

ỨNG DỤNG ẢNH VIỄN THĂM SPOT5 ĐỂ ƯỚC TÍNH SINH KHỐI, TRỮ LƯỢNG CÁC BÓN RỪNG NGẬP MẶN TẠI TỈNH CÀ MAU

Nguyễn Thị Hà¹, Nguyễn Thị Hoa¹,
Đặng Việt Hùng¹, Võ Minh Hoàn¹, Nguyễn Văn Hợp¹

TÓM TẮT

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. Nghiên cứu này đã cung cấp được cơ sở dữ liệu và mô hình ước tính sinh khối, tích lũy các bon của rừng ngập mặn dựa trên ảnh viễn thám SPOT 5 phục vụ công tác quản lý, phục hồi, duy trì và phát triển hệ sinh thái rừng ngập mặn. Với hai mục tiêu cụ thể là xây dựng được mô hình ước tính sinh khối rừng ngập mặn dựa trên dữ liệu thực địa và dữ liệu viễn thám (ảnh SPOT 5); thành lập được bản đồ sinh khối, bản đồ tích lũy các bon của rừng ngập mặn tại khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp điều tra thực địa; giải đoán, phân tích lớp phủ dựa trên chỉ số NDVI; phân tích thống kê và kiểm định độ chính xác mô hình. Từ đó, đã xây dựng được mô hình ước tính sinh khối rừng có dạng có dạng: $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$ với hệ số xác định ($R^2 = 0,85$), SSR = 0,03, SEE = 0,03 và MAE = 0,02. Và thành lập được bản đồ sinh khối rừng ngập mặn tại khu vực tỉnh 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).

Từ khóa: Mô hình ước tính sinh khối rừng, ảnh SPOT 5, rừng ngập mặn, Cà Mau.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Do 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. 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), 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. 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). 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 để ước tính sinh khối trên mặt đất (Brown *et al.*, 1989; Henry *et al.*, 2010;

José, 2009). Đây là cách tiếp cận được sử dụng nhiều nhất cho việc phát triển các mô hình ước lượng sinh khối (Mitchard *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2011; Lu, 2005; Roy *et al.*, 1996; Heiskanen, 2006). 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 *et al.*, 2001). MacDicken (1997), Wang *et al.*, (2009) đã sử dụng ảnh viễn thám quang học để tính sinh khối rừng trên mặt đất ở những cánh rừng thứ sinh nhiệt đới.

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 đã được sử dụng rộng rãi nhưng mới chỉ đáp ứng được công tác thành lập bản đồ phân bố rừng, kiểm kê rừng... Việc ứng dụng dữ liệu viễn thám trong xác định sinh khối trên mặt đất chưa có nhiều nghiên cứu. 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.

Cà Mau có tổng diện tích rừng khoảng 103.723 ha, trong đó rừng ngập mặn có diện tích gần 69.000 ha phân bố ở các huyện Ngọc Hiển, Năm Căn, Đầm Dơi và Phú Tân. Trong đó, phân bố tập trung lớn

¹ Phân hiệu Trường Đại học Lâm nghiệp tại tỉnh Đồng Nai

nhất là huyện Ngọc Hiển. 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 hay không trong điều kiện rừng ngập mặn ở Cà Mau? Có thể thành lập được bản đồ sinh khối và tích lũy các bon từ dữ liệu viễn thám hay không? Bài báo này giới thiệu 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.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

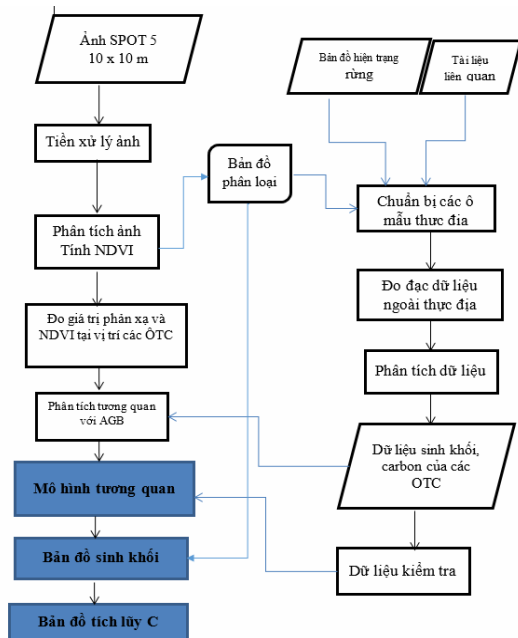
2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

- *Đối tượng nghiên cứu:* Ảnh quang học SPOT 5 (kênh 1, 2, 3, 4) với độ phân giải không gian là 10 x 10 m thu thập 26/01/2013.

- *Địa điểm nghiên cứu:* Nghiên cứu sinh khối và hấp thụ C cho rừng ngập mặn tại Cà Mau dựa trên kết quả phân tích mối tương quan giữa dữ liệu ảnh viễn thám SPOT 5 và sinh khối, C của rừng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

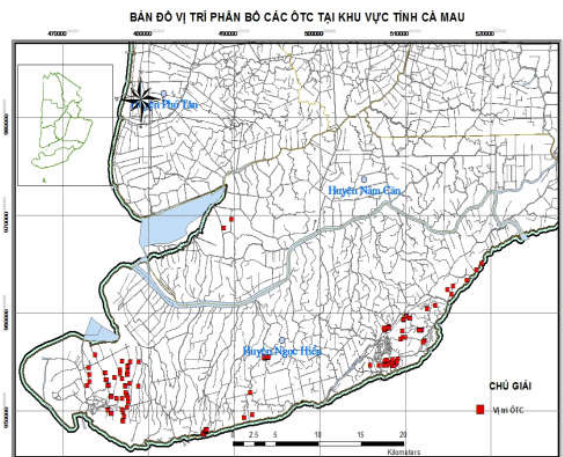
Tiến hành nghiên cứu mối tương quan giữa phản xạ phổ, chỉ số NDVI với sinh khối tích lũy các bon của rừng ngập mặn để tính sinh khối, tích lũy các bon trên mặt đất của rừng tỉnh Cà Mau (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ mô tả phương pháp nghiên cứu xây dựng bản đồ tích lũy C cho rừng Đước ở Cà Mau

2.2.1. Thu thập dữ liệu

- *Dữ liệu thực địa:* Thu thập dữ liệu về sinh khối và tích lũy các bon của 85 ÔTC (trong đó có 56 ô diện tích 2.500 m² và 29 ô diện tích 100 m²) thu thập năm 2014 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). Bộ số liệu này 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.



Hình 2. Bản đồ vị trí phân bố ô tiêu chuẩn tại rừng ngập mặn tỉnh Cà Mau

- *Dữ liệu bản đồ:* Kế thừa bản đồ số hiện trạng rừng của tỉnh Cà Mau do Chi cục Kiểm lâm Cà Mau cung cấp.

- *Dữ liệu ảnh vệ tinh:* Sử dụng ảnh SPOT5 ngày 26/01/2013 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 phân tích mối quan hệ giữa sinh khối với giá trị phản xạ của các kênh ảnh và chỉ số NDVI. Các dữ liệu này đã được trải qua quá trình tiền xử lý ảnh và phân tích chuyên sâu.

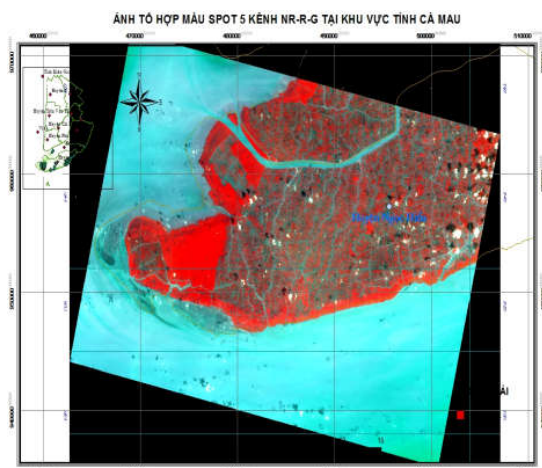
2.2.2. Phương pháp nội nghiệp

- *Tiền xử lý ảnh quang học*

+ *Hiệu chỉnh ảnh quang học:* Các dữ liệu ảnh SPOT đã được xử lý mực 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. Hệ tọa độ ảnh

SPOT 5 được sử dụng trong bài báo này được chuyển đổi về hệ tọa độ WGS 1984.

+ *Tăng cường ảnh*: Để ảnh được thể hiện rõ nét trong quá trình giải đoán và tách lớp trên ảnh đã sử dụng phương pháp tăng cường ảnh lọc trung bình.



Hình 3. 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 lớp thực phủ.

+ *Chuyển giá trị số sang giá trị phản xạ phổ*: Chuyển đổi giá trị bức xạ trên vệ tinh (at - satellite radiance) từ DN (Digital Number) sang giá trị phản xạ 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 *et al.*, 2008):

$$L_{TOA}^k = X^k / (A_k G_m^k) \quad (1)$$

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 *et al.*, 2008):

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

Trong đó: ρ_{TOA}^k là giá trị phản xạ trên vệ tinh đối với bước sóng λ , không có đơn vị; d là khoảng cách giữa trái đất và mặt trời, theo đơn vị thiên văn; E^k là độ chiếu sáng của khí quyển tầng trên từ mặt trời trung bình ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$) của kênh k ; θ_s là góc thiên đỉnh mặt trời, $\theta_s = 90 - SUN_ELEVATION$.

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

- Phân loại lớp phủ thực vật

Phân loại lớp phủ thực vật trên ảnh viễn thám dựa vào chỉ số NDVI. Tiến hành 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.

- Phân tích đặc trưng tán xạ và lập bản đồ sinh khối

+ *Phân tích đặc trưng tán xạ*: Tiến hành 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 phản xạ, NDVI chiết xuất từ hình ảnh quang học để đánh giá về mức độ bão 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 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 CO_2 tại các ô tiêu chuẩn của vùng mẫu, tiến hành thử nghiệm các phương pháp khác nhau trong ứng dụng ảnh vệ tinh cụ thể như lựa chọn các mô hình tương quan để xây dựng mối tương quan giữa sinh khối, các bon, lượng hấp thụ CO_2 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 CO_2 của rừng với giá trị ảnh...

Đã lựa chọn mô hình toán học để thử nghiệm và thiết lập mối tương quan giữa phổ phản xạ. Cụ thể đã sử dụng chỉ số NDVI với sinh khối của rừng. Đưa ra mô hình tương quan thích hợp nhất theo mục đích yêu cầu độ tin cậy 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.

+ *Lập bản đồ sinh khối*: Dựa trên mô hình hồi quy đơn biến và đa biến giữa sinh khối với phản xạ của dữ liệu đa phổ (quang học) 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.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

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

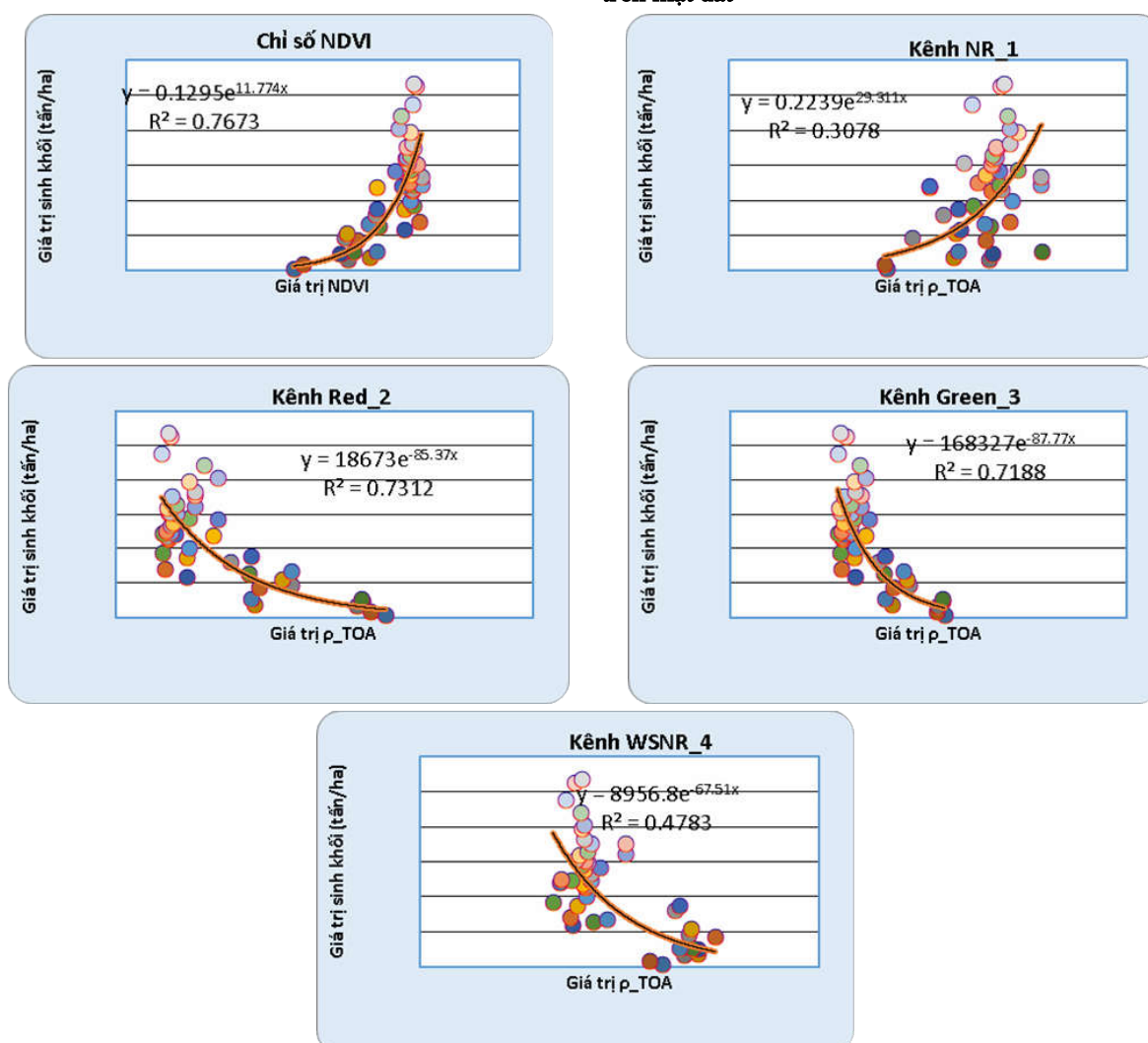
Việc tiến hành phân loại lớp phủ trong nghiên cứu này được chia thành 2 loại: có rừng và không có rừng. Kết quả phân loại nhằm mục đích tách diện tích đất có rừng ngập mặn để tính toán sinh khối tại khu vực nghiên cứu theo hàm hồi qui tìm được.

Kết quả phân loại lớp phủ theo chỉ số thực vật NDVI được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Bản đồ phân loại vùng có rừng ngập mặn tại Cà Mau

3.2. 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



Hình 5. 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 phân tích khả năng phản xạ của rừng Được trên ảnh SPOT 5 tại vị trí của 45 điểm trên ảnh tương ứng với 45 điểm điều tra ngoài thực địa được thể hiện trong hình 5.

Hình 5 cho thấy, giá trị 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.

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 Được tỉnh Cà Mau trong hình 5 cho 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.

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

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

3.3.1.1. 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 (10 x 10 m) được thể hiện trong bảng 1 và 2.

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

Bảng 1. 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 lập được	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0,0959942 + 0,000268345 \cdot \text{NR}^2)$	0,49	0,09	0,05	0,03
2	$\ln(\text{TAGB}) = (2,49552 - 21659,7 \cdot \text{Red}^2)^2$	0,76	0,54	0,11	0,08
3	$\ln(\text{TAGB}) = 6,65678 - 36706,7 \cdot \text{Green}^4$	0,73	10,14	0,49	0,37
4	$\text{TAGB} = (24,9725 - 3032,88 \cdot \text{WSNR}^2)^2$	0,51	544,17	3,56	2,83

Kết quả ở bảng 1 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 ($R^2 = 0,76$), với sai số nhỏ nhất.

Bảng 2. Mô hình hồi quy giữa chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng trên mặt đất

TT	Phương trình lập được	Các chỉ tiêu thống kê			
		R ²	SSR	SEE	MAE
1	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(3,08198 - 0,881106/\text{NDVI})$	0,82	0,41	0,10	0,08
2	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,2744 - 0,233129/\text{NDVI}^2)$	0,83	0,38	0,09	0,07
3	$\ln(\text{TAGB}) = 1/(0,0959068 + 0,0222601/\text{NDVI}^3)$	0,84	0,37	0,09	0,07
4	$\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$	0,85	0,03	0,02	0,02

So sánh kết quả hồi quy giữa sinh khối với giá trị phản xạ trên các kênh ảnh trên bảng 2 cho thấy, mô hình hồi quy giữa chỉ số thực vật NDVI và sinh khối rừng trên mặt đất cao hơn, trong đó mô hình 4 có hệ số xác định cao nhất ($R^2 = 0,85$), $\text{SSR} = 0,03$, $\text{SEE} = 0,03$ và $\text{MAE} = 0,02$. Do đó mô hình 4 được lựa chọn để ước tính sinh khối rừng. Mô hình có dạng: $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$.

3.3.1.2. 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 3.

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 đơn lẻ 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.

Bảng 3. 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	$\ln(\text{TAGB}) = 10,2866 + 16,0399 \cdot \text{NIR} - 945,681 \cdot \text{Green}^2 - 0,00815286 \cdot \text{Red}^2$	0,82	6,91	0,41	0,31
2	$\ln(\text{TAGB}) = 9,01958 - 10,7719 \cdot \text{NDVI}^5 - 1184,2 \cdot \text{Green}^2 + 364,246 \cdot \text{NR} \cdot \text{Red}$	0,82	6,79	0,41	0,32
3	$\ln(\text{TAGB}) = 6,95043 - 818,987 \cdot \text{Green}^2 + 265,569 \cdot \text{NIR} \cdot \text{Red}$	0,81	7,44	0,42	0,34
4	$\ln(\text{TAGB}) = 6,4582 + 12,4235 \cdot \text{NIR} - 75,2053 \cdot \text{Red}$	0,77	8,62	0,45	0,36
5	$\ln(\text{TAGB}) = 8,02347 + 13,8946 \cdot \text{NIR} - 76,955 \cdot \text{Green}$	0,78	8,46	0,45	0,36
6	$\ln(\text{TAGB}) = 11,9861 - 17,2136 \cdot \text{NDVI}^5 + 24,6511 \cdot \text{NIR} - 137,892 \cdot \text{Green}$	0,81	7,34	0,42	0,34
7	$\ln(\text{TAGB}) = 5,45153 + 88,0025 \cdot \text{NDVI} \cdot \text{Green} - 81,254 \cdot \text{Red}$	0,77	8,70	0,46	0,35

3.3.1.3. *Kết quả kiểm chứng mô hình ước tính sinh khối dựa trên ảnh SPOT* 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.

- Đối với mô hình một biến: $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$

Kết quả kiểm nghiệm mô hình tương quan giữa

Bảng 4. Kết quả kiểm chứng mô hình

TEN_O	NDVI	b1_NIR	b2_Red	b3_Green	TABG đo	TABG tính	Chênh lệch	S%
DM 35	0,656	0,237	0,049	0,074	281,81	303,9	22,1	7,8
DM 14	0,660	0,236	0,047	0,070	286,31	321,1	34,8	12,2
DM 22	0,658	0,234	0,048	0,071	383,72	311,4	72,3	18,8
DM 31	0,655	0,230	0,049	0,073	233,53	302,1	68,5	29,3
DM 34	0,649	0,233	0,049	0,074	360,13	280,0	80,1	22,2
NM03	0,561	0,228	0,065	0,088	133,54	90,9	42,7	32,0
NM04	0,592	0,242	0,063	0,085	213,57	136,8	76,7	35,9
2012_N_1	0,424	0,179	0,085	0,105	31,75	13,2	18,5	58,4
CM D1-ĐM	0,537	0,190	0,054	0,076	129,14	65,3	63,9	49,4
2012_N_4	0,395	0,230	0,079	0,100	8,55	8,9	0,3	3,9
2012_N_5	0,479	0,222	0,078	0,102	21,77	28,7	6,9	31,7
Trung bình							44,3	27,4
RMSE								15,8

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 15,8 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 27,4%, 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: $\ln(\text{TAGB}) = 9,01958 - 10,7719 \cdot \text{NDVI}^5 - 1184,2 \cdot \text{Green}^2 + 364,246 \cdot \text{NIR} \cdot \text{Red}$

Bảng 5. 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	281,81	253,1	28,7	10,2
DM 14	0,660	0,236	0,047	0,070	286,31	359,8	73,5	25,7
DM 22	0,658	0,234	0,048	0,071	383,72	320,9	62,8	16,4

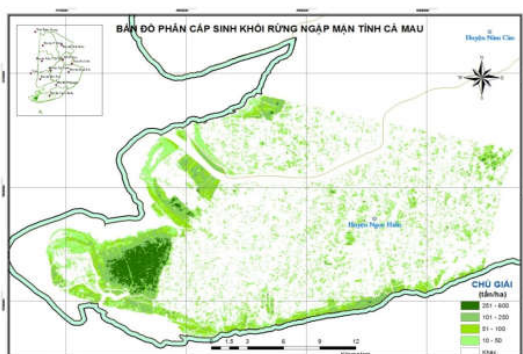
DM 31	0,655	0,230	0,049	0,073	233,53	260,8	27,3	11,7
DM 34	0,649	0,233	0,049	0,074	360,13	246,8	113,3	31,5
NM03	0,561	0,228	0,065	0,088	133,54	98,3	35,2	26,4
NM04	0,592	0,242	0,063	0,085	213,57	151,6	61,9	29,0
2012_N_1	0,424	0,179	0,085	0,105	31,75	7,1	24,7	77,7
CMD1-ĐM	0,537	0,190	0,054	0,076	129,14	144,9	15,7	12,2
2012_N_4	0,395	0,230	0,079	0,100	8,55	37,6	29,0	339,5
2012_N_5	0,479	0,222	0,078	0,102	21,77	21,6	0,2	0,8
Trung bình							42,9	52,8
RMSE								15,9

Kết quả kiểm nghiệm mô hình trong bảng 5 cho thấy, mô hình ước tính khả quan với sai số 15,9 tấn/ha. Tỷ lệ về sai số sinh khối tính với sinh khối rừng đo có sai số lệch chuẩn là 52,8%, như vậy, ước tính sinh khối thông qua mô hình đa biến cho độ chính xác thấp khoảng 47,8% khi sử dụng mô hình đa biến. Độ chính xác thấp hơn so với một số nghiên cứu trước đây cho đối tượng rừng núi cao với độ chính xác 53% ở Tây Nguyên (Bảo Huy và Nguyễn Thị Thanh Hương, 2014).

3.4. Bản đồ sinh khối và các bon của rừng Được tại Cà Mau

Bản đồ sinh khối rừng ngập mặn Cà Mau được lập dựa trên 1 cảnh ảnh SPOT5 (10 x 10 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 đo được tại 45 ô tiêu chuẩn.

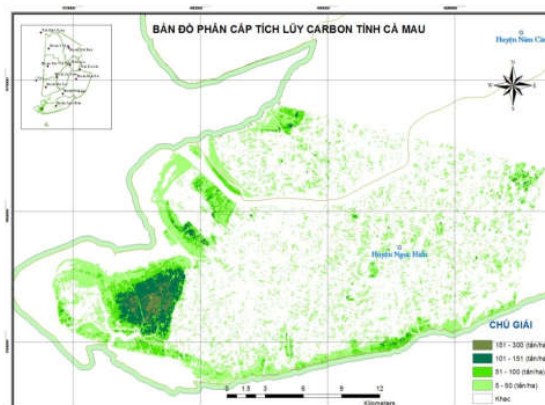
Phương trình sử dụng để tính sinh khối rừng trên mặt đất tỉnh Cà Mau từ chỉ số thực vật NDVI trên ảnh SPOT 5 như sau: $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$ với hệ số xác định là $R^2 = 0,84$. Kết quả lập bản đồ sinh khối được thể hiện trong hình 6.



Hình 6. Bản đồ sinh khối rừng ngập mặn tại khu vực tỉnh Cà Mau

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 Vườn Quốc gia 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 10 x 10 m 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.



Hình 7. Bản đồ tích lũy các bon rừng ngập mặn tại khu vực tỉnh Cà Mau

4. KẾT LUẬN

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 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.

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: $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2,00613 - 0,0794042/\text{NDVI}^3)$ với hệ số xác định $R^2 = 0,85$, SSR = 0,03, SEE = 0,03 và MAE = 0,02.

Mô hình ước tính sinh khối rừng khả quan với sai số 15,9 tấn/ha. Tỷ lệ về sai số sinh khối tính với sinh khối rừng đo có sai số lệch chuẩn là 52,8%, như vậy, ước tính sinh khối thông qua mô hình đa biến cho độ chính xác thấp khoảng 47,8% khi sử dụng mô hình đa biến.

Bản đồ sinh khối Cà Mau được phân cấp thành 4 cấp sinh khối. Khu vực sinh khối cao (trên 250 tấn/ha) chủ yếu tập trung ở vùng lõi Vườn Quốc gia Đất Mũi, còn lại một ít diện tích phân bố rải rác tại các lâm ngư trường. 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Blasco, F., Aizpuru, M. và Gers, C. (2001). Depletion of the mangroves of Continental Asia, *Wetlands Ecology and Management*, 9 (3): 255 - 266.
2. 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.
3. El Hajj, M., Bégué, A., Lafrance, B., Hagolle, O., Dedieu, G. và Rumeau, M. (2008). Relative radiometric normalization and atmospheric correction of a SPOT 5 time series, *Sensors*, 8 (4): 2774 - 2791.
4. 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.
5. Henry, M., Besnard, A., Asante, W., 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.
6. Bảo Huy, Nguyễn Thị Thanh Hương (2014). Sử dụng ảnh vệ tinh SPOT-5 và GIS để ước tính và giám sát sinh khối, các bon ở rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam, số 9, trang 52 - 58.
7. José, N. (2009). Biomass component equations for Latin American species and groups of species, *Annals of Forest Science*, 66 (2): 1 - 21.
8. Lu, D. (2005). Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (12): 2509 - 2525.
9. Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing - based biomass estimation, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (7): 1297 - 1328.
10. MacDicken, K. G. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, Winrock International Institute for Agricultural Development USA.
11. 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.
12. 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.
13. 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.

14. Wang, L. và Sousa, W. P. (2009). *International Journal of Remote Sensing*, 30 (5): 1267-1281. Distinguishing mangrove species with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance,

APPLYING SPOT5 SATELLITE IMAGE TO ESTIMATE MANGROVE FOREST BIOMASS AND CARBON STOCK IN CA MAU PROVINCE

Nguyen Thi Ha¹, Nguyen Thi Hoa¹,

Dang Viet Hung¹, Vo Minh Hoan¹, Nguyen Van Hop¹

¹Natural resources and environment Faculty,

Vietnam National University of Forestry at Dong Nai campus

Summary

The assessing biomass and carbon stock is the challenge at recently, in mangrove forest because of inaccessibility. This research provides a databased and model for biomass and carbon stock of mangrove forest for management, restoration, maintenance and development of this ecosystem. The specific objectives are to analysis the correlation between scattering values extracted from multi - polarized radar image and reflective value extracted from optical image (SPOT 5 image) with forest biomass above the ground; and to develop a model for estimating biomass and carbon stock of mangrove forest based on field work and remote sensing data. The study used some methods including field investigation, satellite image interpretation based on NDVI index, and field investigation. The results showed the estimating forest biomass function as $\ln(\text{TAGB}) = \exp(2.00613 - 0.0794042/\text{NDVI}^3)$ with coefficient $R^2 = 0.85$, SSR = 0.03, SEE = 0.03 and MAE = 0.02. And establishing the biomass map in mangrove forest in Ca Mau that illustrated 4 levels: very low level (10 - 50 ton/ha), low level (51 - 100 ton/ha), medium level (101 - 250 ton/ha), high level (251 - 600 ton/ha).

Keywords: *Estimating forest biomass function, SPOT 5 image, mangrove forest, Ca Mau.*

Người phản biện: PGS.TS. Trần Quang Bảo

Ngày nhận bài: 24/02/2021

Ngày thông qua phản biện: 24/3/2021

Ngày duyệt đăng: 31/3/2021