

XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ THÀNH LẬP BẢN ĐỒ SINH KHỐI RỪNG ĐẶC DỤNG VÙNG TÂY BẮC VIỆT NAM SỬ DỤNG ĐA NGUỒN DỮ LIỆU ẢNH VỆ TINH - TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU TẠI KHU BẢO TỒN THIÊN NHIÊN XUÂN NHA, TỈNH SƠN LA

NGUYỄN VIỆT LƯƠNG^{1*}, TRẦN VĂN THỤY², PHAN THỊ KIM THANH¹, NGUYỄN PHÚC HẢI¹, HOÀNG HẢI¹, NGUYỄN QUỲNH ANH¹, TRẦN BÌNH MINH³

¹ Phòng Công nghệ viễn thám, GIS và GPS, Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

² Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

³ Trung tâm Sinh học thực nghiệm, Viện Ứng dụng công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ

Tóm tắt:

Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu của các vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2, Landsat 8 OLI và Sentinel-2 cho xây dựng mô hình cho ước tính sinh khối và thành lập bản đồ sinh khối rừng đặc dụng tại Khu bảo tồn thiên nhiên (KBTTN) Xuân Nha, tỉnh Sơn La. Kết quả mô hình tốt nhất cho ước tính sinh khối được thành lập từ dữ liệu ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 và Landsat 8 OLI với ($R^2 = 0,87$; $RMSE=26,71$). Một bản đồ sinh khối đã được thành lập từ mô hình tốt nhất đã cho thấy rằng, diện tích rừng giàu sinh khối 2.1694,39 ha (40,52%), diện tích rừng trung bình là 20.384,85 ha (38,07%), diện tích rừng nghèo 10.311,42 ha (19,26%) và các đối tượng khác 1.153,54 ha (2,15%). Dữ liệu ảnh vệ tinh trong nghiên cứu này có thể giải thích được sinh khối rừng với độ chính xác đến 87%. Các kết quả nghiên cứu này là cơ sở cho sự định hướng trong việc hoạch định các chính sách về bảo tồn và phát triển, tham gia cơ chế mua bán trao đổi hạn ngạch khí nhà kính cho khu vực nghiên cứu cũng như khu vực khác.

Từ khóa: Sinh khối, các-bon, rừng, ALOS-2 PALSAR-2, Landsat 8 OLI.

Ngày nhận bài: 30/10/2023; **Ngày sửa chữa:** 29/11/2023; **Ngày duyệt đăng:** 5/12/2023.

Building models to estimate and mapping biomass of special-use forests in northern Vietnam using multiple sources of satellite image data - The case research at Xuan Nha Nature Reserve, Son La province

Abstract:

This research used data from the ALOS-2 PALSAR-2, Landsat 8 OLI and Sentinel-2 satellites to build a model to estimate biomass and forest biomass mapping in Xuan Nha Nature Reserve, Son La province. The best model results for biomass estimation were established from ALOS-2 PALSAR-2 and Landsat 8 OLI satellite image data ($R^2 = 0.87$; $RMSE=26.71$). A biomass map created from the best model showed that the rich forest biomass area is 21,694.39 ha (40.52%), the medium biomass forest area is 20,384.85 ha (38.07%), the poor biomass forest area is 10,311.42 hectares (19.26%) and other subjects 1,153.54 hectares (2.15%). Satellite image data in this study can explain forest biomass with an accuracy of up to 87%. These research results are the basis for orientation in planning conservation and development policies and participating in the greenhouse gas quota trading mechanism for the research area as well as other areas.

Keywords: Biomass, các-bon, forest, ALOS-2 PALSAR-2, Landsat 8 OLI.

JEL Classifications: P48, Q53, Q55.

1. TỔNG QUAN

Rừng là nguồn tài nguyên quan trọng gắn với sinh kế cho hàng triệu người và góp phần phát triển kinh tế quốc gia của nhiều nước. Ngoài ra, rừng còn là những nguồn sống thiết yếu, bể hấp thụ các-bon và ảnh hưởng đến tốc độ biến đổi khí hậu (BĐKH) (FAO, 1998; Köhl và nnk., 2015).

BĐKH và mối quan hệ của nó với việc phát thải khí CO₂ đang là vấn đề được quan tâm toàn cầu. Thực vật có khả năng hấp thụ CO₂ thông qua quá trình quang hợp, được tích lũy dưới dạng sinh khối, nó lưu trữ khoảng 80% vật chất sống trên mặt đất và khoảng 40% vật chất sống dưới mặt đất (FAO, 1998). Do vậy, hệ sinh thái rừng có vai trò quan trọng



trong chu trình các-bon toàn cầu. Vì lý do đó, Công ước khung của Liên hợp quốc về BĐKH (UNFCCC), Nghị định thư Kyoto, Chương trình UN-REDD và gần đây là Hội nghị chống BĐKH toàn cầu tại Paris năm 2015 một lần nữa đã ghi nhận mạnh mẽ vai trò tích lũy các-bon của rừng (Robbins, 2016). Có thể nói đây là một cơ hội đối với những nước đang phát triển như Việt Nam có thể đóng góp vào việc giảm thiểu tác động của BĐKH thông qua việc bảo tồn và phát triển bền vững rừng. Để nhận được sự chi trả từ các quốc gia phát triển, tổ chức quốc tế, quốc gia đang phát triển cần phải đưa ra bằng chứng về khả năng tích trữ các-bon, hấp thụ CO₂ và những thay đổi đối với rừng quốc gia mình bằng “Hệ thống giám sát - Báo cáo - Thẩm định quốc gia (MRV)” minh bạch dựa trên cơ sở khoa học (IPCC., 2003, 2006). Các cam kết này đã yêu cầu các quốc gia phải có báo cáo minh bạch của việc biến động diện tích, chất lượng của các loại rừng (thay đổi sinh khối), mà mục đích cuối cùng là xác định được tổng lượng CO₂ biến động của rừng.

Đánh giá khả năng hấp thụ CO₂ bởi thực vật được thực hiện thông qua đánh giá sinh khối là bước đầu tiên, quan trọng và có nhiều mục đích, trong đó có hai mục đích chính, đó là: (i) Sử dụng tài nguyên và (ii) quản lý môi trường (Parresol và nnk.,1999; Lương và nnk., 2016). Điều quan trọng là để xác định bao nhiêu củi, gỗ có sẵn để sử dụng và khả năng chúng hấp thụ được lượng CO₂ là bao nhiêu. Với mục đích này, cần biết khu rừng này có bao nhiêu sinh khối, các-bon tích lũy hoặc và mất đi theo một thời gian nhất định. Ngoài ra, đánh giá sinh khối cũng quan trọng để đánh giá năng suất và khả năng phục hồi cũng như mức độ suy thoái của rừng theo các thời kỳ khác nhau. Từ đó, có thể suy ra được số lượng khí CO₂ được hấp thụ được hoặc phát thải ra môi trường bởi sự biến đổi tăng giảm của rừng (Köhl và nnk., 2015; Lương và nnk., 2018). Vấn đề đặt ra hiện nay là làm sao tính toán sinh khối, khả năng tích trữ các-bon và hấp thụ CO₂ bởi thảm thực vật rừng trên một khu vực rộng lớn với độ chính xác cao, trong một thời gian ngắn với chi phí thấp. Đây cũng là mục tiêu của việc ứng dụng công nghệ viễn thám đã đặt ra để thực hiện các nội dung trong nghiên cứu này.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

KBTTN Xuân Nha, tỉnh Sơn La được thành lập theo Quyết định số 194/CT, ngày 9/8/1986 của Chủ tịch Hội đồng Bộ trưởng (nay là Thủ tướng Chính phủ). Vị trí địa lý nằm trọn trong 4 xã vùng núi cao bao gồm: Chiềng Sơn, Chiềng Xuân, Xuân Nha, Tân Xuân của huyện Vân Hồ, tỉnh Sơn La.

Thực vật tại KBTTN Xuân Nha đã có 1.131 loài, 650 chi, 189 họ thuộc 6 ngành thực vật bậc cao có mạch (Thai, 2012).

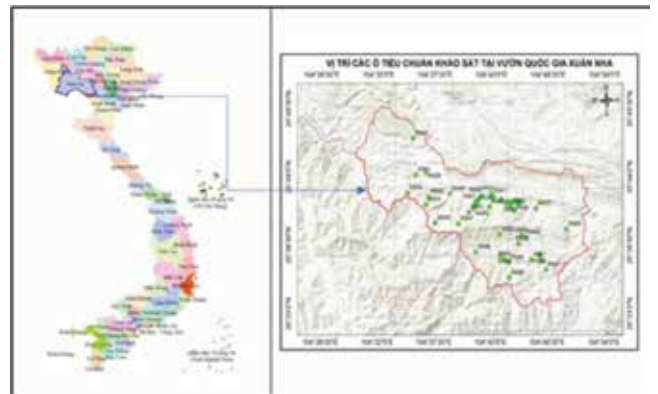
Khí hậu: Chế độ nhiệt khu bảo tồn chia làm 2 mùa rõ rệt là mùa nóng và mùa lạnh. Mùa nóng từ tháng 5 - 9 với nền nhiệt dao động trong ngưỡng 20°C tới 25°C. Mùa lạnh từ tháng 10 đến tháng 4 năm sau.

Chế độ mưa: Mưa trong khu vực KBTTN Xuân Nha chịu ảnh hưởng của chế độ nhiệt cũng như yếu tố địa hình. Lượng mưa trung bình năm dao động trong khoảng 1.700 mm đến 2.000 mm.

Địa hình: Gồm những khối, dải núi có hướng dốc chung từ Tây Bắc xuống Đông Nam. KBTTN có hai thung lũng rộng, bằng, cắt ngang về phía Đông từ biên giới Việt- Lào, điểm cao nhất của KBT là đỉnh núi Pha Luông 1.970 m.

Thủy văn: Trong KBTTN không có sông và có suối lớn, mà chỉ là hệ thống các suối nhỏ bắt nguồn, đón nước từ dãy núi ranh giới với Thanh Hóa đổ xuống vùng trung tâm. Phía Bắc thung lũng có suối Nha, phía Nam là suối Nậm Can, hai suối gặp nhau ở phía Đông Nam của KBTTN sau đó chảy về sông Mã.

Vị trí khu vực nghiên cứu được thể hiện tại Hình 1.



▲ Hình 1. Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu thực nghiệm KBTTN Xuân Nha

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU SỬ DỤNG

3.1. Dữ liệu thực địa

Trong nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu từ hệ thống ô tiêu chuẩn với kích thước mỗi ô tiêu chuẩn là 500 m² (20mx25m). Tổng cộng có 56 ô tiêu chuẩn đã được khảo sát, đo đếm ngoài thực địa. Nghiên cứu đã áp dụng các phương trình tính toán sinh khối trên mặt đất của cây cá thể, tức là áp dụng công thức tính sinh khối trên mặt đất cho từng cây đã được điều tra trong ô tiêu chuẩn. Các Phương trình (1) và Phương trình (2) nghiên cứu sử dụng đã được phát triển bởi Chương trình UN-REDD+ tại Việt Nam (UN-REDD, 2012) và MARD, 2016, được ghi dưới đây.

Sinh khối cây gỗ (tấn/ha) = 0,1142xD^{2.4451} (1)

Sinh khối tre nứa (tấn/ha) = 0.2829×D^{1.4306}×H^{0.2778} (2)

Trong Phương trình (1) và Phương trình (2): SK là sinh khối trên mặt đất của cây (đơn vị là kg); D là đường kính ngang ngực tại vị trí 1.3-m (đơn vị là mét); H là chiều cao toàn bộ cây (đơn vị là mét); WD là tỷ trọng gỗ (đơn vị tính tấn/m³).

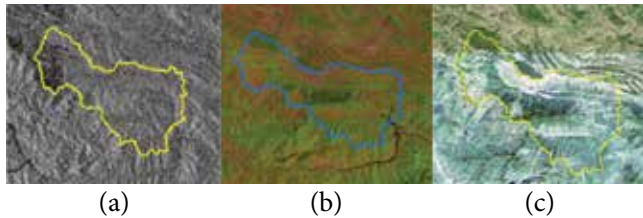
3.2. Dữ liệu ảnh vệ tinh

Ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 và Landsat 8 OLI sử dụng trong nghiên cứu. Các thông tin từ ảnh vệ tinh radar từ vệ tinh được ghi tại Bảng 1.

Bảng 1. Danh sách ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2, Landsat 8 và Sentinel-2

TT	Vệ tinh	Thời gian chụp	Scene ID	Phân cực, kênh phổ	Số lượng ảnh	Độ phân giải không gian
1	ALOS-2 PALSAR-2	27-7-2019	ALOS2225570400_190727	HH, HV	2	10m
		09-3-2019	ALOS2204870400-190309	HH, HV		10 m
2	LANDSAT 8 OLI	26-6-2019	LC08_L1TP_127045_20190626_6_20190626_01_RT	B4, B5, B8	1	30, 15 m
			S2B MSIL2A_20190208T032909_N9999R018_T48QVH			
3	Sentinel-2	08-02-2019	MSIL2A_20190208T032909_N9999R018_T48QVH	B4, B8	2	10 m
		08-02-2019	MSIL2A_20190208T032909_N9999R018_T48QVJ			10 m
			Tổng cộng		5	

Hình ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 và Landsat 8 OLI sử dụng trong nghiên cứu này được thể hiện tại Hình 2.



3.3. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Ảnh vệ tinh radar từ ALOS-2 với mức độ xử lý 2.1 với 2 phân cực HH và HV, độ phân giải của dữ liệu là 10 m sử dụng trong nghiên cứu này được chuyển đổi giá trị DN (digital number) của hai phân cực HH và HV sang giá trị tán xạ ngược (backscattering intensity) theo Phương trình (3) sau đây (JAXA, 2014).

$$\sigma = 10 \times \log_{10}(DN^2) + CF \quad (3)$$

Trong đó: DN là giá trị số của điểm ảnh; σ là giá trị tán xạ ngược, đơn vị là decibels (dB); CF là hệ số chuyển đổi, Theo công bố của JAXA đối với ảnh mức (1.5 và 2.1) thì CF là -83.0 (JAXA, 2014).

Tạo ảnh NDVI từ vệ tinh Landsat 8 OLI và Sentinel-2

Ảnh chỉ số thực vật từ vệ tinh Landsat 8 và Sentinel-2 được tạo theo Phương trình (4) sau đây:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4)$$

Trong đó: RED là Red kênh và NIR là Near Infrared kênh.

3.4. Xây dựng các lớp phân loại cho bản đồ sinh khối rừng

Hiện nay, tại Việt Nam việc phân chia rừng tự nhiên theo trữ lượng đã có quy định như sau. Đối với rừng gỗ, bao gồm: a) Rừng giàu: Trữ lượng cây đứng lớn hơn 200 m³/ha; b) Rừng trung bình: Trữ lượng cây đứng từ lớn hơn 100 đến 200 m³/ha; c) Rừng nghèo: Trữ lượng cây đứng từ lớn hơn 50 đến 100 m³/ha; d) Rừng nghèo kiệt: Trữ lượng cây đứng từ 10 đến 50 m³/ha; đ) Rừng chưa có trữ lượng: Trữ lượng cây đứng dưới 10 m³/ha (Bộ NN&PTNT, 2018). Tuy nhiên, đến nay, các nghiên cứu hầu như chưa được đề cập, kể cả FAO cũng chưa có quy định rõ về việc phân chia các lớp trữ lượng sinh khối trong việc điều tra cũng như xây dựng các lớp cho bản đồ sinh khối rừng. Mặc dù, trong Báo cáo của FAO (1997) cũng đã giới thiệu kết quả nghiên cứu tại các quốc gia tại châu Phi, trong đó có sử dụng đơn vị theo diện tích tấn/ha (Mg/ha) và các lớp được phân chia thể hiện trong chú giải của bản đồ sinh khối rừng với các cấp đơn vị cách nhau 100 tấn/ha (FAO, 1997). Để thuận lợi và thống nhất cho việc xây dựng, biên tập bản đồ cũng như

thống kê trữ lượng sinh khối, các-bon rừng tại Việt Nam. Nghiên cứu đề xuất việc phân chia các lớp rừng tự nhiên theo trữ lượng sinh khối rừng tại Việt Nam với 4 loại theo Bảng 2.

Bảng 2. Tiêu chuẩn phân loại các lớp bản đồ sinh khối rừng tại Việt Nam

TT	Lớp rừng	Tiêu chuẩn trữ lượng sinh khối rừng (tấn/ha)	Tiêu chuẩn trữ lượng các-bon rừng (tấn/ha)
1	Rừng rất giàu	>300	>150
2	Rừng giàu	200-300	100-200
3	Rừng trung bình	100-200	50-100
4	Rừng nghèo	0-100	0-50

Lượng các-bon tích trữ bởi thực vật được chuyển đổi từ sinh khối theo Phương trình (5) và Phương trình (6) được đưa ra bởi IPCC (2006) sau đây:

$$CBS = a * \text{Sinh khối} \quad (5)$$

$$CO_2 = 3,67CBS \quad (6)$$

Trong đó: CBS: Lượng các-carbon tích trữ (tấn/ha) a: Là hệ số chuyển đổi được lấy chung là 0,5 (theo IPCC, 2006).

3.5. Phương pháp xây dựng mô hình tính toán sinh khối rừng

Năng lực (độ nhạy) của mô hình xây dựng từ các thông số chiết xuất từ vệ tinh gọi là biến độc lập (independent variables) với sinh khối được gọi là biến phụ thuộc (dependent variable) và được phân tích bằng phương pháp thống kê hồi quy tuyến tính đơn giản và phân tích hồi quy tuyến tính đa biến. Hệ số xác định (R²) và sai số tuyệt đối của mô hình được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất (RMSE) như là thước đo để đánh giá các mối quan hệ giữa các biến theo Phương trình (7) và phương trình (8).

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Tổng bình phương giải thích}}{\text{Tổng bình phương}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\text{Giá trị tiên lượng} - \text{Giá trị quan sát})^2} \quad (8)$$

Phương trình (7) và phương trình (8) được giải thích như sau: Giá trị tiên lượng là giá trị thu được từ mô hình; Giá trị quan sát được là giá trị từ dữ liệu kiểm kê; N là số ô mẫu được sử dụng.

Trong chỉ tiêu đánh giá sự hiệu quả của các mô hình hồi quy được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Các mức độ để đánh giá R² trong mô hình tương quan

TT	Hệ số tương quan (R2)	Sự thể hiện tương quan
1	0,9-1,0	Rất chặt
2	0,7-0,9	Chặt
3	0,5-0,7	Tương đối chặt
4	0,3-0,5	Vừa phải
5	0,0-0,19	Yếu

4. KẾT QUẢ

4.1. Xây dựng mô hình và bản đồ sinh khối rừng

Kết quả chiết xuất dữ liệu từ ảnh vệ tinh như NDVI từ ảnh Landsat 8 OLI, Sentinel-2 và các giá trị tán xạ ngược và giá trị cấu trúc từ ảnh vệ tinh radar (ALOS-2 PALSAR-2)



tương ứng với vị trí 56 ô tiêu chuẩn đã được điều tra từ thực địa. Trong đó, nhóm tác giả đã lựa chọn ngẫu nhiên 42 ô tiêu chuẩn cho xây dựng mô hình (training model) và 14 ô tiêu chuẩn sẽ phục vụ cho việc kiểm định mô hình (validation model).

4.1.1. Xây dựng mô hình tính toán sinh khối rừng

4.1.1.1. Kết quả xây dựng mô hình đơn biến

Các kết quả tóm tắt xây dựng mô hình sử dụng đơn biến trong ước lượng sinh khối rừng tại KBTTN Xuân Nha được trình bày tóm tắt tại Bảng 4.

Bảng 4. Tóm tắt các kết quả của mô hình đơn biến tính toán sinh khối rừng KBTTN Xuân Nha

Mô hình	Biến số sử dụng	Kết quả mô hình đơn biến	(R ²)	RMSE
Mô hình 1	HH với sinh khối	SK = 217.726 + 18.196*HH	0,45	46,83
Mô hình 2	HH với sinh khối	SK = 106.169 + 366.129*HH + 136.253*HH ²	0,51	41,72
Mô hình 3	HV với sinh khối	SK = 273.51 + 17.062*HV	0,63	31,51
Mô hình 4	HV với sinh khối	SK = 106.169 + 431.696*HV + 233.313*HV ²	0,81	17,88
Mô hình 5	NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = -418.06 + 751.15*NDVI_L8S8	0,70	25,54
Mô hình 6	NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = 106.169 + 457.265*NDVI_L8S8 + 114.091*(NDVI_L8S8) ² , R ² = 0,7472	0,75	21,29
Mô hình 7	NDVI_S2 với sinh khối	SK = 397.62 + 723.45*NDVI_S2	0,67	28,10
Mô hình 8	NDVI_S2 với sinh khối	SK = 106.169 + 445.796*NDVI_S2 + 124.005*(NDVI_S2) ²	0,72	23,84

Kết quả tại Bảng 4 cho thấy rằng: Trong đó có 4/8 mô hình đơn biến đạt hệ số tương quan cao R² >= 0,70. Mô hình có hệ số tương quan chặt nhất là mô hình 4 (R²=0,81) được xây dựng từ giá trị tán xạ ngược của phân cực HV từ vệ tinh ALOS-2 với sinh khối rừng.

4.1.1.2. Kết quả xây dựng mô hình đa biến và kết hợp

Kết quả đã xây dựng được 18 mô hình đa biến và kết hợp. Trong đó, có 8/18 có hệ số tương quan (R²) < 0.70 là các Mô hình 9, Mô hình 11, Mô hình 11, Mô hình 12, Mô hình 13, Mô hình 14, Mô hình 15 và có 10/18 mô hình đạt hệ số tương quan R² >= 0,70, gồm có Mô hình 10 (R² = 0,72; RMSE = 23,84), Mô hình 17 (R² = 0,75; RMSE = 21,29), Mô hình 18 (R² = 0,78; RMSE = 18,73), Mô hình 19 (R² = 0,79; RMSE = 16,18), Mô hình 20 (R² = 0,74; RMSE = 22,14), Mô hình 21 (R² = 0,75; RMSE = 21,29), Mô hình 22 (R² = 0,73; RMSE = 22,99), Mô hình 23 (R² = 0,76; RMSE = 20,44), Mô hình 24 (R² = 0,78; RMSE = 18,73), Mô hình 25 (R² = 0,71; RMSE = 24,69) và Mô hình 26 (R² = 0,72; RMSE = 23,84). Kết quả xây dựng mô hình đa biến và kết hợp cho tính toán sinh khối rừng KBTTN Xuân Nha được ghi tóm tắt tại Bảng 5.

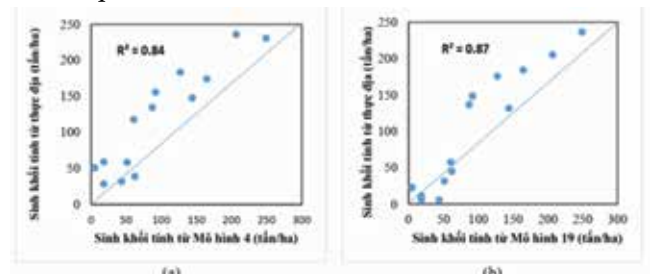
Bảng 5. Tóm tắt kết quả xây dựng mô hình đa biến và kết hợp tính toán sinh khối rừng KBTTN Xuân Nha

Mô hình	Biến số sử dụng	Kết quả mô hình đa biến	(R ²)	RMSE
Mô hình 9	(HH+HV)/2 với sinh khối	SK = 260.362 + 19.348*(HH+HV)/2	0,60	34,06
Mô hình 10	(HH+HV)/2 với sinh khối	SK = 106.169 + 420.638*(HH+HV)/2 + 193.926*((HH+HV)/2) ²	0,72	23,84
Mô hình 11	(HH*HH/HV) + HV với sinh khối	SK = 247.109 + 10.093*(HV+HH*HH/HV)	0,55	38,32
Mô hình 12	(HH*HH/HV) + HV với sinh khối	SK = 106.169 + 402.835*(HV+HH*HH/HV) + 189.792*(HV+HH*HH/HV) ²	0,67	28,10
Mô hình 13	HH, HV và sinh khối	SK = 273.087 + 1.224*HH + 16.253*HV	0,63	31,51
Mô hình 14	8 textures với sinh khối	SK = -122.664 + 7.234*Contrast + 28.992*Correlation - 47.713*Dissimilarity + 59.266*Entropy + 27.238*Homogeneity - 2.048*Mean + 2281.127*SecondMoment + 1.519*Variance	0,11	75,78

Mô hình	Biến số sử dụng	Kết quả mô hình đa biến	(R ²)	RMSE
Mô hình 15	8 textures, HH với sinh khối	SK = -3980.759 + 19.993*HH - 5.288*Contrast + 52.659*Correlation + 110.473*Dissimilarity + 1067.069*Entropy + 531.692*Homogeneity - 4.373*Mean + 14304.132*SecondMoment - 3.758*Variance	0,55	38,32
Mô hình 16	8 textures, HV với sinh khối	SK = 975.591 + 18.151*HV - 3.459*Contrast + 19.736*Correlation + 69.872*Dissimilarity - 208.581*Entropy + 527.932*Homogeneity - 5.444*Mean - 3067.561*SecondMoment - 1.778*Variance	0,70	25,54
Mô hình 17	8 textures, NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = 3210 + 828.4*NDVI_L8S8 - 5.297*Contrast + 64.08*Correlation + 102.8*Dissimilarity - 1052*Entropy + 363*Homogeneity - 0.4794*Mean - 14820*SecondMoment - 4.901*Variance	0,75	21,29
Mô hình 18	8 textures, HH, NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = 1044.091 + 7.7*HH + 659.378*NDVI_L8S8 - 7.562*Contrast + 66.033*Correlation + 132.971*Dissimilarity - 437.171*Entropy + 488.802*Homogeneity - 1.695*Mean - 6699.692*SecondMoment - 5.623*Variance	0,78	18,73
Mô hình 19	8 textures, HV, NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = 2515.856 + 8.606*HV + 526.431*NDVI_L8S8 - 5.799*Contrast + 46.899*Correlation + 103.658*Dissimilarity - 773.952*Entropy + 478.047*Homogeneity - 2.661*Mean - 11121.841*SecondMoment - 4.124*Variance	0,79	16,18
Mô hình 20	HH, NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = -284.89 + 6.45*HH + 617*NDVI_L8S8	0,74	22,14
Mô hình 21	HV, NDVI_L8S8 với sinh khối	SK = -174.666 + 7.457*HV + 507.202*NDVI_L8S8	0,75	21,29
Mô hình 22	8 textures, NDVI_S2 với sinh khối	SK = 4430 + 803*NDVI_S2 - 6.547*Contrast + 79.83*Correlation + 134.6*Dissimilarity - 1404*Entropy + 581.3*Homogeneity - 0.7543*Mean - 19910*SecondMoment - 5.247*Variance	0,73	22,99
Mô hình 23	8 textures, HH, NDVI_S2 với sinh khối	SK = 1930.937 + 7.863*HH + 629.86*NDVI_S2 - 8.5*Contrast + 78.176*Correlation + 157.494*Dissimilarity - 691.819*Entropy + 660.187*Homogeneity - 1.948*Mean - 10394.279*SecondMoment - 5.863*Variance	0,76	20,44
Mô hình 24	8 textures, HV, NDVI_S2 với sinh khối	SK = 3163.302 + 9.17*HV + 481.731*NDVI_S2 - 6.436*Contrast + 54.814*Correlation + 121.062*Dissimilarity - 953.636*Entropy + 612.567*Homogeneity - 2.988*Mean - 13731.962*SecondMoment - 4.206*Variance	0,78	18,73
Mô hình 25	HH, NDVI_S2 với sinh khối	SK = -256.203 + 6.854*HH + 580.713*NDVI_S2	0,71	24,69
Mô hình 26	HV, NDVI_S2 với sinh khối	SK = -128.017 + 8.261*HV + 452.653*NDVI_S2	0,72	23,84

4.1.1.3. Kết quả kiểm định mô hình

Nhóm nghiên cứu đã lựa chọn những mô hình có kết quả tốt nhất là Mô hình 4 (R²=0,81; RMSE=17,88) và Mô hình 19 (R²=0,79; RMSE=16,18) để kiểm định. Kết quả kiểm định cho thấy Mô hình 4 (R² = 0,84; RMSE=29,63) và Mô hình 19 (R² = 0,87; RMSE=26,71). Tức là Mô hình 19 có kết quả kiểm định tốt hơn. Hình 3 dưới đây biểu diễn các kết quả của mô hình kiểm định.



▲ Hình 3. Mô hình kiểm định KBTTN Xuân Nha (tỉ lệ 1:1): (a) Mô hình 4; (b) Mô hình 19

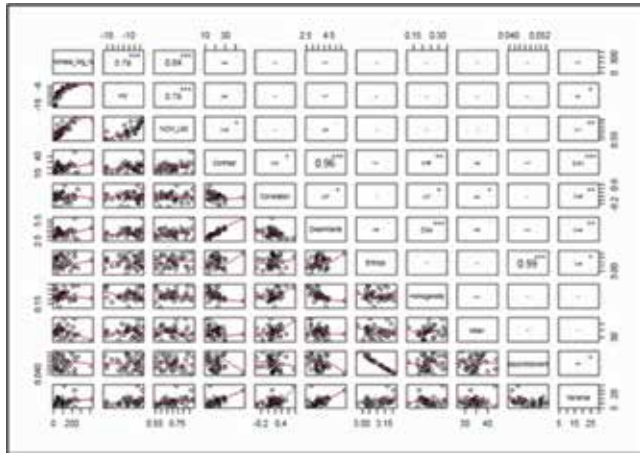
4.1.2. Xây dựng bản đồ sinh khối

4.1.2.1. Lựa chọn mô hình cho xây dựng bản đồ

Từ kết quả xây dựng mô hình và mô hình kiểm định nhóm tác giả đã lựa chọn Mô hình 19 để tính toán sinh khối và xây dựng bản đồ sinh khối cho KBT TN Xuân Nha, tỉnh Sơn La, một khu vực nghiên cứu thực nghiệm cho vùng Tây Bắc Việt Nam, bởi vì Mô hình 19 có hệ số tương quan cao trong kiểm định ($R^2=0,87$; $RMSE=26,71$). Biểu diễn mô hình tại Hình 4.

$$\begin{aligned} \text{Sinh khối (tấn/ha)} = & 2515.856 + 8.606*HV \\ & + 526.431*NDVI_LS8 - 5.799*Contrast + \\ & 46.899*Correlation + 103.658*Dissimilarity - \\ & 773.952*Entropy + 478.047*Homogeneity - 2.661*Mean \\ & - 11121.841*SecondMoment - 4.124*Variance \end{aligned}$$

Trong đó: HV là giá trị tán xạ ngược từ phân cực HV từ vệ tinh ALOS-2; NDVI_LS8 là giá trị chỉ số thực vật từ ảnh Landsat 8 OLI; Contrast, Correlation, Dissimilarity, Entropy, Homogeneity, Mean, SecondMoment, và Variance là các giá trị về cấu trúc từ phân cực HV của ảnh vệ tinh ALOS-2.



▲ Hình 4. Biểu diễn Mô hình 19 cho tính toán sinh khối rừng

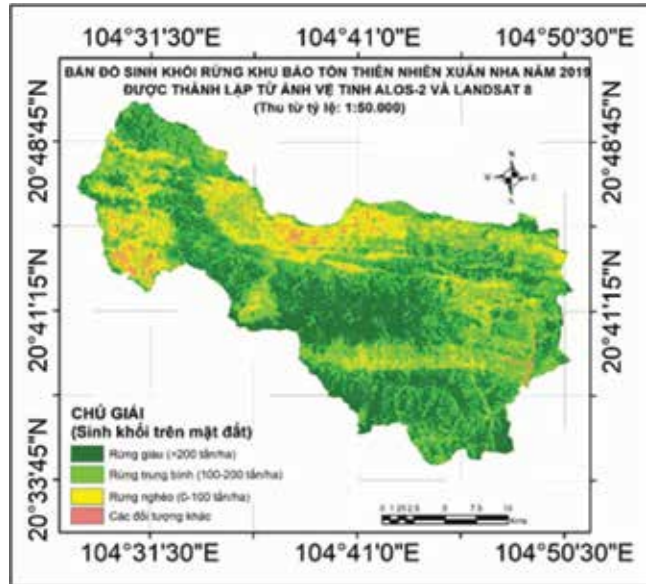
4.1.2.2. Kết quả xây dựng bản đồ sinh thái rừng

Một bản đồ sinh khối tỷ lệ 1:50.000 với độ phân giải 15m, năm 2019 đã được thành lập. Kết quả thành lập bản đồ sinh khối rừng khu vực nghiên cứu được trình bày tại Hình 5 và Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả thống kê trữ lượng sinh khối phân bố theo diện tích KBT TN Xuân Nha

TT	Lớp	Tiêu chuẩn trữ lượng sinh khối (tấn/ha)	Sinh khối	
			diện tích (ha)	phần trăm (%)
1	Rừng giàu	> 200	2.1694,39	40,52
2	Rừng trung bình	101-200	20.384,85	38,07
3	Rừng nghèo	0-100	10.311,42	19,26
4	Đối tượng khác	Không có rừng	1.153,54	2,15
	Tổng		53.544,20	100

Kết quả thống kê từ bản đồ sinh khối rừng theo diện tích (ha) và phần trăm (%) cho thấy. Tổng diện tích là 53.544,20 ha, trong đó, diện tích rừng giàu sinh khối 21.694,39 ha (chiếm 40,52%), diện tích rừng trung bình là 20.384.85 ha (38.07%), diện tích rừng nghèo 10.311,42 ha (19,26%) và các đối tượng khác 1.153.54 ha (2,15%). Kết quả chi tiết được trình bày tại Bảng 6.



▲ Hình 5. Bản đồ sinh khối rừng KBT TN Xuân Nha

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được tổng cộng 26 mô hình gồm có 8 mô hình đơn biến và 18 mô hình đa biến và kết hợp. Trong đó:

- Kết quả xây dựng mô hình đơn biến có 4/8 mô hình đạt hệ số tương quan cao $R^2 \geq 0,70$. Mô hình có độ tương quan chặt nhất là mô hình đơn biến đa thức giữa chỉ số HV với sinh khối là Mô hình 4 ($R^2=0,81$; $RMSE=17,88$) và được thể hiện như sau:

$$\text{Sinh khối (tấn)} = 106.169 + 431.696*HV + 233.313*HV^2$$

- Kết quả xây dựng mô hình đa biến và kết hợp có 12/18 mô hình đạt hệ số tương quan $R^2 \geq 0,70$. Mô hình có độ tương quan cao nhất là mô hình đa biến giữa chỉ số NDVI, HV, 8 texture với sinh khối là Mô hình 19 ($R^2 = 0,79$; $RMSE=16,18$) và được thể hiện như sau:

$$\begin{aligned} \text{Sinh khối (tấn)} = & 2515.856 + 8.606*HV \\ & + 526.431*NDVI_LS8 - 5.799*Contrast + \\ & 46.899*Correlation + 103.658*Dissimilarity - \\ & 773.952*Entropy + 478.047*Homogeneity - 2.661*Mean \\ & - 11121.841*SecondMoment - 4.124*Variance \end{aligned}$$

Tuy nhiên, kết quả kiểm định các mô hình cho thấy, kết quả kiểm định mô hình 4 cho thấy $R^2 = 0,84$, tức là mô hình này có thể giải thích được 84% sinh khối rừng từ Mô hình 4. Kết quả kiểm định mô hình 19 cho thấy $R^2 = 0,87$. Tức là mô hình này có thể giải thích được 87% sinh khối rừng từ ảnh vệ tinh. Do vậy, nghiên cứu sẽ lựa chọn Mô hình 19 để tính toán sinh khối và xây dựng bản đồ sinh khối cho khu vực nghiên cứu. Một bản đồ sinh khối 1:50.000 được thành lập từ các dữ liệu của các vệ tinh ALOS-2, Landsat 8 với bốn lớp. Kết quả thống kê từ bản đồ sinh khối rừng khu vực nghiên cứu thực nghiệm KBT TN Xuân Nha, tỉnh Sơn La cho thấy rằng, diện tích rừng giàu sinh khối 21.694,39 ha (chiếm 40,52%), diện tích rừng trung bình là 20.384,85



Hiện trạng rừng rất giàu



Hiện trạng rừng giàu



Hiện trạng rừng trung bình



Hiện trạng rừng nghèo

ha (38,07%), diện tích rừng nghèo 10.31,42 ha (19,26%) và các đối tượng khác 1.153,54 ha (2,15%). Các kết quả nghiên cứu này là cơ sở cho việc hoạch định chính sách bảo tồn và phát triển, tham gia cơ chế mua bán khí phát thải cho khu vực nghiên cứu KBTNT Xuân Nha, tỉnh Sơn La.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin cảm ơn Đề tài VT-UD. 05/17-20 đã cung cấp số liệu và Đề tài VAST 01.01/22-23 hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ NN&PTNT (2018). Thông tư số: 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16/11/2019 của Bộ NN&PTNT. Thông quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng.
2. FAO (1998). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134).
3. IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit, Printed in Japan, ISBN 4-88788-003-0.
4. IPCC (2006). Chapter 4: Forest Land. In *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, IPCC, 83 pp. 2006.
5. JAXA (2014). <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm>
6. Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, Ö., Korhonen, K. T., Mundhenk, P.,... & Stinson, G. (2015). *Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN*

FAO Global Forest Resource Assessment. Forest Ecology and Management, 352, 21.

7. MARD (2016). VIETNAM'S MODIFIED SUBMISSION ON REFERENCE LEVELS FOR REDD+ RESULTS BASED PAYMENTS UNDER UNFCCC. *Final Version on December 2016*.

8. Parresol, B. R. (1999). *Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons*. *Forest science*, 45(4), 573-593.

9. Robbins, A. (2016). *How to understand the results of the climate change summit: Conference of Parties 21 (COP21) Paris 2015*. *Journal of public health policy*, 37(2), 129-132.

10. Thai, T. H. (2012). *Diversity of plant resources in the Xuan Nha Nature Reserve, Son La province*. *Academia Journal of Biology*, 34(1), 88-93.

11. UN-REDD, 2012. *Hướng dẫn đo đếm sinh khối rừng bằng phương pháp chặt hạ*. *Dành cho cán bộ kỹ thuật*. Ngày 5/3/2012.

12. Nguyễn Viết Lương, Tô Trọng Tú, Trình Xuân Hồng, và nnk (2018). *Tiềm năng hấp thụ CO₂ của một số loại rừng tại các vườn quốc gia và khu dự trữ sinh quyển ở Việt Nam*. *Tạp chí Môi trường* (7/2018). ISSN: 1859-042X.

13. Luong, Nguyen Viet, Tateishi, R., Kondoh, A., Sharma, R. C., Hoan, Nguyen Thanh, Tu, To Trong., Dinh, Ho Tong Minh (2016). *Mapping tropical forest biomass by combining ALOS-2, Landsat 8, and field plots data*. *Land*, 5(4), 31.