ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM VÀ GIS TRONG NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM CẤU TRÚC RỪNG TRÀM *(Melaleuca cajuputi)* TẠI VƯỜN QUỐC GIA U MINH THƯỢNG, TỈNH KIÊN GIANG

Nguyễn Viết Lương[1], Trình Xuân Hồng[1],
Tô Trọng Tú[1], Phan Thị Kim Thanh[1], Lê Mai Sơn[1]

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này đã sử dụng các ảnh vệ tinh được chụp năm 2018 như ALOS-2 PALSAR-2, Sentinel-1, Landsat 8 OLI và Sentinel-2 và dữ liệu khảo sát thực địa bằng 45 ô tiêu chuẩn cho xây dựng các mô hình cho ước tính về đặc điểm cấu trúc rừng như đường kính, chiều cao, mật độ cây rừng tràm. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng: tín hiệu tán xạ ngược từ phân cực HV từ ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 có liên quan chặt chẽ với các thông số của cấu trúc rừng tràm như đường kính (R^2=0,78; RMSE = 0,43), chiều cao (R^2=0,78; RMSE = 0,31) và mật độ cây rừng (R^2=0,75; RMSE = 377). Kết quả này này là cơ sở khoa học cho việc nghiên cứu đặc điểm cấu trúc rừng sử dụng dữ liệu viễn thám cho mục đích hỗ trợ việc đưa ra quyết định lựa chọn các biện pháp lâm sinh phù hợp cho công tác bảo tồn, phục hồi và phát triển bền vững tới các hệ sinh thái rừng tràm cũng như các hệ sinh thái rừng khác tại Việt Nam.

Từ khóa: *Rừng tràm, cấu trúc rừng, đường kính, chiều cao, mật độ, mô hình, viễn thám và GIS.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ sinh thái của rừng tràm là một hệ sinh thái độc đáo ở vùng nhiệt đới và sự thay đổi các chỉ số sinh học của rừng tràm đã ảnh hưởng đến môi trường ven biển và vùng đất ngập nước [2]. Việt Nam là một quốc gia có khí hậu nhiệt đới gió mùa nên ở một số khu vực thuộc đồng bằng sông Cửu Long có sự xuất hiện của rừng tràm bao gồm các tỉnh An Giang, Cà Mau, Đồng Tháp, Kiên Giang, Long An và Tiền Giang [1, 13].

Đặc trưng cơ bản của một hệ sinh thái rừng nói chung bao gồm cả rừng tràm chính là đặc điểm về cấu trúc rừng. Cấu trúc lâm phần hay cấu trúc rừng là chỉ sự sắp xếp rừng theo chiều ngang và theo chiều thẳng đứng. Tuy đặc điểm cấu trúc rừng phức tạp. Nhưng cấu trúc rừng là có quy luật về sự sắp xếp tổ hợp của các thành phần cấu tạo nên quần thể thực vật rừng theo không gian và thời gian. Đây là những thông tin quan trọng quyết định tới việc ra quyết định lựa chọn các biện pháp phục hồi, bảo tồn và phát triển rừng ở tại một khu vực cụ thể [13]. Ngày nay, các dữ liệu viễn thám trong nghiên cứu tài nguyên rừng, trong đó có cấu trúc rừng đã khẳng định được vai trò và tính hiệu quả [11]. Tuy nhiên các nghiên cứu ứng dụng công nghệ cho cấu trúc rừng tại Việt Nam vẫn chưa được chú trọng [9].

Các nghiên cứu ứng dụng ảnh vệ tinh quang học thường sử dụng các chỉ số thực vật như DVI (Difference Vegetation Index); LAI (Leaf Area Index); NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) để khám phá các mối tương quan giữa chúng và các thông số của cấu trúc rừng như: Castillo và nnk (2010) [3] nghiên cứu cấu trúc rừng mưa Lacando tại Chiapas, Mexico bằng ảnh vệ tinh SPOT-5 XS; Gómez và nnk (2012) [5] đã sử dụng ảnh QuickBird 2 nghiên cứu cấu trúc rừng thông khu vực Địa Trung Hải, Tây Ban Nha; Ozkan và nnk (2018) [10] đã nghiên cứu các thông số cấu trúc rừng vùng Adiyaman tại Thổ Nhĩ Kỳ. Các nghiên cứu sử dụng dữ liệu lidar có Drake và nnk (2002) [4] nghiên cứu cấu trúc rừng tại một khu rừng ẩm ướt nhiệt đới ở Costa Rica; Van Leeuwen và nnk (2003) [15]; Kennaway và nnk (2008) [8] đã sử dụng dữ liệu lidar cho việc ước lượng cấu trúc rừng vùng đảo Virgin; Zhao và nnk (2011) [16] đã sử dụng công nghệ lidar cho nghiên cứu cấu trúc rừng phía Đông bang Texas ở Hoa Kỳ. Các nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh radar gần đây có: Iizuka & Tateishi (2014) [6], đã sử dụng tín hiệu băng L từ vệ tinh ALOS trong phân tích mối

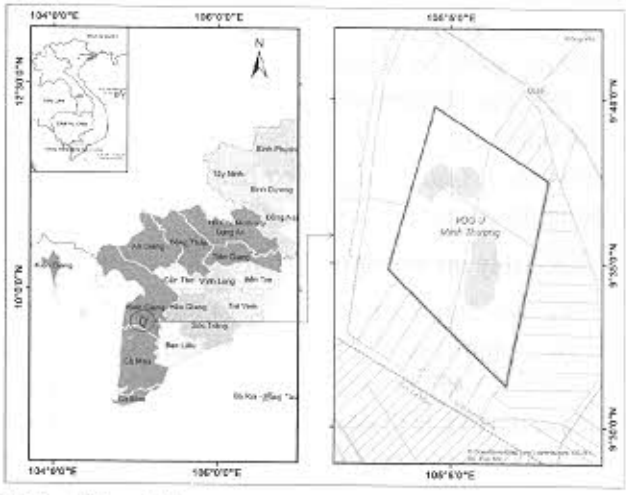
[1] Phòng Viễn thám ứng dụng, Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Email: nvluong@sti.vast.vn

tương quan giữa các đặc điểm nổi bật của lâm phân loài cây Sugi (*Cryptomeria japonica*) và cây Hinoki (*Chamawordparis obtusa*) tại Nhật Bản; Lương và nnk. (2016) [9] ước tính cấu trúc của rừng khộp tại vùng Tây Nguyên của Việt Nam; Phạm và nnk (2019) [11] giám sát loài và cấu trúc của rừng ngập mặn. Nhìn chung các nghiên cứu đề cập ở trên đã chỉ ra dữ liệu viễn thám rất có tiềm năng trong nghiên cứu cấu trúc rừng nhiệt đới.

Mục tiêu của nghiên cứu này là hướng tới sử dụng phương pháp sử dụng công nghệ viễn thám trong nghiên cứu các đặc điểm cấu trúc của rừng nhằm để có được các thông tin nhanh chóng, chính xác, giảm chi phí và có thể áp dụng được trên một quy mô rộng lớn. Qua đó góp phần hỗ trợ cho việc lựa chọn các quyết định về biện pháp lâm sinh thích hợp phục vụ công tác phục hồi, quản lý, bảo tồn và phát triển bền vững rừng tràm tại Vườn Quốc gia U Minh Thượng cũng như các các hệ sinh thái rừng khác tại Việt Nam.

2. VỊ TRÍ KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Vườn Quốc gia (VQG) U Minh Thượng có tổng diện tích có diện tích 8.053 ha nằm về phía Tây của bán đảo Cà Mau, thuộc tỉnh Kiên Giang, cách thành phố Rạch Giá 60 km về phía Nam và cách thành phố Hồ Chí Minh khoảng 365 km về phía Tây Nam [14]. VQG U Minh Thượng nằm trên địa bàn xã An Minh Bắc và xã Minh Thuận, huyện U Minh Thượng, tỉnh Kiên Giang có tọa độ địa lý từ 9°31'16" đến 9°39'45" vĩ độ Bắc, 105°03'06" đến 105°07'59" kinh độ Đông. Vùng lõi VQG có dạng hình thoi không cân là hệ thống đê bao trong với tổng chiều dài là 38.000 m [14]. Vị trí VQG U Minh Thượng được thể hiện tại hình 1.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu (ranh giới màu đỏ)

3. PHƯƠNG PHÁP VÀ DỮ LIỆU

3.1. Phương pháp thực địa

Nghiên cứu này sử dụng 45 ô tiêu chuẩn, kích thước 20 m x 25 m (500 m^2) và được thu thập vào tháng 10 năm 2018. Tại các ô tiêu chuẩn các thông số về cấu trúc rừng đường kính ($D_{1.3\ cm}$), chiều cao (H_m) và mật độ cây rừng (N/ha) được đo đếm. Tóm tắt kết quả các thông số cấu trúc rừng tràm sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày tại bảng 1.

Bảng 1. Tóm tắt các thông số cấu trúc rừng tràm khu vực nghiên cứu từ thực địa

TT	Các thông số cấu trúc rừng	Giá trị tối thiểu	Giá trị đối đa	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
1	Đường kính (m)	5,81	13,16	8,99	1,95
2	Chiều cao (m)	3,66	9,13	5.71	1,40
3	Mật độ (cây.ha^{-1})	160	5220	2.229	1602

3.2. Ảnh vệ tinh được sử dụng

Bảng 2. Các thông số cơ bản của vệ tinh được sử dụng trong nghiên cứu

TT	Satellite Sensors	Scene ID	Thời gian chụp	Độ phân giải	Ghi chú
1	Landsat 8 OLI	LC08125053201810310 1T1-SC201811151031	31-10-2018	30m/15m	Đã được hiệu chỉnh khí quyển
2	Sentinel-2 MSI	S2A_tile_20180327_48PWR_0	02-11-2018	10m	Đã được hiệu chỉnh khí quyển
3	Sentinel 1	S1A_IW_GRDH_1SDV_2018 1103T111055_tc_10	25-03-2018	10m	Đã được xử lý và hiệu chỉnh địa hình
4	ALOS-2 PALSAR-2	ALOS2205610180-180314	14-03-2018	6.5m	Đã được xử lý và hiệu chỉnh địa hình

Dựa trên năng lực cung cấp, kế hoạch phát triển dài hạn của các vệ tinh, khả năng tiếp cận của người dùng và ứng dụng vào thực tế đã lựa chọn ảnh vệ tinh cho nghiên cứu này. Đối với hình ảnh radar đã lựa chọn dữ liệu từ các vệ tinh Sentinel-1, gồm có 2 phân cực VH (VH_S1) và VV (VV_S1); ALOS-2 PALSAR-2 gồm có 2 phân cực HH (HH_P2) và HV (HV_P2). Các dữ liệu ảnh quang học đã lựa chọn từ các vệ tinh Landsat 8 OLI và Sentinel-2 được thể hiện trong hình 2. Các thông số cơ bản ảnh vệ tinh được sử dụng được mô tả trong bảng 2.

3.3. Xử lý dữ liệu ảnh vệ tinh

Đối với ảnh vệ tinh radar: Sentinel 1, băng C gồm có 2 phân cực VH và VV, độ phân giải 10 m và ALOS-2 PALSAR-2, băng L mức độ xử lý 2.1 với 2 phân cực HH và HV, độ phân giải của dữ liệu là 6,25 m. Sử dụng công cụ lọc nhiễu Frost và thực hiện hiệu chỉnh bức xạ, hiệu chỉnh địa hình. Chuyển đổi giá trị DN (digital number) của hai phân cực HH và HV sang giá trị tán xạ ngược (backscattering intensity) được tính theo công thức 1 được cung cấp bởi JAXA (2017) [7].

$$\sigma^0 = 10 \times \log_{10}(DN^2) + CF \quad (1)$$

Trong đó: DN là giá trị số của điểm ảnh; σ^0 là giá trị tán xạ ngược, đơn vị là *decibels* (dB) và CF là hệ số chuyển đổi. Theo công bố của JAXA giá trị CF là -83,0 [7].

Các ảnh vệ tinh quang học (Sentinel-2 và Landsat 8) đã được hiệu chỉnh khí quyển và hình học. Chỉ số khác biệt thực vật NDVI được tính theo công thức 2 [13]:

$$NDVI = (NIR - IR)/(NIR + IR) \quad (2)$$

Trong đó: NIR phổ phản xạ của kênh cận hồng ngoại và IR là phổ phản xạ của kênh đỏ.

3.4. Phương pháp phân tích dữ liệu

Nghiên cứu đã thử nghiệm với 3 dạng phương trình (3) (4) (5) sau để biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số cấu trúc rừng ($D_{1.3\,cm}$, H_m, N/ha) với các thông số chiết xuất từ ảnh vệ tinh.

Hàm tuyến tính một lớp: $Y = a + b.X$ (3)

Hàm số mũ (Exponential): $Y = a.e^{b.x}$ (4)

Hàm bậc hai: $Y = a_0 + a_1.X + a_2.X^2$ (5)

Phương pháp đánh giá độ chính xác của mô hình dựa vào hệ số xác định (R^2) và sai số tuyệt đối của mô hình được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất (RMSE).

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

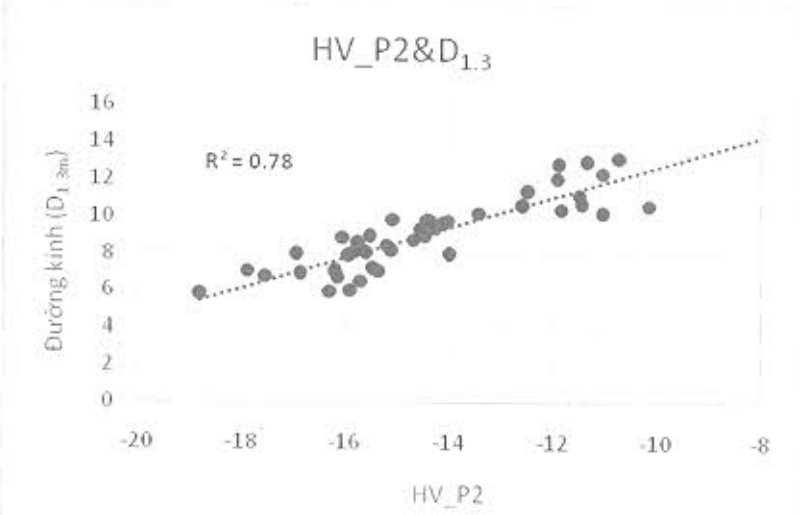
4.1. Mô hình ước lượng đường kính cây ($D_{1.3\,cm}$) rừng Tràm (*Melaleuca cajuputi*) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

Bảng 3. Tóm tắt kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về đường kính cây ($D_{1.3\,cm}$) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

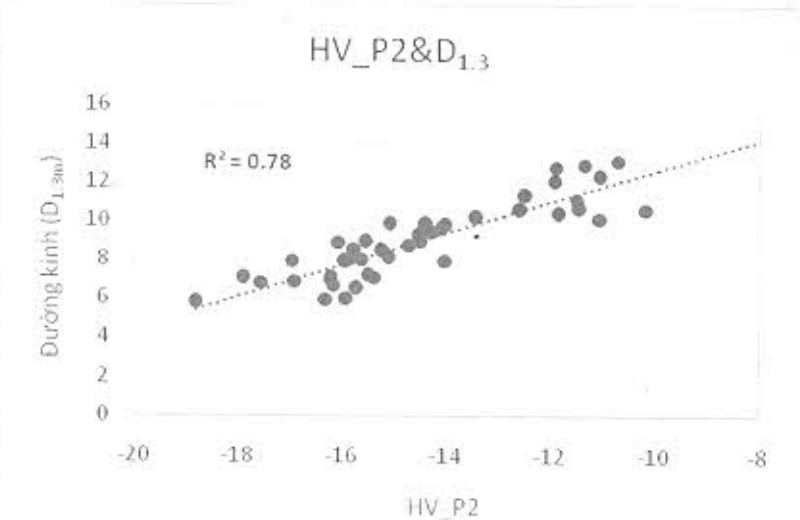
TT	Mô hình	Biến số sử dụng	Dạng phương trình	Hệ số xác định (R^2)	RMSE
1	Mô hình 1	HV_P2	3	0,76	0,47
2	Mô hình 2	HV_P2	4	**0,78**	**0,43**
3	Mô hình 3	HV_P2	5	**0,78**	**0,43**
4	Mô hình 4	HH_P2	3	0,32	1,33
5	Mô hình 5	HH_P2	4	0,35	1,27
6	Mô hình 6	HH_P2	5	0,40	1,17
7	Mô hình 7	VH_S1	3	0,62	0,74
8	Mô hình 8	VH_S1	4	0,62	0,74
9	Mô hình 9	VH_S1	5	0,66	0,66
10	Mô hình 10	VV_S1	3	0,33	1,31
11	Mô hình 11	VV_S1	4	0,39	1,19
12	Mô hình 12	VV_S1	5	0,56	0,86
13	Mô hình 13	NDVI_L8	3	0,62	0,74
14	Mô hình 14	NDVI_L8	4	0,61	0,76
15	Mô hình 15	NDVI_L8	5	0,66	0,66
16	Mô hình 16	NDVI_S2	3	0,60	0,78
17	Mô hình 17	NDVI_S2	4	0,60	0,78
18	Mô hình 18	NDVI_S2	5	065	0,68

Các kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về đường kính cây rừng tràm (biến phụ thuộc) sử dụng dữ liệu chiết xuất từ ảnh viễn vệ tinh (biến độc lập) được trình bày tóm tắt tại bảng 3.

Kết quả nghiên cứu về xây dựng mô hình ước tính thông số đường kính cây rừng tràm cho thấy có 5 mô hình có hệ số tương quan thấp (R^2<0,5); có 10 mô hình có hệ số tương quan (0,5 <R^2<0,7); có 3 mô hình có hệ số tương quan R^2>0,7. Trong đó mô hình 2, mô hình 3 có hệ số tương quan cao nhất (R^2=0,78; RMSE=0,43) và được thể hiện trong hình 2.



Mô hình 2



Mô hình 3

Hình 2. Mô hình 2 và mô hình 3 trong ước lượng đường kính cây ($D_{1.3\,m}$) rừng

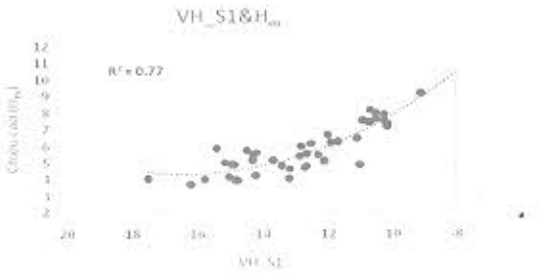
4.2. Mô hình ước lượng chiều cao cây (H_m) rừng Tràm (*Melaleuca cajuputi*) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

Các kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về chiều cao cây rừng tràm (biến phụ thuộc) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh (biến độc lập) được trình bày tóm tắt tại bảng 4.

Kết quả nghiên cứu về xây dựng mô hình ước tính thông số chiều cao cây rừng tràm cho thấy có 5 mô hình có hệ số tương quan R^2<0,5; có 2 mô hình có hệ số tương quan (0,5<R^2<0,6); có 4 mô hình có hệ số tương quan (0,6<R^2<0,7); có 6 mô hình có hệ số tương quan R^2>0,7. Trong đó mô hình 3 có hệ số tương quan cao nhất (R^2=0,78; RMSE=0,31) và được thể hiện trong hình 3.

Bảng 4. Tóm tắt kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về chiều cao cây (H_m) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

TT	Mô hình	Biến số sử dụng	Dạng phương trình	Hệ số xác định (R^2)	RMSE
1	Mô hình 1	HV_P2	3	0,75	0,35
2	Mô hình 2	HV_P2	4	0,77	0,32
3	Mô hình 3	HV_P2	5	**0,78**	**0,31**
4	Mô hình 4	HH_P2	3	0,36	0,89
5	Mô hình 5	HH_P2	4	0,37	0,88
6	Mô hình 6	HH_P2	5	0,41	0,82
7	Mô hình 7	VH_S1	3	0,70	0,42
8	Mô hình 8	VH_S1	4	0,70	0,42
9	Mô hình 9	VH_S1	5	0,77	0,32
10	Mô hình 10	VV_S1	3	0,39	0,85
11	Mô hình 11	VV_S1	4	0,43	0,80
12	Mô hình 12	VV_S1	5	0,57	0,60
13	Mô hình 13	NDVI_L8	3	0,60	0,56
14	Mô hình 14	NDVI_L8	4	0,60	0,56
15	Mô hình 15	NDVI_L8	5	0,67	0,46
16	Mô hình 16	NDVI_S2	3	0,57	0,60
17	Mô hình 17	NDVI_S2	4	0,56	0,61
18	Mô hình 18	NDVI_S2	5	0,62	0,53



Hình 3. Mô hình 3 trong ước lượng chiều cao cây rừng

4.3. Mô hình ước lượng mật độ (N/ha) cây rừng tràm (*Melaleuca cajuputi*) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

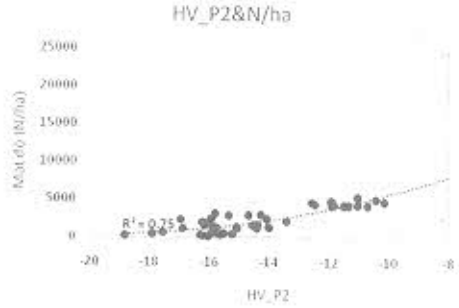
Các kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về mật độ cây rừng tràm (biến phục thuộc) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh (biến độc lập) được trình bày tóm tắt tại bảng 5.

Bảng 5. Tóm tắt kết quả xây dựng mô hình ước tính thông số về mật độ cây rừng (N/ha) sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh

TT	Mô hình	Biến số sử dụng	Dạng mô hình	Hệ số xác định (R^2)	RMSE
1	Mô hình 1	HV_P2	3	0,56	663
2	Mô hình 2	HV_P2	4	0,72	420
3	Mô hình 3	HV_P2	5	**0,75**	**377**
4	Mô hình 4	HH_P2	3	0,27	1101
5	Mô hình 5	HH_P2	4	0,36	965
6	Mô hình 6	HH_P2	5	0,41	890
7	Mô hình 7	VH_S1	3	0,40	905
8	Mô hình 8	VH_S1	4	0,54	693
9	Mô hình 9	VH_S1	5	0,60	603
10	Mô hình 10	VV_S1	3	0,19	1221
11	Mô hình 11	VV_S1	4	0,36	965

TT	Mô hình	Biến số sử dụng	Dạng mô hình	Hệ số xác định (R^2)	RMSE
12	Mô hình 12	VV_S1	5	0,49	769
13	Mô hình 13	NDVI_L8	3	0,55	678
14	Mô hình 14	NDVI_L8	4	0,59	618
15	Mô hình 15	NDVI_L8	5	0,64	543
16	Mô hình 16	NDVI_S2	3	0,62	573
17	Mô hình 17	NDVI_S2	4	0,63	558
18	Mô hình 18	NDVI_S2	5	0,68	482

Kết quả nghiên cứu về đặc điểm mật độ cây rừng tràm cho thấy có 7 mô hình có hệ số tương quan thấp $R^2<0,5$; có 4 mô hình có hệ số tương quan nằm trong khoảng ($0,5<R^2<0,6$); có hai mô hình có hệ số tương quan $R^2>0,7$. Trong đó mô hình 3 với kết quả hệ số tương quan cao nhất ($R^2=0,75$; RMSE=377) và được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Mô hình 3 trong ước lượng mật độ cây (N/ha) rừng

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này đã sử dụng các thông số tán xạ ngược được chiết xuất từ ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2, Sentinel-1, và NDVI được chiết xuất từ ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI, Sentinel-2. Kết hợp với các dữ liệu thực địa bằng các ô tiêu chuẩn xây dựng được 54 mô hình cho ước tính đặc điểm cấu trúc rừng tràm, các thông số ước tính bao gồm: đường kính ($D_{1,3}$), chiều cao (H_m) và mật độ cây (N/ha) tại VQG U Minh Thượng. Phân tích hồi quy cho thấy thông số cấu trúc rừng là đường kính ($D_{1,3}$), chiều cao (H_m) và mật độ (N/ha) không có tương quan chặt với các thông số chiết xuất từ ảnh vệ tinh như NDVI_L8 (Landsat 8), NDVI_S2 (Sentinel 2) và tán xạ ngược từ vệ tinh Sentinel-1. Tuy nhiên, các kết quả phân tích lại cho thấy rằng: thông số tán xạ ngược từ phân cực HV của ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 (HV_P2) đã có liên quan chặt chẽ với các thông số cấu trúc rừng là đường kính ($D_{1,3}$), chiều cao (H_m), mật độ (N/ha) và các kết quả tốt nhất đạt được là ($R^2=0,78$; RMSE=0,43), ($R^2=0,7$; RMSE=0,3), ($R^2=0,75$; RMSE=377) tương ứng.

Kết quả này chứng tỏ rằng tín hiệu băng L từ vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 có khả năng cung cấp hiệu quả các thông tin về cấu trúc lâm phần của rừng. Kết quả này mở ra một tiềm năng sử dụng dữ liệu radar trong nghiên cứu cấu trúc rừng, đặc biệt là cấu trúc rừng nhiệt đới.

LỜI CẢM ƠN

Tập thể tác giả xin cảm ơn Đề tài VT-UD.05/17-20 thuộc Chương trình Khoa học và Công nghệ cấp Quốc gia về Công nghệ vũ trụ giai đoạn 2016 - 2020 đã cung cấp kinh phí và số liệu cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bartolo, R. E. (2005). *Remote sensing of Melaleuca biomass on tropical floodplains* (Doctoral dissertation, Charles Darwin University).

2. Bell, D., Menges, C. H., & Bartolo, R. E. (2001). Assessing the extent of saltwater intrusion in a tropical coastal environment using radar and optical remote sensing. *Geocarto International, 16*(3), 45-52.

3. Castillo-Santiago, M. A., Ricker, M., & de Jong, B. H. (2010). Estimation of tropical forest structure from SPOT-5 satellite images. *International Journal of Remote Sensing, 31*(10), 2767-2782.

4. Drake, J. B., Dubayah, R. O., Clark, D. B., Knox, R. G., Blair, J. B., Hofton, M. A., & Prince, S. (2002). Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint lidar. *Remote Sensing of Environment, 79*(2-3), 305-319.

5. Gómez, C., Wulder, M. A., Montes, F., & Delgado, J. A. (2012). Forest structural diversity characterization in Mediterranean pines of central Spain with QuickBird-2 imagery and canonical correlation analysis. *Canadian Journal of Remote Sensing, 37*(6), 628-642.

6. Iizuka, K., & Tateishi, R. (2014). ²Simple relationship analysis between L-band backscattering intensity and the stand characteristics of sugi (Cryptomeria japonica) and hinoki (Chamaecyparis obtusa) trees. *Advances in Remote Sensing, 3*(04), 219.

7. JAXA (2017). https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS2/calval/CalibrationFactors_PALSAR2_v20170323.pdf

8. Kennaway, T. A., Helmer, E. H., Lefsky, M. A., Brandeis, T. J., & Sherrill, K. R. (2008). Mapping land cover and estimating forest structure using satellite imagery and coarse resolution lidar in the Virgin Islands. *Journal of Applied Remote Sensing, 2*(1), 023551.

9. Luong Viet Nguyen., Tateishi, R., Nguyen, H. T., Sharma, R. C., To, T. T., & Le, S. M. (2016). Estimation of tropical forest structural characteristics using ALOS-2 SAR data. *Adv. Remote Sens, 5*, 131-144.

10. Ozkan, U. Y., & Demirel, T. (2018). Estimation of forest stand parameters by using the spectral and textural features derived from digital aerial images. *Applied ecology and environmental research, 16*(3), 3043-3060.

11. Pham, T. D., Yokoya, N., Bui, D. T., Yoshino, K., & Friess, D. A. (2019). Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure and biomass: Opportunities and challenges. Remote Sensing, 11(3), 230.

12. Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.

13. Thái Văn Trừng (1998). Những hệ sinh thái rừng nhiệt đới ở Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

14. Trần Văn Thắng (2017). Nghiên cứu cơ sở khoa học của giải pháp quản lý thủy văn phục vụ phòng cháy chữa cháy rừng ở Vườn Quốc gia U Minh Thượng, tỉnh Kiên Giang. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Lâm nghiệp.

15. Van Leeuwen, M., & Nieuwenhuis, M. (2010). Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European Journal of Forest Research, 129*(4), 749-770.

16. Zhao, K., Popescu, S., Meng, X., Pang, Y., & Agca, M. (2011). Characterizing forest canopy structure with lidar composite metrics and machine learning. *Remote Sensing of Environment, 115*(8), 1978-1996.

APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS TECHNOLOGY IN RESEARCH OF STRUCTRURE CHARACTERISTICS OF MELALEUCA FOREST (*Melaleuca cajuputi*) IN U MINH THUONG NATIONAL PARK, KIEN GIANG PROVINCE

Nguyen Viet Luong, Trinh Xuan Hong,

To Trong Tu, Phan Thi Kim Thanh, Le Mai Son

Summary

In this rearch, we used satellite images in 2018 such as ALOS-2 PALSAR-2, Sentinel-1, Landsat 8 OLI, Sentinel-2, and ground data by 45 sample plots to build models for estimation of characteristics of forest structure such as diameter, height, density of tree. The research results show that: the backscattering signal from the HV polarization of the ALOS-2 PALSAR-2 satellite image is closely relationship to the parameters of Melaleuca forest structure such as diameter of tree (R^2 = 0.78; RMSE = 0.43), height of tree (R^2 = 0.78; RMSE = 0.31) and density of tree (R^2 = 0.75; RMSE = 377). This result is a scientific basis for the rearch of forest structure characteristics by remote sensing data for the purpose of assisting in making decisions on selection of suitable silvicultural methods for conservation and restoration and sustainable development to Melaleuca forest ecosystems as well as other forest ecosystems in Vietnam.

Keywords: *Melaleuca forest, forest structure, diameter, height, density, model, remote rensing and GIS.*

Người phản biện: PGS.TS. Trần Quang Bảo
Ngày nhận bài: 28/02/2020
Ngày thông qua phản biện: 30/3/2020
Ngày duyệt đăng: 7/4/2020