

SỬ DỤNG DỮ LIỆU ANISOTROPY TỪ ẢNH VIỄN THÁM MODIS MAIAC ĐỂ GIÁM SÁT CARBON RỪNG TRÊN KHU VỰC RỘNG: ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY Ở TÂY NGUYÊN VIỆT NAM

Bảo Huy¹

TÓM TẮT

Trong quản lý rừng và thực hiện chương trình “Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng - REDD+” cần có phương pháp, công nghệ để giám sát sinh khối, carbon rừng một cách thường xuyên trên quy mô rộng lớn như vùng sinh thái và cả quốc gia để báo cáo lượng phát thải hay hấp thụ CO₂ của rừng. Dữ liệu Anisotropy thu được từ kỹ thuật phân tích MAIAC (Multi-Angle Implementation Atmospheric Correction Algorithm) tiên tiến trên ảnh viễn thám MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) của Cơ quan Không gian và Hàng không quốc gia Hoa Kỳ NASA là giải pháp cho nhu cầu này ở Việt Nam. Dữ liệu ảnh Anisotropy có độ phân giải 1km cho toàn Việt Nam trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2015 được lập theo từng tháng. Kết hợp với 194 ô mẫu có dữ liệu tổng carbon trên mặt đất rừng (TotalAGC, tấn/ha) ở vùng Tây Nguyên, sử dụng dữ liệu Anisotropy từ 12 ảnh MODIS MAIAC của 12 tháng trong năm 2011 để ước tính và lập bản đồ carbon rừng và đánh giá độ tin cậy. Phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến tính Marquardt có trọng số đã được áp dụng để lập mô hình quan hệ giữa TotalAGC và Anisotropy. Mô hình được lựa chọn là $TotalAGC = 8.1072 \times \exp(2.8892 \times Anisotropy^{0.293495})$ với $R^2 = 0.6$, sử dụng mô hình này ước tính và lập bản đồ carbon rừng có sai số tuyệt đối trung bình (Bias) = 8.1 tấn/ha, sai số trung phương (RMSE) = 23.7 tấn/ha và sai số tương đối (MAPE%) là 21.0%. Sử dụng dữ liệu ảnh Anisotropy có độ tin cậy khoảng 80% trong ước tính và lập bản đồ sinh khối, carbon rừng trên khu vực rộng như vùng sinh thái đến toàn quốc.

Từ khóa: MAIAC, MODIS, carbon rừng, dữ liệu Anisotropy

1 MỞ ĐẦU

Trong quản lý rừng và thực hiện chương trình “Giảm phát thải từ suy thoái và mất rừng - REDD+” cần có phương pháp, công cụ để giám sát carbon rừng một cách thường xuyên và trên quy mô rộng lớn như vùng sinh thái và cả quốc gia để báo cáo lượng phát thải hay hấp thụ CO₂ của rừng trong hệ thống “Đo lường – Báo cáo – Thẩm định MRV”. Đồng thời cũng cần có dữ liệu ước tính lượng phát thải/hấp thụ trong quá khứ để lập đường phát thải tham chiếu từ rừng (Forest Reference Level – FRL). Dữ liệu Anisotropy thu được từ ảnh viễn thám MODIS MAIAC (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Multi-Angle Implementation Atmospheric Correction Algorithm (MAIAC)) của Cơ quan Không gian và Hàng không quốc gia Hoa Kỳ (National Aeronautics and Space Administration - NASA) là giải pháp cho nhu cầu này ở Việt Nam.

Về kỹ thuật đo tính, giám sát carbon rừng có hai nhóm: i) điều tra trên thực địa bao gồm sử dụng phương pháp dùng hệ số chuyển đổi từ trữ lượng sang sinh khối/carbon hoặc sử dụng các mô hình sinh trắc (allometric equations); ii) sử dụng ảnh viễn thám bao gồm nhiều loại như IKONOS, Landsat TM/ETM, SPOT, ASTER, IRS-IC WiFS, AVHRR, Radar, LiDAR..., với kỹ thuật ước tính sinh khối/carbon rừng từ ảnh thông qua lập mô hình quan hệ giữa sinh khối/carbon rừng hoặc chỉ số diện tích tán lá LAI (Leaf Area Index) với các giá trị band ảnh khác nhau theo mô hình tuyến tính, hoặc phi tuyến tính đơn đến đa biến hoặc áp dụng kỹ thuật kNN (Ashton et al., 2012). Đối với ảnh LiDAR thường ước tính trực tiếp đường kính tán lá cây, từ đó thông qua các mô hình quan hệ để ước tính trữ lượng, sinh khối, carbon (Popescu et al., 2003). Trong một tổng quan mới nhất và toàn diện từ 256 công trình được công bố về ứng dụng ảnh viễn thám trong ước tính sinh khối, carbon rừng, Kumar et al. (2015) đã chỉ ra viễn thám đã mang lại công nghệ giúp cho việc đo tính carbon trên quy mô rộng lớn một cách nhanh chóng với chi phí thấp.

Ảnh MODIS là ảnh có độ phân giải trung bình, thông qua thuật toán hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển bất đẳng hướng (MAIAC), từ đó cung cấp dữ liệu để ước tính các đối tượng trên bề mặt đất hàng ngày. MAIAC là một thuật toán tiên tiến dùng để phân tích và xử lý ảnh MODIS trên cơ sở pixel theo chuỗi thời gian để cải thiện độ chính xác thông qua phát hiện mây và hiệu chỉnh ảnh hưởng của nhiễu loạn khí quyển (Lyapustin et al., 2011, 2012, Hilker et al., 2012, 2014). Từ đó cung cấp dữ liệu đã hiệu chỉnh phản ánh bề mặt đất Anisotropy hàng ngày, hàng tháng trên quy mô rộng lớn, ví dụ có thể bao phủ toàn lãnh thổ Việt Nam. Moura et al. (2015) đã cho thấy dữ liệu bất đẳng hướng phản ánh bề mặt đất Anisotropy của MAIAC có quan hệ rất chặt chẽ diện

¹ Trường Đại học Tây Nguyên, baohuy.frem@gmail.com. Học giả tại Bộ môn Kỹ thuật và Quản lý tài nguyên rừng, Đại học Bang Oregon (OSU), 117 Peavy Hall, Corvallis, Oregon 97331, Hoa Kỳ, email: bao.huy@oregonstate.edu

tích tán lá thực vật (vegetation leaf area) với tầng tán nhấp nhô ở khu vực rừng nhiệt đới Amazon, Brazil. Đã phát hiện mối quan hệ tuyến tính chặt giữa dữ liệu Anisotropy của ảnh MAIAC với chỉ số diện tích tán lá - LAI (Leaf Area Index); hệ số xác định $R^2 = 0.70$ cho quan hệ giữa Anisotropy với LAI đo tính từ mặt đất và $R^2 = 0.88$ cho quan hệ giữa Anisotropy với LAI được ước tính trên ảnh LiDAR, ngay cả khi tán lá rất dày đặc, nhiều tầng của rừng nhiệt đới, với $LAI \leq 7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Từ đó chỉ ra việc cải thiện sử dụng ảnh viễn thám quang học để ước tính sinh khối của các kiểu rừng phức tạp nhiều tầng vùng nhiệt đới. Trong khi đó LAI là một chỉ tiêu có quan hệ rất chặt chẽ với trữ lượng, sinh khối, tổng tích lũy carbon rừng phần trên mặt đất rừng (TotalAGC: Total Above-ground carbon) (Heiskanen, 2006). Do đó định hướng sử dụng MAIAC để ước tính sinh khối, carbon rừng trên mặt đất có khả năng đạt độ tin cậy cao.

Vì vậy nếu sử dụng ảnh MODIS xử lý theo thuật toán MAIAC sẽ thuận lợi cho việc ước tính thay đổi thảm phủ rừng, trữ lượng, sinh khối, carbon của các kiểu rừng trên quy mô rộng như vùng sinh thái, toàn quốc và có thể được tiến hành một cách liên tục đến từng tháng. Đồng thời ảnh MODIS được NASA cung cấp miễn phí web ftp server: <ftp://maiac@dataportal.nccs.nasa.gov/DataRelease>. Do vậy ứng dụng phương pháp và công cụ này sẽ là cơ hội để có thể giám sát tài nguyên rừng ở Việt Nam trên diện rộng có hiệu quả và thường xuyên. Ứng dụng xử lý ảnh MAIAC có khả năng cung cấp dữ liệu phát thải và hấp thụ carbon thường xuyên trên quy mô vùng dự án hoặc cho cả quốc gia; và với dữ liệu ảnh MODIS MAIAC có thể truy cập đến từng tháng trong thời gian dài trong quá khứ (15 – 20 năm), cùng với khả năng ước tính sinh khối carbon từ ảnh này sẽ là cơ sở để lập đường phát thải tham chiếu (FRL) để báo cáo giảm phát thải trong thực thi chương trình UN-REDD+.

Trong nghiên cứu này, tiến hành xử lý ảnh MODIS theo phương pháp phân tích MAIAC để tạo ra dữ liệu Anisotropy cho toàn quốc trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2015 (15 năm), từ đó thử nghiệm ước tính tổng lượng carbon tích lũy trong cây rừng trên mặt đất thông qua dữ liệu Anisotropy của ảnh và đánh giá độ tin cậy ở vùng Tây Nguyên.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1 Ảnh vệ tinh MODIS và phân tích MAIAC để thu dữ liệu bất đẳng hướng Anisotropy trên phạm vi toàn quốc hàng tháng

Sử dụng ảnh MODIS L1B với 12 band có độ phân giải 1km, việc xử lý dữ liệu ảnh gốc MODIS Terra và Aqua được thực hiện bởi NASA GSFC trên siêu máy tính (Supercomputer (NCCS)). Dữ liệu này được thiết lập theo từng vùng với quy mô $600 \times 600 \text{ km}^2$ và được lưu trữ trong thư mục theo tên vùng, địa phương và file được mã hóa như sau:

MAIAC[TA]XXX.hHHvVV.YYYYDDDDHHMM.hdf (1)

Trong đó: T là dữ liệu Terra và A là dữ liệu Aqua, XXX là dữ liệu theo kiểu dạng file (BRF, AOT, RTLS), HH và VV là mã vùng địa phương, YYYYDDDDHHMM là năm, ngày, giờ và phút ở vùng được mặt trời chiếu sáng của ảnh MODIS L1B (Lyapustin et al. 2012).

Ảnh MODIS MAIAC có khả năng cung cấp dữ liệu phản chiếu bề mặt đất hàng ngày. Dữ liệu ảnh Anisotropy có độ phân giải 1km cho toàn Việt Nam được thu thập trên cơ sở phân tích MAIAC của các ảnh MODIS theo từng tháng. Phân tích MAIAC cho các ảnh MODIS hàng tháng về phía trước và quan sát tán xạ ngược để có được dữ liệu Anisotropy từ phân phối phản xạ hai chiều đa góc được thực hiện theo Hilker et al. (2014), Lyapustin et al. (2012) và Moura et al. (2015).

2.2 Địa phương, thời gian thu thập dữ liệu trên ô mẫu

Nghiên cứu này thử nghiệm tại Tây Nguyên, đã tiến hành lập ô mẫu để tính sinh khối/carbon rừng phần trên mặt đất rừng thông qua các mô hình sinh trắc. Hai địa phương tiến hành thu thập ô mẫu:

Huyện Tuy Đức tỉnh Đắk Nông, có tọa độ $12^{\circ}8'9.47''$ vĩ độ bắc, $107^{\circ}20'41.39''$ kinh độ đông; độ cao so với mặt biển từ 300 – 900m; mùa mưa từ tháng 4 đến tháng 11; độ dốc từ 5 – 30°. Chủ yếu là rừng lá rộng thường xanh, một ít rừng hỗn giao gỗ tre lồ ô, rừng đã bị tác động ở các mức độ khác nhau.

Huyện Bảo Lâm thuộc tỉnh Lâm Đồng, có tọa độ $11^{\circ}41'36.23''$ vĩ độ bắc, $107^{\circ}28'40.19''$ kinh độ đông; ở độ cao từ 150 – 750 m so với mặt biển; độ dốc biến động từ 10 – 45°. Kiểu rừng gồm có rừng lá rộng thường xanh, rừng hỗn giao lá rộng – lá kim, rừng lá kim, rừng hỗn giao gỗ - lồ ô và rừng lồ ô thuần.

Thời gian thu thập dữ liệu từ tháng 11 năm 2010 đến tháng 12 năm 2012 trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu của Bộ Giáo dục và Đào tạo (Bảo Huy và cộng sự, 2014) và dự án SNV-REDD (Bảo Huy và cộng sự 2013, 2015)

2.3 Thu thập dữ liệu ô mẫu và tính toán sinh khối, carbon trên mặt đất rừng

Áp dụng theo yêu cầu của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (2003, 2006) (The Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) để tính toán lượng ô mẫu ước tính sinh khối/carbon rừng với sai số dưới 10% với độ tin cậy ước lượng là 95%. Công thức tính số lượng ô mẫu như sau (Bhishma et al., 2010; Bảo Huy và cộng sự, 2013):

$$N = \frac{A}{AP} \quad (2)$$

$$N_i = \frac{A_i}{AP} \quad (3)$$

$$n = \frac{(\sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i)^2}{\frac{N^2 \cdot E^2}{t^2} + \sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i^2} \quad (4)$$

$$n_i = n \cdot \frac{N_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^L N_i \cdot S_i} \quad (5)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \cdot \bar{X}_i \quad (6)$$

Trong đó: N là số ô mẫu tối đa trong vùng nghiên cứu, A là tổng diện tích (ha), AP là kích thước ô mẫu (ha), N_i là số ô mẫu tối đa cho từng kiểu rừng/trạng thái i, A_i là diện tích kiểu rừng/trạng thái i (ha), S_i là sai tiêu chuẩn của kiểu rừng/trạng thái i, L là số trạng thái/kiểu rừng và E là sai số tuyệt đối của trung bình ứng với sai số 10%, $E = 10\% \times \bar{X}$, với \bar{X} là bình quân chung sinh khối hoặc carbon/ha, \bar{X}_i là trung bình sinh khối, carbon của trạng thái i, t = 2 ứng với mức ý nghĩa $P_{\text{value}} = 0.05$, n là tổng ô mẫu cần thiết và n_i là số ô mẫu cần thiết cho kiểu rừng/trạng thái i.

Các ô mẫu được bố trí ngẫu nhiên trên bản đồ trong phần mềm ArcGIS. Ô mẫu hình tròn có 3 tầng theo đường kính ngang ngực (DBH, cm) được sử dụng (Bảo Huy và cộng sự, 2014); bao gồm các ô phụ có diện tích 100m² đo cây có $6 \leq \text{DBH} \leq 22\text{cm}$, ô phụ diện tích 500m² đo $22 < \text{DBH} \leq 42\text{cm}$ và ô phụ 1.000m² dùng đo cây có $\text{DBH} > 42\text{cm}$. Tổng cộng có 194 ô mẫu đã được thu thập các dữ liệu loài, đường kính ngang ngực (DBH, cm), chiều cao (H, m).

Các mô hình sinh trắc được sử dụng để ước tính sinh khối cây trên mặt đất (Above-ground Biomass – AGB, kg/cây) bao gồm:

Cho rừng lá rộng thường xanh (Bảo Huy và cộng sự, 2014):

$$\text{AGB} = \exp(- 2.23927 + 2.49596 \times \ln(\text{DBH})) \quad (7)$$

Cho rừng lồ ô (Bảo Huy và cộng sự, 2014):

$$\text{AGB} = \exp(- 1.69181 + 2.0931 \times \ln(\text{DBH})) \quad (8)$$

Cho rừng thông 3 lá (Brown, 1989):

$$\text{AGB} = \exp(- 1.170 + 2.119 \times \ln(\text{DBH})) \quad (9)$$

Trong từng ô mẫu, dựa vào các mô hình sinh trắc nói trên để ước tính tổng sinh khối trên mặt đất trên ha (TotalAGB, tấn/ha), tổng carbon trên mặt đất trên ha (TotalAGC, tấn/ha), với $\text{TotalAGC} = 0.47 \times \text{TotalAGB}$ (Bảo Huy và cộng sự, 2014) và tổng lượng CO₂ tương đương trên mặt đất trên một ha rừng: $\text{TotalCO}_2 = 3.67 \times \text{TotalAGC}$.

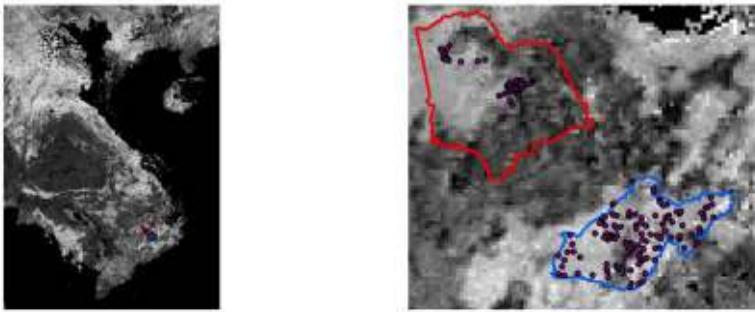
2.4 Thiết lập và đánh giá quan hệ giữa TotalAGC trên ô mẫu với dữ liệu Anisotropy trên ảnh MODIS MAIAC

Với dữ liệu mặt đất thu thập từ năm 2010 đến 2012, trong đó chủ yếu trong năm 2011, vì vậy để tương đồng thời gian giữa dữ liệu TotalAGC mặt đất với dữ liệu Anisotropy trên ảnh, đã tiến hành phân tích và sử dụng ảnh MODIS MAIAC trong 12 tháng của năm 2011.

Dữ liệu Anisotropy từ 12 ảnh MAIAC của 12 tháng trong năm 2011 được gán với dữ liệu 194 ô mẫu trong phần mềm ArcGIS. Hình 1 cho thấy các ô mẫu ở hai vùng nghiên cứu ở Tây Nguyên trên ảnh MODIS MAIAC phủ toàn quốc.

Tạp chí Rừng và Môi trường, số 77(2016): 47-57

Tiến hành phân loại, xếp nhóm (class) dữ liệu Anisotropy trên ảnh MAIAC bằng cách áp dụng phân loại ảnh phi giám định ISODATA trong phần mềm ENVI để phân cấp dữ liệu Anisotropy theo 10 classes. Từ đó ứng với mỗi class tính trung bình giá trị TotalAGC và Anisotropy. Kết quả cho ra 107 cặp dữ liệu trung bình TotalAGC/Anisotropy từ 12 ảnh được phân loại thành 10 classes. Đây là dữ liệu để lập và đánh giá mô hình quan hệ giữa TotalAGC và Anisotropy.



Hình 1. Ảnh MODIS phân tích MAIAC tháng 3 năm 2011 và 194 ô mẫu trong hai vùng nghiên cứu ở Tây Nguyên. Bên trái là ảnh MAIAC phủ toàn quốc và bên phải là hai khu vực nghiên cứu ở Tây Nguyên

Lập mô hình quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các dữ liệu ảnh viễn thám là một trong những phương pháp được sử dụng phổ biến để ước tính sinh khối, carbon rừng thông qua ảnh. Moura et al. (2015) đã sử dụng mô hình tuyến tính mô tả quan hệ giữa Anisotropy với LAI, trong khi đó LAI có quan hệ hữu cơ với sinh khối cây rừng. Heiskanen (2006) sử dụng các mô hình khác nhau như tuyến tính, power, mũ exp để mô tả quan hệ giữa biomass, LAI với các giá trị band 2 và 3 ảnh ASTER. Như vậy có thể thấy mối quan hệ giữa sinh khối, carbon rừng với các giá trị ảnh thường đa dạng, do đó có thể biểu thị từ tuyến tính đến phi tuyến tính và đơn biến (1 band ảnh) hoặc đa biến (nhiều giá trị band ảnh). Vì vậy nghiên cứu này thử nghiệm mối quan hệ giữa TotalAGC = f(Anisotropy) theo một số dạng từ tuyến tính đến phi tuyến phổ biến như power, exp, sqrt (Bảng 2).

Để thiết lập mô hình, sử dụng phương pháp ước lượng phi tuyến tính Marquardt có trọng số: Weight = Anisotropy^k, trong đó k biến động từ -4 đến +4, thay đổi k để mô hình có sai số (residual) bé nhất và phân bố đều theo giá trị TotalAGC dự báo qua mô hình. Dữ liệu để lập mô hình là giá trị trung bình của TotalAGC và Anisotropy của 10 classes từ ảnh MAIAC của tháng 2 năm 2011, đây là ảnh có thời gian chụp trùng nhất với việc thời gian thu thập dữ liệu ô mẫu trên mặt đất.

So sánh và lựa chọn mô hình dựa vào các chỉ tiêu thống kê: (i) các tham số mô hình có ý nghĩa với Pvalue<0.05, (ii) đồ thị quan hệ giữa giá trị dự báo với quan sát bám sát nhau và phân bố sai số (residual) theo dự báo bé nhất và phân bố rải đều, (iii) hệ số xác định R² cao, (iv) các chỉ tiêu đánh giá sai số của mô hình bé nhất bao gồm sai số tuyệt đối trung bình (Bias), sai số trung phương (RMSE) và sai số tương đối trung bình % (MAPE) ở các công thức (10), (11) và (12)

Sau đó các mô hình cũng được thẩm định chéo (cross validation) dựa vào dữ liệu trung bình TotalAGC và Anisotropy của 11 ảnh MAIAC ở 11 tháng trong năm 2011 (ngoài trừ dữ liệu tháng 2 đã được sử dụng để lập mô hình). Chỉ tiêu thống kê thẩm định cũng là Bias, RMSE, MAPE% nhưng với dữ liệu ảnh độc lập không tham gia lập mô hình và trùng khớp với thời gian thu thập dữ liệu ô mẫu trên thực địa.

Các công thức tính sai số:

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})}{n} \quad (10)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n}} \quad (11)$$

$$\text{MAPE}\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}|}{y_i} \quad (12)$$

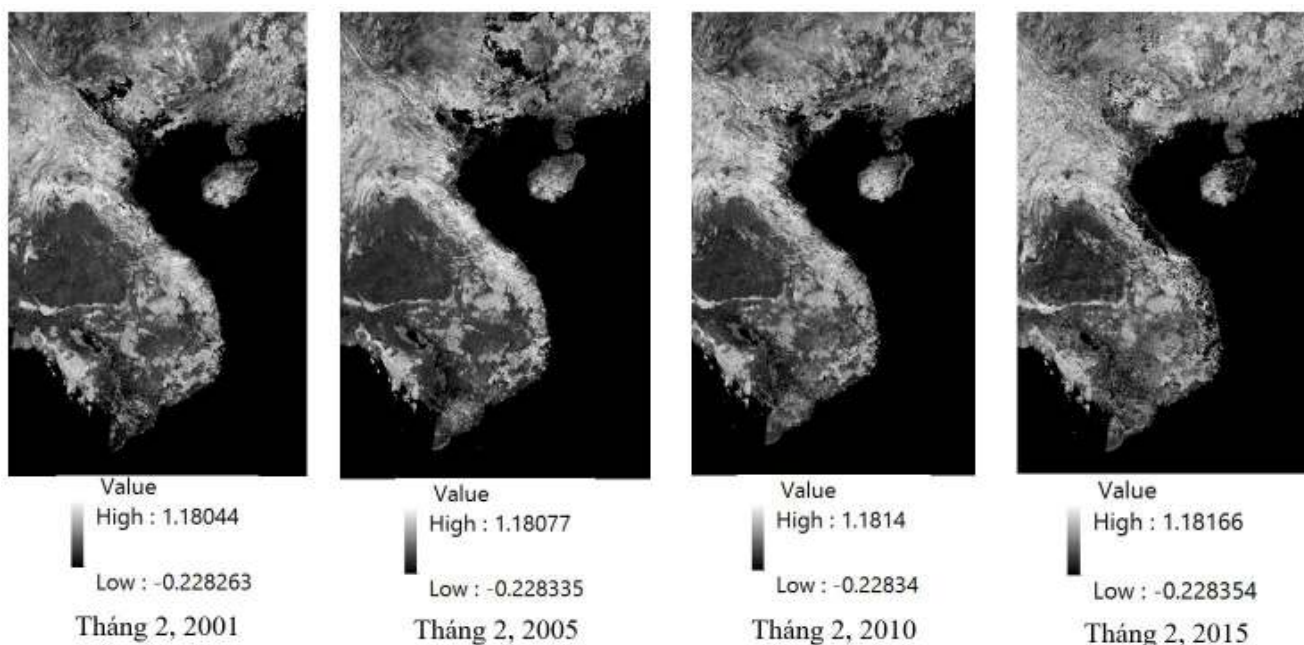
Trong đó n là số cặp dữ liệu TotalAGC/Anisotropy, y_i là dữ liệu TotalAGC (tấn/ha) từ ô mẫu, \hat{y} là giá trị TotalAGC ước tính qua mô hình từ dữ liệu Anisotropy.

2.5 Gán giá trị TotalAGC trên pixel ảnh dữ liệu Anisotropy và lập bản đồ carbon rừng
 Từ mô hình quan hệ $TotalAGC = f(Anisotropy)$ lựa chọn, gán được giá trị TotalAGC lên các pixel của ảnh dữ liệu Anisotropy trong phần mềm Erdas. Trên cơ sở ảnh raster đầu ra có giá trị pixel là TotalAGC, chuyển thành vector để lập bản đồ carbon rừng và truy xuất dữ liệu carbon tích lũy tại thời điểm thu thập ảnh MODIS trong phần mềm ArcGIS.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Tạo lập dữ liệu Anisotropy từ ảnh MODIS MAIAC trên phạm vi toàn quốc

Sử dụng các ảnh MODIS MAIAC phủ toàn lãnh thổ Việt Nam, thực hiện phối hợp các ảnh ở các góc chụp khác nhau theo từng tháng để ước tính được dữ liệu Anisotropy phản ánh bề mặt đất cho phạm vi toàn quốc với độ phân giải 1km. Kết quả đã lập được chuỗi ảnh dữ liệu Anisotropy cho từng tháng, từ tháng 2 năm 2000 đến tháng 7 năm 2015, gồm 187 ảnh dữ liệu Anisotropy phủ cho phạm vi toàn quốc. Hình 2 là giới thiệu ảnh dữ liệu Anisotropy ở tháng 2 của các năm 2001, 2005, 2010 và 2015. Giá trị Anisotropy tăng lên ứng với sự dày đặc, sinh khối cao hơn của thảm thực vật với gam màu sáng trắng hơn. Kết quả này cho thấy với ảnh MODIS MAIAC sẽ rất thuận tiện cho việc lập dữ liệu ảnh phủ ở khu vực rộng lớn, như từng vùng sinh thái đến toàn quốc và thực hiện liên tục theo từng tháng trong quá khứ đến hiện tại. Đây cần được xem là nguồn dữ liệu quan trọng để có thể giám sát tài nguyên rừng ở cấp vĩ mô, đồng thời để lập mức phát thải tham chiếu (Forest Reference Level - FRL) dựa vào dữ liệu ảnh quá khứ trên 15 năm và để giám sát thay đổi bể chứa carbon rừng nhằm báo cáo giảm phát thải trong khuôn khổ chương trình UN-REDD+ ở Việt Nam.



Hình 2: Ảnh dữ liệu Anisotropy toàn quốc ở các giai đoạn từ 2001 - 2015

3.2 Đặc điểm thống kê của dữ liệu TotalAGC và Anisotropy ở khu vực nghiên cứu đánh giá

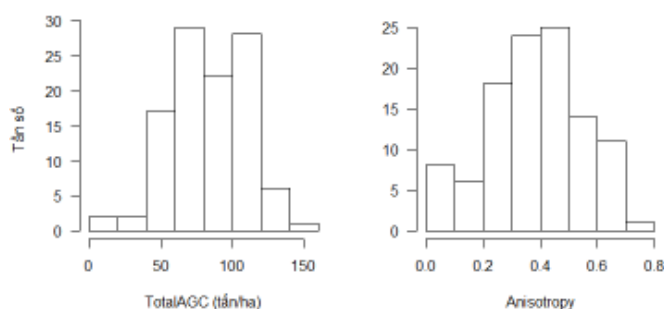
Đặc điểm thống kê của giá trị trung bình TotalAGC và Anisotropy trên cơ sở phân loại ảnh thành 10 classes trong 12 tháng của năm 2011 được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy Anisotropy biến động từ 0 - 0.8, trung bình là 0.4; trong khi đó TotalAGC biến động từ 16 – 160 tấn/ha, trung bình là 85 tấn/ha. Giá trị TotalAGC tăng lên ứng với giá trị Anisotropy cao hơn. Cả hai dữ liệu đều có độ lệch và nhọn gần bằng 0, cho thấy dữ liệu nghiên cứu đã đủ lớn và có phân bố tiệm cận chuẩn, thể hiện ở Hình 3.

Bảng 1: Đặc trưng thống kê của dữ liệu Anisotropy và TotalAGC trong khu vực nghiên cứu

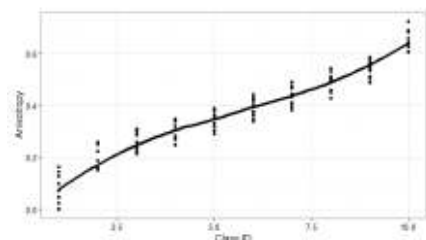
	Anisotropy	TotalAGC (tấn/ha)
Trung bình (Mean)	0.382	84.597
Sai tiêu chuẩn (Standard Deviation)	0.169	25.973
Phương sai (Sample Variance)	0.029	674.581

	Anisotropy	TotalAGC (tấn/ha)
Độ nhọn (Kurtosis)	-0.349	-0.121
Độ lệch (Skewness)	-0.267	-0.149
Minimum	0.001	16.554
Maximum	0.723	151.874
Dung lượng mẫu (Count)	107	107
Biến động ở mức tin cậy 95% (Confidence Level (95.0%))	0.032	4.978



Hình 3: Phân bố tần số của Anisotropy và TotalAGC tương ứng từ dữ liệu 12 ảnh MODIS MAIAC trong 12 tháng năm 2011 được phân chia thành 10 classes.

Ngoài ra Hình 4 cho thấy có một mối quan hệ rất chặt chẽ giữa giá trị Anisotropy với mã hóa các class trong phân loại ảnh MAIAC phi giám định thành 10 classes. Anisotropy tăng lên theo class ID tăng từ 1 – 10. Điều này cho thấy việc sử dụng phân loại phi giám định ở mức 10 classes là thích hợp, đã phản ánh đúng quy luật biến đổi dữ liệu Anisotropy trên ảnh MAIAC, từ đó làm cơ sở cho việc tính TotalAGC và Anisotropy trung bình cho từng class để nghiên cứu mối quan hệ giữa chúng, từ đó ước tính được carbon rừng qua dữ liệu Anisotropy.



Hình 4: Quan hệ giữa dữ liệu Anisotropy và mã các class ID trong phân loại ảnh phi giám định theo 10 classes của ảnh MODIS MAIAC trong 12 tháng năm 2011.

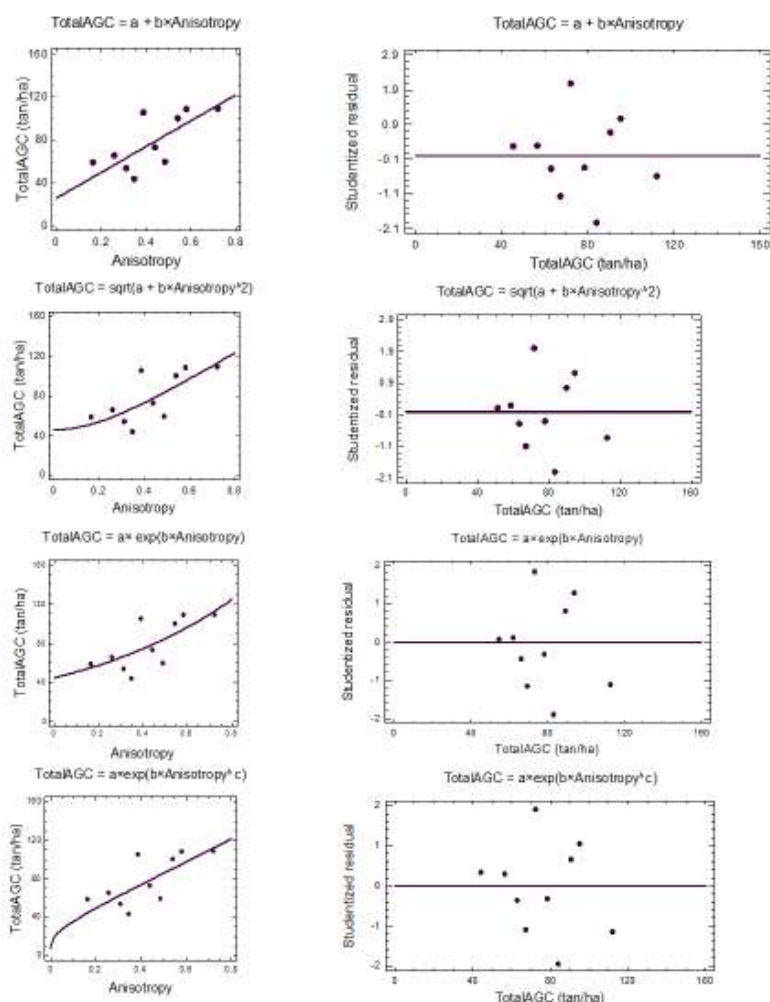
3.3 Thiết lập và thẩm định mô hình ước tính TotalAGC theo dữ liệu ảnh Anisotropy

Bốn mô hình tuyến tính và phi tuyến tính phổ biến trong Bảng 2 đã được thử nghiệm, kết quả cho thấy cả bốn mô hình hệ số xác định và các chỉ tiêu đánh giá xấp xỉ nhau. R^2 xấp xỉ 0.6, Bias biến động từ -0.06 đến +0.04 tấn/ha, RMSE từ 6.43 đến 8.42 tấn/ha và MAPE từ 15.8% đến 17.1%. Trong đó mô hình Eq 4 dạng hàm mũ exp được lựa chọn vì có ưu điểm hơn các hàm còn lại, đó là xuất phát từ gốc tọa độ, phù hợp thực tế khi Anisotropy = 0 thì TotalAGC = 0 (không che phủ) (Hình 5).

Bảng 2: Mô hình quan hệ giữa TotalAGC (tấn/ha) với dữ liệu Anisotropy (n = 10 classes của ảnh phân loại phi giám định ở tháng 2 năm 2011)

Mã mô hình	Dạng mô hình	Mô hình	$R^2\%$	Bias (tấn/ha)	RMSE (tấn/ha)	MAPE (%)
Eq1	TotalAGC = a + b×Anisotropy	TotalAGC = 25.6781 + 119.772× Anisotropy	55.252	+1.89E-7	7.87	17.01
Eq2	TotalAGC = sqrt(a + b×Anisotropy ²)	TotalAGC = sqrt(2071.97 + 20453.3×Anisotropy ²)	55.244	+0.04	6.43	15.80

Mã mô hình	Dạng mô hình	Mô hình	R ² %	Bias (tấn/ha)	RMSE (tấn/ha)	MAPE (%)
Eq3	TotalAGC = a × exp(b × Anisotropy)	TotalAGC = 44.2746 × exp(1.29319 × Anisotropy)	54.017	-0.06	6.51	16.19
Eq4	TotalAGC = a × exp(b × Anisotropy ^c)	TotalAGC = 8.1072 × exp(2.8892 × Anisotropy ^{0.293495})	55.136	+0.01	8.42	17.05



Hình 5: Đồ thị mô hình ước tính TotalAGC theo Anisotropy so với số liệu quan sát (trái), sai số (residual) theo ước tính TotalAGC qua mô hình (phải).

Mô hình lựa chọn để ước tính tổng lượng carbon cây rừng tích lũy phần trên mặt đất của một ha rừng dưới đây với TotalAGC là tấn/ha và Anisotropy biến động từ 0.1 đến 0.8:

$$\text{TotalAGC} = 8.1072 \times \exp(2.8892 \times \text{Anisotropy}^{0.293495}) \quad (13)$$

Moura et al. (2015) đã sử dụng mô hình tuyến tính mô tả quan hệ giữa dữ liệu Anisotropy của ảnh MODIS MAIAC với chỉ số tán lá (LAI, một chỉ số có quan hệ chặt chẽ với sinh khối, carbon cây rừng) với $R^2 = 0.7$. Heiskanen (2006) lập mô hình ước tính sinh khối theo các band 2-3 của ảnh vệ tinh ASTER, có $R^2 = 0.75 - 0.84$ theo mô hình phi tuyến Power, exp; với tuyến tính có $R^2 = 0.66 - 0.69$ theo band 2, 3 và 4. Mô hình của nghiên cứu này có R^2 thấp hơn một ít vì áp dụng trên quy mô rộng là khu vực Tây Nguyên. Moura đã sử dụng LAI cũng làm tăng độ tin cậy của ước lượng qua ảnh. LAI là một chỉ số được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu mối quan hệ với sinh khối trên quốc tế, nhưng lại ít được áp dụng trong nghiên cứu giải đoán ảnh ở Việt Nam. Vì vậy thời gian tới cần quan tâm thu thập dữ liệu LAI để có tăng độ tin cậy của sử dụng viễn thám.

Ngoài ra để đánh giá khách quan sai số, độ tin cậy của ước tính carbon rừng thông qua dữ liệu Anisotropy; đã sử dụng 97 cặp dữ liệu độc lập TotalAGC/Anisotropy từ ảnh MODIS MAIAC của 11 tháng trong năm 2011 (dữ liệu không tham gia lập mô hình) để tính toán các chỉ tiêu thẩm định các mô hình ở Bảng 3. Kết quả cho thấy cả bốn mô hình có các chỉ tiêu sai số xấp xỉ nhau, trong đó mô hình lựa chọn (Eq. 4) có Bias = 8.1 tấn/ha, RMSE = 23.7 tấn/ha và sai số tương đối MAPE = 21.0%, hay nói khác sử dụng dữ liệu Anisotropy của ảnh vệ tinh MODIS MAIAC để ước lượng và giám sát carbon trên quy mô rộng sẽ cho độ tin cậy gần 80%.

Bảng 3: Thẩm định độc lập các mô hình ước tính TotalAGC (tấn/ha) theo dữ liệu Anisotropy của ảnh MODIS MAIAC

Mã mô hình	Mô hình	Bias (tấn/ha)	RMSE (tấn/ha)	MAPE (%)
Eq1	TotalAGC = 25.6781 + 119.772× Anisotropy	+8.11	23.76	21.05
Eq2	TotalAGC = sqrt(2071.97 + 20453.3×Anisotropy ²)	+7.52	23.40	20.35
Eq3	TotalAGC = 44.2746× exp(1.29319×Anisotropy)	+7.42	23.26	20.51
Eq4	TotalAGC = 8.1072× exp(2.8892× Anisotropy ^{0.293495})	+8.10	23.74	21.04

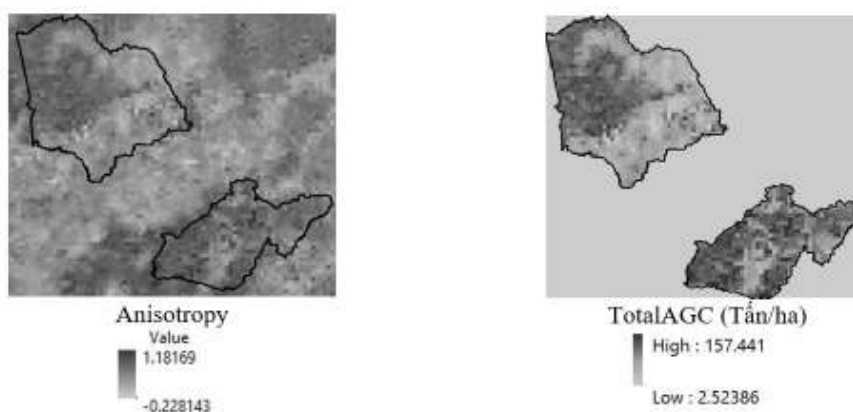
Ghi chú: Dữ liệu thẩm định độc lập gồm 97 cặp dữ liệu trung bình TotalAGC/Anisotropy theo phân loại 10 classes từ ảnh MODIS MAIAC của 11 tháng trong năm 2011 không tham gia lập mô hình (ngoài trừ tháng 2 được sử dụng để lập mô hình)

Heiskanen (2006) đã sử dụng ảnh ASTER có độ phân giải 15*15m để ước tính LAI và sinh khối, kết quả cho thấy có sai số RMSE% là 41.0% đối với ước tính LAI và 37.0% là với sinh khối. Như vậy với kết quả của nghiên cứu này khi sử dụng ảnh MODIS có độ phân giải trung bình, trên quy mô rộng; nhưng nhờ thuật toán tiên tiến MAIAC để thu dữ liệu Anisotropy để ước tính carbon nên đã đạt sai số bé hơn.

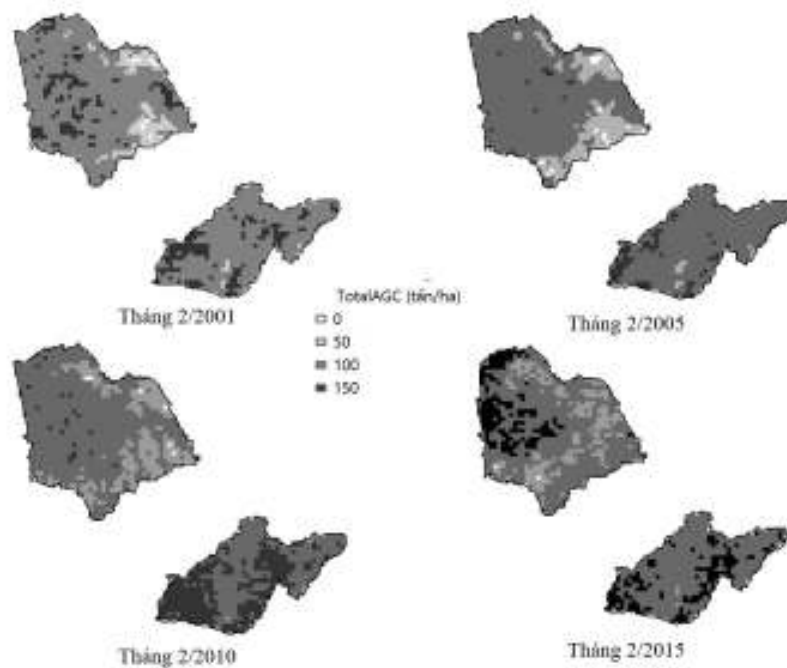
Kết quả của nghiên cứu này là tương đồng với Zhang et al. (2006), cũng sử dụng ảnh MODIS và mô hình sinh trắc để ước tính sinh khối ở Hoa Kỳ, kết quả có sai số RMSE là 21 tấn/ha và mô hình quan hệ giữa sinh khối và giá trị ảnh có hệ số xác định R² = 0.58.

3.4 Lập bản đồ và dữ liệu carbon rừng từ ảnh dữ liệu Anisotropy

Từ mô hình Eq. 4 (14) đã lựa chọn và được thẩm định độ tin cậy, gán được giá trị carbon rừng (TotalAGC) theo pixel ảnh dữ liệu Anisotropy. Hình 6 trình bày ảnh dữ liệu Anisotropy và ảnh raster đã gán giá trị TotalAGC (tấn/ha) tại thời điểm tháng 2 năm 2011 ở vùng nghiên cứu. Hình 7 là ảnh raster đã gán TotalAGC từ năm 2001 đến 2015 và phân thành cấp trữ lượng carbon cách nhau 50 tấn/ha.

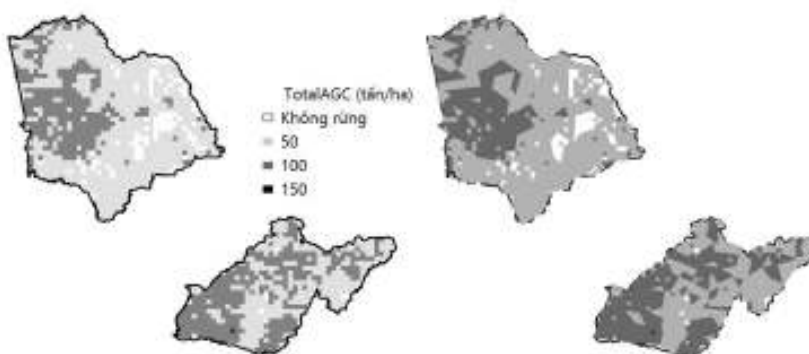


Hình 6: Ảnh dữ liệu Anisotropy trong tháng 2 năm 2011 ở vùng nghiên cứu (trái) và ảnh raster đã gán giá trị TotalAGC (tấn/ha) (phải) từ dữ liệu Anisotropy thông qua mô hình quan hệ lựa chọn



Hình 7: Ảnh raster đã được gán và phân cấp TotalAGC (tấn/ha) từ dữ liệu Anisotropy thông qua mô hình quan hệ lựa chọn trong giai đoạn 5 năm từ 2001 đến 2015.

Trên cơ sở phân cấp carbon trên ảnh raster, chuyển đổi sang vector để tính trữ lượng và lập bản đồ carbon rừng. Hình 8 là kết quả phân cấp carbon rừng và chuyển đổi thành bản đồ vector carbon rừng ở hai khu vực nghiên cứu, đánh giá ở Tây Nguyên.



Hình 8: Ảnh raster phân cấp TotalAGC (tấn/ha) (trái) và ảnh vector tương ứng (phải) trong tháng 2 năm 2011 của vùng nghiên cứu

Từ bản đồ vector carbon rừng đã ước tính được trữ lượng carbon rừng trên 176.608 ha rừng vùng nghiên cứu ở Tây Nguyên tại thời điểm tháng 2 năm 2011 (Bảng 4).

Bảng 4: Lượng carbon tích lũy ở khu vực nghiên cứu được ước tính từ dữ liệu Anisotropy của ảnh MODIS MAIAC tháng 2 năm 2011

Cấp TotalAGC (tấn/ha)	Diện tích (ha)	TotalAGC (tấn)
0	12,799	-
50	103,702	5,185,122
100	60,039	6,003,864
150	68	10,270
Tổng	176,608	11,199,256

4 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Sử dụng dữ liệu Anisotropy được xác định thông qua thuật toán MAIAC tiên tiến trong xử lý ảnh vệ tinh MODIS kết hợp với dữ liệu ô mẫu ngẫu nhiên để ước tính, giám sát carbon rừng trên quy mô rộng, nghiên cứu này có các kết luận và kiến nghị chính như sau:

Mối quan hệ giữa tổng lượng carbon trên mặt đất rừng (TotalAGC) với dữ liệu Anisotropy có quan hệ khá chặt, R^2 xấp xỉ 0.6 theo hàm phi tuyến mũ exp. Ước tính và lập bản đồ TotalAGC thông qua Anisotropy có sai số tuyệt đối trung bình (Bias) = 8.1 tấn/ha, sai số trung phương (RMSE) = 23.7 tấn/ha và sai số tương đối (MAPE%) là 21.0%. Ứng với độ tin cậy khoảng 80% khi ước tính và lập bản đồ sinh khối, carbon rừng trên khu vực rộng như vùng sinh thái, toàn quốc.

Việc sử dụng dữ liệu Anisotropy có các ưu điểm sau: i) Ảnh vệ tinh MODIS xử lý MAIAC được NASA cung cấp miễn phí và thường xuyên hàng tháng; ii) Sử dụng để ước tính dữ liệu sinh khối, carbon rừng liên tục hàng tháng, năm trong quá khứ (15 – 20 năm) đến hiện tại cho từng khu vực đến toàn quốc, phục vụ tốt cho báo cáo phát thải thường xuyên (MRV) và lập đường phát thải tham chiếu (FRL) trong chương trình UN-REDD Việt Nam. Để thực hiện được việc này cũng cần có kế hoạch để lập hệ thống các ô mẫu ngẫu nhiên ở các vùng sinh thái, kiểu rừng.

LỜI CẢM ƠN

Số liệu sinh khối, carbon từ các ô mẫu mặt đất của nghiên cứu này từ dự án SNV-REDD+ ở huyện Bảo Lâm tỉnh Lâm Đồng và từ đề tài nghiên cứu cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo trọng điểm từ 2000 – 2013. Cảm ơn PGS.TS. Thomas Hilker, Đại học bang Oregon Hoa Kỳ đã tham vấn xử lý dữ liệu Anisotropy từ ảnh vệ tinh MODIS MAIAC phủ cho toàn lãnh thổ Việt Nam từ tháng 2 năm 2000 đến tháng 7 năm 2015.

USING ESTIMATES OF ANISOTROPY FROM MODIS MAIAC TO DERIVE FOREST TOTAL ABOVE GROUND CARBON AT LARGE SCALE: ASSESSMENT OF ACCURACY IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM

Bao Huy²

ABSTRACT

Forest management and implementation of the program "Reducing emissions from degradation and deforestation - REDD +" should have methods and technologies for monitoring forest carbon regularly every month, year at the large scale such as ecological and national in order to report forest CO₂ equivalent emissions or absorption. The study processed monthly MODIS MAIAC forward and backscatter observations to obtain Anisotropy data from the bi-directional reflectance distribution of the multi-angle acquisitions for the country at 1km spatial resolution and for each month starting from 2000 until 2015. Anisotropy data from MODIS MAIAC imageries of 12 months in 2011 was combined with dataset of 194 sample plots in the Central Highlands to estimate total above-ground carbon (TotalAGC, ton/ha) and validate the reliability. Non-linear model weighted of Marquardt was applied to develop models for the relationship between TotalAGC and Anisotropy data. The selected model was $TotalAGC = 8.1072 \times \exp(2.8892 \times Anisotropy^{0.293495})$ that had $R^2 = 0.6$, Bias = 8.1 tonnes/ha, Root Mean Squared Error (RMSE) = 23.7 tonnes / ha and Mean Absolute Percent Error (MAPE) is 21.0%. Such errors are acceptable to estimate and map the forest biomass/carbon over wide areas as ecological region and the whole country.

Key words: MAIAC, MODIS, total above-ground biomass/carbon, anisotropy data.

REFERENCES

- Ashton, M.S., Tyrrell, M.L., Spalding, D., Gentry, B., 2012. Managing Forest Carbon in a Changing Climate. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. ISBN 978-94-007-2231-6 e-ISBN 978-94-007-2232-3. DOI 10.1007/978-94-007-2232-3.
- Bhishma, P. S., Pandey, S. S., Pandey, A., Rana, E. B., Bhattarai, S., Banskota, T. R., Charmakar, S., Tamrakar, R. 2010. Forest Carbon Stock Measurement. Guidelines for measuring carbon stocks in community –

² Tay Nguyen University, email: baohuy.frem@gmail.com. Visiting Scholar, Department of Forest Engineering, Resources and Management, Oregon State University (OSU), 117 Peavy Hall, Corvallis, Oregon (OR) 97331, USA, email: bao.huy@oregonstate.edu

- managed forests. Asia Network for Sustainable, Agriculture and Bioresources (ANSAB). Federation of Community Forest, Users, Nepal (FECOFUN). International Centre for Integrated, Mountain Development (ICIMOD).
- Brown, S., Gillespie A.J.R., and Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35:881-902.
- 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* 6(27): 1135-1158.
- Hilker, T., A. I. Lyapustin, C. J. Tucker, P. J. Sellers, F. G. Hall, Y. Wang, 2012: Remote Sensing of Tropical Ecosystems: Atmospheric Correction and Cloud Masking Matter. *Rem. Sens. Environ.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.08.035>.
- Hilker, T., Lyapustin, A.L., Tucker, C.J., Hall, F.G., Myneni, R.B., Wang, Y., Bi, J., Mendes de Moura, Y., Sellers, P.J., 2014. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *PNAS*, November 11, 2014, vol 111, no.45, 16041-16046
- Huy, B. 2014. Sử dụng ảnh vệ tinh SPOT5 và GIS để ước tính và giám sát sinh khối, carbon rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. *Tạp chí Khoa học Công nghệ, Bộ Khoa Học Công Nghệ*. No 9 2014(676): 52-58. ISSN: 1859 – 4794
- Huy, B., Hung, V., Nguyen, N.T.H., Ly, C.T., Anh, P.T., Tri, H.N., and Dinh, N.D. 2014. Sinh khối và carbon rừng lá rộng thường xanh vùng Tây Nguyên. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, số 3-4 (2014): 195 – 202. ISSN 1859-4581
- Huy, B., Nguyen, T.T.H., Sharma, B.D., Quang, N.V. 2013. Participatory Carbon Monitoring: Manual for Local Staff; Local People and Field Reference. (In English and Vietnamese). SNV Netherlands Development Organization, REED+ Programme. Publishing permit number: 1813- -2013/CXB/03-96/TĐ.
- Kumar, L., Sinha, P., Taylor, S., Alqurashi, A.F. 2015. Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(2015), DOI: 10.1117/1.JRS.9.097696.
- Lyapustin, A., J. Martonchik, Y. Wang, I. Laszlo, S. Korkin, 2011: Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC): Part 1. Radiative Transfer Basis and Look-Up Tables, *J. Geophys. Res.*, 116, D03210, doi:10.1029/2010JD014985.
- Lyapustin, A., S. Korkin, Y. Wang, B. Quayle, and I. Laszlo, 2012b: Discrimination of biomass burning smoke and clouds in MAIAC algorithm, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 9679–9686, doi:10.5194/acp-12-9679-2012.
- Lyapustin, A., Y. Wang, I. Laszlo, R. Kahn, S. Korkin, L. Remer, R. Levy, and J. S. Reid, 2011: Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC): Part 2. Aerosol Algorithm, *J. Geophys. Res.*, 116, D03211, doi:10.1029/2010JD014986.
- Lyapustin, A., Y. Wang, I. Laszlo, T. Hilker, F. Hall, P. Sellers, J. Tucker, S. Korkin, 2012a: Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction for MODIS (MAIAC). 3: Atmospheric Correction. *Rem. Sens. Environ.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.002>.
- Lyapustin, A.L., Wang, Y., Laszlo, I., Hilker, T., Hall, F.G., Sellers, P.J., Tucker, C.J., Korkin, S.V., 2012. Multi-angle implementation of atmospheric correction for MODIS (MAIAC): 3. Atmospheric correction. *Remote sensing of environment* 127(2012) 385-393
- Moura, Y.M., Hilker, T., Lyapustin, A.I., Galvao, L.S., Roberto dos Santos, J., Anderson, L.O., Resende de Sousa, C.H., Arai, E., 2015. Seasonality and drought effects of Amazonian forests observed from multi-angle satellite data. *Remote sensing of environment* 171(2017) 278-290
- Popescu, S.C., Wynne, R.H., Nelson, R.F. 2003. Measuring individual tree crown diameter with LiDAR and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. *Can J Remote Sens* 29:564–577
- Zhang, X., Kondragunta, S. 2006. Estimating forest biomass in the USA using generalized allometric models and MODIS land products. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L09402, doi:10.1029/2006GL025879.