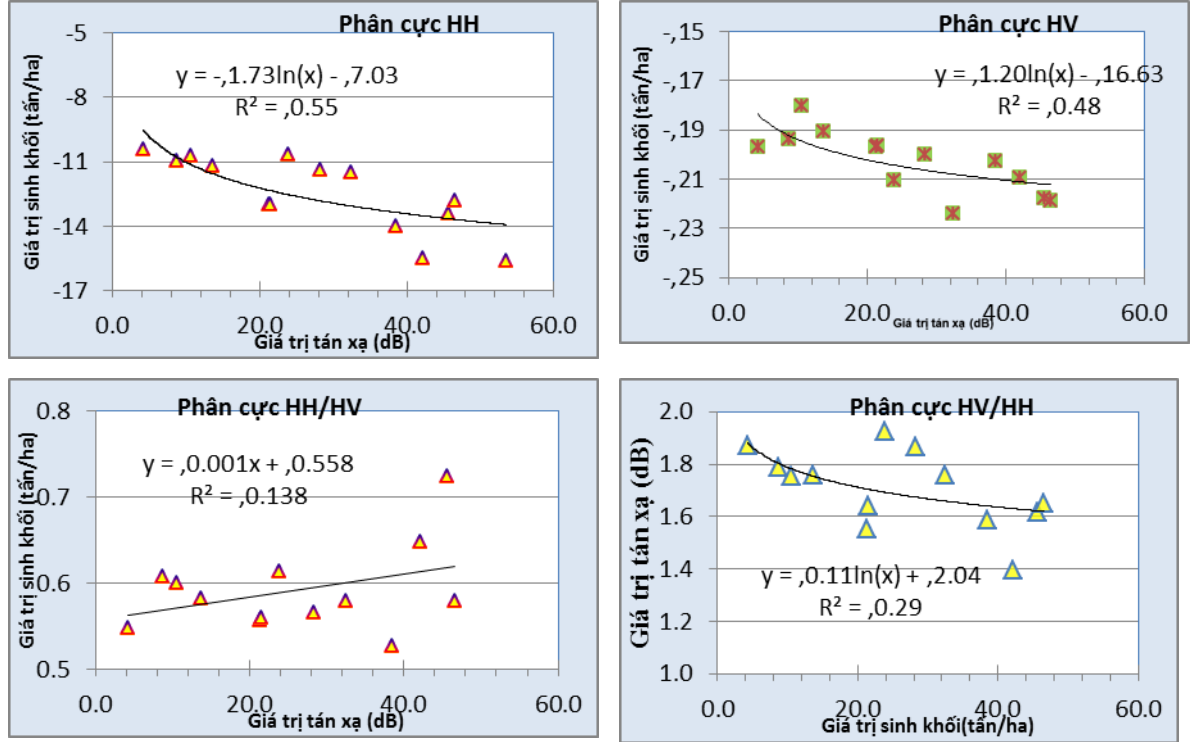


Hình 4.15. Quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược và sinh khối rừng trên mặt đất

Qua khảo sát trên ảnh ở khu vực nghiên cứu cho thấy, giá trị tán xạ ngược giảm dần từ khu vực có sinh khối nhỏ đến sinh khối lớn. Những khu vực sinh khối lớn có tán xạ ngược thấp và bão hòa ở mức sinh khối trên 100 tấn, giá trị tán xạ ngược phân cực HH tập trung ở mức -18 đến -10 dB, phân cực HV tập trung ở mức -25 đến -18 dB.

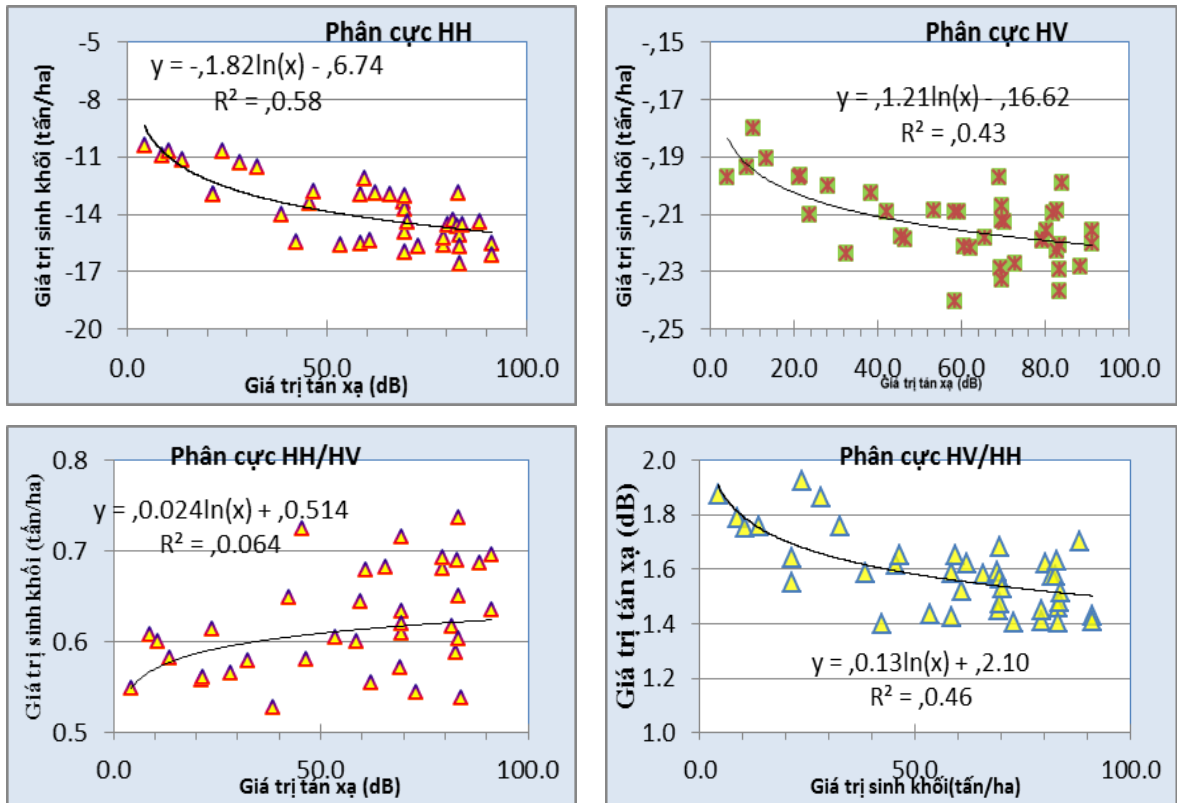
Xét về mức độ tương quan có thể đánh giá: mối quan hệ giữa sinh khối và giá trị tán xạ ngược không tốt khi hệ số xác định cao nhất đạt là $R^2 = 0,28$, chứng tỏ mối tương quan rất thấp. Do đó không thể sử dụng quan hệ này để thiết lập mô hình tính toán sinh khối cho toàn bộ khu vực. Vì vậy, cần tiếp tục phân tích, khảo sát mối quan hệ giữa sinh khối và giá trị tán xạ ngược ở các mức sinh khối khác nhau để xác định mức độ bão hòa và giá trị tương quan đạt cao nhất, từ đó xây dựng mô hình tương quan và xác định các biến tham gia xây dựng mô hình tương quan ước tính sinh khối rừng Đước.

Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối khác nhau của rừng Đước tỉnh Cà Mau được thể hiện trong biểu đồ tại các hình 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 và 4.20.



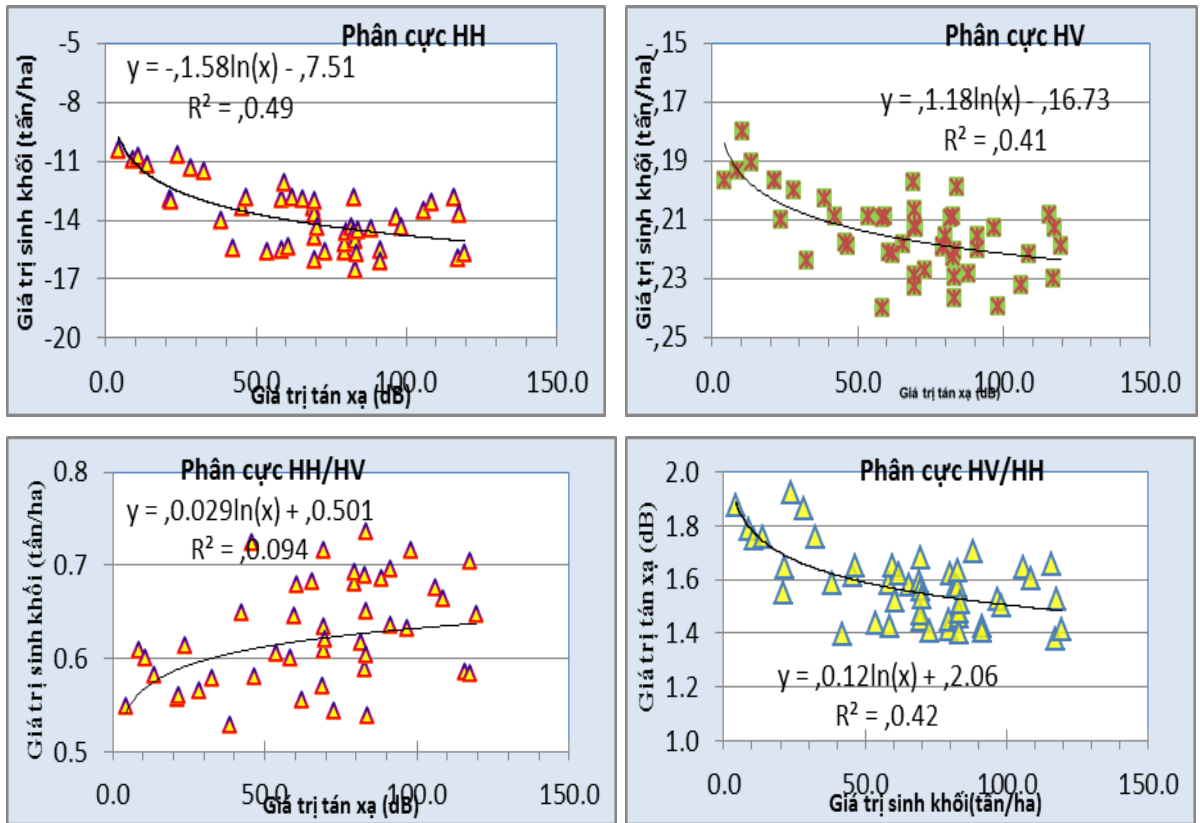
Hình 4.16. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 50 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.

Ở đồ thị hình 4.16 cho thấy, khi xét mối tương quan giữa sinh khối trên mặt đất và giá trị tán xạ ngược ở mức sinh khối 50 tấn trở xuống thì phân cực HH và HV có mối quan hệ khá chặt chẽ. Phân cực HV có hệ số xác định $R^2 = 0,48$, đối với phân cực HH của ảnh, giá trị tán xạ có hệ số xác định cao hơn phân cực HV với $R^2 = 0,55$. Còn lại ở ảnh tỉ số phân cực có hệ số xác định rất thấp (ảnh tỉ số HH/HV, $R^2 = 0,14$; HV/HH, $R^2 = 0,29$), do đó mức độ tương quan giữa giá trị tán xạ của ảnh tỉ số với sinh khối rừng không tồn tại sự tương quan.



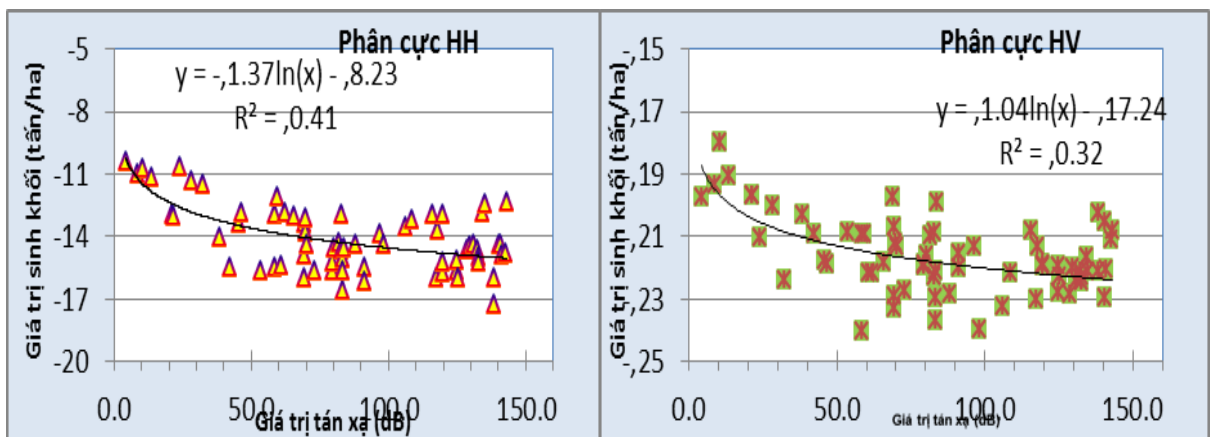
Hình 4.17. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 100 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.

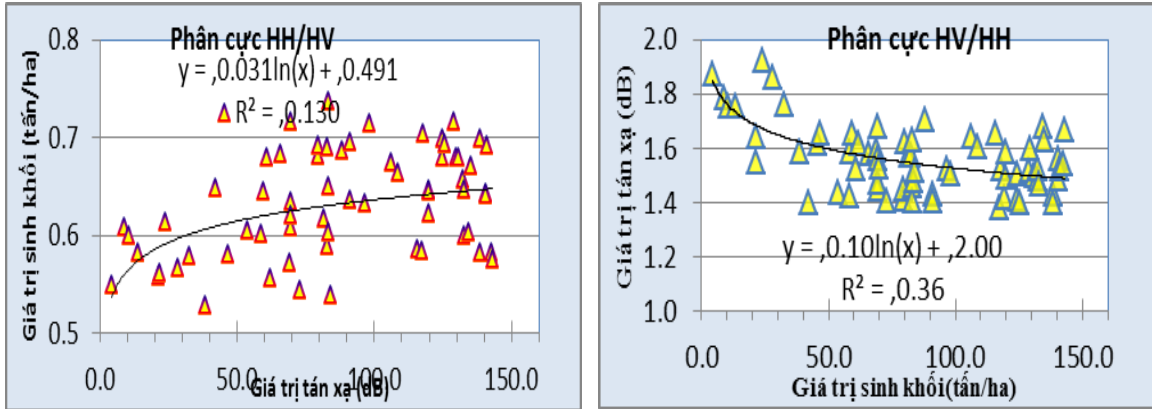
Ở hình 4.17, khi khảo sát tăng mức sinh khối lên 100 tấn/ha mức độ tương quan giữa sinh khối trên mặt đất và giá trị tán xạ ngược tăng lên đáng kể. Đối với phân cực HH, hệ số xác định đạt mức cao nhất $R^2 = 0,58$ với giá trị tán xạ ngược giao động trong khoảng từ - 17 đến - 9dB và hệ số xác định đối với kênh ảnh tỉ số giữa phân cực HV/HH cũng đạt mức cao nhất với $R^2 = 0,46$ với giá trị tán xạ ngược giao động trong khoảng từ 1,4 đến - 1,9 dB. Còn phân cực HV có hệ số xác định giảm xuống. Như vậy, với mức sinh khối tăng lên 100 tấn/ha, không thể sử dụng phân cực HV để tính sinh khối, phân cực HV chỉ nhạy cảm với các vùng có sinh khối nhỏ hơn 50 tấn/ha.



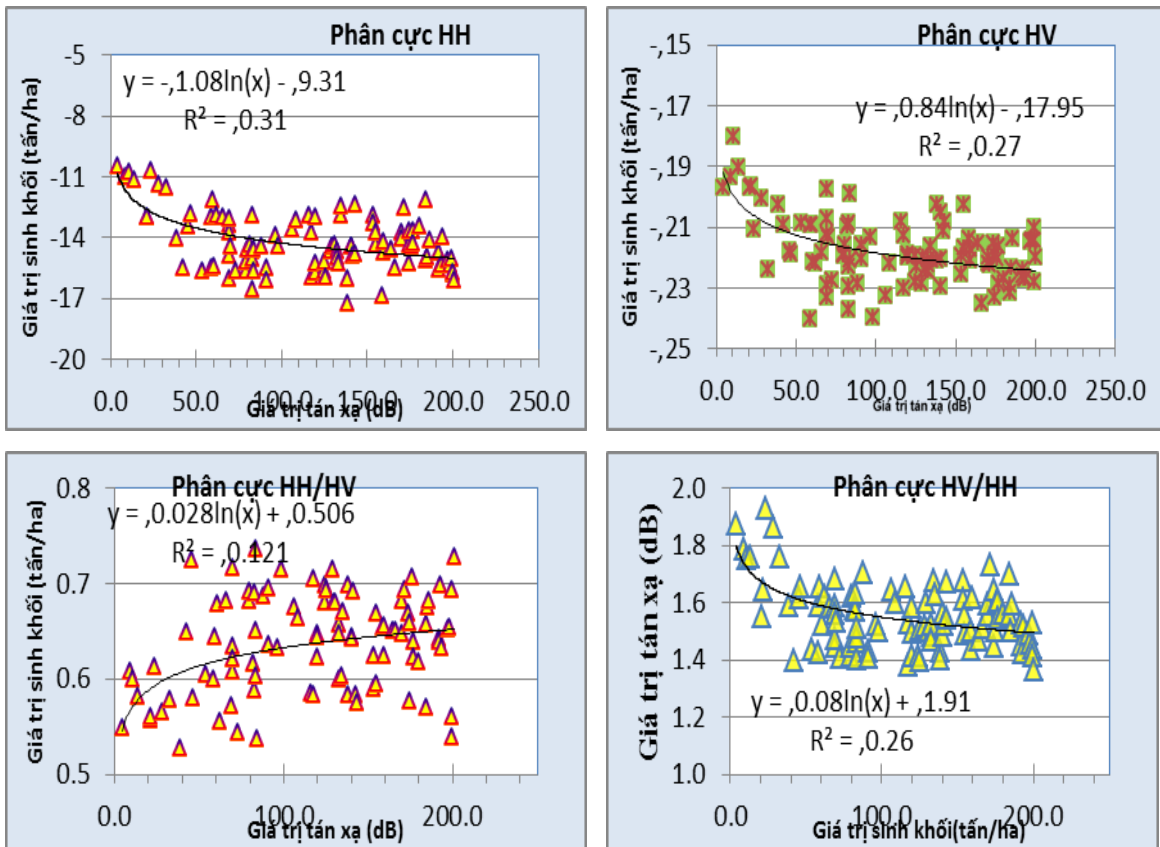
Hình 4.18. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 120 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.

Ở hình 4.18, cho thấy khi khảo sát tăng mức sinh khối lên 120 tấn/ha gần như các phân cực có sự giảm xuống về mức độ tương quan. Phân cực HH hệ số xác định cao nhất với $R^2 = 0,49$. Còn lại phân cực HV và ảnh tỉ số phân cực HH/HV và HV/HH đều giảm và tương quan thấp.





Hình 4.19. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 150 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.



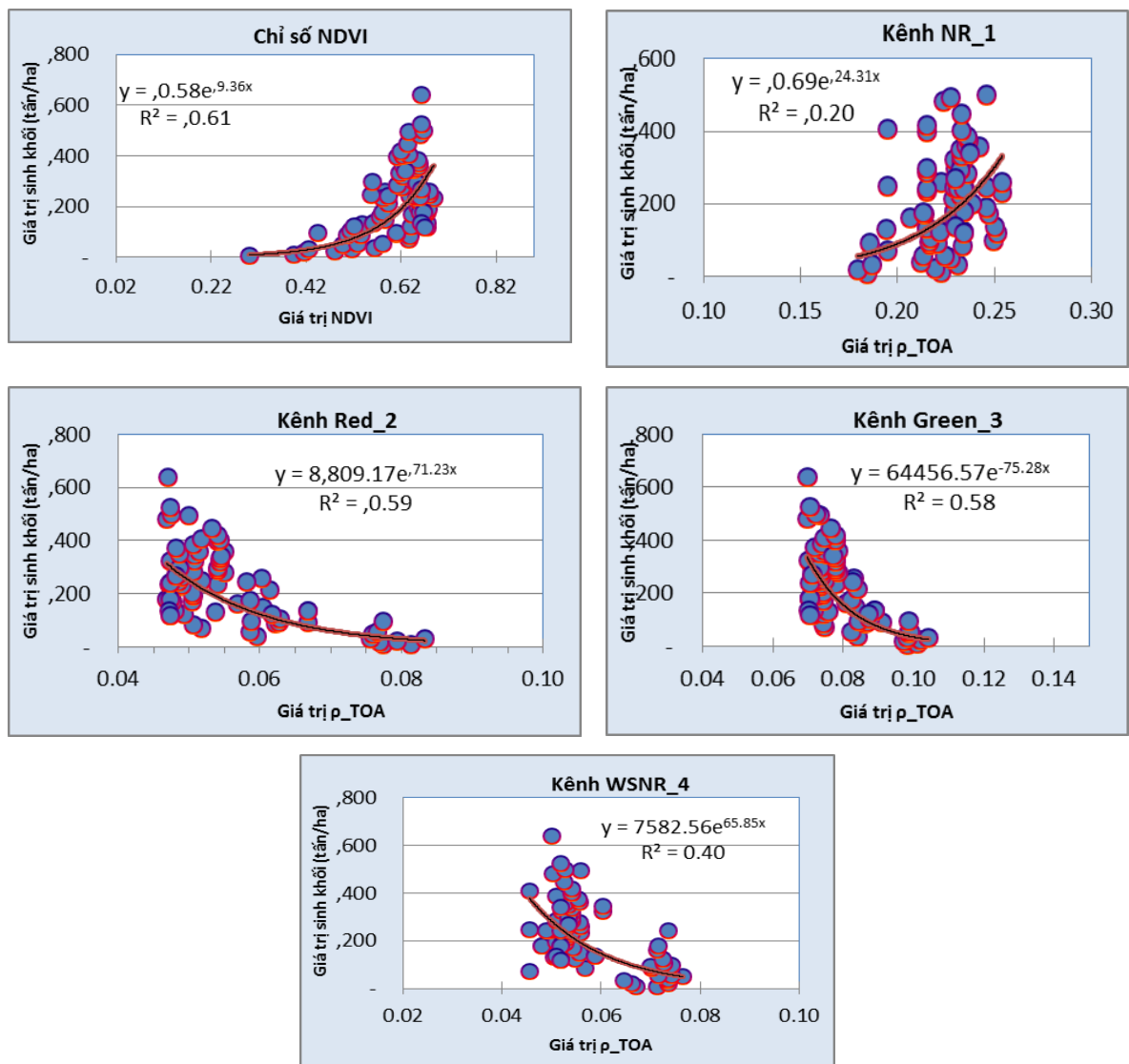
Hình 4.20. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với tán xạ ngược trên ảnh ở mức sinh khối dưới 200 tấn/ha của rừng Đước tỉnh Cà Mau.

Hình 4.19 và 4.20 cũng cho thấy, khi giá trị sinh khối các ô tiêu chuẩn tăng lên thì hệ số xác định của các phân cực giảm dần. Nói cách khác là giá trị tán xạ trên ảnh ALOS PALSAR bão hòa đối với rừng có sinh khối trên mặt đất nhỏ hơn 100 tấn/ha đối với phân cực HH và 50 tấn/ha đối với phân cực HV.

Như vậy, tại khu vực nghiên cứu phân cực HH có tương quan tốt nhất với sinh khối rừng ở mức 100 tấn/ha trở xuống, còn phân cực HV có tương quan tốt nhất với sinh khối rừng ở mức 50 tấn/ha trở xuống. Do đó, có thể sử dụng mối quan hệ này để ước tính sinh khối, còn đối với diện tích rừng có sinh khối lớn hơn 100 tấn/ha sử dụng phương pháp khác để ước tính sinh khối chính xác hơn.

b). Quan hệ giữa giá trị phản xạ trên các kênh ảnh và chỉ số NDVI trên ảnh vệ tinh SPOT 5 và sinh khối rừng trên mặt đất.

Kết quả phân tích khả năng phân xạ của rừng Đước trên ảnh SPOT 5 được thể hiện trong hình 4.21 (Bảng số liệu trong phụ lục 12)



Hình 4.21. Quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với giá trị cường độ phản xạ trên ảnh SPOT 5 của rừng Đước tỉnh Cà Mau.

Kết quả hình 4.21 cho thấy, giá trị cường độ phản xạ trên kênh chỉ số NDVI là cao nhất, với mức cường độ phản xạ ρ_{TOA} biến động từ 0,4 – 0,7; kênh hồng ngoại biến động từ khoảng 0,12 – 0,26, còn lại trên kênh đỏ và kênh lục giá trị phản xạ tương đối thấp. Điều này hoàn toàn phù hợp với đặc tính phản xạ phổ của thực vật đã được nghiên cứu trước đây, đó là thực vật phản xạ tốt nhất với kênh hồng ngoại, còn trong vùng nhìn thấy phản xạ tốt nhất với kênh màu lục. Còn với kênh đỏ trong vùng nhìn thấy phản xạ kém hơn (Nguyễn Ngọc Thạch và cộng sự, 1997).

Quan sát mối quan hệ giữa giá trị sinh khối trên mặt đất với giá trị cường độ phản xạ trên ảnh SPOT 5 của rừng Đước tỉnh Cà Mau trong hình 4.21 còn có thể nhận thấy, đối với kênh chỉ số thực vật NDVI và kênh hồng ngoại, giá trị phản xạ tăng lên khi sinh khối tăng, còn kênh đỏ, lục và hồng ngoại sóng ngắn khi sinh khối tăng dẫn tới khả năng phản xạ càng kém.

4.2.3. Mô hình tương quan hồi quy ước tính sinh khối rừng

4.2.3.1. Mô hình tương quan hồi quy ước tính sinh khối rừng dựa trên dữ liệu ảnh ALOS PALSAR

Giá trị tán xạ ô tiêu chuẩn được đo trên ảnh ALOS PALSAR và giá trị sinh khối đo đạc và tính toán ngoài thực địa đã được chuẩn hóa về cùng thời điểm ảnh thu nhận được sử dụng để tính toán tương quan hồi quy.

a). Mô hình tương quan dựa trên một biến

Kết quả xây dựng các mô hình hồi quy giữa sinh khối rừng Đước và giá trị tán xạ ngược được thể hiện trong bảng 4.16.

Bảng 4.16. Mô hình hồi quy một biến giữa giá trị tán xạ trên ảnh ALOS PALSAR và sinh khối trên mặt đất

TT	Phương trình lập được	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TABG}) = 1/(0,177 + 45600000 \cdot \text{HH}^{-4^2})$	0,66	0,17	0,04	0,03
2	$\ln(\text{TABG}) = \exp(1,59 - 1,27\text{E}8 \cdot \text{HH}^{-4^2})$	0,68	1,06	0,12	0,09
3	$\ln(\text{TABG}) = 1/(0,195 + 4,34\text{E}7 \cdot \text{HH}^{-4^2})$	0,69	0,12	0,04	0,03
4	$\ln(\text{TABG}) = (2,2 - 1,13\text{E}8 \cdot \text{HH}^{-4^2})^2$	0,65	0,95	0,12	0,09
5	$\ln(\text{TABG}) = 1/(0,212 + 5,76\text{E}11 \cdot \text{HH}^{-6^2})$	0,75	0,09	0,04	0,02

Kết quả xây dựng các mô hình hồi quy giữa sinh khối rừng Đước và giá trị tán xạ ngược ở bảng cho thấy, tất cả các biến độc lập các mô hình được chọn đều là giá trị tán xạ ngược trích xuất từ phân cực HH và hệ số xác định R^2 trên 65%. Mô hình $\ln(\text{TABG}) = 1/(0.212 + 5.76E11*HH^{-6})$ có hệ số xác định cao nhất (mô hình 5) với $R^2 = 0,75$, với SSR (0,09), SEE (0,04) và MAE (0,02) là thấp nhất. Do đó mô hình 5 được chọn để dự báo sinh khối.

b). Mô hình tương quan đa biến

Kết quả hồi quy đa biến giữa giá trị tán xạ ngược trên ảnh ALOS PALSAR và sinh khối trên mặt đất được trình bày trong bảng 4.17. Kết quả phân tích hồi quy cho thấy khi sử dụng hàm đa biến cho giá trị tán xạ cả hai phân cực HH và HV hệ số xác định R^2 không cao hơn.

Bảng 4.17. Mô hình hồi quy đa biến giữa giá trị tán xạ trên ảnh ALOS PALSAR và sinh khối trên mặt đất

TT	Phương trình	Các chỉ tiêu thống kê			
		R^2	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TABG}) = 8,25 - 0,00756*HV*HH - 5,46E4*HH^{-4}$	0,58	15,4	0,48	0,38
2	$\ln(\text{TABG}) = 54,2 + 8,4E4*HV^{-3} + 1,49*HH - 14,1*HV*HH + 2,06*HH*HV$	0,63	14,1	0,46	0,43
3	$\ln(\text{TABG}) = 29,0 - 1,35*HV + 1,84*HH - 18,1*HV*HH$	0,54	17,3	0,5	0,4
4	$\ln(\text{TABG}) = 55,2 + 8,36E4*HV^{-3} + 1,46*HH - 14,1*HV*HH$	0,60	15,2	0,47	0,36

Việc hồi quy sử dụng giá trị đo tán xạ nhiều phân cực không cải thiện hơn so với việc sử dụng giá trị đo tán xạ ngược của phân cực HH. Kết quả phân tích hồi quy giữa giá trị tán xạ trên ảnh và sinh khối rừng khi sử dụng cả giá trị đo phân cực HH và HV không cho kết quả tốt hơn sử dụng phân cực HH. Cụ thể, hệ số xác định R^2 giảm khi hàm hồi quy sử dụng giá trị đo tán xạ ảnh phân cực HH và HV; Sai số cao hơn. Điều này có thể giải thích, khi khảo sát mối quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược trên ảnh Alos Palsar với sinh khối rừng thì phân cực HH có sự tương quan với sinh khối rừng cao hơn so với phân cực HV, khi thêm biến số này vào mô hình sẽ làm giảm mức độ tương quan giữa giá trị tán xạ trên ảnh với sinh khối rừng. Do đó,

mối quan hệ tương quan giữa sinh khối với giá trị tán xạ ngược của ảnh của hàm đa biến có độ tin cậy thấp hơn nên mô hình đa biến không được sử dụng để ước tính sinh khối rừng.

c). Kết quả kiểm chứng mô hình ước tính sinh khối dựa trên giá trị tán xạ ngược.

Kết quả kiểm nghiệm mô hình một biến dựa vào các ô tiêu chuẩn không tham gia vào quá trình xử lý và xây dựng mô hình tương quan được thể hiện trong bảng 4.18. Mô hình được kiểm chứng: $\ln(\text{TABG}) = 1/(0.212 + 5.76E11 * \text{HH}^{-6^2})$

Bảng 4.18. Kết quả kiểm chứng mô hình dựa trên giá trị tán xạ ngược.

TT	Tên ô	HH (dB)	HV (dB)	HV/HH	HH/HV	Sinh khối đo (tấn/ha)	SK tính (tấn/ha)	Chênh lệch (tấn/ha)	S%
				(dB)	(dB)				
1	DM04	-9,72	-17,60	1,81	0,63	2,16	2,66	0,50	23,08
2	Cmadot1DC17	-10,18	-20,79	2,04	0,65	7,15	4,38	2,77	38,76
4	2012N6	-10,46	-20,29	1,94	0,55	18,46	6,24	12,21	66,17
3	CmaHai20	-12,317	-20,207	1,640	0,469	31,10	47,33	16,22	52,17
6	Cmadot1DC	-13,904	-22,673	1,630	0,677	57,13	88,55	31,42	55,01
7	Cmad1DC12	-11,89	-19,53	1,64	0,66	67,34	33,82	33,53	49,78
5	CmaHai207	-13,206	-20,908	1,58	0,53	69,06	73,83	4,76	6,90
8	Cmad1DC11	-12,11	-20,86	1,72	0,58	75,03	40,66	34,36	45,80
9	CmaHai206	-13,724	-20,619	1,50	0,50	75,05	85,32	10,26	13,67
10	VAD11	-12,694	-21,31	1,68	0,64	82,56	59,33	23,23	28,14
11	TA81	-16,675	-24,033	1,44	0,68	84,45	108,79	24,34	28,82
12	DM02	-12,33	-20,57	1,67	0,51	88,02	47,65	40,37	45,86
13	Cmad1HV23	-16,064	-21,798	1,35	0,60	88,52	107,12	18,60	21,01
14	Cmadot1HV17	-13,403	-21,651	1,61	0,67	93,98	78,59	15,39	16,37
15	NH02	-12,928	-21,488	1,66	0,58	94,13	66,29	27,83	29,57
16	2012N3	-16,169	-24,592	1,52	0,73	104,03	107,47	3,44	3,31
21	CmaHai193	-14,73	-22,88	1,55	0,57	104,08	99,17	4,91	4,72
18	TA62	-13,52	-21,71	1,61	0,53	139,38	81,11	58,27	41,81
19	TA44	-17,46	-26,83	1,54	0,60	153,86	110,07	43,79	28,46
20	TA32	-15,11	-22,26	1,47	0,67	155,69	102,32	53,38	34,28
Trung bình								23,0	31,7
RMSE									15,2

Kết quả kiểm nghiệm mô hình hồi quy đơn biến $\ln(\text{TAGB}) = 1/(0.212 + 5.76E11 \cdot \text{HH}^{-6})$ cho thấy tại các ô tiêu chuẩn có sinh khối thấp, chênh lệch giữa giá trị sinh khối đo và sinh khối tính là thấp hơn. Kết quả kiểm nghiệm khả quan với sai số trung phương 15,2 tấn/ha. Tỷ lệ về sai số sinh khối tính với sinh khối rừng đo có sai số độ lệch chuẩn là 31,7 %, hay nói cách khác, tính sinh khối qua mô hình hồi quy đơn biến có thể cho độ chính xác 68,3 %. Như vậy, ước tính tính sinh khối thông qua mô hình đối với sinh khối dưới 150 tấn/ha có thể cho độ chính xác 68 % khi sử dụng mô hình.

4.2.3.2. Mô hình tương quan hồi quy ước tính sinh khối rừng dựa trên dữ liệu ảnh SPOT 5

a). Mô hình tương quan dựa trên một biến

Kết quả xây dựng mô hình tương quan dựa trên một biến giữa sinh khối và đo đặc giá trị phản xạ của các kênh ảnh và ảnh chỉ số NDVI trên ảnh SPOT5 (10x10m) được thể hiện trong bảng 4.19 và 4.20

Tương quan giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng

Bảng 4.19. Mô hình hồi quy một biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất

TT	Phương trình	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0,0998635 + 0,00026 \cdot \text{NIR}^{-2})$	0,48	0,09	0,05	0,03
2	$\ln(\text{TAGB}) = (2,75296 - 163,465/\text{Red}^{-2})^2$	0,70	0,65	0,12	0,09
3	$\text{TAGB} = \exp(6,52215 - 34860,3 \cdot \text{Green}^2)$	0,69	11,4	0,52	0,40
4	$\ln(\text{TAGB}) = \sqrt{43,4602 - 4760,46 \cdot \text{WSNR}^2}$	0,48	153,17	5,97	4,66

Kết quả bảng 4.28 cho thấy, khi xây dựng mối tương quan giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất tại khu vực nghiên cứu, thì kênh đỏ với bước sóng từ 0,6 – 0,7 micromet cho mối tương quan cao nhất (R² = 0,70), với sai số nhỏ nhất.

Bảng 4.20. Mô hình hồi quy giữa Chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng trên mặt đất

TT	Phương trình	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(3,02231 - 0,851803/\text{NDVI})$	0,79	0,47	0,10	0,08
2	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,24351 - 0,226061/\text{NDVI}^2)$	0,81	0,43	0,10	0,08
3	$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0,13489 + 0,0082*\text{NDVI}^{-2})$	0,86	0,03	0,02	0,02
4	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(1,857 - 0,0286599*\text{NDVI}^{-2})$	0,81	0,42	0,10	0,07

So sánh kết quả hồi quy giữa sinh khối với giá trị phản xạ trên các kênh ảnh trên bảng 4.22 ta thấy, mô hình hồi quy giữa chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng trên mặt đất cao hơn, trong đó mô hình 3 có hệ số xác định cao nhất ($R^2 = 0,86$), $SSR = 0,03$, $SEE = 0,02$ và $MAE = 0,02$. Do đó mô hình 3 được lựa chọn để ước tính sinh khối rừng. Mô hình có dạng: **$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0,13489 + 0,00823004*\text{NDVI}^{-2})$**

b). Mô hình tương quan đa biến

Kết quả thử nghiệm mô hình hồi quy đa biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất được thể hiện trong bảng 4.21

Bảng 4.21. Mô hình hồi quy đa biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh và sinh khối rừng trên mặt đất

TT	Phương trình lập được	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TAGB}) = 10,8558 + 16,0739*\text{NIR} - 0,0092724*\text{Red}^{-2} - 983,923*\text{Green}^2$	0,78	8,13	0,45	0,34
2	$\ln(\text{TAGB}) = 9,25044 - 13,0547*\text{NDVI}^5 + 379,385*\text{NIR}*\text{Red} - 1226,17*\text{Green}^2$	0,78	8,07	0,44	0,33
3	$\ln(\text{TAGB}) = 6,74279 + 259,796*\text{NIR}*\text{Red} - 783,552*\text{Green}^2$	0,75	9,10	0,46	0,37
6	$\ln(\text{TAGB}) = 13,8907 - 49,8774*\text{NDVI}^8 + 55,3977*\text{NIR}^2 - 133,082*\text{Green}$	0,78	8,07	0,44	0,34
7	$\ln(\text{TAGB}) = 7,53 + 189,947*\text{NDVI}*\text{Red} - 110,972*\text{Green}$	0,76	8,90	0,46	0,36

So sánh kết quả thử nghiệm với mô hình hồi quy đơn biến giữa giá trị phản xạ của các kênh ảnh cho thấy, mô hình hồi quy đa biến có mối tương quan cao hơn. Tuy nhiên, so với mức độ tương quan với chỉ số thực vật NDVI thì các mô hình này có hệ số tương quan thấp hơn. Như vậy, khi dùng chỉ số thực vật để ước tính sinh khối rừng cho kết quả tốt hơn so với việc sử dụng cá thể các kênh phổ hoặc chỉ số NDVI kết hợp với các kênh phổ, điều này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây đối với các đối tượng rừng khác.

c). Kết quả kiểm chứng mô hình ước tính sinh khối dựa trên ảnh SPOT

Đối với mô hình một biến: $\ln(\text{TABG}) = 1/(0,13489 + 0,00823004 * \text{NDVI}^{-2^2})$

Kết quả kiểm nghiệm mô hình tương quan giữa chỉ số thực vật NDVI với sinh khối rừng trên mặt đất dựa vào các ô tiêu chuẩn không tham gia vào quá trình xử lý và xây dựng mô hình tương quan được thể hiện trong bảng 4.22.

Bảng 4.22. Kết quả kiểm chứng mô hình

TEN_O	NDVI	b1_NIR	b2_Red	b3_Green	TABG đo	TABG tính	Chênh lệch	S%
DM 35	12,3	4,5	12,3	4,5	270,7	263,07	12,3	4,5
DM 14	34,1	14,2	34,1	14,2	285,1	273,57	34,1	14,2
DM 22	105,1	28,2	105,1	28,2	276,9	267,67	105,1	28,2
DM 31	37,3	16,6	37,3	16,6	269,1	261,91	37,3	16,6
DM 34	101,5	29,0	101,5	29,0	250,7	247,99	101,5	29,0
NM03	34,9	26,1	34,9	26,1	90,3	98,67	34,9	26,1
NM04	72,3	33,8	72,3	33,8	130,2	141,29	72,3	33,8
2012_N_1	18,7	58,8	18,7	58,8	15,8	13,08	18,7	58,8
CMD-ĐM	56,8	44,0	56,8	44,0	67,3	72,37	56,8	44,0
2012_N_4	0,3	3,5	0,3	3,5	10,7	8,25	0,3	3,5
2012_N_5	9,4	43,2	9,4	43,2	32,3	31,19	9,4	43,2
Trung bình							43,9	27,5
RMSE								16,8

Kết quả kiểm nghiệm mô hình cho thấy tại các ô tiêu chuẩn có sinh khối thấp, chênh lệch giữa giá trị sinh khối đo và sinh khối tính thấp hơn so với những ô có sinh khối lớn. Kết quả kiểm nghiệm với sai số trung phương 16,8 tấn/ha. Tỷ lệ về

sai số sinh khối tính từ mô hình tương quan với giá trị trích xuất từ ảnh viễn thám quang học với sinh khối rừng đo từ các ô tiêu chuẩn có sai số độ lệch chuẩn là 27,5 %, hay nói cách khác tính sinh khối qua mô hình đơn biến có thể cho độ chính xác tới 72 %.

Đối với mô hình đa biến:

$$\log(\text{TAGB}) = 9.25044 - 13.0547 \cdot \text{NDVI}^5 + 379.385 \cdot \text{NIR} \cdot \text{Red} - 1226.17 \cdot \text{Green}^2$$

Bảng 4.23. Kết quả kiểm chứng mô hình

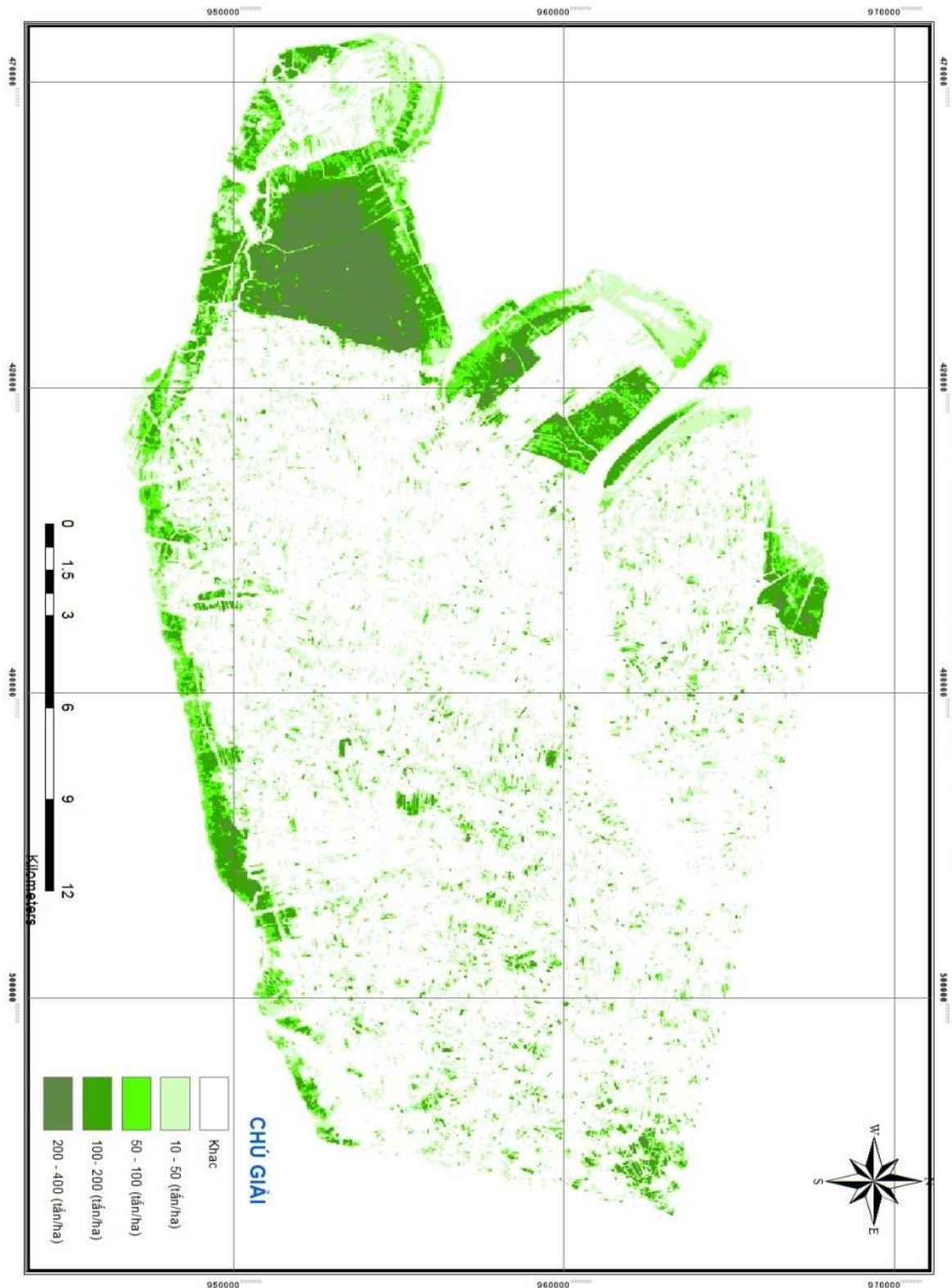
TEN_O	NDVI	b1_NR	b2_Red	b3_Green	TABG đo	TABG tính	Chênh lệch	S%
DM 35	0,656	0,237	0,049	0,074	275,41	208,2	67,2	24,4
DM 14	0,660	0,236	0,047	0,070	239,48	336,3	96,8	40,4
DM 22	0,658	0,234	0,048	0,071	372,79	291,1	81,7	21,9
DM 31	0,655	0,230	0,049	0,073	224,62	220,3	4,3	1,9
DM 34	0,649	0,233	0,049	0,074	349,51	218,2	131,3	37,6
NM03	0,561	0,228	0,065	0,088	133,54	111,6	21,9	16,4
NM04	0,592	0,242	0,063	0,085	213,57	170,4	43,2	20,2
2012_N_1	0,424	0,179	0,085	0,105	31,75	3,7	28,0	88,2
CMD1-ĐM	0,537	0,190	0,054	0,076	129,14	250,3	121,2	93,8
2012_N_4	0,395	0,230	0,079	0,100	8,55	45,5	37,0	432,2
2012_N_5	0,479	0,222	0,078	0,102	21,77	16,4	5,4	24,7
Trung bình							58,0	72,9
RMSE								21,7

Kết quả kiểm nghiệm mô hình trong bảng 4.23 cho thấy, mô hình ước tính khả quan với sai số 21,7 tấn/ha. Tỷ lệ về sai số sinh khối tính với sinh khối rừng đo có sai số lệch chuẩn là 72,9 %, như vậy, ước tính tính sinh khối thông qua mô hình đa biến cho độ chính xác thấp khoảng 30% so với mô hình đơn biến sử dụng giá trị NDVI, do đó khi ước tính sinh khối rừng bằng ảnh SPOT, sử dụng mô hình tương quan giữa NDVI và sinh khối để ước tính.

4.2.4. Bản đồ sinh khối và các bon của rừng Đước tại Cà Mau

Do ảnh ALOS PALSAR có ngưỡng bão hòa giá trị tán xạ ngược trên ảnh đối với sinh khối rừng trên mặt đất thấp (120 tấn/ha), trong khi rừng Đước tại khu vực nghiên cứu có sinh khối cao nên việc sử dụng mô hình tương quan giữa sinh khối với giá trị tán xạ ngược của ảnh ALOS PALSAR không được sử dụng để lập bản đồ sinh khối. Do đó, để lập bản đồ sinh khối và tích lũy các bon rừng Đước tại tỉnh Cà

Mau, ảnh SPOT5 đã được sử dụng để lập bản đồ.



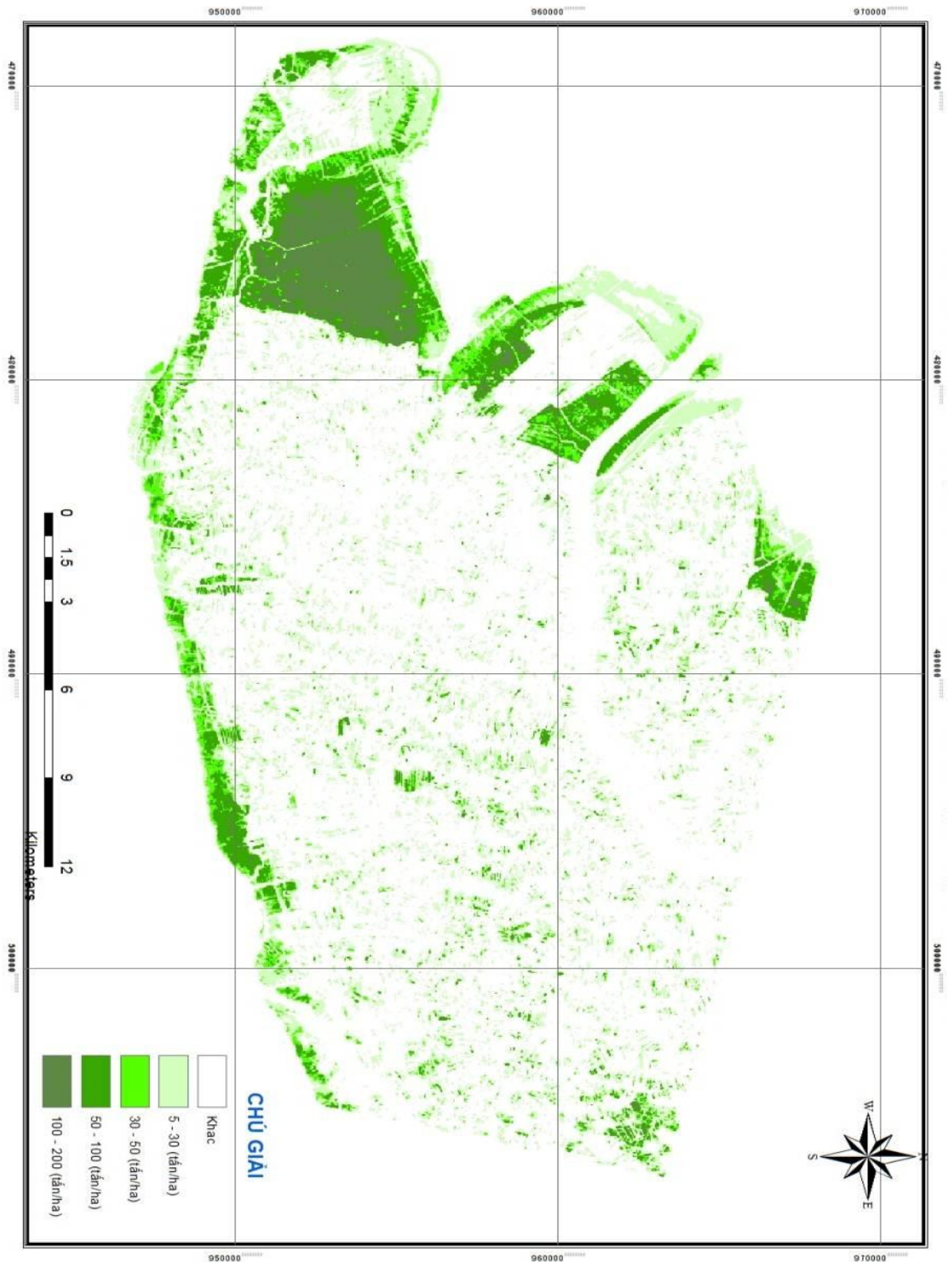
Hình 4.22. Bản đồ phân cấp sinh khối rừng Đước tại tỉnh Cà Mau

Bản đồ sinh khối rừng ngập mặn Cà Mau được lập dựa trên 1 cảnh ảnh SPOT5 (10x10 m) và sử dụng hàm hồi quy một biến giữa giá trị NDVI của ảnh SPOT 5 lọc 3x3 và sinh khối rừng trên mặt đất của các ô tiêu chuẩn.

Phương trình sử dụng để tính sinh khối rừng trên mặt đất tỉnh Cà Mau từ chỉ số thực vật NDVI trên ảnh SPOT 5 như sau: **$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0.13489 + 0.00823004 * \text{NDVI}^{-2})$** . với hệ số xác định là $R^2 = 0,84$. Kết quả lập bản đồ sinh khối được thể hiện trong hình 4.22.

Bản đồ sinh khối Cà Mau được phân cấp thành 4 cấp sinh khối rất thấp (10 – 50 tấn/ha), sinh khối thấp (51 – 100 tấn/ha), sinh khối trung bình (101 – 250 tấn/ha) và sinh khối cao (251 – 600 tấn/ha). Khu vực sinh khối cao (trên 250 tấn/ha) chủ yếu tập trung ở vùng lõi VQG Đất Mũi, còn lại một ít diện tích phân bố rải rác tại các lâm ngư trường. Rừng có mức sinh khối từ 100 – 250 tấn/ha phân bố nhiều nhất trong khu vực nghiên cứu. Khu vực sinh khối rất thấp chủ yếu là khu vực bãi bồi có mầm tái sinh.

Đánh giá về mức độ chính xác khi xây dựng bản đồ bằng phương pháp mô hình quan hệ cho thấy, ở khu vực nghiên cứu có diện tích rừng ngập mặn phân bố tập trung thì có mức độ ước tính sinh khối chính xác hơn so với khu vực diện tích rừng hẹp và phân bố xen lẫn vuông tôm. Điều này được giải thích với độ phân giải của ảnh 10x10m thì những dải rừng có diện tích hẹp sẽ bị nhiễu bởi các yếu tố khác, cụ thể ở khu vực này bị nhiễu bởi mặt nước, vuông tôm và mặt đất do đó việc xác định sinh khối cần ảnh với độ phân giải cao hơn sẽ phản ánh chính xác hơn. Cho nên bản đồ sinh khối và các bon rừng Đước tại Cà Mau có giá trị tham khảo nhất định, muốn ứng dụng thực tiễn cần có kiểm chứng và nghiên cứu bổ sung.



Hình 4.23. Bản đồ tích lũy các bon rừng Đước tại tỉnh Cà Mau

Bản đồ tích lũy các bon rừng Đước tại Cà Mau được phân cấp thành 4 cấp: tích lũy các bon rất thấp (5 – 30 tấn/ha), tích lũy các bon thấp (31 – 50 tấn/ha), tích lũy các bon trung bình (51 – 100 tấn/ha), tích lũy các bon cao (101 – 200 tấn/ha) và khác. Tương tự như bản đồ sinh khối; bản đồ tích lũy các bon cũng thể hiện khu vực tích lũy các bon cao (trên 200 tấn/ha) chủ yếu tập trung ở vùng lõi VQG Đất Mũi, còn lại một ít diện tích phân bố rải rác tại các lâm ngư trường. Rừng có mức tích lũy các bon từ 51 – 100 tấn/ha phân bố nhiều nhất trong khu vực nghiên cứu. Khu vực tích lũy các bon rất thấp chủ yếu là khu vực bãi bồi có mầm tái sinh.

4.3. Thảo luận kết quả nghiên cứu

4.3.1. Về kết quả ước tính sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất

Tỉ lệ sinh khối gỗ thân tươi là cao nhất, chiếm là 70,3 % tổng sinh khối tươi của cây, sinh khối cành tươi chiếm 16,6 % tổng sinh khối tươi của cây, bộ phận rễ chổng chiếm 8,57 %, còn lại, tỉ lệ sinh khối lá tươi chiếm ít nhất, chiếm 4,61 %. Còn đối với tỉ lệ sinh khối khô, tỉ lệ sinh khối gỗ thân khô chiếm là 73,21 % tổng sinh khối của cây, sinh khối cành khô chiếm 16,49 %, bộ phận rễ chổng chiếm 8,06 %, còn lại, tỉ lệ sinh khối lá khô chiếm ít nhất, chiếm 2,24 %.

Kết quả phân tích mẫu sấy khô theo cấp tuổi cho kết quả: tỉ lệ sinh khối khô trung bình trong thân là $64,91 \pm 3,57$ %; trong cành cây là $60,77 \pm 3,97$ %; trong rễ chổng là $61,44 \pm 2,67$ %; và trong lá là $31,02 \pm 1,21$ %.

Tỉ lệ sinh khối khô chung theo cấp tuổi của cây Đước biến động từ 52,9 đến 65,2 % với tỉ lệ sinh khối khô cấp tuổi I là 52,9 %, cấp tuổi II là 59,5 %, cấp tuổi III là 62,2%, cấp tuổi IV là 64,0%, cấp tuổi V là 63,9% và cấp tuổi VI là 65,2%.

Tỉ lệ sinh khối và tích lũy các bon các bộ phận trên mặt đất của cây Đước cũng như của quần thể Đước phần lớn nằm trong bộ phận thân. Tỉ lệ sinh khối khô thân cây chiếm bình quân là 73,9%, tỉ lệ sinh khối cành trung bình chiếm 15,7%, tỉ lệ sinh khối lá chiếm 2,7%, còn lại sinh khối rễ trung bình chiếm 7,7%. Tổng sinh khối của quần thể trung bình đạt 237 tấn/ha, biến động từ 92,1– 352,8 tấn/ha). Tổng sinh khối và tích lũy các bon của toàn lâm phần có sự biến động mạnh giữa các cấp kính và cấp tuổi, tổng sinh khối và tích lũy các bon quần thể tăng lên theo cấp kính và cấp tuổi.

Quần thể Đước tại khu vực có mật độ biến động từ 1.040 – 15.800 cây/ha có trữ lượng gỗ từ 27,2 – 365,6 m³/ha. Tổng cường các bon trong sinh khối rừng giao động từ 16,4 – 188,5 tấn C/ha, trung bình đạt 113,3 tấn C/ha. Mật độ cây trong quần thể nhiều không ảnh hưởng lớn đến tổng sinh khối quần thể mà chủ yếu phụ thuộc vào sự bố trí không gian hợp lý trong quần thể. Lượng hấp thụ CO₂ của rừng biến động từ 60,0 – 691,7 tấn CO₂/ha. Khả năng hấp thụ CO₂ cao nhất tương ứng với đường kính trung bình của quần thể là 11,7 cm, mật độ là 2.580 cây/ha.

Sinh khối bình quân lâm phần rừng Đước sinh trưởng khá nhanh trong khoảng 16 năm đầu; trong đó lượng tăng trưởng sinh khối hàng năm (ZB) đạt cao nhất 24,52 tấn/năm ở tuổi 9, tuổi 10 và sau đó giảm dần

4.3.2. Về mối quan hệ giữa sinh khối với các nhân tố điều tra lâm phần

- Mối quan hệ giữa sinh khối với các chỉ tiêu sinh trưởng của cây rừng

Sinh khối cây cá thể có mối quan hệ rất chặt chẽ với các chỉ tiêu sinh trưởng của cây rừng, ngoài chỉ tiêu đường kính thân cây, chiều cao cây cũng là một yếu tố để ước tính sinh khối cây cá thể với mức độ tương quan rất cao. Do đó có thể xây dựng mô hình tương quan giữa sinh khối cây rừng với đường kính thân cây hoặc tổ hợp đường kính thân cây và chiều cao cây để ước tính sinh khối. Dạng hàm cho kết quả ước tính chính xác nhất là dạng hàm dạng hàm logarit 2 chiều. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả của một số tác giả (Van và cộng sự, 2000)[92], (Zianis và cộng sự, 2004)[101], (Khun và cộng sự, 2012)[56].

- Mối quan hệ giữa sinh khối rừng với giá trị trích xuất từ ảnh viễn thám

1). Đối với ảnh SPOT5

Giữa sinh khối trên mặt đất với giá trị cường độ phản xạ trên ảnh SPOT 5 của rừng Đước tỉnh Cà Mau có mối quan hệ tương quan khá chặt, đối với kênh chỉ số thực vật NDVI và kênh hồng ngoại thì ta thấy giá trị phản xạ tăng lên khi sinh khối tăng lên, còn kênh đỏ, lục và hồng ngoại sóng ngắn thì sinh khối càng tăng thì khả năng phản xạ càng kém.

Mối quan hệ giữa sinh khối rừng với giá trị cường độ phản xạ của ảnh viễn thám có hệ số xác định cao nhất với $R^2 = 0,86$, do đó có thể xây dựng mô hình tương quan giữa sinh khối với giá trị ảnh để ước tính sinh khối rừng.

Khi dùng chỉ số thực vật để ước tính sinh khối rừng cho kết quả chính xác

nhất so với việc sử dụng cá thể các kênh phổ hoặc chỉ số NDVI kết hợp với các kênh phổ, điều này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây đối với các đối tượng khác.

2). Đối với ảnh ALOS Palsar

Khi nghiên cứu mối quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược trích xuất từ ảnh viễn thám ALOS palsar Kênh L với sinh khối rừng, ta thấy giữa các yếu tố này có mối quan hệ tương quan. Tuy nhiên, vấn đề lớn nhất của việc ứng viễn thám ALOS palsar Kênh L để xác định sinh khối trên mặt đất của rừng, đó là việc bão hòa của tán xạ ngược đối với khu vực rừng có sinh khối cao. Điều này cũng phù hợp với một số kết quả nghiên cứu (Wang và cộng sự, 2009)[93], (Dobson và cộng sự, 1992)[40], (Wenjian và cộng sự, 2013)[96].

Ứng viễn thám ALOS Palsar để xác định sinh khối trên mặt đất của rừng Được bị bão hòa bởi tán xạ ngược ở mức 100 tấn /ha ở phân cực HH, trong khi đó tán xạ ngược đối với phân cực HV thì tán xạ ngược có xu hướng bão hòa đối với sinh khối rừng trên mặt đất ở mức 50 tấn/ha, kết quả của (Dobson và cộng sự, 1992)[41] cũng kết luận, tán xạ RADAR kênh L bão hòa ở mức 100 tấn/ha; Wang và các cộng sự cho rằng tán xạ RADAR kênh L cả phân cực HV và HH bão hòa với sinh khối lớn hơn 5kg/m^2 tương đương 50 tấn/ha. Sự khác biệt này là do sự bão hòa tán xạ ngược ảnh RADAR ngoài sự phụ thuộc vào lượng sinh khối còn phụ thuộc vào kiểu rừng, lập địa, độ tàn che (Wang và cộng sự, 2009)[93] và cả kích cỡ của cây rừng (Aziz, 2014)[27].

Một kết quả khi nghiên cứu về mối quan hệ giữa giá trị tán xạ ngược trích xuất từ ảnh viễn thám ALOS palsar Kênh L với sinh khối rừng tại khu vực nghiên cứu ta thấy, khi giá trị tán xạ càng giảm thì sinh khối tăng lên và bão hòa ở mức -15dB đối với phân cực HH và -22 dB đối với phân cực HV, kết quả này hoàn toàn trái ngược với một số kết quả nghiên cứu khác đối với rừng trên khô là sinh khối tăng thì giá trị tán xạ tăng (Dobson và cộng sự, 1992)[41] (Wang và cộng sự, 2009)[93], (Lê Toàn Thủy và cộng sự, 2016)[61]. Điều này có thể giải thích với một số lí do sau: thứ nhất, là rừng tại khu vực nghiên cứu chủ yếu là rừng Được trồng được lên thành líp xen lẫn kênh và vuông tằm; thứ 2, đặc điểm của rừng là rừng một tầng tán với phần dưới tán là chân nôm, khác với rừng ở các nghiên cứu trên, thứ 3,

môi trường vật lý khác nhau, đất rừng ẩm do chịu sự lên xuống của thủy triều mà đất càng ẩm thì tán xạ càng cao, chính những lí do này có thể dẫn đến sự trái ngược với kết quả của những nghiên cứu trên.

4.3.3. Về mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon

- Đối với mô hình ước tính thông qua chỉ tiêu sinh trưởng của cây rừng

Từ kết quả phân tích, so sánh về sai số tuyệt đối, sai số lệch chuẩn, hệ số xác định... giữa những hàm sinh khối 1 biến đường kính và 2 biến đường kính và chiều cao, đề tài luận án đã chọn được các hàm để ước lượng sinh khối và dự trữ các bon trong sinh khối trên mặt đất của cây cá thể như sau:

Mô hình ước tính sinh khối tươi cây Đước được mô tả như sau: $W_{tt} = \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$

Mô hình ước tính sinh khối khô cây Đước theo cấp tuổi:

$$W_{tk} = 0,529 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,595 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,622 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,640 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,639 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,652 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

- Đối với dữ liệu ảnh ALOS Palsar

Kết quả xây dựng mô hình ước tính sinh khối dựa trên giá trị tán xạ ngược của ảnh ALOS PALSAR cho thấy, sinh khối tương quan cao nhất đối với tán xạ phân cực HH với mô hình một biến số. Khi xây dựng mô hình đa biến với cả 2 phân cực thì độ chính xác cũng không tăng lên. Có thể sử dụng mô hình một biến để ước tính sinh khối rừng Đước ở khu vực Cà Mau với mức độ chính xác cao đối với sinh khối nhỏ hơn 150 tấn/ha.

Kết quả xây dựng mô hình hồi quy đơn biến $\ln(TABG) = 1/(0.212 + 5.76E11 \cdot HH^{-6^2})$ với sai số trung phương 15,2 tấn/ha. Kết quả thử nghiệm cho thấy việc tính toán sinh khối trên mặt đất của rừng Đước tại tỉnh Cà Mau cho thấy kết quả khá khả quan với sai số khoảng 30% so với sinh khối tính. Tuy nhiên, điều này chỉ đúng cho rừng Đước dưới 150 tấn/ha tại tỉnh Cà Mau. Rừng có sinh khối cao (trữ lượng sinh khối lớn hơn 150 tấn/ha) thì giá trị tán xạ trên ảnh thường không

theo quy luật và bị bão hòa nên việc sử dụng giá trị tán xạ để tính sinh khối rừng có độ chính xác không cao. Do đó, đối với rừng có sinh khối lớn thì cần phải được phân loại và sử dụng phương pháp khác để tính sinh khối.

Giá trị tán xạ ngược trích xuất từ ảnh viễn thám ALOS palsar Kênh L ngoài có mối quan hệ với sinh khối rừng thì còn chịu sự tác động bởi các nhân tố khác như độ tàn che, mật độ, kích thước cây rừng, độ ẩm bề mặt rừng... do đó, ngoài nghiên cứu mối quan hệ giữa sinh khối với giá trị chiết xuất từ ảnh thì cần nghiên cứu bổ sung thêm các biến khác để cải thiện phương pháp ước tính sinh khối rừng từ ảnh radar.

- Đối với dữ liệu ảnh SPOT5

So sánh kết quả thử nghiệm với mô hình hồi quy đơn biến, NDVI và đa biến cho thấy, khi dùng chỉ số thực vật để ước tính sinh khối rừng cho kết quả cao nhất so với việc sử dụng cá thể các kênh phổ hoặc chỉ số NDVI kết hợp với các kênh phổ, điều này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây đối với các đối tượng khác.

Có thể sử dụng mô hình hồi quy giữa chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng để xác định và lập bản đồ sinh khối trên mặt đất rừng tại khu vực nghiên cứu mô hình được lựa chọn để ước tính sinh khối rừng có dạng: $\ln(\text{TAGB}) = 1/(0.13489 + 0.00823004 * \text{NDVI}^{-2})$ với hệ số xác định ($R^2 = 0,86$), SSR = 0,03, SEE = 0,02 và MAE = 0,02.

4.3.4. Đối với phương pháp ứng dụng viễn thám trong ước tính sinh khối rừng

- Phương pháp xử lý ảnh: Khi sử dụng dữ liệu viễn thám để ước tính sinh khối rừng thì quá trình xử lý ảnh viễn thám cũng ảnh hưởng đến kết quả ước tính sinh khối, đặc biệt là lựa chọn phương pháp lọc ảnh và phương pháp trích xuất giá trị từ ảnh khác nhau cũng ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả, do đó cần kiểm tra trước bằng các cách khác nhau để loại bỏ bớt sai số. Trong đề tài luận án, đối với ảnh radar tác giả sử dụng phương pháp lọc Frost với của số lọc 3x3 và trích xuất giá trị của 9 pixel gần điểm lấy mẫu; còn ảnh quang học tác giả sử dụng phép lọc tần số thấp Low-pass với cửa số lọc 3x3 để giảm bớt nhiễu.

- Phương pháp phân loại: Đối với khu vực bị nhiễu bởi phản nhiễu của điều kiện vật lý và mặt nước nên sử dụng chỉ số NDVI để tách vùng có rừng và

không có rừng sẽ chính xác giảm về thời gian hơn. Trong đề tài tác giả đã lựa chọn phương pháp dùng chỉ số NDVI để phân loại khi bằng cách xác định ngưỡng của vùng có rừng và không có rừng bằng công cụ trong phần mềm ArcGIS.

- Về phương pháp ước tính sinh khối: đề tài đã sử dụng phương pháp xây dựng mô hình tương quan để ước tính sinh khối dựa trên giá trị trích xuất từ dữ liệu vệ tinh cho kết quả ước tính khá cao, có độ chính xác tới 70%, nên có thể sử dụng phương pháp này để thử nghiệm cho rừng tại những khu vực khác.

Sử dụng dữ liệu viễn thám trong xác định sinh khối rừng trên mặt đất cho kết quả sinh khối rừng chi tiết tới từng điểm ảnh và thực hiện được ở khu vực lớn. Do đó, kết quả này có ưu điểm hơn so với phương pháp tính sinh khối rừng bằng phương pháp đo tính thực địa. Tuy nhiên, ngoài phương pháp xây dựng mô hình tương quan cần sử dụng thêm các phương pháp khác như phương pháp phi tham số để so sánh thêm.

- Về nguồn dữ liệu ảnh:

Ảnh Radar kênh L có lợi thế ước đoán sinh khối rừng tốt hơn ảnh quang học vì tán xạ tương tác với tán lá và cả thân cây, vừa tán xạ bề mặt vừa tán xạ khối. tuy nhiên có nhược điểm là bão hòa khi sinh khối lớn và những khu vực có mặt đất dưới tán rừng ẩm và lượng mưa cao thì khả năng ước tính sinh khối rừng không tốt, vì điều kiện môi trường vật lý ảnh hưởng đến giá trị tán xạ radar. Trường hợp khu vực nghiên cứu này là một minh chứng cho kết luận trên, do đó, tại khu vực này việc sử dụng dữ liệu viễn thám radar kênh L không khả thi mà cần kết hợp ảnh quang học hoặc sử dụng dữ liệu ảnh với bước sóng dài hơn.

Đối với dữ liệu ảnh quang học: có thể sử dụng để xác định sinh khối rừng, tuy nhiên, ảnh thường bị mây che khuất ở các vùng nhiệt đới, đặc biệt cường độ phản xạ không phụ thuộc nhiều vào sinh khối, trừ lượng mà phụ thuộc nhiều vào đặc tính thực vật, chỉ số diện tích lá hay chất diệp lục tố trong lá cây. Do đó, với những đối tượng rừng rụng lá hoặc tán lá không thay đổi theo quy luật của rừng thì sẽ khó xác định sinh khối. Với đặc điểm tán lá của cây Đước (kết quả nghiên cứu sinh khối các bộ phận cây rừng) thì sinh khối lá tăng lên theo cấp kính, do đó có thể sử dụng ảnh quang học để ước tính sinh khối rừng.

KẾT LUẬN, TỒN TẠI VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Để giải quyết được những mục tiêu nghiên cứu chính, dựa trên các nội dung nghiên cứu đã được thực hiện, đề tài luận án rút ra một số kết luận cơ bản dưới đây:

- Về tỉ lệ sinh khối và các bon

Tỉ lệ sinh khối khô trung bình trong thân là $64,91 \pm 3,57$ %; trong cành cây là $60,77 \pm 3,97$ %; trong rễ chổng là $61,44 \pm 2,67$ %; và trong lá là $31,02 \pm 1,21$ %.

Tỉ lệ sinh khối khô chung theo cấp tuổi của cây Đước biến động từ 52,9 đến 65,2 % với tỉ lệ sinh khối khô cấp tuổi I là 52,9 %, cấp tuổi II là 59,5 %, cấp tuổi III là 62,2%, cấp tuổi IV là 64,0%, cấp tuổi V là 63,9% và cấp tuổi VI là 65,2%.

Hệ số các bon chung của cây Đước: cấp tuổi I là 0,44, cấp tuổi II là 0,45, cấp tuổi III, IV là 0,47, cấp tuổi V là 0,49, ở cấp tuổi VI là 0,48.

- Về sinh khối và tích lũy các bon

Tỉ lệ sinh khối và tích lũy các bon các bộ phận trên mặt đất của cây Đước cũng như của quần thể Đước phần lớn nằm trong bộ phận thân. Tổng sinh khối và tích lũy các bon của toàn lâm phần có sự biến động mạnh giữa các cấp kính và cấp tuổi, tổng sinh khối và tích lũy các bon quần thể tăng lên theo cấp kính và cấp tuổi. Tổng sinh khối của quần thể trung bình đạt 191,1 tấn/ha, lượng các bon tích lũy trong sinh khối rừng trung bình đạt 117,4 tấn C/ha. Khả năng hấp thụ CO₂ cao nhất tương ứng với đường kính trung bình của quần thể là 11,7 cm, mật độ là 2.580 cây/ha với 692,4 tấn CO₂/ha.

Lượng tăng trưởng sinh khối của quần thể Đước tăng khá nhanh trong khoảng 10 năm đầu và sau đó giảm dần; trong đó lượng tăng trưởng hàng năm (ZB) đạt cao nhất 23,7 tấn/năm ở tuổi 4.

- Về mô hình ước tính sinh khối và tích lũy các bon mặt đất

Sinh khối cây cá thể có mối quan hệ rất chặt chẽ với các chỉ tiêu sinh trưởng của cây rừng, do đó, có thể dựa trên mối quan hệ sinh trưởng của cây rừng để thiết lập mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất với độ chính xác rất cao ($R^2 = 0,99$), với dạng hàm logarit 2 chiều rất phù hợp để dự báo sinh khối và tích lũy các bon của cây rừng. Ngoài biến số $D_{1,3}$ thì Hvn cũng là một nhân tố quan trọng trong việc ước

tính sinh khối, tổng trữ lượng tích lũy các bon trong bộ phận thân và cho cây các thể.

Mô hình ước tính sinh khối tươi rừng Đước: $W_{tt} = \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$

Mô hình ước tính sinh khối khô rừng Đước theo cấp tuổi:

$$W_{tk} = 0,529 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,595 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,622 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,640 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,639 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

$$W_{tk} = 0,652 \cdot \exp(-0,728 + 2,33 \cdot \ln(D_{1,3}))$$

Các mô hình tối ưu để ước tính các bon của quần thể Đước với hàm một biến số đến hàm 4 biến số đều có R^2 cao, biến động giữa thực tế và lý thuyết nằm trong giới hạn thấp. Mô hình được lựa chọn để ước tính sinh khối và tích lũy các bon quần thể Đước là mô hình một biến, với biến được lựa chọn là trữ lượng rừng.

Mô hình ước tính sinh khối quần thể: $\log(\text{TAGB}) = \exp(0,768 + 0,0873 \cdot \ln(M^2))$.

Mô hình ước tính tích lũy các bon quần thể $\text{TAGC} = 1/(0,000663 + 1,65/M)$

- Về ứng dụng viễn thám trong ước tính sinh khối rừng

Lập bản đồ của sinh khối rừng trên diện tích lớn và độ chính xác cao hơn càng trở nên quan trọng hơn đối với các nghiên cứu về chu kỳ các bon toàn cầu và biến đổi khí hậu. Vì vậy, có thể ứng dụng viễn thám để lập bản đồ sinh khối, tích lũy các bon rừng ở Việt Nam.

Phương pháp trích xuất giá trị tán xạ ngược khác nhau cũng ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả, do đó cần kiểm tra trước bằng các cách khác nhau để loại bỏ bớt sai số.

Có thể sử dụng phương pháp xây dựng mô hình tương quan dựa trên dữ liệu tán xạ ngược trên ảnh radar và chỉ số NDVI để ước tính sinh khối rừng, tích lũy các bon của rừng.

Ứng dụng dữ liệu ảnh ALOS Palsar kênh L và số liệu thực địa để tính sinh khối rừng ngập mặn khu vực Cà Mau là khả thi và cho độ chính xác khá cao đối với

các vùng rừng ngập mặn có giá trị sinh khối nhỏ hơn 100 tấn/ha.

Kết quả phân tích tương quan giữa sinh khối rừng và giá trị tán xạ ngược trích xuất từ ảnh ALOS Palsar kênh L tại khu vực nghiên cứu cho kết quả tương quan nghịch, giá trị tán xạ càng giảm thì sinh khối càng tăng và bị bão hòa khi sinh khối đạt mức 100 tấn trên ha tương ứng với giá trị tán xạ ngược -17dB.

Mô hình hồi quy giữa chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng có hệ số xác định và mức độ chính xác cao nhất nên được sử dụng để lập bản đồ sinh khối và tích lũy các bon trên mặt đất rừng tại khu vực nghiên cứu, mô hình được lựa chọn để ước tính sinh khối rừng có dạng: $\ln(\text{TAGB}) = 1/(\mathbf{0.13489} + \mathbf{0.00823004} * \mathbf{NDVI}^{-2})$ với hệ số xác định ($R^2 = 0,86$), $SSR = 0,03$, $SEE = 0,02$ và $MAE = 0,02$.

Sử dụng dữ liệu viễn thám xác định sinh khối rừng trên mặt đất cho kết quả sinh khối rừng chi tiết tới từng điểm ảnh và thực hiện được ở khu vực lớn. Do đó, kết quả này có ưu điểm hơn so với phương pháp tính sinh khối rừng bằng phương pháp đo tính thực địa.

2. Tồn tại

Luận án mới tập trung nghiên cứu cấu trúc sinh khối và tích lũy các bon các bộ phận trên mặt đất, chưa đánh giá được sinh khối, tích lũy các bon dưới mặt đất.

Sử dụng ảnh viễn thám có độ phân giải thấp (ảnh SPOT: 10x10m, ảnh radar 12,5x12,5m) nên việc ước tính sinh khối rừng đối với khu vực rừng phân bố theo giải hẹp xen lẫn mặt nước đạt độ chính xác không cao trong ước tính sinh khối rừng do bị nhiễu bởi phản xạ mặt nước.

Dữ liệu viễn thám ALOS Palsar bão hòa với sinh trên 100 tấn/ha, trong khi rừng tại khu vực nghiên cứu có sinh khối chủ yếu là trên mức 100t/ha. Đây được xem là một hạn chế rõ rệt của viễn thám radar kênh C, X, L và P đối với rừng nhiệt đới có sinh khối cao.

Thời điểm thu ảnh với số liệu đo đạc thực địa có sự chênh về thời gian, mặc dù đã chuẩn hóa dữ liệu đo đạc thực địa về cùng thời điểm nhưng vẫn có sai số trong quá trình chuyển đổi.

Do điều kiện thu thập số liệu tại khu vực khó khăn nên việc kiểm định các

mô hình ước tính sinh khối và các bon bằng viễn thám có số lượng ÔTC để kiểm tra chưa đủ lớn.

Bản đồ ước tính sinh khối và tích lũy chưa được kiểm chứng trên cơ sở kết quả điều tra hiện trường với dung lượng mẫu đủ lớn.

3. Kiến nghị

Sử dụng kết quả sinh khối và các mô hình dự báo sinh khối cây các thể và quần thể rừng để giám sát sinh khối, lượng tích lũy các bon của rừng.

Tiếp tục nghiên cứu bổ sung sinh khối và tích lũy các bon dưới mặt đất để đánh giá hết tổng thể giá trị tích lũy các bon của rừng.

Việc sử dụng mô hình ước tính sinh khối dựa trên dữ liệu vệ tinh đối với rừng Đước ở các khu vực khác cần có sự kiểm tra và nghiên cứu bổ sung và cần thử nghiệm thêm các biến khác như độ tàn che, đường kính, chiều cao.. để tìm ra mô hình tối ưu hơn trong ước tính sinh khối rừng cũng như làm cơ sở xây dựng bản đồ sinh khối và bản đồ tích tụ các bon.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Viên Ngọc Nam, Nguyễn Thị Hà, Trần Quốc Khải, 2012. *Phương trình sinh khối và C các bộ phận của loài Đước đôi (Rhizophora apiculata Blume) ở tỉnh Cà Mau*. Tạp chí Rừng và Môi trường, số 47/2012, tr 29-34, ISSN 1859-1248
2. Nguyễn Thị Hà, Viên Ngọc Nam, 2015. *Cấu trúc sinh khối cây cá thể và quần thể rừng Đước (Rhizophora apiculata Blume) tại Cà Mau*. Tạp chí Nông nghiệp và phát triển Nông thôn, số 1/2016, 134 – 140, ISSN 1859-4581

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Trần Trọng Đức và Phạm Bách Việt (2005), *Giám sát biến động rừng ngập mặn Cần Giờ TP.HCM sử dụng kỹ thuật viễn thám và GIS*, Báo cáo kết quả nghiên cứu khoa học cấp Bộ, ĐHQG TP.HCM.
2. Bảo Huy (2012), *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*, Đề tài khoa học và công nghệ, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
3. Bảo Huy, Cao Thị Lý và Võ Hùng (2012), *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*, Đắk Lắk.
4. Lê Tấn Lợi, Lý Hằng Ni và Nguyễn Hà Quốc Tín (2014), *Đánh giá sự tích lũy carbon trong hệ sinh thái rừng ngập mặn Cồn Ông Trang, Huyện Ngọc Hiển, Tỉnh Cà Mau, Kỷ yếu Hội nghị Khoa học lần thứ IX*, Trường Đại học Khoa Học Tự Nhiên, Đại Học Quốc Gia TPHCM.
5. Nguyễn Kim Lợi, Định, L. C. và Nhất, T. T. (2009), *Hệ thống thông tin địa lý nâng cao*, NXB Nông nghiệp.
6. Viên Ngọc Nam (1996), *Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng Đước (Rhizophora apiculata) trồng tại Cần Giờ Thành phố Hồ Chí Minh*, Sở NN & PTNT Tp Hồ Chí Minh.
7. Viên Ngọc Nam (1998), *Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng Đước (Rhizophora apiculata) trồng tại Cần Giờ, TP. Hồ Chí Minh*, Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh.
8. Viên Ngọc Nam, Huỳnh Đức Hoàn, Cao Văn Bình, Phan Văn Trung, Phạm Văn Quy và Bùi Nguyễn Thế Kiệt (2009), *Ước tính sinh khối quần thể Dà vôi (Ceriops tagal C. B. Rob) và Cóc trắng (Lumnitzera racemosa) trồng tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ*, Báo cáo Khoa học, Sở Khoa học Công nghệ TP.HCM, Tp.HCM.
9. Viên Ngọc Nam và Lu Ngọc Trâm Anh (2011), *Nghiên cứu lượng hấp thụ CO₂*

- trên mặt đất của rừng tràm (*Melaleuca cajuputi* Powell) tại xã Gáo Giồng, huyện Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp, *Tạp chí Rừng và Môi trường*, 42/2011.
10. Trần Tuấn Ngọc (2015), *Nghiên cứu ứng dụng ảnh vệ tinh Radar trong xác định sinh khối rừng tỉnh Hòa Bình*, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên.
 11. Phạm Văn Ngọt, Quách Văn Toàn Em, Nguyễn Kim Hồng và Trần Thị Tuyết Nhung (2012), Vai trò của rừng ngập mặn ven biển Việt Nam, *Tạp chí Khoa học ĐHSPTPHCM*, 33/2012.
 12. Lâm Đạo Nguyên và Hoàng Phi Phụng (2012), Thành lập bản đồ lúa vùng đồng bằng sông Cửu Long sử dụng tư liệu viễn thám radar Terrasar-X, *Tạp chí Khoa học về trái đất*, 2:6.
 13. Lê Hồng Phúc (1995), Nghiên cứu sinh khối rừng Thông ba lá (*Pinus kesiya*) ở Đà Lạt - Lâm Đồng, *Tạp chí Lâm nghiệp*, số 9/1995.
 14. Lê Hồng Phúc (1996), *Nghiên cứu sinh trưởng, tăng trưởng, sinh khối rừng trồng thông ba lá khu vực Đà Lạt, Lâm Đồng*, Luận văn Tiến sĩ Khoa học Nông nghiệp, Viện Khoa Học Lâm Nghiệp Việt Nam.
 15. Vũ Tấn Phương (2006), *Nghiên cứu trữ lượng các bon thảm tươi và cây bụi: Cơ sở để xác định đường các bon cơ sở trong các dự án trồng rừng/tái trồng rừng theo cơ chế phát triển sạch ở Việt Nam*, Trung tâm Nghiên cứu Sinh thái và Môi trường rừng (RCFEE).
 16. Vũ Tấn Phương (2011), *Xác định trữ lượng các bon và phân tích hiệu quả kinh tế rừng trồng Thông ba lá (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) theo cơ chế phát triển sạch ở Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ Nông nghiệp, Trường Đại học Lâm nghiệp.
 17. Vũ Tấn Phương và Nguyễn Việt Xuân (2013), Giá trị hấp thụ các bon của rừng phòng hộ chắn sóng tại Kiên Giang và Cà Mau, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 14/2013:93 – 98.
 18. Ngô Đình Quế, Nguyễn Đức Minh, Vũ Tấn Phương, Lê Quốc Huy, Đinh Thanh Giang, Nguyễn Thanh Tùng và Nguyễn Văn Thắng (2006), Khả năng hấp thụ CO₂ của một số loại rừng trồng chủ yếu ở Việt Nam, *Xây dựng các tiêu*

chí và chỉ tiêu trồng rừng theo cơ chế phát triển sạch CDM, Trung tâm Nghiên cứu Sinh thái và Môi trường rừng – Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.

19. Phạm Xuân Quý (2011), *Nghiên cứu một số đặc điểm lâm học của rừng tràm (Melaleuca cajuputi Powell) trồng ở đồng bằng sông Cửu Long*, Đại học Nông Lâm, TP. HCM.
20. Phan Minh Sáng và Lưu Cảnh Trung (2006), Hấp thụ carbon. In *Cẩm nang ngành Lâm nghiệp* (pp. 80), Chương trình hỗ trợ ngành Lâm nghiệp và đối tác. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
21. Đặng Trung Tấn (1999), Sinh khối rừng trồng Đước ở Cà Mau, *Kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ giai đoạn 1996 – 2000*. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội.
22. Nguyễn Ngọc Thạch, Nguyễn Đình Hòa, Trần Văn Thuy, Ưông Đình Khanh và Lại Vĩnh Cẩm (1997), *Viễn thám trong nghiên cứu tài nguyên và môi trường*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
23. Nguyễn Văn Thêm (2001), *Sinh thái rừng*, Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh.
24. Phạm Trọng Thịnh (2007), *Nghiên cứu một số yếu tố làm cơ sở cho việc tái thừa rừng Đước (Rhizophora apiculata Blume) trồng ở vùng ven biển Nam Bộ*, Luận án Tiến sĩ Nông nghiệp, Đại học Nông Lâm, Tp. Hồ Chí Minh.
25. Vũ Văn Thông (1998), *Nghiên cứu cơ sở xác định sinh khối cây cá lẻ và lâm phần keo lá tràm (Acacia auriculiformis Cunn) tại Thái Nguyên*, Đại học Lâm nghiệp, 65 trang, Hà Nội.
26. Huỳnh Nhân Trí và Bảo Huy (2014), Cơ sở khoa học xây dựng mô hình sinh trắc (allometric equations) để ước tính sinh khối và các bon rừng, *Tạp chí Nông nghiệp và phát triển Nông thôn*, 1/2014.
27. Nguyễn Hoàng Trí (1986), *Góp phần nghiên cứu sinh khối và năng suất quần xã Đước đôi (Rhizophora apliculata BL.) ở Cà Mau, tỉnh Minh Hải*, Luận án Phó tiến sĩ Sinh học, Khoa Sinh vật – Kỹ thuật Nông nghiệp, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, Hà Nội.

Tiếng Anh

28. Aziz, O. M. H. I. K. (2014), Factors affecting L-band Alos Palsar backscatter on tropical forest biomass, *Global Journal of Science Frontier Research*, 14(3).
29. Basuki, T., Van Laake, P., Skidmore, A. và Hussin, Y. (2009), Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests, *Forest Ecology and Management*, 257(8):1684-1694.
30. Bauen, A., Woods, J. và Hailes, R. (2004), A biomass blueprint to meet 15% of OECD electricity demand by 2020, *Imperial College London*.
31. Blasco, F., Aizpuru, M. và Gers, C. (2001), Depletion of the mangroves of Continental Asia, *Wetlands Ecology and Management*, 9:255-266.
32. Brown, S. (1997), *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer* (Vol. 134), Food & Agriculture Org.
33. Brown, S. (2002), Measuring carbon in forests: current status and future challenges, *Environmental pollution*, 116(3):363-372.
34. Brown, S., Gillespie, A. J. và Lugo, A. E. (1989), Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data, *Forest science*, 35(4):881-902.
35. Brown, S. và Lugo, A. E. (1992), Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon, *Interciencia. Caracas*, 17(1):8-18.
36. Cai, S., Kang, X. và Zhang, L. (2013), Allometric models for aboveground biomass of ten tree species in northeast China, *Annals of Forest Research*, 56(1):105-122.
37. Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H. và Baumgardner, G. A. (1997), Root biomass allocation in the world's upland forests, *Oecologia*, 111(1):1-11.
38. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N. và Kira, T. (2005), Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests, *Oecologia*, 145(1):87-99.
39. Christensen, B. (1978), Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* Bl. in a mangrove in southern Thailand, *Aquatic Botany*, 4:43-52.

40. Dobson, M. C., Ulaby, F. T., LeToan, T., Beaudoin, A., Kasischke, E. S. and Christensen, N. (1992), Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30:412-415.
41. Dobson, M. C., Ulaby, F. T., LeToan, T., Beaudoin, A., Kasischke, E. S. and Christensen, N. (1992), Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 30(2):412-415.
42. Dong, J., Kaufmann, R. K., Myneni, R. B., Tucker, C. J., Kauppi, P. E., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V. và Hughes, M. K. (2003), Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks, *Remote Sensing of Environment*, 84(3):393-410.
43. FAO, U. (2010), Global forest resource assessment, *UN Food and Agriculture Organisation, Rome*.
44. Finlayson, C. M., Cowie, I. D. và Bailey, B. J. (1993), Biomass and litter dynamics in a Melaleuca forest on a seasonally inundated floodplain in tropical, northern Australia, *Wetlands Ecology and Management*, 2(4):177-188.
45. Hamdan, O., Aziz, H. K. và Rahman, K. A. (2011), Remotely sensed L-Band SAR data for tropical forest biomass estimation, *Journal of Tropical Forest Science*:318-327.
46. Heiskanen, J. (2006), Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 27(6):1135-1158.
47. Henry, M., Besnard, A., Asante, W. A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M. và Saint-André, L. (2010), Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa, *Forest Ecology and Management*, 260(8):1375-1388.
48. Hoekman, D. H. và Quinones, M. J. 1997. *Land cover type and forest biomass assessment in the Colombian Amazon*. Paper Presented at the Geoscience and

- Remote Sensing, 1997. IGARSS'97. Remote Sensing-A Scientific Vision for Sustainable Development., 1997 IEEE International. IEEE.
49. Houghton, R. A. (2005), Aboveground forest biomass and the global carbon balance, *Global Change Biology*, 11(6):945-958.
 50. IPCC (2007), Climate change 2007: The physical science basis, *Agenda*, 6(07):333.
 51. IPCC (2000), Special report on land use, land-use change and forestry, Cambridge University Press, UK.
 52. IPCC (2006), *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
 53. Iverson, L. R., Brown, S., Prasad, A., Mitasova, H., Gillespie, A. J. và Lugo, A. E. (1994), Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for continental South and Southeast Asia. In *Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO2 Concentrations* (pp. 67-116). Springer.
 54. Jerome, C., Christophe, A., S, B., MA, C., JQ, C., D, E., H, F., François, F., N, H. và T, K. (2005), Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests, *Oecologia*, 145(1):87-99.
 55. José, N. (2009), Biomass component equations for Latin American species and groups of species, *Annals of Forest Science*, 66(2):1-21.
 56. Khun, V., Lee, D. K., Hyun, J. O., Park, Y. D. và Combalicer, M. S. (2012), Carbon Storage of *Dipterocarpus tuberculatus*, *Terminalia tomentosa* and *Pentacme*, *Journal of Environmental Science and Management*(1).
 57. Komiyama, A., Ong, J. E. và Pongparn, S. (2008), Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review, *Aquatic Botany*, 89(2):128-137.
 58. Kossoy, A., Peszko, G., Oppermann, K., Prytz, N., Klein, N., Blok, K., Lam, L., Wong, L. và Borkent, B. (2015), *State and Trends of Carbon Pricing 2015*.
 59. Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V. và Dech, S. (2011), Remote sensing of mangrove ecosystems: A review, *Remote Sensing*, 3(5):878-928.
 60. Lam Dao Nguyen, L., Le Toan Thuy, L., Apan, A., Bouvet, A., Young, F. và Le

- Van Trung, L. (2009), Effects of changing cultural practices on C-band SAR backscatter using Envisat ASAR data in the Mekong River Delta, *Journal of Applied Remote Sensing*, 3:033563.
61. Li, H., Mausel, P., Brondizio, E. và Deardorff, D. (2010), A framework for creating and validating a non-linear spectrum-biomass model to estimate the secondary succession biomass in moist tropical forests, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(2):241-254.
62. Lu, D. (2005), Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon, *International Journal of Remote Sensing*, 26(12):2509-2525.
63. Lu, D. (2006), The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation, *International Journal of Remote Sensing*, 27(7):1297-1328.
64. Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Moran, E., Batistella, M., Zhang, M., Vaglio Laurin, G. và Saah, D. (2012), Aboveground Forest Biomass Estimation with Landsat and LiDAR Data and Uncertainty Analysis of the Estimates, *International Journal of Forestry Research*, 2012:16.
65. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. và Moran, E. (2004), Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin, *Forest Ecology and Management*, 198(1–3):149-167.
66. Lucas, R. M., Mitchell, A. L., Rosenqvist, A., Proisy, C., Melius, A. và Ticehurst, C. (2007), The potential of L-band SAR for quantifying mangrove characteristics and change: case studies from the tropics, *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 17(3):245-264.
67. MacDicken, K. G. (1997), A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, Winrock International Institute for Agricultural Development USA.
68. Maggale-macandong, D., Delgado, M., Ty, E. và Villarín, J. (2006), A GIS-based model to improve estimation of aboveground biomass of secondary forests in the Philippines, *Journal of Tropical Forest Science*, 18(1):8.
69. Malhi, Y., Meir, P. và Brown, S. (2002), Forests, carbon and global climate,

Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 360(1797):1567-1591.

70. Malingreau, J. P. (1993), *Satellite monitoring of the world's forests: a review*.
71. Mani, S. và Parthasarathy, N. (2007), Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India, *Biomass and Bioenergy*, 31(5):284-290.
72. Mitchard, E., Saatchi, S., Lewis, S., Feldpausch, T., Woodhouse, I., Sonké, B., Rowland, C. và Meir, P. (2011), Measuring biomass changes due to woody encroachment and deforestation/degradation in a forest–savanna boundary region of central Africa using multi-temporal L-band radar backscatter, *Remote Sensing of Environment*, 115(11):2861-2873.
73. Moore, J. R. (2010), Allometric equations to predict the total above-ground biomass of radiata pine trees, *Annals of Forest Science*, 67(8):806.
74. Morgan, W. và Moss, P. (1985), Biomass energy and urbanisation: commercial factors in the production and use of biomass fuels in tropical Africa, *Biomass*, 6(4):285-299.
75. Neil, M., P, R., P, F. và J, W. (2000), *Sampling, measurement and analytical protocols for carbon estimation in soil, litter and coarse woody debris*, Australian Greenhouse Office Canberra.
76. Nelson, R. F., Kimes, D. S., Salas, W. A. và Routhier, M. (2000), Secondary Forest Age and Tropical Forest Biomass Estimation Using Thematic Mapper Imagery: Single-year tropical forest age classes, a surrogate for standing biomass, cannot be reliably identified using single-date TM imagery, *BioScience*, 50(5):419-431.
77. Okimoto, Y., Nose, A., Oshima, K., Tateda, Y. và Ishii, T. (2013), A case study for an estimation of carbon fixation capacity in the mangrove plantation of *Rhizophora apiculata* trees in Trat, Thailand, *Forest Ecology and Management*, 310:1016-1026.
78. Ong, J. E., Gong, W. K. và Wong, C. H. (2004), Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*, *Forest Ecology and Management*:395–408.

79. Oo, M. Z., Shin, T., Oosumi, Y. và Kiyono, Y. (2006), Biomass of planted forests and biotic climax of shrub and grass communities in the central dry zone of Myanmar, *bulletin-forestry and forest products research institute ibaraki*, 5(4):271.
80. Overman, J. P. M., Witte, H. J. L. và Saldarriaga, J. G. (1994), Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest, *Journal of tropical Ecology*, 10(02):207-218.
81. Rosillo-Calle, F. và Woods, J. (2012), *The biomass assessment handbook*, Earthscan.
82. Ross, M. S., Ruiz, P. L., Telesnicki, G. J. và Meeder, J. F. (1998), Aboveground Biomass and Production in Mangrove Communities of Biscayne National Park, Florida (USA), Following Hurricane Andrew.
83. Roy, P. S. và Ravan, S. (1996), Biomass estimation using satellite remote sensing data—An investigation on possible approaches for natural forest, *Journal of Biosciences*, 21(4):535-561.
84. Selvam, V., Ravichandran, K., Gnanappazham, L. và Navamuniyammal, M. (2003), Assessment of community-based restoration of Pichavaram mangrove wetland using remote sensing data, *Current science*, 85(6):794-798.
85. Shuo, C., Xingang, K. và Lixin, Z. (2013), Allometric models for aboveground biomass of ten tree species in northeast China, *Annals of Forest Research*, 56(1):105-122.
86. Sinha, S., Jeganathan, C., Sharma, L. và Nathawat, M. (2015), A review of radar remote sensing for biomass estimation, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5):1779-1792.
87. Steininger, M. (2000), Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia, *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7):1139-1157.
88. Subarudi, D. H., Ginoga, K., Djaenudin, D. và Lugina, M. (2004), Cost Analysis for a CDM-Like Project Established in Cianjur, West Java Indonesia,

- Working Paper CC13 Aciar Project ASEM 2002/066. Download at: <http://www.une.edu.au/carbon/CC13.PDF> (May 3, 2013).
89. Sun, G., Ranson, K. J., Guo, Z., Zhang, Z., Montesano, P. và Kimes, D. (2011), Forest biomass mapping from lidar and radar synergies, *Remote Sensing of Environment*, 115(11):2906-2916.
 90. Supriya, D. L. và PS, Y. (2009), Aboveground biomass and net primary production of semi-evergreen tropical forest of Manipur, north-eastern India, *Journal of Forestry Research*, 20(2):151-155.
 91. UNFCCC (2005a), Essential background of Global Warming, UNFCCC.
 92. Van, T., Rayachhetry, M. và Center, T. (2000), Estimating above-ground biomass of *Melaleuca quinquenervia* in Florida, USA, *Journal of Aquatic Plant Management*, 38:62-67.
 93. Wang, L. và Sousa, W. P. (2009), Distinguishing mangrove species with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance, *International Journal of Remote Sensing*, 30(5):1267-1281.
 94. Wanthongchai, P. và Piriayota, S. (2006), Role of mangrove plantation on carbon sink case study: Trat Province, Thailand. , *Office of Mangrove Conservation, Department of Marine and Coastal Resource (DMCR), Thailand*.
 95. Watson, R. (2000), Land Use, Land-Use Change and Forestry: A Special Report of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.
 96. Wenjian, N., Guoqing, S., Zhifeng, G., Zhiyu, Z., Yating, H. và Wenli, H. (2013), Retrieval of forest biomass from ALOS PALSAR data using a lookup table method.
 97. Wijaya, A., Kusnadi, S., Gloaguen, R. và Heilmeier, H. (2010), Improved strategy for estimating stem volume and forest biomass using moderate resolution remote sensing data and GIS, *Journal of Forestry Research*, 21(1):1-12.
 98. World Bank (2014), *State and trends of carbon pricing 2014*, World Bank

Publications.

99. Zhang, F., Zhou, G., Hiratsuka, M., Tanaka, K. và Morikawa, Y. (2013), Above-ground Biomass of Subtropical Evergreen Broadleaf Forests in Longwangtan, Guangdong, China.
100. Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Bresee, M., Le Moine, J. và Ryu, S.-R. (2004), Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA, *Remote Sensing of Environment*, 93(3):402-411.
101. Zianis, D. và Mencuccini, M. (2004), On simplifying allometric analyses of forest biomass, *Forest Ecology and Management*, 187(2–3):311-332.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Bảng số liệu sinh khối tươi 63 cây chặt hạ để xây dựng phương trình sinh khối tươi.

TT	C 1,3 (cm)	D 1,3 (cm)	Hvn (m)	Wst (kg)	Wbrt (kg)	Wrt (kg)	Wlt (kg)	Wtt (kg)
1	6,5	2,07	3,1	1,4	0,5	0,6	0,7	3,22
2	8	2,55	3,3	1,7	0,8	0,8	1,1	4,34
3	9	2,87	3,6	2,5	1,2	1,4	1,8	6,82
4	10	3,18	5,8	4,6	0,8	1	0,5	6,9
5	14	4,46	9,2	12,6	0,5	0,2	0,5	13,8
6	15	4,77	9	12,5	2	0,8	1,5	16,8
7	15	4,78	7,3	10,5	2,2	2,2	2,7	17,50
8	17	5,41	9	16,9	1,2	0,5	0,8	19,4
9	17	5,41	8	14,6	3,7	3,1	3,9	25,18
10	18	5,73	9	21,2	5	1	4	31,2
11	18,5	5,89	8	16,1	4,0	2,6	4,3	26,98
12	19,5	6,21	11,5	25,2	6	2,3	3,1	36,6
13	19,5	6,21	7,7	18,8	5,6	4,6	4,7	33,73
14	20	6,37	10,7	26,5	2,2	1,2	1,5	31,4
15	20	6,37	8,3	19,0	4,4	3,8	4,9	32,10
16	20,5	6,53	10,7	27,8	4,8	2	4	38,6
17	21	6,69	11,6	32	3	3	3,4	41,4
18	22	7,00	13	38,6	2,8	2	3	46,4
19	23	7,32	11,9	37,5	6,2	3	4	50,7
20	24	7,64	11,9	42	7	6	5	60
21	25	7,96	12,5	44,6	5	2,5	3,5	55,6
22	25	7,96	10,3	33,1	8,3	4,7	6,8	52,92
23	26	8,28	13,7	54,9	7	4	5,5	71,4
24	26,5	8,44	11,5	40,9	8,4	5,2	6,9	61,32
25	27	8,59	13,5	65,1	8	1,8	5	79,9
26	27,5	8,76	12,1	43,2	9,5	5,1	7,7	65,45
27	28	8,91	14,9	52,5	5,6	4,5	18	80,6

28	29	9,23	15,6	89,9	10,5	2	7	109,4
29	30	9,55	13,6	103,2	6	1,5	6	116,7
30	31	9,87	13,6	89,8	11,5	5,2	9	115,5
31	32	10,19	13,5	85,1	4	3	6,4	98,5
32	32,5	10,35	14,3	94,2	15	6	14	129,2
33	33	10,51	14,4	87,2	9,8	6,0	10,7	113,70
34	33,5	10,66	14,8	100,2	8,5	7,5	7	123,2
35	34,5	10,98	14,8	106,3	14	9	14	143,3
36	34,5	10,99	15,2	93,3	11,2	5,8	11,3	121,60
37	35	11,14	15,5	111,7	10	6	9,4	137,1
38	36	11,46	15	123,8	12	8,6	12	156,4
39	36	11,46	15,5	107,5	19,7	8,3	12,1	147,60
40	37	11,78	15,0	113,6	6	2,5	3,6	125,7
41	38	12,10	15	119,6	16,5	8,6	13	157,7
42	39	12,41	16	124,1	10	9	11	154,1
43	40	12,74	15,0	113	17	8	12	150
44	41	13,05	14,5	162,2	11,6	15,5	8,8	198,1
45	42,5	13,53	16,8	148,8	48	23	13,5	233,3
46	43	13,69	15,5	134,2	21	11	14	180,2
47	44,5	14,16	11,9	158,1	15	10,5	13	196,6
48	45	14,32	15,8	189	15,3	12,6	11,7	228,6
49	47	14,97	15,5	171,7	25,3	14,3	17,4	228,70
50	48	15,28	16	175,1	13,6	13	10	211,7
51	49,5	15,76	17	227,8	36,7	21,6	19,4	305,50
52	50	15,92	17,5	197,8	14,3	15,5	8,8	236,4
53	52	16,55	19,4	264,4	62	44	23,4	393,8
54	53	16,87	15,8	277,2	80	16	35	408,2
55	56	17,83	19	279,6	89,9	37,3	23,6	430,40
56	59,5	18,95	19,0	333	116,5	73	37	552,5
57	68	21,65	18	361	166,7	62,6	38,2	628,5
58	75	23,89	19,5	538,2	175	67	35	815,2

59	82	26,11	25,5	766,5	127	30	17	940,5
60	88,5	28,18	23,0	1036	204	140	40,5	1420,5
61	90	28,65	20,5	978,2	292	83	62	1415,2
62	95,5	30,41	23,0	1076,9	295,5	180	82	1634,4
63	110,5	35,19	24,8	1349,5	356,1	165	57,3	1927,9

Phụ lục 2: Bảng số liệu sinh khối tươi 23 cây chặt lấy mẫu để phân tích sinh khối khô.

TT	C 1,3 (cm)	D 1,3 (cm)	Hvn (m)	Wst (kg)	Wbrt (kg)	Wrt (kg)	Wlt (kg)	Wtt (kg)	Wsk (kg)	Wbrk (kg)	Wrk (kg)	Wlk (kg)	Wtk (kg)
1	21	6,69	11,6	32	3	3	3,4	41,4	21,49	1,74	1,74	0,99	25,95
2	37	11,78	15,0	113,6	6	2,5	3,6	125,7	76,27	3,78	1,50	1,08	82,63
3	40	12,74	15,0	113	17	8	12	150	75,32	11,05	4,72	3,60	94,69
4	59,5	18,95	19,0	333	116,5	73	37	552,5	218,57	73,40	43,80	11,47	347,24
5	75	23,89	19,5	538,2	175	67	35	815,2	362,78	110,25	39,53	10,50	523,06
6	82	26,11	25,5	766,5	127	30	17	940,5	499,88	78,74	18,60	5,27	602,49
24	47	14,97	15,5	171,7	25,3	14,3	17,4	228,70	116,76	15,93	9,15	5,57	147,40
25	49,5	15,76	17	227,8	36,7	21,6	19,4	305,50	152,63	23,10	13,82	6,07	195,63
26	56	17,83	19	279,6	89,9	37,3	23,6	430,40	187,33	56,60	23,34	7,79	275,06
7	88,5	28,18	23,0	1036	204	140	40,5	1420,5	726,40	134,64	85,40	12,96	959,40
8	95,5	30,41	23,0	1076,9	295,5	180	82	1634,4	732,21	189,12	109,80	26,24	1057,37
9	110,5	35,19	24,8	1349,5	356,1	165	57,3	1927,9	933,93	242,15	102,30	18,91	1297,29
10	6,5	2,07	3,1	1,39	0,53	0,61	0,69	3,22	0,75	0,26	0,29	0,19	1,50
11	8	2,55	3,3	1,70	0,76	0,82	1,06	4,34	0,92	0,40	0,43	0,29	2,03
12	9	2,87	3,6	2,45	1,23	1,35	1,79	6,82	1,40	0,63	0,74	0,48	3,25
13	15	4,78	7,3	10,50	2,15	2,20	2,65	17,50	6,20	1,18	1,23	0,77	9,38
14	20	6,37	8,3	19,00	4,40	3,80	4,90	32,10	11,02	2,46	2,09	1,47	17,04
15	17	5,41	8	14,58	3,65	3,10	3,85	25,18	8,75	2,01	1,83	1,19	13,78
16	18,5	5,89	8	16,08	4,00	2,60	4,30	26,98	9,97	2,48	1,56	1,29	15,30
17	19,5	6,21	7,7	18,83	5,60	4,60	4,70	33,73	11,86	3,25	2,81	1,46	19,38
18	25	7,96	10,3	33,14	8,25	4,70	6,83	52,92	21,54	4,79	2,94	2,19	31,46
19	26,5	8,44	11,5	40,87	8,35	5,2	6,9	61,32	26,32	5,18	3,22	2,21	36,93
20	27,5	8,76	12,1	43,2	9,5	5,1	7,65	65,45	28,08	5,99	3,11	2,37	39,55
21	33	10,51	14,4	87,2	9,8	6	10,7	113,70	58,42	6,57	3,75	3,42	72,17
22	34,5	10,99	15,2	93,3	11,2	5,8	11,3	121,60	61,58	7,28	3,77	3,54	76,17
23	36	11,46	15,5	107,5	19,7	8,3	12,1	147,60	70,95	12,81	5,40	3,99	93,14

Phụ lục 3: Bảng kết quả kiểm tra phương trình sinh khối tươi

TT	C 1,3 (cm)	D 1,3 (cm)	Hvn (m)	Thân	Cành	Rễ	Lá	Wtt thực	Wtt lt	Chênh lệch	Sai số ($\Delta\%$)
1	8	2.55	3.3	1.7	0.8	0.8	1.1	4.34	4.3	0.1	1.48
2	14	4.46	9.2	12.6	0.5	0.2	0.5	13.80	15.8	-2.0	12.39
3	17	5.41	8	14.6	3.7	3.1	3.9	25.18	24.8	0.4	1.52
4	18.5	5.89	8	16.1	4.0	2.6	4.3	26.98	30.2	-3.2	10.69
5	20	6.37	10.7	26.5	2.2	1.2	1.5	31.40	36.2	-4.8	13.23
6	23	7.32	11.9	37.5	6.2	3	4	50.70	50.1	0.6	1.14
7	26.5	8.44	11.5	40.9	8.4	5.2	6.9	61.32	69.8	-8.5	12.19
8	28	8.91	14.9	52.5	5.6	4.5	18	80.60	79.3	1.3	1.63
9	31	9.87	13.6	89.8	11.5	5.2	9	115.50	100.6	14.9	14.86
10	33.5	10.66	14.8	100.2	8.5	7.5	7	123.20	120.5	2.7	2.25
11	36	11.46	15	123.8	12	8.6	12	156.40	142.5	13.9	9.75
12	38	12.10	15	119.6	16.5	8.6	13	157.70	161.7	-4.0	2.45
13	45	14.32	15.8	189	15.3	12.6	11.7	228.60	239.8	-11.2	4.66
14	53	16.87	15.8	277.2	80	16	30	403.20	351.2	52.0	14.81
15	75	23.89	19.5	538.2	175	67	35	815.2	790.1	25.1	3.18
TB								152.94	147.78	5.16	7.08
Min								4.34	4.28	-11.18	1.14
Max								815.20	790.06	52.02	14.86
% sai số mang dấu '+'										40.0	
% sai số mang dấu '-'										60.0	

Phụ lục 4: Kết cấu sinh khối tươi quần thể Đước

Quần thể	D1.3	Hnv	Mật độ	Wsk	Wbrk	Wlk	Wrk	TAGB
	(cm)	(m)	N/ha	Tấn/ha	Tấn/ha	Tấn/ha	Tấn/ha	Tấn/ha
1	3.3	6.3	15500	384.0	85.5	29.2	42.2	540.9
2	3.6	7.0	7880	210.2	46.8	16.0	23.1	296.1
3	4.2	7.9	15800	193.2	43.0	14.7	21.2	272.1
4	4.3	7.8	5740	219.6	48.9	16.7	24.1	309.3
5	5.7	9.6	9100	294.2	65.5	22.4	32.3	414.4
6	5.7	9.6	7000	209.8	46.7	16.0	23.0	295.4
7	6.1	9.9	4600	206.9	46.1	15.7	22.7	291.5
8	6.8	10.4	4140	148.0	32.9	11.3	16.3	208.5
9	7.2	11.0	3320	77.1	17.2	5.9	8.5	108.6
10	7.5	11.6	6300	65.3	14.5	5.0	7.2	92.0
11	7.8	11.8	3920	194.5	43.3	14.8	21.4	274.0
12	8.2	12.2	3500	215.2	47.9	16.4	23.6	303.1
13	8.4	12.5	3600	252.0	56.1	19.2	27.7	354.9
14	8.5	12.6	3940	285.7	63.6	21.7	31.4	402.4
15	8.6	12.5	3500	294.3	65.5	22.4	32.3	414.6
16	8.7	12.6	3400	331.0	73.7	25.2	36.4	466.2
17	8.7	12.6	4700	293.0	65.2	22.3	32.2	412.7
18	8.9	12.7	4300	181.9	40.5	13.8	20.0	256.2
19	8.9	12.6	4240	429.0	95.5	32.6	47.1	604.2
20	9.0	12.8	3340	271.0	60.3	20.6	29.8	381.6
21	9.2	12.3	3040	145.3	32.3	11.1	16.0	204.7
22	9.2	13.2	3780	278.5	62.0	21.2	30.6	392.2
23	9.8	13.4	2540	391.9	87.2	29.8	43.1	552.0
24	9.9	13.7	2740	310.5	69.1	23.6	34.1	437.4
25	10.0	13.6	2380	313.8	69.8	23.9	34.5	441.9
26	10.1	13.5	2500	350.6	78.0	26.7	38.5	493.8
27	10.4	13.8	3300	362.3	80.6	27.6	39.8	510.3
28	10.4	13.6	3220	354.3	78.8	26.9	38.9	499.0
29	10.6	14.0	2440	237.2	52.8	18.0	26.1	334.1
30	10.9	14.3	2100	302.0	67.2	23.0	33.2	425.3
31	10.9	13.3	2060	187.7	41.8	14.3	20.6	264.4

32	11.0	14.2	2680	162.4	36.1	12.4	17.8	228.8
33	11.1	14.5	2740	215.4	47.9	16.4	23.7	303.3
34	11.2	14.4	3100	264.7	58.9	20.1	29.1	372.8
35	11.5	13.7	2580	123.7	27.5	9.4	13.6	174.3
36	11.9	15.0	2500	177.0	39.4	13.5	19.4	249.3
37	12.1	15.0	2300	354.1	78.8	26.9	38.9	498.7
38	12.2	15.2	2900	299.7	66.7	22.8	32.9	422.0
39	12.3	14.9	2100	376.6	83.8	28.6	41.4	530.5
40	12.6	15.2	2520	302.9	67.4	23.0	33.3	426.6
41	13.0	15.8	2360	301.2	67.0	22.9	33.1	424.3
42	13.3	15.8	2060	268.8	59.8	20.4	29.5	378.5
43	13.3	15.8	2420	268.1	59.7	20.4	29.5	377.6
44	13.5	16.0	2380	216.2	48.1	16.4	23.8	304.5
45	13.7	16.0	1780	208.2	46.3	15.8	22.9	293.3
46	13.9	16.3	2060	246.8	54.9	18.8	27.1	347.7
47	14.4	16.3	1040	222.0	49.4	16.9	24.4	312.7
48	14.7	16.4	1400	378.8	84.3	28.8	41.6	533.5
49	14.8	16.6	1760	211.8	47.1	16.1	23.3	298.3
50	14.9	16.6	1480	333.0	74.1	25.3	36.6	469.0
51	14.9	16.8	1600	323.9	72.1	24.6	35.6	456.2
52	15.0	16.7	1260	315.7	70.3	24.0	34.7	444.7
53	15.2	16.8	1600	390.8	87.0	29.7	42.9	550.4
54	15.9	17.0	1060	364.7	81.2	27.7	40.1	513.7
55	16.2	17.6	1160	354.6	78.9	27.0	39.0	499.4
56	16.4	17.4	1440	311.8	69.4	23.7	34.2	439.1
Trung Bình	10.5	13.6	3,539	267.6	59.5	20.3	29.4	376.8

Phụ lục 5: Kết cấu sinh khối khô quần thể Đước

ÔTC	Tên ÔTC	Cấp đất	Cấp tuổi	Tuổi	D1.3	Hnv	Mật độ	Wsk		Wbrk		Wlk		Wrk		TAGB
					(cm)	(m)	N/ha	Tấn/ha	%	Tấn/ha	%	Tấn/ha	%	Tấn/ha	%	Tấn/ha
1	MN2	I	I	5	3.3	6.3	15500	67.8	73.6	14.4	15.7	2.6	2.8	7.3	7.9	92.1
2	NM3	I	I	5	4.2	7.9	15800	97.0	73.6	20.6	15.7	3.7	2.8	10.4	7.9	131.8
3	TA8	I	II	10	7.1	10.9	3320	91.3	73.6	19.5	15.8	3.5	2.8	9.8	7.9	124.1
4	NH11	I	II	9	6.1	9.9	4600	89.6	73.6	19.2	15.8	3.4	2.8	9.6	7.9	121.8
5	DM10	I	II	10	7.8	11.8	3920	115.8	73.6	24.8	15.8	4.4	2.8	12.4	7.9	157.3
6	NH009	I	II	10	7.5	11.6	6300	163.2	73.6	34.9	15.8	6.2	2.8	17.4	7.9	221.8
7	CM5	I	II	10	8.5	12.6	3940	128.4	73.6	27.5	15.8	4.9	2.8	13.7	7.9	174.5
8	TA7	I	III	13	10.0	13.6	2380	134.1	74.0	28.1	15.5	4.9	2.7	14.1	7.8	181.2
9	NH2	II	III	14	9.8	13.4	2540	139.5	74.0	29.2	15.5	5.1	2.7	14.6	7.8	188.4
10	DM1	I	III	13	8.9	12.7	4300	180.5	74.0	37.8	15.5	6.6	2.7	18.9	7.8	243.8
11	DM4	I	III	14	10.3	13.8	3300	203.3	74.0	42.6	15.5	7.5	2.7	21.3	7.8	274.7
12	CM6	I	III	13	9.2	13.2	3780	160.0	74.0	33.5	15.5	5.9	2.7	16.8	7.8	216.1
13	CB1	I	III	13	10.9	14.3	2100	143.9	74.0	30.1	15.5	5.3	2.7	15.1	7.8	194.4
14	CB4	I	III	14	9.9	13.7	2740	137.2	74.0	28.8	15.5	5.0	2.7	14.4	7.8	185.4
15	DM3	I	IV	18	12.3	14.9	2100	206.0	73.6	44.7	16.0	7.6	2.7	21.6	7.7	279.8
16	DM5	I	IV	18	13.0	15.8	2360	232.5	73.6	50.5	16.0	8.6	2.7	24.3	7.7	315.9
17	DM6	I	IV	19	13.9	16.3	2060	240.3	73.6	52.1	16.0	8.8	2.7	25.2	7.7	326.5
18	DM9	I	IV	18	11.0	14.2	2680	200.3	73.6	43.5	16.0	7.4	2.7	21.0	7.7	272.1
19	NM4	I	IV	18	11.2	14.4	3100	234.9	73.6	51.0	16.0	8.6	2.7	24.6	7.7	319.0
20	DM-CHI	I	IV	18	11.9	15.0	2500	198.8	73.6	43.1	16.0	7.3	2.7	20.8	7.7	270.0
21	DM-CHII	I	IV	19	12.2	15.2	2900	249.8	73.6	54.2	16.0	9.2	2.7	26.1	7.7	339.4
22	DM-CHIII	I	IV	18	12.1	15.0	2300	200.9	73.6	43.6	16.0	7.4	2.7	21.0	7.7	272.9
23	TDCHA14	I	IV	18	14.7	16.4	1400	199.8	73.6	43.3	16.0	7.4	2.7	20.9	7.7	271.4
24	TDCHA15	I	IV	17	15.9	17.0	1060	178.3	73.6	38.7	16.0	6.6	2.7	18.7	7.7	242.2
25	TCCAT5	I	IV	17	15.0	16.7	1260	177.8	73.6	38.6	16.0	6.5	2.7	18.6	7.7	241.6
26	KNT2	I	IV	16	14.4	16.3	1040	143.4	73.6	31.1	16.0	5.3	2.7	15.0	7.7	194.8
27	NH10	I	V	20	16.2	17.6	1160	181.4	74.4	37.7	15.5	6.4	2.6	18.5	7.6	243.9
28	DM2	I	V	21	13.3	15.8	2420	262.4	74.4	54.6	15.5	9.2	2.6	26.7	7.6	352.8
29	TP2	I	V	24	13.5	16.0	2380	261.6	74.4	54.4	15.5	9.2	2.6	26.6	7.6	351.8
30	TP4	I	V	24	14.8	16.6	1760	244.2	74.4	50.8	15.5	8.6	2.6	24.8	7.6	328.3
31	TP6	I	V	23	15.2	16.8	1600	237.4	74.4	49.4	15.5	8.3	2.6	24.2	7.6	319.2
32	k4	I	V	22	13.7	16.0	1780	208.7	74.4	43.4	15.5	7.3	2.6	21.2	7.6	280.6
33	CB2	I	VI	28	16.4	17.4	1440	258.1	74.2	54.8	15.8	9.2	2.7	25.6	7.4	347.7
34	NH9	II	VI	28	11.5	13.7	2580	292.3	74.2	62.1	15.8	10.4	2.7	29.0	7.4	393.8
35	NH-1-14	II	II	9	5.7	9.6	7000	100.2	73.6	21.4	15.8	3.8	2.8	10.7	7.9	136.1
36	NH008	II	II	10	5.7	9.6	9100	132.8	73.6	28.4	15.8	5.0	2.8	14.2	7.9	180.5
37	TA9	II	I	5	4.3	7.8	5740	42.3	73.6	9.0	15.7	1.6	2.8	4.5	7.9	57.4
38	TA10	II	I	5	3.6	7.0	7880	35.8	73.6	7.6	15.7	1.4	2.8	3.8	7.9	48.7
39	TA2	II	III	14	8.6	12.5	3500	136.2	74.0	28.5	15.5	5.0	2.7	14.3	7.8	184.1

40	TA3	II	III	11	6.8	10.4	4140	125.2	74.0	26.2	15.5	4.6	2.7	13.1	7.8	169.1
41	TA4	II	III	14	9.0	12.8	3340	142.3	74.0	29.8	15.5	5.2	2.7	14.9	7.8	192.3
42	TA6	II	III	13	8.7	12.6	3400	135.9	74.0	28.5	15.5	5.0	2.7	14.3	7.8	183.7
43	NH1	II	III	13	8.4	12.5	3600	126.0	74.0	26.4	15.5	4.6	2.7	13.2	7.8	170.3
44	NH5	II	III	14	8.7	12.6	4700	190.7	74.0	40.0	15.5	7.0	2.7	20.0	7.8	257.7
45	NH7	II	III	14	8.9	12.6	4240	189.9	74.0	39.8	15.5	7.0	2.7	19.9	7.8	256.6
46	NH8	II	III	13	8.2	12.2	3500	117.9	74.0	24.7	15.5	4.3	2.7	12.4	7.8	159.3
47	TA5	II	IV	18	11.1	14.5	2740	195.2	73.6	42.3	16.0	7.2	2.7	20.4	7.7	265.1
48	NH3	II	IV	18	10.6	14.0	2440	167.2	73.6	36.3	16.0	6.2	2.7	17.5	7.7	227.1
49	NH4	II	IV	16	9.2	12.3	3040	189.5	73.6	41.1	16.0	7.0	2.7	19.8	7.7	257.4
50	DM8	II	IV	18	10.1	13.5	2500	157.3	73.6	34.1	16.0	5.8	2.7	16.5	7.7	213.7
51	TA1	II	V	23	12.6	15.2	2520	257.1	74.4	53.5	15.5	9.0	2.6	26.2	7.6	345.7
52	DM7	II	V	23	10.4	13.6	3220	237.2	74.4	49.3	15.5	8.3	2.6	24.1	7.6	318.9
53	CB5	II	V	23	13.3	15.8	2060	222.9	74.4	46.3	15.5	7.8	2.6	22.7	7.6	299.7
54	CB6	II	V	23	14.9	16.8	1600	216.8	74.4	45.1	15.5	7.6	2.6	22.1	7.6	291.6
55	TP1	II	V	22	14.9	16.6	1480	211.3	74.4	43.9	15.5	7.4	2.6	21.5	7.6	284.2
56	NH6	II	VI	28	10.9	13.3	2060	225.5	74.2	47.9	15.8	8.1	2.7	22.4	7.4	303.8
Trung bình					10.5	13.6	3539		73.9		15.7		2.7		7.7	
Cbp/TAGC								175.3		37.2		6.4		18.2		237.0

Phụ lục 6. Kết cấu sinh khối khô quần thể Đước theo cấp tuổi

ÔTC	Cấp đất	Cấp tuổi	Tuổi	D1,3	Hnv	Mật độ	Wsk		Wbrk		Wlk		Wrk		TAG B
				(cm)	(m)	N/ha	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha
1	I	I	5	3,3	6,3	15500	67,8	73,6	14,4	15,7	2,6	2,8	7,3	7,9	92,1
2		I	5	4,2	7,9	15800	97,0	73,6	20,6	15,7	3,7	2,8	10,4	7,9	131,8
3		II	10	7,1	10,9	3320	91,3	73,6	19,5	15,8	3,5	2,8	9,8	7,9	124,1
4		II	9	6,1	9,9	4600	89,6	73,6	19,2	15,8	3,4	2,8	9,6	7,9	121,8
5		II	10	7,8	11,8	3920	115,8	73,6	24,8	15,8	4,4	2,8	12,4	7,9	157,3
6		II	10	7,5	11,6	6300	163,2	73,6	34,9	15,8	6,2	2,8	17,4	7,9	221,8
7		II	10	8,5	12,6	3940	128,4	73,6	27,5	15,8	4,9	2,8	13,7	7,9	174,5
8		III	13	10,0	13,6	2380	134,1	74,0	28,1	15,5	4,9	2,7	14,1	7,8	181,2
9		III	14	9,8	13,4	2540	139,5	74,0	29,2	15,5	5,1	2,7	14,6	7,8	188,4
10		III	13	8,9	12,7	4300	180,5	74,0	37,8	15,5	6,6	2,7	18,9	7,8	243,8
11		III	14	10,3	13,8	3300	203,3	74,0	42,6	15,5	7,5	2,7	21,3	7,8	274,7
12		III	13	9,2	13,2	3780	160,0	74,0	33,5	15,5	5,9	2,7	16,8	7,8	216,1
13		III	13	10,9	14,3	2100	143,9	74,0	30,1	15,5	5,3	2,7	15,1	7,8	194,4
14		III	14	9,9	13,7	2740	137,2	74,0	28,8	15,5	5,0	2,7	14,4	7,8	185,4
15		IV	18	12,3	14,9	2100	206,0	73,6	44,7	16,0	7,6	2,7	21,6	7,7	279,8
16		IV	18	13,0	15,8	2360	232,5	73,6	50,5	16,0	8,6	2,7	24,3	7,7	315,9
17		IV	19	13,9	16,3	2060	240,3	73,6	52,1	16,0	8,8	2,7	25,2	7,7	326,5
18		IV	18	11,0	14,2	2680	200,3	73,6	43,5	16,0	7,4	2,7	21,0	7,7	272,1
19		IV	18	11,2	14,4	3100	234,9	73,6	51,0	16,0	8,6	2,7	24,6	7,7	319,0
20		IV	18	11,9	15,0	2500	198,8		43,1	16,0	7,3	2,7	20,8		270,0

								73,6						7,7	
21		IV	19	12,2	15,2	2900	249,8	73,6	54,2	16,0	9,2	2,7	26,1	7,7	339,4
22		IV	18	12,1	15,0	2300	200,9	73,6	43,6	16,0	7,4	2,7	21,0	7,7	272,9
23		IV	18	14,7	16,4	1400	199,8	73,6	43,3	16,0	7,4	2,7	20,9	7,7	271,4
24		IV	17	15,9	17,0	1060	178,3	73,6	38,7	16,0	6,6	2,7	18,7	7,7	242,2
25		IV	17	15,0	16,7	1260	177,8	73,6	38,6	16,0	6,5	2,7	18,6	7,7	241,6
26		IV	16	14,4	16,3	1040	143,4	73,6	31,1	16,0	5,3	2,7	15,0	7,7	194,8
27		V	20	16,2	17,6	1160	181,4	74,4	37,7	15,5	6,4	2,6	18,5	7,6	243,9
28		V	21	13,3	15,8	2420	262,4	74,4	54,6	15,5	9,2	2,6	26,7	7,6	352,8
29		V	24	13,5	16,0	2380	261,6	74,4	54,4	15,5	9,2	2,6	26,6	7,6	351,8
30		V	24	14,8	16,6	1760	244,2	74,4	50,8	15,5	8,6	2,6	24,8	7,6	328,3
31		V	23	15,2	16,8	1600	237,4	74,4	49,4	15,5	8,3	2,6	24,2	7,6	319,2
32		V	22	13,7	16,0	1780	208,7	74,4	43,4	15,5	7,3	2,6	21,2	7,6	280,6
33		VI	28	16,4	17,4	1440	258,1	74,2	54,8	15,8	9,2	2,7	25,6	7,4	347,7
34		VI	28	11,5	13,7	2580	292,3	74,2	62,1	15,8	10,4	2,7	29,0	7,4	393,8
35		II	9	5,7	9,6	7000	100,2	73,6	21,4	15,8	3,8	2,8	10,7	7,9	136,1
36		II	10	5,7	9,6	9100	132,8	73,6	28,4	15,8	5,0	2,8	14,2	7,9	180,5
37		I	5	4,3	7,8	5740	42,3	73,6	9,0	15,7	1,6	2,8	4,5	7,9	57,4
38		I	5	3,6	7,0	7880	35,8	73,6	7,6	15,7	1,4	2,8	3,8	7,9	48,7
39		III	14	8,6	12,5	3500	136,2	74,0	28,5	15,5	5,0	2,7	14,3	7,8	184,1
40		III	11	6,8	10,4	4140	125,2	74,0	26,2	15,5	4,6	2,7	13,1	7,8	169,1
41	II	III	14	9,0	12,8	3340	142,3	74,0	29,8	15,5	5,2	2,7	14,9	7,8	192,3

42	III	13	8,7	12,6	3400	135,9	74,0	28,5	15,5	5,0	2,7	14,3	7,8	183,7
43	III	13	8,4	12,5	3600	126,0	74,0	26,4	15,5	4,6	2,7	13,2	7,8	170,3
44	III	14	8,7	12,6	4700	190,7	74,0	40,0	15,5	7,0	2,7	20,0	7,8	257,7
45	III	14	8,9	12,6	4240	189,9	74,0	39,8	15,5	7,0	2,7	19,9	7,8	256,6
46	III	13	8,2	12,2	3500	117,9	74,0	24,7	15,5	4,3	2,7	12,4	7,8	159,3
47	IV	18	11,1	14,5	2740	195,2	73,6	42,3	16,0	7,2	2,7	20,4	7,7	265,1
48	IV	18	10,6	14,0	2440	167,2	73,6	36,3	16,0	6,2	2,7	17,5	7,7	227,1
49	IV	16	9,2	12,3	3040	189,5	73,6	41,1	16,0	7,0	2,7	19,8	7,7	257,4
50	IV	18	10,1	13,5	2500	157,3	73,6	34,1	16,0	5,8	2,7	16,5	7,7	213,7
51	V	23	12,6	15,2	2520	257,1	4,4	53,5	15,5	9,0	2,6	26,2	7,6	345,7
52	V	23	10,4	13,6	3220	237,2	74,4	49,3	15,5	8,3	2,6	24,1	7,6	318,9
53	V	23	13,3	15,8	2060	222,9	74,4	46,3	15,5	7,8	2,6	22,7	7,6	299,7
54	V	23	14,9	16,8	1600	216,8	74,4	45,1	15,5	7,6	2,6	22,1	7,6	291,6
55	V	22	14,9	16,6	1480	211,3	74,4	43,9	15,5	7,4	2,6	21,5	7,6	284,2
56	VI	28	10,9	13,3	2060	225,5	74,2	47,9	15,8	8,1	2,7	22,4	7,4	303,8
Trung bình			10,5	13,6	3539		73,9		15,7		2,7		7,7	
Cbp/TAGC								37,2		6,4		18,2		237,0

Phụ lục 7. Sinh khối rừng Đước theo cấp tuổi cấp đất I

Cấp Tuổi	Cấp D	Hnv	N/ô	N/ha	Trữ lượng sinh khối tươi (kg)					Trữ lượng sinh khối khô (kg)				
	(cm)	(m)	Cây	Cây	Thân	Cành	Lá	Rễ	Tổng	Thân	Cành	Lá	RỄ	TAGB(t/ha)
I	3	6.2	115	11500	60.2	13.4	4.6	6.6	84.9	33.0	7.0	1.3	3.5	44.9
	6	9.7	39	3850	73.2	16.3	5.6	8.0	103.1	40.1	8.5	1.5	4.3	54.5
	9	12.4	6	210	10.7	2.4	0.8	1.2	15.1	5.9	1.3	0.2	0.6	8.0
	12	14.6	1	53	5.0	1.1	0.4	0.6	7.1	2.7	0.6	0.1	0.3	3.7
T. BÌNH	3.8	7.1	156.5	15650	150.4	33.5	11.4	16.5	211.8	82.4	17.5	3.2	8.9	112.0
II	3	7.4	32.3	705	5.4	1.2	0.4	0.6	7.6	3.3	0.7	0.1	0.4	4.5
	6	10.3	66.8	1848	44.1	9.8	3.4	4.8	62.1	27.2	5.8	1.0	2.9	37.0
	9	13.1	57.0	1524	87.6	19.5	6.7	9.6	123.4	54.0	11.6	2.0	5.8	73.4
	12	15.0	17.4	412	41.6	9.2	3.2	4.6	58.5	25.6	5.5	1.0	2.7	34.8
	15	16.8	5.0	100	17.3	3.9	1.3	1.9	24.4	10.7	2.3	0.4	1.1	14.5
	18	19.1	1.0	20	6.9	1.5	0.5	0.8	9.8	4.3	0.9	0.2	0.5	5.8
	21	19.2	1.0	20	7.2	1.6	0.5	0.8	10.1	4.4	1.0	0.2	0.5	6.0
T. BÌNH	7.4	11.4	170.4	4416	190.8	42.5	14.5	21.0	268.7	117.7	25.2	4.5	12.6	159.9
III	3	8.0	4.0	80	0.8	0.2	0.1	0.1	1.1	0.5	0.1	0.0	0.1	0.7
	6	10.7	32.0	640	17.2	3.8	1.3	1.9	24.3	11.2	2.3	0.4	1.2	15.1
	9	13.1	69.7	1393	80.2	17.8	6.1	8.8	112.9	52.0	10.9	1.9	5.4	70.2
	12	15.2	35.8	717	76.1	16.9	5.8	8.4	107.2	49.3	10.3	1.8	5.2	66.6
	15	16.9	9.7	193	34.5	7.7	2.6	3.8	48.7	22.4	4.7	0.8	2.3	30.2
	18	18.3	4.6	92	25.9	5.8	2.0	2.8	36.5	16.8	3.5	0.6	1.8	22.7
	21	19.6	3.7	73	29.7	6.6	2.3	3.3	41.8	19.2	4.0	0.7	2.0	26.0
	24	20.3	1.0	20	10.2	2.3	0.8	1.1	14.4	6.6	1.4	0.2	0.7	8.9
T. BÌNH	9.9	13.6	155.0	3100	246.6	54.9	18.8	27.1	347.4	159.8	33.5	5.9	16.8	216.0
IV	3	7.1	0.8	16	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
	6	10.9	5.8	218	5.8	1.3	0.4	0.6	8.1	3.8	0.8	0.1	0.4	5.2
	9	13.0	14.8	457	25.8	5.8	2.0	2.8	36.4	17.1	3.7	0.6	1.8	23.3
	12	15.3	17.0	553	61.7	13.7	4.7	6.8	86.9	40.9	8.9	1.5	4.3	55.6
	15	17.1	13.1	448	85.0	18.9	6.5	9.3	119.8	56.4	12.2	2.1	5.9	76.6
	18	18.4	10.2	270	75.8	16.9	5.8	8.3	106.8	50.3	10.9	1.9	5.3	68.3
	21	19.6	6.9	138	56.1	12.5	4.3	6.2	79.0	37.2	8.1	1.4	3.9	50.5
	24	20.4	2.3	46	25.0	5.6	1.9	2.7	35.2	16.6	3.6	0.6	1.7	22.5
	27	21.3	1.0	20	14.6	3.3	1.1	1.6	20.6	9.7	2.1	0.4	1.0	13.2
T. BÌNH	13.1	15.6	67.2	2063	309.4	68.9	23.5	34.0	435.8	205.2	44.5	7.6	21.5	278.8
V	6	11.0	2.8	56	1.7	0.4	0.1	0.2	2.3	1.1	0.2	0.0	0.1	1.5
	9	13.3	19.0	380	23.1	5.1	1.8	2.5	32.6	15.5	3.2	0.5	1.6	20.8
	12	15.4	24.7	493	56.4	12.6	4.3	6.2	79.5	37.8	7.9	1.3	3.8	50.8
	15	17.1	22.8	457	86.5	19.2	6.6	9.5	121.8	57.9	12.0	2.0	5.9	77.9
	18	18.5	17.3	347	99.9	22.2	7.6	11.0	140.6	66.8	13.9	2.3	6.8	89.9
	21	19.5	7.0	140	55.9	12.4	4.3	6.1	78.8	37.4	7.8	1.3	3.8	50.3
	24	20.4	2.8	56	30.8	6.9	2.3	3.4	43.4	20.6	4.3	0.7	2.1	27.7

	27	21.3	1.0	20	14.6	3.3	1.1	1.6	20.6	9.8	2.0	0.3	1.0	13.2
T. BÌNH	14.4	16.5	92.5	1850	347.5	77.3	26.4	38.2	489.4	232.6	48.4	8.2	23.7	312.8
VI	9	13.1	7.0	140	8.1	1.8	0.6	0.9	11.4	5.5	1.2	0.2	0.5	7.4
	12	15.4	17.0	340	39.4	8.8	3.0	4.3	55.4	26.8	5.7	1.0	2.7	36.1
	15	17.1	16.0	320	61.1	13.6	4.6	6.7	86.1	41.6	8.8	1.5	4.1	56.1
	18	18.6	14.0	280	84.5	18.8	6.4	9.3	119.0	57.6	12.2	2.1	5.7	77.6
	21	19.8	11.0	220	96.4	21.4	7.3	10.6	135.7	65.7	13.9	2.3	6.5	88.5
	24	20.7	4.0	80	46.7	10.4	3.6	5.1	65.8	31.8	6.8	1.1	3.2	42.9
	27	21.3	3.0	60	42.6	9.5	3.2	4.7	60.1	29.0	6.2	1.0	2.9	39.1
T. BÌNH	16.4	17.4	72.0	1440	378.8	84.3	28.8	41.6	533.5	258.1	54.8	9.2	25.6	347.7

Phụ lục 8. Sinh khối rừng Đước theo cấp tuổi cấp đất II

Cấp Tuổi	Cấp D	Hnv	N/ô	N/ha	Trữ lượng sinh khối tươi (kg)					Trữ lượng sinh khối khô (kg)				
					Thân	Cành	Lá	Rễ	Tổng	Thân	Cành	Lá	Rễ	TAGB(t/ha)
I	3	6.5	264.5	5290	31.4	7.0	2.4	3.5	44.2	17.2	3.7	0.7	1.8	23.4
	6	9.4	64.5	1290	22.5	5.0	1.7	2.5	31.7	12.3	2.6	0.5	1.3	16.7
	9	12.8	8.5	170	9.0	2.0	0.7	1.0	12.7	4.9	1.1	0.2	0.5	6.7
	12	14.9	1.5	30	3.1	0.7	0.2	0.3	4.3	1.7	0.4	0.1	0.2	2.3
T. BÌNH	3.8	7.4	340.5	6810	71.2	15.9	5.4	7.8	100.3	39.0	8.3	1.5	4.2	53.0
II	3	7.0	24.0	2400	17.1	3.8	1.3	1.9	24.1	10.6	2.3	0.4	1.1	14.3
	6	9.7	41.0	4100	80.5	17.9	6.1	8.8	113.4	49.6	10.6	1.9	5.3	67.5
	9	13.1	15.0	1500	85.2	19.0	6.5	9.4	120.0	52.5	11.2	2.0	5.6	71.4
	12	15.6	1.0	100	12.2	2.7	0.9	1.3	17.2	7.5	1.6	0.3	0.8	10.2
T. BÌNH	7.4	9.6	80.5	8050	188.9	42.0	14.4	20.8	266.1	116.5	24.9	4.4	12.5	158.3
III	3	7.6	14.9	298	2.2	0.5	0.2	0.2	3.2	1.5	0.3	0.1	0.2	2.0
	6	10.3	61.3	1227	29.7	6.6	2.3	3.3	41.9	19.3	4.0	0.7	2.0	26.0
	9	13.1	59.7	1193	68.2	15.2	5.2	7.5	96.1	44.2	9.3	1.6	4.6	59.7
	12	15.1	36.0	720	76.8	17.1	5.8	8.4	108.2	49.8	10.4	1.8	5.2	67.2
	15	16.9	8.8	176	31.2	6.9	2.4	3.4	44.0	20.2	4.2	0.7	2.1	27.3
	18	18.3	2.3	46	12.3	2.7	0.9	1.3	17.3	7.9	1.7	0.3	0.8	10.7
	21	19.5	0.8	17	6.7	1.5	0.5	0.7	9.4	4.3	0.9	0.2	0.5	5.8
24	20.8	0.2	4	2.5	0.5	0.2	0.3	3.5	1.6	0.3	0.1	0.2	2.2	
T. BÌNH	9.9	13.6	155.0	3100	246.6	54.9	18.8	27.1	347.4	159.8	33.5	5.9	16.8	216.0
IV	3	7.5	8.3	165	1.1	0.2	0.1	0.1	1.5	0.7	0.2	0.0	0.1	1.0
	6	10.4	30.3	605	15.1	3.4	1.1	1.7	21.3	10.0	2.2	0.4	1.0	13.6
	9	13.1	39.8	795	45.4	10.1	3.5	5.0	64.0	30.1	6.5	1.1	3.2	40.9
	12	15.3	28.3	565	63.3	14.1	4.8	7.0	89.2	42.0	9.1	1.5	4.4	57.0
	15	17.0	15.5	310	57.8	12.9	4.4	6.3	81.4	38.3	8.3	1.4	4.0	52.1
	18	18.4	7.3	145	40.4	9.0	3.1	4.4	56.9	26.8	5.8	1.0	2.8	36.4
	21	19.5	3.3	65	26.3	5.9	2.0	2.9	37.1	17.5	3.8	0.6	1.8	23.7
	24	20.5	1.3	25	13.9	3.1	1.1	1.5	19.6	9.2	2.0	0.3	1.0	12.5
27	21.6	0.5	10	7.9	1.8	0.6	0.9	11.2	5.3	1.1	0.2	0.6	7.1	
T. BÌNH	13.1	15.6	67.2	2063	309.4	68.9	23.5	34.0	435.8	205.2	44.5	7.6	21.5	278.8
V	6	11.1	15.3	305	8.1	1.8	0.6	0.9	11.4	5.4	1.1	0.2	0.6	7.3
	9	13.2	23.2	464	27.3	6.1	2.1	3.0	38.5	18.3	3.8	0.6	1.9	24.6
	12	15.2	24.2	484	53.2	11.8	4.0	5.8	74.9	35.6	7.4	1.2	3.6	47.9
	15	17.1	23.0	460	86.6	19.3	6.6	9.5	122.0	58.0	12.1	2.0	5.9	78.0
	18	18.3	14.8	296	81.7	18.2	6.2	9.0	115.1	54.7	11.4	1.9	5.6	73.6
	21	19.7	5.6	112	46.9	10.4	3.6	5.2	66.1	31.4	6.5	1.1	3.2	42.2
	24	20.6	2.6	52	29.3	6.5	2.2	3.2	41.2	19.6	4.1	0.7	2.0	26.3
	27	21.6	1.0	20	16.1	3.6	1.2	1.8	22.6	10.8	2.2	0.4	1.1	14.5
T. BÌNH	14.4	16.5	92.5	1850	347.5	77.3	26.4	38.2	489.4	232.6	48.4	8.2	23.7	312.8

	9	12.9	23.0	460	25.0	5.6	1.9	2.7	35.2	17.0	3.6	0.6	1.7	23.0
	12	15.1	19.0	380	40.3	9.0	3.1	4.4	56.7	27.4	5.8	1.0	2.7	37.0
	15	16.9	7.5	150	27.0	6.0	2.1	3.0	38.0	18.4	3.9	0.7	1.8	24.8
	18	18.6	6.0	120	37.2	8.3	2.8	4.1	52.4	25.4	5.4	0.9	2.5	34.2
	21	19.6	6.0	120	50.1	11.1	3.8	5.5	70.6	34.1	7.2	1.2	3.4	46.0
	24	20.6	5.5	110	63.9	14.2	4.9	7.0	90.0	43.5	9.2	1.6	4.3	58.6
VI	27	21.2	1.0	20	14.1	3.1	1.1	1.6	19.9	9.6	2.0	0.3	1.0	13.0
T. BÌNH	16.4	13.5	116.0	2320	380.0	84.6	28.9	41.7	414.9	258.9	55.0	9.2	25.7	323.6

Phụ lục 9. Tích lũy các bon của quần thể Đước

ÔTC	D1.3	Hnv	Mật độ	M	Cst		Cbr		Cl		Cr		TAGC	CO2
	(cm)	(m)	N/ha	m3/ha	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	Tấn/ha	
1	12.6	15.2	2520	324.8	124.1	75.0	25.4	15.4	3.7	2.2	12.3	7.4	165.5	607.4
2	8.6	12.5	3500	167.1	65.7	74.6	13.6	15.4	2.1	2.3	6.7	7.6	88.1	323.3
3	6.8	10.4	4140	154.3	60.4	74.6	12.5	15.4	1.9	2.3	6.2	7.6	80.9	297.1
4	9.0	12.8	3340	175.8	68.7	74.6	14.2	15.4	2.1	2.3	7.0	7.6	92.0	337.8
5	11.1	14.5	2740	243.8	94.2	74.2	20.1	15.9	2.9	2.3	9.6	7.6	126.9	465.7
6	8.7	12.6	3400	167.1	65.6	74.6	13.5	15.4	2.0	2.3	6.7	7.6	87.9	322.6
7	10.0	13.6	2380	169.5	64.7	74.6	13.4	15.4	2.0	2.3	6.6	7.6	86.7	318.2
8	7.1	10.9	3320	116.2	44.1	74.2	9.3	15.7	1.4	2.4	4.6	7.7	59.4	217.8
9	4.3	7.8	5740	51.6	20.4	74.2	4.3	15.6	0.7	2.4	2.1	7.8	27.5	100.8
10	3.6	7.0	7880	27.2	12.1	74.2	2.5	15.6	0.4	2.4	1.3	7.8	16.4	60.0
11	8.4	12.5	3600	152.2	60.8	74.6	12.6	15.4	1.9	2.3	6.2	7.6	81.5	299.1
12	9.8	13.4	2540	176.0	67.3	74.6	13.9	15.4	2.1	2.3	6.9	7.6	90.2	331.0
13	10.6	14.0	2440	208.8	80.7	74.2	17.3	15.9	2.5	2.3	8.2	7.6	108.7	398.8
14	9.2	12.3	3040	238.4	91.5	74.2	19.6	15.9	2.9	2.3	9.3	7.6	123.2	452.1
15	8.7	12.6	4700	234.5	92.1	74.6	19.0	15.4	2.9	2.3	9.4	7.6	123.3	452.7
16	10.9	13.3	2060	281.2	108.8	74.8	22.8	15.7	3.3	2.3	10.5	7.2	145.4	533.7
17	8.9	12.6	4240	236.9	91.6	74.6	18.9	15.4	2.9	2.3	9.4	7.6	122.8	450.6
18	8.2	12.2	3500	142.2	56.9	74.6	11.8	15.4	1.8	2.3	5.8	7.6	76.2	279.8
19	11.5	13.7	2580	365.6	141.1	74.8	29.5	15.7	4.3	2.3	13.6	7.2	188.5	691.7
20	16.2	17.6	1160	232.9	87.5	75.0	17.9	15.4	2.6	2.2	8.7	7.4	116.8	428.5
21	6.1	9.9	4600	110.6	43.2	74.2	9.1	15.7	1.4	2.4	4.5	7.7	58.3	213.8
22	8.9	12.7	4300	222.6	87.1	74.6	18.0	15.4	2.7	2.3	8.9	7.6	116.7	428.3
23	13.3	15.8	2420	332.1	126.6	75.0	25.9	15.4	3.8	2.2	12.5	7.4	168.9	619.8
24	12.3	14.9	2100	262.8	99.4	74.2	21.3	15.9	3.1	2.3	10.1	7.6	133.9	491.4
25	10.3	13.8	3300	258.4	98.1	74.6	20.3	15.4	3.1	2.3	10.0	7.6	131.5	482.5
26	13.0	15.8	2360	295.5	112.2	74.2	24.0	15.9	3.5	2.3	11.4	7.6	151.2	554.8
27	13.9	16.3	2060	307.9	116.0	74.2	24.8	15.9	3.6	2.3	11.8	7.6	156.2	573.4
28	10.4	13.6	3220	295.8	114.5	75.0	23.5	15.4	3.4	2.2	11.3	7.4	152.7	560.3
29	10.1	13.5	2500	196.0	75.9	74.2	16.2	15.9	2.4	2.3	7.7	7.6	102.3	375.4
30	11.0	14.2	2680	251.8	96.7	74.2	20.7	15.9	3.0	2.3	9.9	7.6	130.2	477.9

31	7.8	11.8	3920	145.9	55.9	74.2	11.8	15.7	1.8	2.4	5.8	7.7	75.3	276.2
32	5.7	9.6	7000	97.9	48.3	74.2	10.2	15.7	1.6	2.4	5.0	7.7	65.1	239.0
33	5.7	9.6	9100	130.9	64.1	74.2	13.5	15.7	2.1	2.4	6.7	7.7	86.4	316.9
34	7.5	11.6	6300	169.6	78.8	74.2	16.6	15.7	2.5	2.4	8.2	7.7	106.1	389.5
35	3.3	6.3	15500	67.4	32.7	74.2	6.9	15.6	1.1	2.4	3.4	7.8	44.1	161.8
36	4.2	7.9	15800	95.0	46.8	74.2	9.8	15.6	1.5	2.4	4.9	7.8	63.1	231.4
37	11.2	14.4	3100	248.6	113.3	74.2	24.2	15.9	3.5	2.3	11.6	7.6	152.7	560.3
38	11.9	15.0	2500	210.2	95.9	74.2	20.5	15.9	3.0	2.3	9.8	7.6	129.2	474.2
39	12.2	15.2	2900	265.6	120.6	74.2	25.8	15.9	3.8	2.3	12.3	7.6	162.4	596.0
40	12.1	15.0	2300	214.4	97.0	74.2	20.7	15.9	3.0	2.3	9.9	7.6	130.6	479.4
41	14.7	16.4	1400	218.1	96.4	74.2	20.6	15.9	3.0	2.3	9.8	7.6	129.9	476.7
42	15.9	17.0	1060	195.6	86.0	74.2	18.4	15.9	2.7	2.3	8.8	7.6	115.9	425.3
43	15.0	16.7	1260	193.7	85.8	74.2	18.4	15.9	2.7	2.3	8.7	7.6	115.6	424.3
44	14.4	16.3	1040	156.1	69.2	74.2	14.8	15.9	2.2	2.3	7.1	7.6	93.2	342.2
45	8.5	12.6	3940	135.7	62.0	74.2	13.1	15.7	2.0	2.4	6.5	7.7	83.5	306.4
46	9.2	13.2	3780	164.8	77.2	74.6	15.9	15.4	2.4	2.3	7.9	7.6	103.4	379.6
47	10.9	14.3	2100	154.8	69.4	74.6	14.3	15.4	2.2	2.3	7.1	7.6	93.0	341.4
48	16.4	17.4	1440	275.5	124.6	74.8	26.1	15.7	3.8	2.3	12.0	7.2	166.4	610.8
49	9.9	13.7	2740	143.6	66.2	74.6	13.7	15.4	2.1	2.3	6.8	7.6	88.7	325.7
50	13.3	15.8	2060	237.6	107.6	75.0	22.0	15.4	3.2	2.2	10.7	7.4	143.5	526.6
51	14.9	16.8	1600	233.4	104.6	75.0	21.4	15.4	3.1	2.2	10.4	7.4	139.6	512.2
52	14.9	16.6	1480	228.2	102.0	75.0	20.9	15.4	3.0	2.2	10.1	7.4	136.0	499.3
53	13.5	16.0	2380	279.0	126.2	75.0	25.9	15.4	3.8	2.2	12.5	7.4	168.4	618.0
54	14.8	16.6	1760	263.2	117.8	75.0	24.1	15.4	3.5	2.2	11.7	7.4	157.2	576.8
55	15.2	16.8	1600	256.6	114.6	75.0	23.5	15.4	3.4	2.2	11.4	7.4	152.8	560.8
56	13.7	16.0	1780	223.4	100.7	75.0	20.6	15.4	3.0	2.2	10.0	7.4	134.3	493.0
Trung Bình			3539		84.5		17.7		2.6		8.5		113.3	415.9
Cbp/T														
AGC				203.6		74.5		15.6		2.3		7.6		

Phụ lục 10. Tích lũy C và trữ lượng rừng Đước theo cấp tuổi

Cấp Tuổi	Cấp D	Hnv	N/ô	N/ha	Trữ lượng Các bon (kg)					M m3	CO ₂
					Tổng	Thân	Cành	Lá	Rễ		
I	3	6.4	190	8395	15.5	11.5	2.4	0.4	1.2	21.5	56.7
	6	9.5	52	2570	16.7	12.4	2.6	0.4	1.3	27.6	61.4
	9	12.6	6	210	3.6	2.7	0.6	0.1	0.3	7.0	13.3
	12	14.8	1	53	1.8	1.3	0.3	0.0	0.1	3.7	6.6
	15	16.8	2	30	2.4	1.8	0.4	0.1	0.2	5.8	8.9
T. BÌNH	3.9	7.2	249	11230	37.7	28.0	5.9	0.9	2.9	65.6	138.5
II	3	7.3	30	1270	3.7	2.8	0.6	0.1	0.3	4.8	13.7
	6	10.1	59	2491	21.9	16.2	3.4	0.5	1.7	33.6	80.2
	9	13.1	45	1517	34.8	25.9	5.5	0.8	2.7	59.7	127.9
	12	15.1	15	360	14.7	10.9	2.3	0.4	1.1	28.0	54.0
	15	16.8	5	100	6.9	5.2	1.1	0.2	0.5	14.7	25.5
	18	19.1	1	20	2.8	2.1	0.4	0.1	0.2	6.0	10.2
21	19.2	1	20	2.9	2.1	0.5	0.1	0.2	6.3	10.6	
T. BÌNH	6.9	10.9	145	5454	76.3	56.6	11.9	1.8	5.9	129.5	280.0
III	3	7.7	12	243	0.8	0.6	0.1	0.0	0.1	1.1	2.9
	6	10.5	50	992	10.4	7.7	1.6	0.2	0.8	17.1	38.1
	9	13.1	64	1273	30.6	22.8	4.7	0.7	2.3	55.0	112.3
	12	15.1	36	719	32.1	23.9	4.9	0.7	2.4	60.9	117.7
	15	16.9	9	183	13.6	10.2	2.1	0.3	1.0	26.9	50.0
	18	18.3	3	65	7.5	5.6	1.2	0.2	0.6	15.1	27.6
	21	19.6	2	36	6.0	4.5	0.9	0.1	0.5	12.0	22.0
24	20.6	0	7	1.6	1.2	0.2	0.0	0.1	3.3	5.8	
T. BÌNH	9.1	12.9	172	3437	97.5	72.8	15.0	2.3	7.4	181.3	358.0
IV	3	7.3	3	62	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6
	6	10.8	12	321	3.6	2.6	0.6	0.1	0.3	5.5	13.1
	9	13.0	21	541	13.3	9.8	2.1	0.3	1.0	22.5	48.6
	12	15.3	20	556	26.8	19.9	4.3	0.6	2.0	47.6	98.3
	15	17.1	14	414	33.7	25.0	5.4	0.8	2.6	60.9	123.8
	18	18.4	9	239	28.9	21.4	4.6	0.7	2.2	52.8	106.0
21	19.6	6	113	19.9	14.8	3.2	0.5	1.5	37.0	73.0	

	24	20.4	2	38	9.0	6.7	1.4	0.2	0.7	16.9	33.1
	27	21.4	1	16	5.2	3.8	0.8	0.1	0.4	9.6	18.9
T. BÌNH	12.4	15.1	84	2218	128.9	95.7	20.5	3.0	9.8	231.7	473.0
V	3	7.7	3	65	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9
	6	11.1	8	167	1.9	1.5	0.3	0.0	0.1	3.1	7.1
	9	13.2	21	422	10.9	8.2	1.7	0.2	0.8	18.0	39.9
	12	15.3	24	489	23.7	17.8	3.6	0.5	1.8	40.8	86.9
	15	17.1	23	458	37.3	28.0	5.7	0.8	2.8	66.9	136.9
	18	18.4	16	324	39.5	29.6	6.1	0.9	2.9	71.2	144.9
	21	19.6	6	127	22.3	16.7	3.4	0.5	1.7	40.0	82.0
	24	20.5	3	54	12.9	9.7	2.0	0.3	1.0	23.4	47.5
	27	21.5	1	20	6.7	5.0	1.0	0.2	0.5	13.0	24.6
	30	22.0	1	10	4.0	3.0	0.6	0.1	0.3	8.2	14.8
T. BÌNH	13.9	16.1	100	1998	148.7	111.5	22.8	3.3	11.0	264.3	545.7
VI	3	6.9	16	320	1.0	0.8	0.2	0.0	0.1	1.4	3.7
	6	10.0	27	540	5.2	3.9	0.8	0.1	0.4	8.2	19.1
	9	13.0	18	353	8.5	6.4	1.3	0.2	0.6	14.7	31.2
	12	15.2	18	367	17.6	13.1	2.7	0.4	1.3	31.2	64.4
	15	17.0	10	207	16.8	12.6	2.6	0.4	1.2	29.9	61.8
	18	18.6	9	173	23.3	17.4	3.6	0.5	1.7	42.1	85.4
	21	19.7	8	153	28.8	21.5	4.5	0.7	2.1	52.8	105.6
	24	20.6	5	100	25.6	19.1	4.0	0.6	1.8	48.8	93.8
	27	21.2	2	33	10.4	7.8	1.6	0.2	0.8	18.7	38.1
	30	22.0	3	60	25.4	19.0	4.0	0.6	1.8	50.5	93.4
	33	22.6	2	40	20.2	15.1	3.2	0.5	1.5	39.9	74.2
	36	23.1	2	40	24.1	18.0	3.8	0.5	1.7	47.4	88.4
T. BÌNH	12.9	14.8	101	2027	166.8	124.8	26.1	3.8	12.1	307.4	612.1

Phụ lục 11: Kết quả trích xuất các chỉ số tán xạ ngược trên ảnh ALOS

PALSAR tương ứng với sinh khối đo đếm thực địa

TENO	TABG	X	Y	hh2	hh33	hvv33	hhhv33	hv33f	hh33f	hh33f5	hv33f5	HVf51	HHf51
DM04	2.16	472906.00	954417.00	-13.32	-13.44	-21.22	0.63	-17.60	-9.72	-13.05	-21.31	-21.37	-13.27
DM05	2.29	473709.00	955735.00	-32.23	-31.50	-37.64	0.84	-37.61	-29.44	-29.23	-37.43	-38.01	-29.61
2012N4	3.50	486457.00	947562.00	-29.43	-28.53	-38.41	0.74	-36.85	-26.57	-24.90	-35.13	-32.80	-22.43
2012N10	4.23	486831.00	948032.00	-9.34	-10.38	-18.80	0.55	-19.54	-10.43	-10.70	-19.70	-21.42	-12.66
Cmadot1DC13	8.78	509689.00	958180.00	-13.01	-12.07	-19.79	0.61	-19.57	-10.96	-11.90	-19.36	-19.24	-11.96
2012N9	10.54	486715.00	948100.00	-14.09	-12.81	-21.20	0.6	-18.83	-10.74	-10.10	-17.99	-18.00	-10.00
2012N5	13.66	486504.00	947689.00	-11.75	-11.94	-20.46	0.58	-19.64	-11.18	-10.87	-19.05	-19.21	-11.13
2012N3	14.03	486344.00	947585.00	-26.95	-26.77	-36.54	0.73	-24.59	-16.17	-16.79	-25.44	-25.75	-17.33
Cmadot1DC17	14.15	517229.00	963352.00	-14.36	-14.75	-22.71	0.65	-20.79	-10.18	-15.19	-22.77	-22.62	-14.95
Cmadot1DC14	17.13	515483.00	961909.00	-15.24	-14.59	-21.48	0.68	-22.67	-13.90	-13.09	-20.62	-20.56	-12.63
2012N1	21.33	486452.00	947816.00	-10.62	-11.05	-19.74	0.56	-20.13	-12.98	-11.24	-19.70	-19.53	-11.15
2012N2	21.52	486380.00	947682.00	-10.90	-11.46	-20.20	0.56	-21.36	-13.00	-10.97	-19.66	-19.62	-10.74
VAD21	23.82	493504.00	955475.00	-12.44	-12.14	-19.70	0.61	-20.59	-10.69	-12.63	-21.04	-21.37	-12.91
CmaHai201	28.29	508499.00	954954.00	-11.94	-11.51	-20.27	0.57	-21.16	-11.35	-12.02	-20.02	-19.65	-12.05
Cmadot1HV23	28.52	472765.00	952573.00	-14.00	-12.99	-21.36	0.61	-21.80	-16.06	-12.75	-21.05	-20.99	-12.54
CmaHai204	31.10	508180.00	954806.00	-8.61	-8.72	-18.53	0.47	-20.21	-12.32	-9.99	-19.30	-19.22	-10.07
CmaHai202	32.46	507927.00	954907.00	-12.97	-12.54	-21.62	0.58	-20.27	-11.52	-13.54	-22.39	-22.59	-13.44
2012N7	33.82	486620.00	947936.00	-10.93	-10.93	-20.53	0.53	-17.17	-8.57	-10.01	-20.59	-20.36	-9.68
CmaHai205	33.82	507515.00	954671.00	-9.51	-9.50	-19.14	0.5	-18.29	-9.95	-10.52	-20.29	-19.59	-9.40
VAD22	34.92	493880.00	955498.00	-12.09	-12.44	-20.81	0.6	-19.57	-10.36	-13.38	-20.95	-20.70	-13.12
CmaHai206	35.05	507740.00	954923.00	-9.65	-9.84	-19.40	0.51	-20.62	-13.72	-8.93	-17.48	-18.19	-9.70
CmaHai203	35.71	506920.00	954662.00	-11.68	-11.55	-19.53	0.59	-21.54	-13.00	-12.03	-19.87	-19.44	-11.46
2012N6	38.46	486603.00	947900.00	-11.67	-11.19	-20.12	0.55	-20.29	-10.46	-10.83	-20.72	-20.80	-10.64
CmaHai271	38.47	507596.00	958280.00	-9.51	-10.47	-19.64	0.53	-22.25	-14.00	-11.38	-20.27	-20.55	-11.92
CmaHai207	39.06	507859.00	954673.00	-9.06	-9.12	-17.09	0.53	-20.91	-13.21	-10.55	-18.87	-18.49	-10.03
Cmadot1DC15	40.19	514958.00	962383.00	-12.93	-13.09	-21.05	0.62	-21.17	-9.42	-13.48	-20.57	-21.09	-13.97
CmaHai273	42.16	507990.00	958544.00	-12.97	-13.05	-20.12	0.65	-21.65	-15.49	-14.02	-20.93	-20.73	-13.89
DM85	45.58	475605.09	951465.99	-15.42	-15.77	-21.73	0.72	-21.65	-13.40	-15.93	-21.77	-21.77	-15.86
CmaHai284	46.53	507525.00	958479.00	-12.82	-12.43	-21.34	0.58	-21.21	-12.83	-13.60	-21.88	-21.31	-12.97
CmaHai272	53.12	507990.00	958482.00	-13.21	-13.31	-21.29	0.62	-23.07	-16.41	-13.13	-20.46	-20.23	-13.07
Cmadot1DC6	53.53	513558.00	960822.00	-12.49	-11.97	-19.67	0.6	-22.44	-15.63	-12.24	-20.88	-21.54	-12.78
TA83	56.33	510544.00	959492.00	-12.57	-12.76	-19.70	0.64	-19.40	-10.57	-15.35	-22.03	-22.15	-15.40
Cmadot1DC10	58.50	505908.00	954681.00	-9.30	-9.45	-21.40	0.44	-20.57	-12.96	-14.11	-24.03	-24.15	-13.70
VAD23	58.52	494004.00	955500.00	-13.08	-12.81	-21.24	0.6	-22.13	-15.52	-9.57	-20.93	-20.79	-9.30
VAD13	59.45	493918.00	955441.00	-13.96	-14.09	-21.76	0.64	-20.03	-12.12	-13.18	-20.92	-20.79	-12.69
Cmadot1HV19	60.68	476227.00	951264.00	-14.66	-14.88	-21.93	0.68	-23.40	-15.38	-14.57	-22.14	-22.33	-14.71
NM02	62.06	491143.00	949303.00	-11.99	-11.82	-21.24	0.55	-20.88	-12.88	-13.45	-22.16	-21.63	-12.69
TA74	65.67	510120.00	959650.00	-14.57	-14.88	-21.67	0.68	-20.55	-12.99	-15.52	-21.84	-21.40	-15.09
Cmadot1DC12	67.34	518945.00	965099.00	-14.29	-14.57	-22.18	0.66	-19.53	-11.89	-13.05	-20.97	-21.08	-13.15
NH01	69.11	507672.00	958264.00	-11.68	-11.97	-20.82	0.57	-21.21	-13.33	-11.93	-19.74	-19.42	-11.52
TA82	69.42	510575.15	959514.76	-12.95	-13.00	-20.24	0.63	-23.18	-16.01	-15.72	-22.89	-22.99	-15.83
Cmadot1DC18	69.48	512620.00	960414.00	-16.38	-16.40	-22.90	0.72	-21.98	-14.90	-16.53	-23.30	-23.05	-16.69

CmaHai261	69.52	512272.00	957191.00	-12.51	-12.71	-20.79	0.61	-23.13	-13.75	-12.52	-20.70	-20.88	-12.67
VAD12	69.60	493693.00	955425.00	-12.08	-12.92	-20.77	0.62	-20.44	-13.07	-12.89	-21.22	-20.85	-12.85
2012N8	70.13	486653.00	948012.00	-9.43	-9.73	-20.49	0.47	-22.04	-14.39	-11.44	-21.29	-21.17	-11.59
NM03	72.82	491138.00	949293.00	-11.51	-11.28	-20.67	0.54	-22.03	-15.65	-13.50	-22.75	-22.24	-13.08
Cmadot1DC11	75.03	518361.00	964455.00	-13.95	-13.05	-22.17	0.58	-20.86	-12.11	-15.07	-23.40	-24.06	-15.55
DM102	79.37	477244.52	952548.83	-15.39	-15.01	-21.99	0.68	-22.09	-15.65	-15.38	-21.88	-21.83	-15.21
DM12	79.38	477482.64	953745.16	-14.81	-15.08	-21.78	0.69	-22.06	-15.22	-13.91	-21.94	-21.75	-13.89
Cmadot1HV20	80.11	477011.00	949907.00	-6.16	-8.65	-17.26	0.48	-23.66	-14.59	-14.47	-21.57	-21.47	-13.94
CmaHai163	81.73	476927.00	949009.00	-12.93	-12.97	-20.96	0.62	-22.60	-14.34	-13.10	-20.97	-21.08	-13.14
VAD11	82.56	493555.00	955403.00	-13.09	-13.22	-20.68	0.64	-21.31	-12.69	-13.25	-20.89	-20.91	-13.15
CmaHai191	82.69	509478.00	957334.00	-10.45	-11.19	-18.90	0.59	-23.03	-14.63	-12.94	-20.88	-20.79	-13.23
TA71	82.79	510121.00	959693.00	-14.49	-14.45	-20.91	0.69	-21.06	-12.90	-15.44	-22.27	-22.04	-15.35
TA42	83.21	511933.99	958308.96	-12.94	-13.33	-20.48	0.65	-22.04	-15.07	-16.14	-22.94	-23.03	-16.29
CmaHai262	83.23	512091.00	957054.00	-14.08	-14.01	-23.08	0.6	-23.26	-16.56	-16.23	-23.69	-23.68	-16.18
DM82	83.32	475610.92	951507.14	-15.66	-15.90	-21.59	0.74	-23.23	-15.68	-15.29	-22.09	-22.03	-15.07
CmaHai285	83.87	508155.00	958476.00	-10.15	-10.78	-19.95	0.54	-22.04	-14.55	-11.16	-19.90	-20.38	-11.66
TA81	84.45	510530.00	959515.00	-14.59	-14.61	-21.32	0.68	-24.03	-16.68	-15.44	-22.32	-22.17	-15.40
DM02	88.02	473071.00	953680.00	-9.85	-10.09	-19.52	0.51	-20.57	-12.33	-11.58	-20.52	-20.69	-11.49
TA34	88.17	508568.00	954591.00	-15.58	-15.49	-22.55	0.69	-24.59	-14.42	-15.40	-22.82	-22.68	-15.14
CmaHai192	90.70	509711.00	957493.00	-12.19	-11.69	-20.57	0.57	-18.82	-11.14	-12.57	-21.02	-21.11	-12.66
DM105	91.20	477243.89	952507.98	-13.52	-13.98	-21.95	0.64	-22.18	-15.52	-15.34	-22.01	-22.00	-15.36
DM15	91.20	477498.51	953709.22	-15.05	-15.00	-21.53	0.7	-22.71	-16.14	-14.55	-21.56	-21.67	-14.46
Cmadot1HV17	93.98	475994.00	953411.00	-15.31	-15.13	-22.41	0.67	-21.65	-13.40	-14.82	-22.02	-22.05	-14.90
NH02	94.13	507861.00	958409.00	-13.73	-12.77	-21.64	0.59	-21.49	-12.93	-12.48	-20.30	-20.15	-12.10
DM03	96.63	472906.00	954417.00	-13.32	-13.44	-21.22	0.63	-21.20	-13.90	-13.05	-21.31	-21.37	-13.27
Cmadot1DC16	98.23	515618.00	962732.00	-16.54	-16.51	-23.08	0.71	-21.63	-14.39	-17.12	-23.96	-23.77	-16.91
TA35	106.01	508612.28	954596.59	-15.18	-15.47	-22.91	0.67	-22.28	-13.56	-15.25	-23.25	-23.08	-15.25
TA75	108.68	510165.00	959655.00	-12.80	-13.90	-20.86	0.66	-21.09	-13.16	-15.66	-22.17	-22.11	-15.66
TA64	115.78	509849.46	959338.91	-12.07	-11.93	-20.35	0.58	-21.37	-12.91	-12.07	-20.83	-21.30	-12.69
CmaHai252	117.28	488775.00	968723.00	-15.29	-15.22	-25.84	0.58	-22.04	-15.96	-14.59	-23.00	-23.58	-14.51
DM71	117.61	474843.36	953900.20	-15.34	-15.65	-22.21	0.7	-20.98	-13.74	-14.03	-21.28	-20.83	-13.40
NH03	119.63	508127.15	958645.20	-13.08	-12.77	-20.49	0.62	-22.81	-15.26	-13.66	-21.96	-21.43	-13.32
CmaHai194	119.85	509166.00	955290.00	-14.17	-14.38	-22.24	0.64	-20.54	-12.95	-17.18	-26.41	-26.68	-16.89
DM103	124.60	477222.50	952527.95	-14.08	-13.65	-21.04	0.65	-22.24	-15.71	-15.38	-21.88	-22.05	-15.59
DM13	124.60	477467.35	953727.04	-15.17	-15.26	-21.82	0.7	-22.09	-15.65	-13.91	-21.94	-22.02	-14.21
DM11	124.62	477440.77	953739.96	-15.00	-15.35	-22.55	0.68	-22.86	-15.18	-14.20	-22.80	-22.23	-13.72
DM101	124.62	477203.87	952548.54	-14.89	-14.66	-21.63	0.68	-20.48	-11.50	-15.51	-22.16	-21.94	-15.22
TA24	125.43	508915.79	954789.57	-14.86	-15.32	-22.08	0.69	-22.32	-15.96	-14.17	-22.30	-21.87	-13.62
TA25	128.78	508962.22	954790.24	-15.23	-16.08	-22.45	0.72	-22.21	-14.62	-15.23	-22.83	-22.90	-15.30
CmaHai1210	129.63	476872.00	953288.00	-14.90	-15.18	-22.31	0.68	-23.09	-14.45	-14.07	-21.97	-21.95	-14.09
TA33	130.74	508591.48	954617.03	-15.58	-15.53	-22.83	0.68	-21.56	-14.37	-14.83	-22.37	-21.98	-14.51
DM42	132.34	475015.31	953187.32	-14.05	-14.43	-21.92	0.66	-21.83	-14.67	-14.59	-22.09	-21.56	-14.18
DM01	132.62	473053.00	952993.00	-13.55	-13.54	-22.52	0.6	-22.78	-14.96	-13.99	-22.45	-22.26	-13.51
CmaHai124	132.85	477767.00	952819.00	-14.31	-14.63	-22.54	0.65	-22.44	-15.27	-14.75	-22.25	-22.31	-14.82
TA45	134.33	511933.00	958265.00	-11.82	-11.89	-19.68	0.6	-21.65	-12.89	-14.52	-21.65	-20.93	-13.71
DM92	134.97	477417.31	951605.63	-15.82	-15.82	-23.49	0.67	-20.25	-12.44	-15.66	-22.08	-22.28	-16.10

TA63	138.28	509828.67	959348.96	-11.91	-12.16	-20.81	0.58	-22.93	-16.02	-12.03	-20.24	-20.69	-12.42
TA23	138.29	508941.75	954811.91	-15.67	-15.86	-22.66	0.7	-24.22	-17.27	-13.40	-22.07	-22.11	-13.61
TA62	139.38	509803.25	959361.45	-9.62	-10.03	-18.57	0.53	-21.71	-13.52	-11.17	-18.93	-19.28	-11.36
CmaHai162	140.47	476986.00	948943.00	-11.42	-13.06	-20.09	0.64	-21.46	-14.42	-12.87	-20.53	-20.62	-12.96
DM94	140.49	477390.69	951560.81	-14.51	-14.40	-22.42	0.64	-22.48	-14.41	-16.03	-22.96	-22.97	-16.06
TA22	141.11	508966.83	954827.94	-16.11	-15.73	-22.75	0.69	-22.65	-14.87	-13.90	-22.04	-21.93	-13.79
CmaHai181	142.53	489657.00	969606.00	-15.07	-12.92	-22.06	0.58	-22.86	-14.80	-12.69	-21.11	-20.97	-12.55
TA61	143.22	509813.60	959327.18	-11.23	-11.47	-19.81	0.58	-20.57	-12.33	-12.29	-20.81	-20.12	-11.54
TA84	153.50	510522.00	959474.00	-12.42	-12.92	-20.56	0.62	-21.65	-12.89	-15.87	-22.52	-22.26	-15.69
TA85	153.51	510567.00	959474.00	-10.80	-10.83	-18.23	0.59	-21.39	-13.28	-14.74	-21.93	-22.25	-15.31
TA44	153.86	511889.00	958263.00	-13.45	-13.59	-22.51	0.6	-26.83	-17.46	-14.86	-22.57	-22.50	-14.68
TA65	154.84	509839.99	959375.39	-13.54	-12.81	-21.45	0.6	-21.47	-14.38	-12.03	-20.24	-20.27	-11.88
TA31	154.96	508566.00	954635.00	-14.97	-15.10	-22.52	0.67	-21.33	-13.71	-14.46	-21.68	-21.44	-14.12
TA32	155.69	508608.00	954639.00	-16.40	-15.53	-23.20	0.67	-22.26	-15.11	-13.80	-21.18	-21.57	-14.07
DM31	158.70	475187.35	952622.16	-14.21	-14.06	-21.49	0.65	-24.14	-16.83	-14.31	-21.35	-21.55	-14.63
NM01	159.08	491878.00	951855.00	-13.58	-14.85	-23.50	0.62	-22.13	-14.75	-11.93	-21.70	-22.48	-12.60
TA21	159.51	508918.09	954830.36	-14.94	-14.73	-22.40	0.66	-22.96	-14.21	-13.40	-22.07	-22.12	-13.34
DM41	164.22	474978.02	953189.80	-13.08	-14.09	-21.58	0.65	-21.43	-14.58	-13.95	-21.51	-21.53	-13.98
DM54	166.39	475186.17	950093.81	-14.84	-14.82	-22.75	0.65	-23.41	-15.47	-16.05	-23.48	-23.65	-16.36
DM104	170.12	477203.54	952508.31	-14.34	-13.73	-21.21	0.65	-21.33	-13.71	-15.09	-21.96	-22.01	-15.17
DM14	170.14	477451.75	953707.09	-16.27	-15.26	-22.32	0.68	-22.46	-14.06	-14.98	-22.18	-22.80	-15.45
NM04	171.53	492114.00	949577.00	-15.19	-15.32	-22.08	0.69	-21.70	-12.54	-14.81	-22.24	-22.55	-15.03
DM43	174.04	474993.60	953171.06	-14.24	-14.93	-22.27	0.67	-22.09	-15.27	-13.95	-21.51	-21.32	-13.74
CmaHai1212	174.33	476604.00	954196.00	-14.31	-14.44	-21.89	0.66	-22.52	-13.68	-14.44	-21.88	-21.94	-14.44
TA52	174.58	511706.00	958304.00	-11.02	-11.91	-20.53	0.58	-21.56	-14.37	-15.27	-23.32	-23.39	-15.15
DM84	175.73	475565.05	951466.01	-17.35	-16.06	-22.67	0.71	-23.09	-14.45	-15.83	-22.02	-21.99	-15.89
TA41	176.71	511889.66	958310.83	-14.43	-14.00	-21.89	0.64	-21.96	-13.65	-15.32	-22.84	-22.77	-15.27
TA43	176.75	511920.00	958286.00	-12.45	-12.75	-20.46	0.62	-22.04	-14.24	-14.52	-21.65	-22.33	-15.12
TA53	180.12	511691.09	958283.25	-14.60	-13.27	-21.36	0.62	-20.99	-13.42	-14.16	-22.69	-22.36	-13.87
CmaHai193	184.08	508525.00	955276.00	-12.67	-13.90	-23.85	0.57	-22.88	-14.73	-10.63	-19.47	-20.15	-11.48
CmaHai196	184.09	510020.00	957512.00	-11.79	-12.13	-21.19	0.57	-23.55	-15.14	-14.20	-23.15	-22.77	-13.81
CmaHai161	184.15	477093.00	949415.00	-15.25	-15.01	-22.82	0.66	-20.62	-12.15	-16.15	-22.88	-23.13	-16.31
TA54	184.76	511664.00	958267.00	-14.72	-15.09	-22.34	0.67	-22.41	-14.95	-14.10	-22.31	-22.06	-13.94
DM44	186.15	474973.11	953151.72	-16.74	-15.57	-22.79	0.68	-22.45	-14.10	-13.79	-21.37	-21.14	-13.46
DM24	192.02	477499.28	954579.54	-14.18	-14.08	-21.89	0.64	-22.52	-14.70	-14.66	-22.58	-22.66	-14.72
DM23	192.02	477524.35	954597.03	-14.87	-14.48	-22.65	0.64	-22.55	-15.53	-13.63	-22.37	-22.99	-14.36
TA72	192.83	510164.00	959697.00	-15.12	-15.03	-21.51	0.7	-21.87	-15.35	-15.67	-22.69	-22.67	-15.67
TA55	193.61	511703.00	958261.00	-13.76	-14.04	-22.13	0.63	-21.23	-13.97	-14.16	-22.69	-22.28	-13.60
CmaHai129	197.02	477819.00	955028.00	-14.70	-14.57	-22.35	0.65	-22.50	-15.12	-13.65	-21.45	-20.92	-13.45
DM81	197.61	475570.88	951507.78	-15.88	-15.98	-21.94	0.73	-21.97	-16.10	-15.37	-21.99	-22.04	-15.25
DM35	198.12	475228.59	952583.13	-14.72	-14.16	-21.63	0.65	-22.33	-15.30	-14.14	-21.41	-21.42	-14.16
Cmadot1HV15	199.18	478748.00	952541.00	-12.63	-12.17	-21.63	0.56	-23.06	-15.06	-11.80	-21.02	-21.03	-12.06
DM64	199.61	475546.30	949707.57	-15.87	-15.81	-22.78	0.69	-22.79	-15.80	-14.99	-22.81	-22.77	-14.66
CmaHai171	199.76	507680.00	955146.00	-9.63	-9.75	-18.01	0.54	-22.23	-15.71	-12.92	-21.40	-23.89	-15.49
DM91	205.24	477376.04	951597.05	-14.84	-15.02	-22.80	0.66	-22.36	-15.19	-16.07	-22.04	-21.73	-15.93
DM52	206.60	475221.34	950137.70	-15.18	-14.81	-22.47	0.66	-21.56	-13.42	-15.17	-22.29	-22.26	-15.16

TA11	207.73	508744.24	954918.11	-15.12	-15.19	-22.28	0.68	-21.39	-13.28	-15.66	-22.74	-22.82	-15.65
TA15	213.17	508784.30	954873.34	-14.96	-15.04	-22.33	0.67	-22.42	-15.31	-15.08	-22.16	-22.11	-15.19
DM32	213.66	475228.30	952622.75	-14.18	-14.38	-21.63	0.66	-20.91	-11.10	-14.49	-21.58	-21.73	-14.62
DM33	213.66	475208.12	952602.80	-13.55	-13.99	-21.13	0.66	-20.63	-13.74	-14.49	-21.58	-21.58	-14.34
DM21	214.87	477510.92	954618.84	-15.32	-14.77	-22.67	0.65	-22.88	-14.33	-14.77	-22.82	-23.28	-14.76
DM51	215.63	475180.69	950134.04	-17.08	-16.28	-23.74	0.68	-21.46	-14.42	-14.02	-22.04	-21.82	-13.70
TA14	224.12	508738.75	954876.76	-15.99	-15.93	-23.37	0.68	-19.31	-11.87	-15.30	-22.44	-22.60	-15.55
DM63	231.98	475566.49	949727.83	-15.16	-15.34	-22.81	0.67	-21.65	-15.49	-14.55	-22.93	-22.75	-14.47
TA73	232.24	510143.00	959672.00	-14.09	-14.42	-21.09	0.68	-21.48	-14.08	-15.52	-21.84	-22.13	-15.74
DM73	235.46	474864.13	953882.69	-15.53	-14.71	-21.60	0.68	-19.25	-10.32	-13.92	-20.82	-20.42	-13.45
CmaHai123	237.48	477563.00	951347.00	-15.32	-13.87	-22.51	0.61	-22.88	-15.51	-12.80	-21.40	-22.47	-13.69
DM65	244.42	475587.87	949707.86	-15.47	-15.20	-22.61	0.67	-22.92	-15.08	-15.00	-22.80	-22.71	-14.77
CmaHai1211	254.31	476634.00	953844.00	-16.13	-15.70	-22.70	0.69	-20.61	-13.10	-14.62	-22.30	-22.22	-14.72
DM75	254.58	474884.90	953863.94	-14.00	-14.23	-21.31	0.67	-20.47	-13.59	-13.97	-20.82	-20.75	-13.94
DM34	257.71	475187.94	952583.15	-13.19	-13.70	-21.31	0.64	-21.37	-13.58	-14.19	-21.62	-21.49	-14.09
CmaHai1213	260.08	476880.00	955056.00	-14.93	-14.03	-21.13	0.66	-22.24	-14.61	-13.52	-20.95	-20.85	-13.49
CmaHai172	261.57	507899.00	955170.00	-12.65	-13.83	-23.20	0.58	-20.74	-13.22	-13.07	-22.36	-22.65	-13.40
CmaHai195	262.91	509066.00	955016.00	-15.62	-15.53	-23.10	0.67	-22.03	-14.41	-15.33	-22.79	-23.05	-15.76
DM95	264.66	477430.74	951568.77	-16.64	-16.04	-24.68	0.65	-21.68	-14.16	-15.23	-22.40	-22.58	-15.42
DM61	266.44	475547.24	949747.19	-15.12	-15.10	-22.79	0.66	-22.65	-15.53	-14.74	-23.10	-23.04	-14.62
TA51	272.79	511655.00	958302.00	-13.54	-14.59	-22.06	0.66	-22.52	-13.68	-14.79	-22.95	-23.09	-14.94
DM22	276.98	477549.12	954610.53	-12.97	-13.60	-22.22	0.61	-22.93	-16.02	-13.63	-22.37	-21.74	-12.77
DM93	287.50	477403.24	951582.61	-16.47	-15.25	-23.50	0.65	-22.11	-15.01	-16.03	-22.96	-23.13	-16.49
DM53	298.49	475204.21	950116.52	-14.59	-15.13	-22.96	0.66	-22.94	-16.25	-15.12	-22.37	-22.51	-15.31
DM62	300.39	475587.90	949747.47	-15.31	-15.33	-23.18	0.66	-21.90	-15.36	-14.82	-22.83	-22.94	-14.90
DM83	305.74	475587.38	951487.80	-15.58	-15.86	-21.76	0.73	-22.11	-15.01	-15.60	-22.10	-22.06	-15.56
DM74	311.45	474843.95	953860.28	-15.37	-15.65	-22.31	0.7	-21.10	-12.49	-15.19	-21.88	-21.39	-14.56
DM55	315.01	475227.43	950097.78	-13.80	-14.24	-22.61	0.63	-23.02	-16.09	-15.12	-22.37	-21.93	-14.62
CmaHai127	317.63	478815.00	954997.00	-13.86	-13.67	-22.08	0.62	-22.38	-14.37	-14.82	-22.26	-21.97	-14.57
CmaHai126	318.77	476838.00	951274.00	-16.33	-15.82	-21.94	0.72	-22.37	-15.02	-15.45	-21.46	-21.79	-15.70
CmaHai122	328.69	477576.00	950881.00	-10.22	-10.22	-20.32	0.5	-21.27	-15.39	-14.24	-22.71	-22.40	-13.68
CmaHai128	329.42	477540.00	954080.00	-15.11	-14.67	-22.83	0.64	-23.30	-14.95	-14.63	-22.63	-22.61	-14.61
TA12	331.29	508782.53	954922.87	-14.95	-15.05	-22.27	0.68	-22.43	-15.75	-15.87	-22.89	-22.61	-15.74
TA13	341.05	508766.91	954899.65	-14.97	-14.82	-22.07	0.67	-21.36	-12.01	-15.59	-22.41	-22.58	-15.84
CmaHai1214	343.75	476874.00	950125.00	-15.83	-15.82	-22.46	0.7	-22.92	-15.52	-15.38	-22.71	-22.80	-15.87
DM45	386.68	475012.23	953147.09	-14.69	-15.00	-22.22	0.67	-22.87	-14.40	-14.69	-22.29	-21.77	-14.07
DM25	410.45	477539.01	954570.61	-14.65	-14.71	-23.48	0.63	-25.02	-15.49	-13.92	-22.36	-22.53	-14.11
CmaHai125	433.41	477275.00	951856.00	-15.57	-15.59	-22.72	0.69	-21.58	-13.06	-15.64	-23.27	-23.20	-15.67
CmaHai121	506.21	477470.00	950370.00	-10.59	-10.55	-19.91	0.53	-23.17	-15.48	-15.91	-25.59	-25.73	-16.05

Phụ lục 12: Kết quả trích xuất giá trị phản xạ trên ảnh SPOT5 tương ứng với sinh khối đo đếm thực địa

X	Y	AKG_	AKG_2	S5_N	S5_ND	S5_ND	b1_S5	b2_S5	b3_S5	b1_S5	b2_S5	b3_S5	b1_S5	b2_S5	b3_S5
				DVI_1											
486831.0	948032.0	6.52	6.52	0.395	0.388	0.395	0.181	0.079	0.100	0.180	0.079	0.100	0.179	0.079	0.099
486715.0	948100.0	17.71	17.71	0.432	0.421	0.416	0.188	0.075	0.095	0.185	0.075	0.096	0.178	0.077	0.097
486380.0	947682.0	31.98	31.98	0.520	0.517	0.515	0.235	0.074	0.097	0.235	0.075	0.098	0.231	0.075	0.097
527592.0	952971.0	43.53	37.44	0.564	0.567	0.564	0.213	0.059	0.084	0.216	0.060	0.084	0.213	0.060	0.085
486620.0	947936.0	47.99	47.99	0.506	0.505	0.497	0.230	0.075	0.099	0.230	0.075	0.099	0.233	0.076	0.099
486603.0	947900.0	54.01	54.01	0.548	0.540	0.528	0.257	0.075	0.098	0.252	0.075	0.098	0.257	0.075	0.099
472906.0	954417.0	61.72	54.01	0.593	0.593	0.580	0.224	0.057	0.082	0.223	0.057	0.082	0.215	0.059	0.083
493504.0	955475.0	77.50	86.47	0.524	0.522	0.535	0.202	0.063	0.086	0.204	0.064	0.087	0.229	0.061	0.085
494004.0	955500.0	83.61	93.03	0.503	0.454	0.507	0.196	0.065	0.089	0.180	0.068	0.092	0.192	0.065	0.090
493693.0	955425.0	98.84	109.31	0.547	0.573	0.514	0.220	0.064	0.089	0.231	0.063	0.088	0.214	0.064	0.089
475610.9	951507.1	106.94	117.91	0.643	0.635	0.641	0.228	0.050	0.075	0.224	0.050	0.075	0.216	0.050	0.075
531760.0	949411.0	140.99	128.24	0.591	0.588	0.586	0.232	0.060	0.083	0.231	0.060	0.083	0.231	0.059	0.083
491143.0	949303.0	146.96	133.97	0.538	0.509	0.561	0.217	0.065	0.087	0.206	0.067	0.088	0.228	0.065	0.088
477243.9	952508.0	129.17	141.37	0.676	0.669	0.675	0.242	0.047	0.070	0.236	0.047	0.070	0.241	0.047	0.071
473071.0	953680.0	174.60	160.70	0.583	0.569	0.576	0.214	0.056	0.081	0.206	0.056	0.081	0.208	0.057	0.081
474843.4	953900.2	162.20	175.74	0.644	0.640	0.642	0.227	0.049	0.073	0.225	0.049	0.074	0.224	0.050	0.074
472906.0	954417.0	190.47	176.23	0.593	0.593	0.580	0.224	0.057	0.082	0.223	0.057	0.082	0.215	0.059	0.083
477203.9	952548.5	172.38	186.22	0.646	0.660	0.664	0.216	0.047	0.070	0.229	0.047	0.071	0.223	0.047	0.071
477390.7	951560.8	186.80	200.98	0.658	0.656	0.656	0.246	0.051	0.075	0.241	0.050	0.074	0.242	0.051	0.075
477467.4	953727.0	213.02	227.54	0.656	0.659	0.660	0.230	0.048	0.072	0.232	0.048	0.071	0.232	0.048	0.071
531699.0	953692.0	248.47	234.07	0.666	0.665	0.660	0.237	0.048	0.071	0.236	0.047	0.071	0.237	0.047	0.071
475186.2	950093.8	222.95	237.49	0.597	0.576	0.581	0.210	0.053	0.077	0.200	0.054	0.077	0.200	0.054	0.077
532595.0	953224.0	255.56	241.26	0.643	0.627	0.638	0.223	0.048	0.071	0.213	0.049	0.071	0.200	0.049	0.071
477498.5	953709.2	231.87	246.41	0.669	0.669	0.663	0.236	0.047	0.070	0.236	0.047	0.070	0.236	0.047	0.070
474993.6	953171.1	232.55	247.09	0.688	0.686	0.680	0.259	0.048	0.073	0.258	0.048	0.073	0.257	0.048	0.073
477203.5	952508.3	236.45	250.96	0.646	0.649	0.652	0.220	0.047	0.071	0.222	0.047	0.070	0.225	0.047	0.071
474973.1	953151.7	253.14	267.48	0.680	0.678	0.680	0.256	0.049	0.074	0.251	0.048	0.073	0.257	0.048	0.073
477499.3	954579.5	261.75	275.94	0.655	0.659	0.656	0.228	0.048	0.071	0.230	0.047	0.071	0.229	0.048	0.071
475546.3	949707.6	270.31	284.32	0.622	0.620	0.621	0.234	0.055	0.078	0.233	0.055	0.078	0.236	0.055	0.078
477376.0	951597.1	274.57	288.47	0.653	0.656	0.656	0.240	0.050	0.074	0.244	0.051	0.075	0.245	0.051	0.074
475208.1	952602.8	287.83	301.34	0.655	0.654	0.656	0.234	0.049	0.073	0.233	0.049	0.073	0.232	0.049	0.073
477482.6	953745.2	290.99	304.40	0.663	0.664	0.669	0.235	0.048	0.072	0.236	0.048	0.071	0.232	0.048	0.071
477510.9	954618.8	293.62	306.94	0.653	0.650	0.649	0.234	0.049	0.072	0.227	0.048	0.071	0.218	0.048	0.070
531430.0	954600.0	331.94	320.36	0.656	0.651	0.644	0.231	0.048	0.071	0.227	0.048	0.072	0.233	0.047	0.070
474864.1	953882.7	310.48	323.13	0.647	0.647	0.646	0.237	0.051	0.076	0.234	0.050	0.074	0.234	0.051	0.076
475228.3	952622.8	316.98	329.32	0.650	0.652	0.654	0.229	0.049	0.073	0.230	0.049	0.073	0.232	0.049	0.073
477524.4	954597.0	340.53	351.62	0.654	0.656	0.662	0.232	0.048	0.072	0.234	0.049	0.072	0.234	0.048	0.071
474884.9	953863.9	343.14	354.06	0.644	0.638	0.646	0.236	0.051	0.075	0.234	0.052	0.076	0.234	0.051	0.076
477430.7	951568.8	354.39	364.60	0.652	0.656	0.659	0.244	0.051	0.075	0.248	0.052	0.075	0.241	0.051	0.074
477403.2	951582.6	388.61	396.22	0.659	0.656	0.656	0.246	0.051	0.074	0.246	0.051	0.075	0.245	0.051	0.074
531925.0	949818.0	411.72	406.20	0.628	0.631	0.629	0.239	0.055	0.077	0.241	0.055	0.077	0.241	0.055	0.077
532393.0	951751.0	445.03	443.01	0.638	0.636	0.633	0.238	0.053	0.075	0.235	0.052	0.075	0.240	0.053	0.076
531460.0	954247.0	475.17	476.82	0.655	0.649	0.659	0.223	0.046	0.069	0.218	0.046	0.069	0.222	0.047	0.070
475012.2	953147.1	537.84	527.08	0.665	0.673	0.668	0.235	0.047	0.071	0.242	0.047	0.072	0.237	0.048	0.072
477539.0	954570.6	547.97	535.54	0.664	0.662	0.662	0.237	0.048	0.071	0.235	0.048	0.071	0.238	0.048	0.070

Phụ lục 13: Kết quả giá trị ước tính sinh khối dựa trên mô hình tương quan với biến NDVI tương ứng với sinh khối đo đếm thực địa

TT	TEN_O	X	Y	AKG_2	S5_NDVI9_9	TABG tính	Chênh lệch	S%
1	2012_N_10	486831.0	948032.0	6.52	0.395	8.02	1.5	23.0
2	2012_N_9	486715.0	948100.0	17.71	0.416	12.45	5.3	29.7
3	2012_N_2	486380.0	947682.0	31.98	0.515	64.48	32.5	101.6
4	Cma dot 1-H_V_23	527592.0	952971.0	37.44	0.564	116.54	79.1	211.3
5	2012_N_7	486620.0	947936.0	47.99	0.497	50.44	2.5	5.1
6	2012_N_6	486603.0	947900.0	54.01	0.528	76.02	22.0	40.8
7	DM-04	472906.0	954417.0	54.01	0.580	138.91	84.9	157.2
8	VAD 21	493504.0	955475.0	86.47	0.535	83.34	3.1	3.6
9	VAD 23	494004.0	955500.0	93.03	0.507	57.68	35.3	38.0
10	VAD 12	493693.0	955425.0	109.31	0.514	63.01	46.3	42.4
11	DM 82	475610.9	951507.1	117.91	0.641	247.87	130.0	110.2
12	Cma_Hai16-3	531760.0	949411.0	128.24	0.586	147.84	19.6	15.3
13	NM02	491143.0	949303.0	133.97	0.561	113.39	20.6	15.4
14	DM 105	477243.9	952508.0	141.37	0.675	329.40	188.0	133.0
15	DM02	473071.0	953680.0	160.70	0.576	133.68	27.0	16.8
16	DM 71	474843.4	953900.2	175.74	0.642	251.23	75.5	43.0
17	DM-03	472906.0	954417.0	176.23	0.580	138.91	37.3	21.2
18	DM 101	477203.9	952548.5	186.22	0.664	299.91	113.7	61.1
19	DM 94	477390.7	951560.8	200.98	0.656	282.08	81.1	40.4
20	DM 13	477467.4	953727.0	227.54	0.660	291.81	64.3	28.2
21	Cma_Hai12-10	531699.0	953692.0	234.07	0.660	291.28	57.2	24.4
22	DM 54	475186.2	950093.8	237.49	0.581	139.90	97.6	41.1
23	Cma_Hai12-4	532595.0	953224.0	241.26	0.638	241.65	0.4	0.2
24	DM 15	477498.5	953709.2	246.41	0.663	298.58	52.2	21.2
25	DM 43	474993.6	953171.1	247.09	0.680	341.42	94.3	38.2
26	DM 104	477203.5	952508.3	250.96	0.652	272.09	21.1	8.4
27	DM 44	474973.1	953151.7	267.48	0.680	341.42	73.9	27.6
28	DM 24	477499.3	954579.5	275.94	0.656	280.93	5.0	1.8
29	DM 64	475546.3	949707.6	284.32	0.621	207.88	76.4	26.9
30	DM 91	477376.0	951597.1	288.47	0.656	281.91	6.6	2.3
31	DM 33	475208.1	952602.8	301.34	0.656	280.84	20.5	6.8
32	DM 12	477482.6	953745.2	304.40	0.669	313.07	8.7	2.8
33	DM 21	477510.9	954618.8	306.94	0.649	266.07	40.9	13.3
34	Cma_Hai12-12	531430.0	954600.0	320.36	0.644	254.28	66.1	20.6

Phụ lục 14 : Mô hình ước tính sinh khối rừng Đước.

Simple Regression - Wtt vs. D1.3

Dependent variable: Wtt

Independent variable: D1.3

Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-0.727628	0.0804926	-9.03968	0.0000
Slope	2.3319	0.0333965	69.8247	0.0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	94.1853	1	94.1853	4875.49	0.0000
Residual	0.888633	46	0.0193181		
Total (Corr.)	95.0739	47			

Correlation Coefficient = 0.995316

R-squared = 99.0653 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 99.045 percent

Standard Error of Est. = 0.13899

Mean absolute error = 0.112927

Durbin-Watson statistic = 1.65728 (P=0.0874)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.148683

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between Wtt and D1.3. The equation of the fitted model is

$$Wtt = \exp(-0.727628 + 2.3319 \cdot \ln(D1.3)) \quad y = a \cdot x^b \quad a \cdot \exp(-b \cdot X^c)$$

or

$$\ln(Wtt) = -0.727628 + 2.3319 \cdot \ln(D1.3)$$

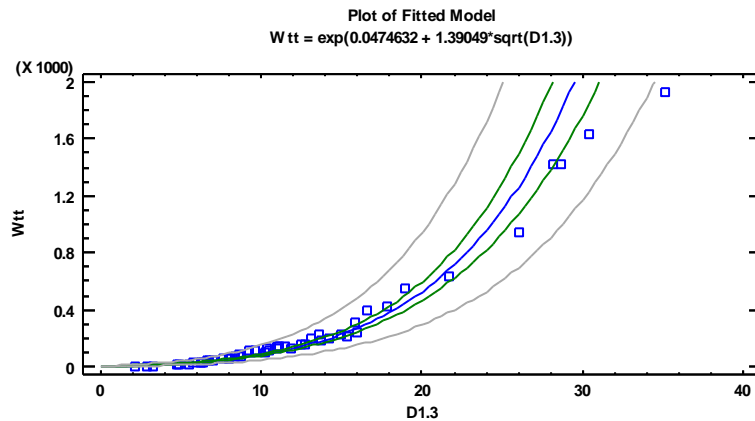
$$\log(Wtt) = -0.715728 + 2.33947 \cdot \log(D1.3) - 0.0114846 \cdot \log(Hvn) \quad (y = a \cdot d1.3^{2.33947}$$

$$y = a \cdot$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between Wtt and D1.3 at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.0653% of the variability in Wtt. The correlation coefficient equals 0.995316, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.13899. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.112927 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.



Multiple Regression - log(Wtt)

Dependent variable: log(Wtt)

Independent variables:

log(Hvn)

log(D1.3*Hvn^2)

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	- 0.715728	0.16311	-4.388	0.0001
log(Hvn)	-4.69043	0.323376	- 14.5046	0.0000
log(D1.3*Hvn^ 2)	2.33947	0.096037 2	24.3601	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum</i> <i>of</i> <i>Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean</i> <i>Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	94.1854	2	47.0927	2385.13	0.0000
Residual	0.888493	45	0.0197443		
Total (Corr.)	95.0739	47			

R-squared = 99.0655 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.0239 percent
Standard Error of Est. = 0.140514
Mean absolute error = 0.113205
Durbin-Watson statistic = 1.66225 (P=0.0768)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.147146

The StatAdvisor

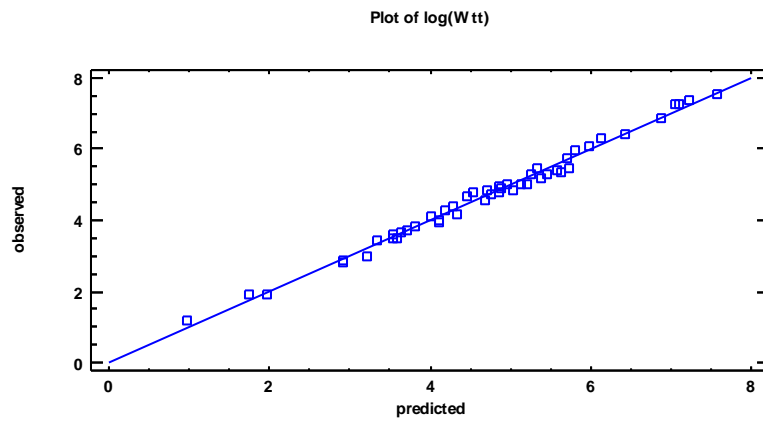
The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between $\log(Wtt)$ and 2 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(Wtt) = -0.715728 - 4.69043 \cdot \log(Hvn) + 2.33947 \cdot \log(D1.3 \cdot Hvn^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.0655% of the variability in $\log(Wtt)$. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99.0239%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.140514. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.113205 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0000, belonging to $\log(Hvn)$. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.



Multiple Regression - log(Wtt)

Dependent variable: log(Wtt)

Independent variables:

$D1.3^{-0.02}$

Hvn

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTAN	104.74	5.70262	18.367	0.0000
T				
$D1.3^{-0.02}$	-105.4	5.78105	-18.232	0.0000
Hvn	0.040673	0.013625	2.98515	0.0046
	7	3		

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	94.2833	2	47.1416	2683.22	0.0000
Residual	0.790606	45	0.017569		
Total (Corr.)	95.0739	47			

R-squared = 99.1684 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.1315 percent
Standard Error of Est. = 0.132548
Mean absolute error = 0.105743
Durbin-Watson statistic = 1.87134 (P=0.2679)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.043136

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between $\log(\text{Wtt})$ and 2 independent variables. The equation of the fitted model is

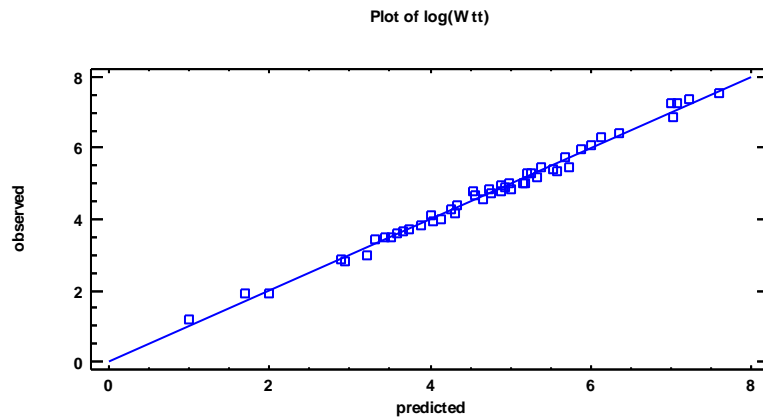
$$\log(\text{Wtt}) = 104.74 - 105.4 * D1.3^{-0.02} + 0.0406737 * \text{Hvn}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.1684% of the variability in $\log(\text{Wtt})$. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99.1315%.

The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.132548. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.105743 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0046, belonging to Hvn. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.



Multiple Regression - log(Wtt)

Dependent variable: log(Wtt)

Independent variables:

$$D1.3^{0.2} * Hvn^{0.02}$$

D1.3

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	-7.65818	0.386723	- 19.8028	0.0000
D1.3 ^{0.2} *Hvn ^{0.02}	7.51925	0.284208	26.4569	0.0000
D1.3	- 0.0289948	0.0082230 5	- 3.52603	0.0010

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	94.3456	2	47.1728	2914.71	0.0000
Residual	0.728297	45	0.0161844		
Total (Corr.)	95.0739	47			

R-squared = 99.234 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 99.1999 percent

Standard Error of Est. = 0.127218

Mean absolute error = 0.103536

Durbin-Watson statistic = 1.96557 (P=0.3354)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.0101763

The StatAdvisor

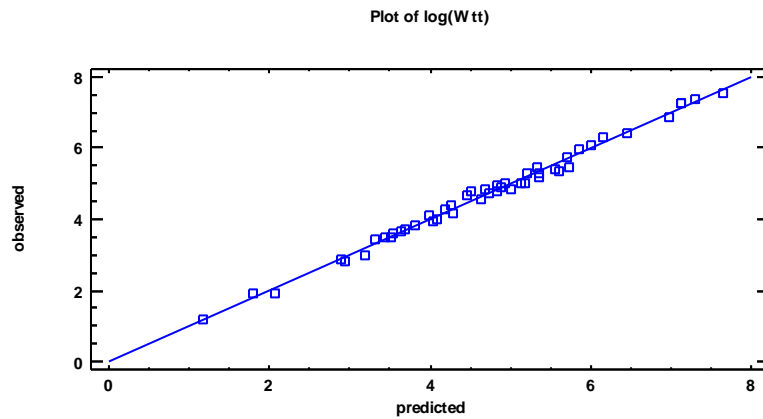
The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between $\log(Wtt)$ and 2 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(Wtt) = -7.65818 + 7.51925 * D1.3^{0.2} * Hvn^{0.02} - 0.0289948 * D1.3$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.234% of the variability in $\log(Wtt)$. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99.1999%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.127218. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.103536 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0010, belonging to D1.3. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.



Simple Regression - TAGB vs. M

Dependent variable: TAGB

Independent variable: M

Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.823	0.14	5.87	0.0000
Slope	0.874	0.0267	32.7	0.0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	9.14	1	9.14	1071.57	0.0000
Residual	0.461	54	0.00853		
Total (Corr.)	9.6	55			

Correlation Coefficient = 0.976
R-squared = 95.2 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 95.1 percent
Standard Error of Est. = 0.0923
Mean absolute error = 0.082
Durbin-Watson statistic = 0.726 (P=0.0000)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.627

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between TAGB and M. The equation of the fitted model is

$$\text{TAGB} = \exp(0.823 + 0.874 \cdot \ln(M))$$

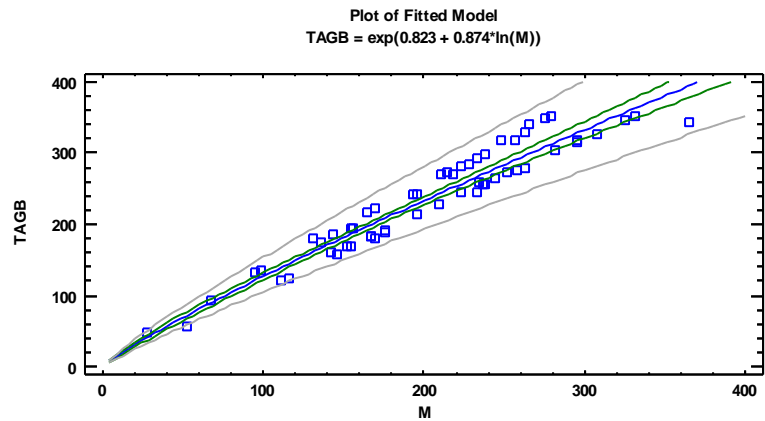
or

$$\ln(\text{TAGB}) = 0.823 + 0.874 \cdot \ln(M)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between TAGB and M at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 95.2% of the variability in TAGB. The correlation coefficient equals 0.976, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0923. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.082 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.



Simple Regression - log(TAGB) vs. M²

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: M²

Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.768	0.0272	28.2	0.0000
Slope	0.0873	0.00259	33.7	0.0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.365	1	0.365	1137.85	0.0000
Residual	0.0173	54	0.000321		
Total (Corr.)	0.383	55			

Correlation Coefficient = 0.977

R-squared = 95.5 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 95.4 percent

Standard Error of Est. = 0.0179

Mean absolute error = 0.0158

Durbin-Watson statistic = 0.596 (P=0.0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.69

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between $\log(\text{TAGB})$ and M^2 . The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = \exp(0.768 + 0.0873 \cdot \ln(M^2))$$

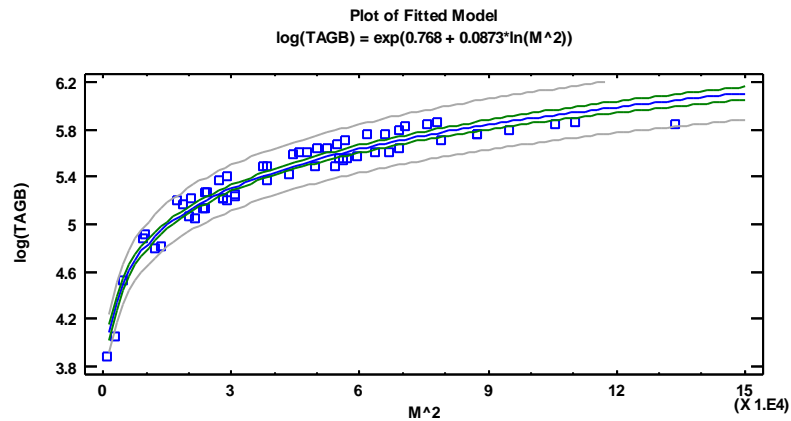
or

$$\ln(\log(\text{TAGB})) = 0.768 + 0.0873 \cdot \ln(M^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between $\log(\text{TAGB})$ and M^2 at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 95.5% of the variability in $\log(\text{TAGB})$. The correlation coefficient equals 0.977, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0179. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0158 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.



Multiple Regression - log(TAGB)

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variables:

log(M)

log(N/ha)

log(D1.3)

		<i>Standar</i> <i>d</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimat</i> <i>e</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTAN T	-3.25	0.495	-6.56	0.0000
log(M)	0.507	0.042	12.1	0.0000
log(N/ha)	0.446	0.051	8.75	0.0000
log(D1.3)	1.06	0.11	9.65	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum</i> <i>Squares</i>	<i>of Df</i>	<i>Mean</i> <i>Square</i>	<i>F-</i> <i>Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	9.44	3	3.15	998.85	0.0000
Residual	0.164	52	0.00315		
Total (Corr.)	9.6	55			

R-squared = 98.3 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 98.2 percent

Standard Error of Est. = 0.0561

Mean absolute error = 0.0437

Durbin-Watson statistic = 2.01 (P=0.4354)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.0106

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between log(TAGB) and 3 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = -3.25 + 0.507 \cdot \log(\text{M}) + 0.446 \cdot \log(\text{N/ha}) + 1.06 \cdot \log(\text{D1.3})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98.3% of the variability in log(TAGB). The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98.2%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0561. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.0437 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0000, belonging to log(N/ha). Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

Phụ lục 10 : Mô hình ước tính tăng trưởng sinh khối rừng Đước.

Simple Regression - log(AGB) vs. A^{-2.0}

Dependent variable: log(AGB)

Independent variable: A^{-2.0}

Reciprocal-Y model: $Y = 1/(a + b \cdot X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.166425	0.00368508	45.1618	0.0000
Slope	3.85965	0.499973	7.71971	0.0001

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.00277468	1	0.00277468	59.59	0.0001
Residual	0.000325918	7	0.000046559		
Total (Corr.)	0.00310059	8			

Correlation Coefficient = 0.945984

R-squared = 89.4885 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 87.9869 percent

Standard Error of Est. = 0.00682347

Mean absolute error = 0.00489225

Durbin-Watson statistic = 2.49496 (P=0.7470)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.28586

The StatAdvisor

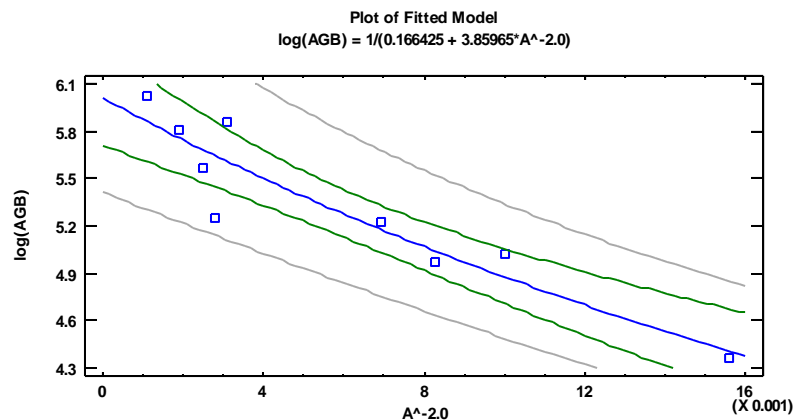
The output shows the results of fitting a reciprocal-Y model to describe the relationship between log(AGB) and A^{-2.0}. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{AGB}) = 1/(0.166425 + 3.85965 \cdot A^{-2.0})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between $\log(\text{AGB})$ and $A^{-2.0}$ at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 89.4885% of the variability in $\log(\text{AGB})$. The correlation coefficient equals 0.945984, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.00682347. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.00489225 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.



Phụ lục 11 : Một số kết quả xử lý mô hình sinh khối rừng Đước dựa vào dữ liệu ảnh Alos Palsar.

Multiple Regression - log(TABG)

Dependent variable: $\log(\text{TABG})$

Independent variables:

HV*HH

HH⁻⁴

		<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTAN	8.25	1.15	7.19	0.0000
T				
HV*HH	-0.00756	0.00293	-2.58	0.0121
HH^-4	-5.46E4	8.81E3	-6.19	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	22.0	2	11.0	48.36	0.0000
Residual	15.9	70	0.228		
Total (Corr.)	38.0	72			

R-squared = 58.0 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 56.8 percent

Standard Error of Est. = 0.477

Mean absolute error = 0.375

Durbin-Watson statistic = 0.678 (P=0.0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.637

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between log(TABG) and 2 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TABG}) = 8.25 - 0.00756 \cdot \text{HV} \cdot \text{HH} - 5.46\text{E}4 \cdot \text{HH}^{-4}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 58.0% of the variability in log(TABG). The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 56.8%. The standard error of

the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.477. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.375 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0121, belonging to HV*HH. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

Multiple Regression - log(TABG)

Dependent variable: log(TABG)

Independent variables:

HV*HH

HH⁻⁶

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTAN T	6.46	0.816	7.92	0.0000
HV*HH	- 0.00423	0.00228	-1.85	0.0682
HH ⁻⁶	-4.77E6	7.08E5	-6.73	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of</i>	<i>Df</i>	<i>Mean</i>	<i>F-</i>	<i>P-Value</i>
	<i>Squares</i>		<i>Square</i>	<i>Ratio</i>	
Model	23.0	2	11.5	53.71	0.0000
Residual	15.0	70	0.214		
Total (Corr.)	38.0	72			

R-squared = 60.5 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 59.4 percent

Standard Error of Est. = 0.463

Mean absolute error = 0.364

Durbin-Watson statistic = 0.675 (P=0.0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.646

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between $\log(\text{TABG})$ and 2 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TABG}) = 6.46 - 0.00423 \cdot \text{HV} \cdot \text{HH} - 4.77\text{E}6 \cdot \text{HH}^6$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 60.5% of the variability in $\log(\text{TABG})$. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 59.4%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.463. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.364 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0682, belonging to $\text{HV} \cdot \text{HH}$. Since the P-value is greater or equal to 0.05, that term is not statistically significant at the 95.0% or higher confidence level. Consequently, you should consider removing $\text{HV} \cdot \text{HH}$ from the model.

Simple Regression - $\log(\text{TABG})$ vs. HH^8

Dependent variable: $\log(\text{TABG})$

Independent variable: HH^8

Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.219	0.00432	50.7	0.0000
Slope	7.47E15	4.77E14	15.7	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.295	1	0.295	245.48	0.0000
Residual	0.0853	71	0.0012		
Total (Corr.)	0.38	72			

Correlation Coefficient = 0.881

R-squared = 77.6 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 77.3 percent

Standard Error of Est. = 0.0347

Mean absolute error = 0.0227

Durbin-Watson statistic = 1.34 (P=0.0014)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.274

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a reciprocal-Y squared-X model to describe the relationship between log(TABG) and HH⁻⁸. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TABG}) = 1/(0.219 + 7.47E15 \cdot \text{HH}^{-8})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between log(TABG) and HH⁻⁸ at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 77.6% of the variability in log(TABG). The correlation coefficient equals 0.881, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0347. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0227 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

Simple Regression - log(TABG) vs. HH⁻⁶

Dependent variable: log(TABG)

Independent variable: HH⁻⁶

Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.212	0.00475	44.6	0.0000
Slope	5.76E11	3.93E10	14.6	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.286	1	0.286	214.25	0.0000
Residual	0.0946	71	0.00133		
Total (Corr.)	0.38	72			

Correlation Coefficient = 0.867
R-squared = 75.1 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 74.8 percent
Standard Error of Est. = 0.0365
Mean absolute error = 0.0239
Durbin-Watson statistic = 1.25 (P=0.0003)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.276

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a reciprocal-Y squared-X model to describe the relationship between log(TABG) and HH⁻⁶. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TABG}) = 1/(0.212 + 5.76\text{E}11 * \text{HH}^{-6^2})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between log(TABG) and HH⁻⁶ at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 75.1% of the variability in log(TABG). The correlation coefficient equals 0.867, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0365. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0239 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

Simple Regression - TABG vs. HH

Dependent variable: TABG

Independent variable: HH

Exponential model: $Y = \exp(a + b \cdot X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T Statistic</i>	<i>P-Value</i>
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>Value</i>
Intercept	0.393	0.626	0.627	0.5315
Slope	-0.309	0.0435	-7.12	0.0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	22.4	1	22.4	50.64	0.0000
Residual	58.8	133	0.442		
Total (Corr.)	81.2	134			

Correlation Coefficient = -0.525

R-squared = 27.6 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 27.0 percent

Standard Error of Est. = 0.665

Mean absolute error = 0.536

Durbin-Watson statistic = 0.458 (P=0.0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.725

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting an exponential model to describe the relationship between TABG and HH. The equation of the fitted model is

$$\text{TABG} = \exp(0.393 - 0.309 \cdot \text{HH})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between TABG and HH at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 27.6% of the variability in TABG after transforming to a reciprocal scale to linearize the model. The correlation coefficient equals -0.525, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.665. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.536 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

Multiple Regression - log(TABG)

Dependent variable: log(TABG)

Independent variables:

HV⁻³

HH

HVHH

HHHV

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
		<i>d</i>		
<i>Parameter</i>	<i>Estimat</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>

	<i>e</i>			
CONSTAN T	54.2	8.56	6.33	0.0000
HV ⁻³	8.4E4	1.28E4	6.59	0.0000
HH	1.49	0.272	5.48	0.0000
HVHH	-14.1	2.32	-6.08	0.0000
HHHV	2.06	0.915	2.25	0.0274

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	23.8	4	5.96	28.71	0.0000
Residual	14.1	68	0.208		
Total (Corr.)	38.0	72			

R-squared = 62.8 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 60.6 percent

Standard Error of Est. = 0.456

Mean absolute error = 0.342

Durbin-Watson statistic = 0.846 (P=0.0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.541

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between log(TABG) and 4 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TABG}) = 54.2 + 8.4\text{E}4 \cdot \text{HV}^{-3} + 1.49 \cdot \text{HH} - 14.1 \cdot \text{HVHH} + 2.06 \cdot \text{HHHV}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 62.8% of the variability in log(TABG). The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 60.6%. The standard error of

the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.456. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0.342 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0.0274, belonging to HHHV. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95.0% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

Phụ lục 12 : Một số kết quả xử lý mô hình sinh khối rừng Đước dựa vào dữ liệu ảnh SPOT.

Simple Regression - log(TAGB) vs. NIR⁻²

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: NIR⁻²

Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.0999	0.0181	5.52	0.0000
Slope	0.000264	0.0000417	6.32	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.0829	1	0.0829	39.98	0.0000
Residual	0.0892	43	0.00207		
Total (Corr.)	0.172	44			

Correlation Coefficient = 0.694
R-squared = 48.2 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 47.0 percent
Standard Error of Est. = 0.0455
Mean absolute error = 0.0299
Durbin-Watson statistic = 1.2 (P=0.0019)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.221

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a reciprocal-Y squared-X model to describe the relationship between log(TAGB) and NIR⁻². The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = 1/(0.0998635 + 0.000263852 * \text{NIR}^{-2})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between log(TAGB) and NIR⁻² at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 48.179% of the variability in log(TAGB). The correlation coefficient equals 0.694111, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0455368. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0298666 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

Simple Regression - log(TAGB) vs. Red⁻²

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: Red⁻²

Square root-Y reciprocal-X model: $Y = (a + b/X)^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T Statistic</i>	<i>P-Value</i>
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>Value</i>
Intercept	2.75	0.0532	51.8	0.0000
Slope	-163.	16.2	-10.1	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1.54	1	1.54	101.66	0.0000
Residual	0.649	43	0.0151		
Total (Corr.)	2.18	44			

Correlation Coefficient = -0.838

R-squared = 70.3 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 69.6 percent

Standard Error of Est. = 0.123

Mean absolute error = 0.0952

Durbin-Watson statistic = 1.63 (P=0.0818)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.0719

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a square root-Y reciprocal-X model to describe the relationship between $\log(\text{TAGB})$ and Red^{-2} . The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = (2.75296 - 163.465/\text{Red}^{-2})^2$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between $\log(\text{TAGB})$ and Red^{-2} at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 70.2753% of the variability in $\log(\text{TAGB})$. The correlation coefficient equals -0.838304, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.12288. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0952062 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

Simple Regression - TAGB vs. Green²

Dependent variable: TAGB

Independent variable: Green²

Logarithmic-Y squared-X: $Y = \exp(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	6.52	0.164	39.8	0.0000
Slope	-3.49E4	3.57E3	-9.77	0.0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	25.3	1	25.3	95.38	0.0000
Residual	11.4	43	0.265		
Total (Corr.)	36.7	44			

Correlation Coefficient = -0.83

R-squared = 68.9 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 68.2 percent

Standard Error of Est. = 0.515

Mean absolute error = 0.4

Durbin-Watson statistic = 1.56 (P=0.0501)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.133

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a logarithmic-Y squared-X model to describe the relationship between TAGB and Green². The equation of the fitted model is

$$\text{TAGB} = \exp(6.52215 - 34860.3 * \text{Green}^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between TAGB and Green² at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 68.927% of the variability in TAGB. The correlation coefficient equals -0.830223, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.51485. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.400058 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

Simple Regression - log(TAGB) vs. NDVI

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: NDVI

S-curve model: $Y = \exp(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	3.02	0.113	26.8	0.0000
Slope	-0.852	0.0675	-12.6	0.0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1.74	1	1.74	159.43	0.0000
Residual	0.468	43	0.0109		
Total (Corr.)	2.2	44			

Correlation Coefficient = -0.887

R-squared = 78.8 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 78.3 percent

Standard Error of Est. = 0.104

Mean absolute error = 0.0839

Durbin-Watson statistic = 1.79 (P=0.2012)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.0338

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a S-curve model model to describe the relationship between log(TAGB) and NDVI. The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = \exp(3.02231 - 0.851803/\text{NDVI})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between log(TAGB) and NDVI at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 78.7576% of the variability in log(TAGB). The correlation coefficient equals -0.887455, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.104329. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0838533 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

Simple Regression - log(TAGB) vs. NDVI^2

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: NDVI^2

S-curve model: $Y = \exp(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	2.24	0.0495	45.3	0.0000
Slope	-0.226	0.0169	-13.4	0.0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1.78	1	1.78	179.44	0.0000
Residual	0.426	43	0.00991		
Total (Corr.)	2.2	44			

Correlation Coefficient = -0.898

R-squared = 80.7 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 80.2 percent

Standard Error of Est. = 0.0995

Mean absolute error = 0.0797

Durbin-Watson statistic = 1.75 (P=0.1658)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.078

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a S-curve model model to describe the relationship between log(TAGB) and NDVI². The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = \exp(2.24351 - 0.226061/\text{NDVI}^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between log(TAGB) and NDVI² at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 80.6693% of the variability in log(TAGB). The correlation coefficient equals -0.898161, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0995244. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0797458 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

Simple Regression - log(TAGB) vs. A⁻²

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: A⁻²

Reciprocal-Y square root-X: $Y = 1/(a + b*\text{sqrt}(X))$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.153	0.00322	47.6	0.0000
Slope	0.465	0.0499	9.3	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.00137	1	0.00137	86.57	0.0000
Residual	0.000191	12	0.0000159		
Total (Corr.)	0.00156	13			

Correlation Coefficient = 0.937

R-squared = 87.8 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 86.8 percent

Standard Error of Est. = 0.00398

Mean absolute error = 0.00286

Durbin-Watson statistic = 2.81 (P=0.9067)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.434

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a reciprocal-Y square root-X model to describe the relationship between $\log(\text{TAGB})$ and A^{-2} . The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = 1/(0.153 + 0.465*\sqrt{A^{-2}})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between $\log(\text{TAGB})$ and A^{-2} at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 87.8% of the variability in $\log(\text{TAGB})$ after transforming to a square root scale to linearize the model. The correlation coefficient equals 0.937, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.00398. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.00286 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

Simple Regression - log(TAGB) vs. A⁻²

Dependent variable: log(TAGB)

Independent variable: A⁻²

Logarithmic-Y square root-X model: $Y = \exp(a + b \cdot \sqrt{X})$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1.86	0.00832	223.	0.0000
Slope	-2.46	0.0991	-24.8	0.0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.153	1	0.153	617.51	0.0000
Residual	0.00298	12	0.000248		
Total (Corr.)	0.156	13			

Correlation Coefficient = -0.99

R-squared = 98.1 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 97.9 percent

Standard Error of Est. = 0.0158

Mean absolute error = 0.0101

Durbin-Watson statistic = 1.97 (P=0.3640)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.00119

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a logarithmic-Y square root-X model to describe the relationship between log(TAGB) and A⁻². The equation of the fitted model is

$$\log(\text{TAGB}) = \exp(1.86 - 2.46 \cdot \sqrt{A^{-2}})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant

relationship between $\log(\text{TAGB})$ and A^{-2} at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98.1% of the variability in $\log(\text{TAGB})$. The correlation coefficient equals -0.99, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0158. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0101 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.