



THỬ NGHIỆM ĐỊNH LƯỢNG ĐA DẠNG LOÀI THỰC VẬT THÂN GỖ TẠI TỈNH ĐẮK NÔNG DỰA VÀO ẢNH VỆ TINH

Nguyễn Thị Thanh Hương, Châu Thị Như Quỳnh, Nguyễn Đức Định, Phan Thị Hằng,
Cao Thị Hoài, Nguyễn Thế Hiển, Đặng Ngọc Trí, Ngô Thế Sơn, Đoàn Minh Trung,
Hồ Đình Bảo, Ngô Thị Thùy Phương, Nguyễn Công Tài Anh, Võ Hùng, Hoàng Trọng Khánh*

Khoa Nông Lâm – Trường Đại học Tây Nguyên

Ngày nhận bài: 30-9-2018; ngày nhận bài sửa: 22-10-2018; ngày duyệt đăng: 21-11-2018

TÓM TẮT

Đa dạng sinh học tại Đăk Nông bị suy giảm nghiêm trọng bởi sự mất rừng và phá rừng. Tuy vậy, thành phần loài cây gỗ tại khu vực này vẫn còn rất đa dạng, cụ thể trong 152 ô mẫu điều tra kích thước 30x30m theo các cấp đai cao phát hiện 477 loài cây gỗ thuộc 65 họ, 150 chi. Để lập bản đồ đa dạng sinh học cho toàn tỉnh, chúng tôi tính chỉ số Shannon Wiener và Simpson dựa trên ảnh NDVI được tính từ ảnh Sentinel 2A, sử dụng các kích thước cửa sổ di chuyển khác nhau (ví dụ: 3x3; 5x5...). Kết quả ban đầu cho thấy rằng với ảnh có độ phân giải trung bình như Sentinel 2A, mặc dù chưa phát hiện được tương quan có ý nghĩa thống kê giữa các chỉ số đa dạng Shannon Wiener H' được tính toán từ dữ liệu thực địa và ước tính từ cửa sổ di chuyển trên ảnh NDVI, tuy vậy chiều hướng tương quan cũng phần nào cho thấy có khả năng ứng dụng ảnh vệ tinh trong ước lượng đặc điểm đa dạng sinh học cho khu vực lớn hỗ trợ trong quản lý và bảo tồn rừng.

Từ khóa: chỉ số đa dạng sinh học, Sentinel 2A, thực vật thân gỗ.

ABSTRACT

Quantifying biodiversity of wood tree species in Dak Nong province based on satellite image data

Biodiversity in Dak Nong has been severely degraded by forest degradation and deforestation. However, the woody tree species composition in the area is still very diverse. As an evidence, in 152 plots of size 30x30m sampled in the area, 477 species of woody tree belonging to 65 families were observed, with 150 genera. In order to map biodiversity for the whole study area, we calculated the Shannon - Wiener and Simpson Index based on NDVI (normalized difference vegetation index) image which was calculated from Sentinel 2A image using different size moving windows (e.g. 3x3; 5x5...). The initial results showed that although no statistically significant correlation was found between field and estimated Shannon index, the correlative dimension suggests that it is possible to use remote sensing to map biodiversity for the large area which serves for purpose of forest management and conservation.

Keywords: biodiversity index, Sentinel 2A, Woody species.

1. Đặt vấn đề

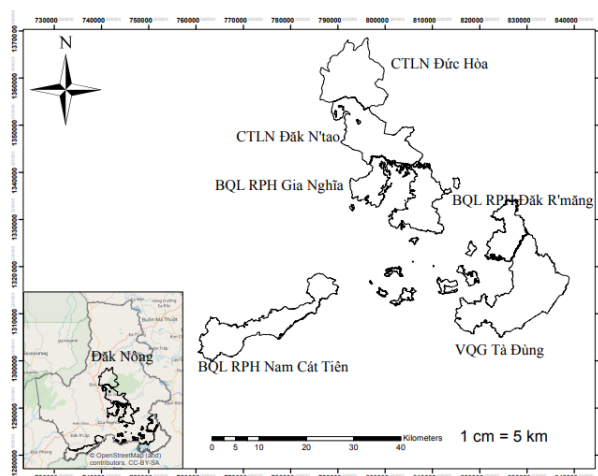
Định lượng đa dạng sinh học trong một vùng rộng lớn không thể thực hiện được nếu chỉ dựa vào dữ liệu điều tra toàn diện trên mặt đất, vì vậy có nhiều mối quan tâm về việc sử dụng ảnh vệ tinh để lập bản đồ đa dạng sinh học cho toàn bộ khu vực. Việc sử dụng dữ liệu viễn thám để đánh giá sự phong phú loài ở quy mô địa phương là một thách thức mới trong

* Email: huongthanh.frem@gmail.com

hệ sinh thái (Carmel and Kadmon, 1998 [1]). Một số nghiên cứu đã phát hiện mối quan hệ giữa sự không đồng nhất về quang phổ của ảnh vệ tinh và các chỉ số đa dạng sinh học và chứng tỏ rằng việc định lượng các chỉ số đa dạng dựa vào ảnh vệ tinh có độ phân giải trung bình và cao là hiệu quả. Một số ít tác giả sử dụng tính không đồng nhất của dữ liệu ảnh vệ tinh (giả thuyết Spectral Variation Hypothesis-SVH) để định lượng sự đa dạng sinh học, đa dạng loài thực vật như Rocchini và cộng sự (2007). SVH cho biết sự biến thiên về không gian trong dữ liệu từ xa, nghĩa là sự không đồng nhất về quang phổ, sẽ liên quan đến sự không đồng nhất về môi trường và do đó có thể được sử dụng như là một công cụ mạnh mẽ cho sự đa dạng của các loài. Nói cách khác, tính không đồng nhất của môi trường sống càng cao, sự đa dạng loài trong vùng càng lớn (Palmer và cộng sự, 2002 [2]). Trên cơ sở này Rocchini và cộng sự [3] - [6] cho thấy việc sử dụng các kỹ thuật viễn thám gián tiếp để ước lượng tính đa dạng sinh học của cảnh quan sẽ dự đoán được sự đa dạng của các loài trên các quy mô không gian khác nhau. Khare và cộng sự [7]) đã sử dụng ảnh viễn thám ở các độ phân giải khác nhau từ trung bình (Landsat 8), cao (RapidEye) và rất cao (Pléiades 1A) để đánh giá đa dạng loài thực vật ở các khu vực rộng lớn và không thể tiếp cận, bị ảnh hưởng bởi loài *Lantana camara* L. xâm lấn và đã cho kết quả khá triển vọng.

Tuy vậy, các nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh để lập bản đồ đa dạng sinh học chủ yếu được thực hiện cho rừng ôn đới với một số chỉ số loài quan tâm, trong khi đó rừng nhiệt đới luôn là thách thức cho những mối quan tâm sử dụng ảnh vệ tinh để định lượng tài nguyên rừng, và điều này càng khó khăn hơn đối với ước lượng đa dạng sinh học cho rừng tự nhiên nhiệt đới. Cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào ở Việt Nam thử nghiệm phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh để lập bản đồ đa dạng loài cho rừng nhiệt đới. Chính vì vậy, nghiên cứu này bước đầu thử nghiệm việc kết hợp số liệu điều tra thực địa và ảnh vệ tinh có độ phân giải trung bình Sentinel 2A để định lượng đa dạng loài thực vật thân gỗ cho rừng tự nhiên lá rộng thường xanh tại một số khu vực rừng tự nhiên tại tỉnh Đắk Nông.

Tỉnh Đắk Nông nằm ở phía Tây Nam của Tây Nguyên, nằm trong vùng tọa độ từ $11^{\circ}45'$ đến $12^{\circ}50'$ vĩ độ Bắc và từ $107^{\circ}12'$ đến $108^{\circ}07'$ kinh độ Đông. Nghiên cứu này được thực hiện ở Vườn quốc gia Tà Đùng, Ban quản lí rừng phòng hộ Gia Nghĩa, Ban quản lí rừng phòng hộ Nam Cát Tiên, Ban quản lí rừng phòng hộ Đắk R'Măng, Công ti Lâm nghiệp Đắk N'tao, Công ti Lâm nghiệp Đức Hòa trên địa bàn tỉnh Đắk Nông (Hình 1).



Hình 1. Vị trí các khu vực nghiên cứu

2. Dữ liệu và phương pháp

2.1. Dữ liệu

Số liệu đa dạng thực vật thân gỗ được thu thập trên mỗi ô tiêu chuẩn (OTC) hình vuông với diện tích 900m², được bố trí tại một số đơn quản lí rừng tại tỉnh Đắk Nông. OTC được thiết lập theo hướng Đông Tây và chia thành 9 ô nhỏ nhằm đảm bảo phù hợp với pixel ảnh và việc thu thập số liệu không bị bỏ sót cây. Trong ô mẫu, tất cả các cây thân gỗ có đường kính ngang ngực DBH_{1,3}>6cm được đo đếm DBH, H và định danh loài. Vị trí trung tâm của các ô phụ được ghi tọa độ bằng GPS.

Dựa vào số liệu điều tra thực địa, một số chỉ số phổ biến trong đánh giá đa dạng loài thực vật thân gỗ như Margalef, Shannon – Weiner H' và Simpson1-D được tính toán. Các chỉ số đa dạng này thuộc hai khuynh hướng khác nhau là phân bố thống kê về mật độ tương đối của các loài (Margalef) và sử dụng lí thuyết thông tin để phân tích tổ chức bậc quần xã (Shannon – Weiner và Simpson).

Chỉ số phong phú loài: là số lượng loài trên một đơn vị diện tích. Tuy nhiên, số lượng loài S lại phụ thuộc vào kích cỡ mẫu và thời gian tìm kiếm nên việc sử dụng nó để so sánh là rất hạn chế. Do đó, một số chỉ số khác độc lập với quy mô mẫu được đề xuất để đo độ phong phú loài. Nghiên cứu sử dụng Margalef index (Margalef, 1958 [8]) để định lượng sự phong phú loài thực vật thân gỗ tại khu vực nghiên cứu. Chỉ số phong phú loài Margalef được tính theo công thức: $SR = \frac{S-1}{\ln N}$; SR: chỉ số Margalef, S: số lượng loài. N: tổng số cá thể trong ô mẫu.

Chỉ số đa dạng Shannon – Weiner: (Shannon – Weiner, 1949 [9]) là chỉ số đa dạng được sử dụng phổ biến, tính đến cả sự phong phú (richness) và sự cân bằng của các loài hiện diện trong quần xã. Shannon được sử dụng rộng rãi để so sánh sự đa dạng giữa các môi trường sống khác nhau [10]. Chỉ số đa dạng Shannon – Weiner (H') được tính toán

theo công thức: $H' = -\sum_{i=1}^S p_i (\ln p_i)$; H' = Shannon – Weiner, p_i = Tỷ lệ giữa số cá thể loài i trên tổng số cá thể phát hiện trong ô mẫu, \ln = Logarit tự nhiên.

Chỉ số Simpson (Simpson, 1949 [11]) được tính theo công thức: $1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$

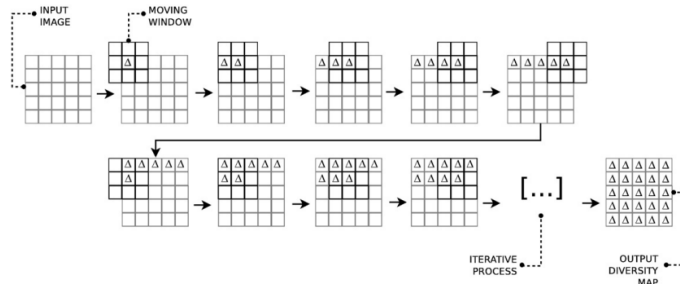
Trong đó: D = Chỉ số đa dạng Simpson, p_i = tỉ lệ giữa số cá thể loài i trên tổng số cá thể phát hiện trong ô mẫu. Chỉ số Simpson đo về mức độ đa dạng mà xem xét cả độ giàu có và đồng đều.

Ảnh Sentinel 2A được tải từ Google Earth Engine gồm 4 band 10m và 6 band 20m được resample về 10m, các band ảnh lấy giá trị phổ trung bình từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2017. Dữ liệu này được sử dụng để tạo ảnh chỉ số NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) để định lượng các chỉ số đa dạng loài thực vật thân gỗ. NDVI được tính bằng cách sử dụng các band ảnh cận hồng ngoại NIR (band 8) và band nhìn thấy Red (band 4) của ảnh Sentinel 2A: $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$; NIR: kênh cận hồng ngoại, RED: kênh đỏ. Dữ liệu ảnh NDVI được cắt chỉ lấy diện tích rừng tự nhiên tại 6 khu vực nghiên cứu tại Đắk Nông.

2.2. Định lượng chỉ số đa dạng dựa vào ảnh NDVI

Rocchini và cộng sự [3] - [5]) giả sử rằng ảnh viễn thám bao gồm N giá trị DN khác biệt, nghĩa là có sự phong phú $N = 2^8 = 256$ cấp độ xám xấp xỉ trên mỗi pixel với độ phong phú tương đối p_i của DN thứ i ($i = 1, 2, \dots, N$), sao cho $0 \leq p_i \leq 1$ và $\sum_{i=1}^N p_i = 1$.

Dựa trên tiếp cận này, chúng tôi đã sử dụng công cụ r.diversity trong Grass GIS để tính toán các chỉ số đa dạng sinh học Shannon H' , Simpson $1 - D$ từ ảnh NDVI được tính từ ảnh Sentinel 2A theo các kích thước cửa sổ di chuyển khác nhau (3x3, 5x5, 7x7, 9x9). Tất cả các điểm ảnh trong cửa sổ di chuyển được sử dụng để tính các chỉ số đa dạng. Kích thước cửa sổ nhỏ nhất về mặt lý thuyết (1x1) bao gồm một pixel đơn (nơi mà sự đa dạng sẽ bằng 0); kích thước cửa sổ có thể tăng lên (tới 3x3, 5x5, 7x7, nxn pixel) cho đến khi toàn bộ phạm vi không gian được bao phủ và giá trị của chỉ số đa dạng được tính toán được gắn vào điểm ảnh trung tâm của mỗi cửa sổ chuyển động. Sau đó, phân tích tương quan Pearson giữa các chỉ số đa dạng tính từ ảnh NDVI với chỉ số tính từ thực địa để xem xét khả năng định lượng đa dạng loài thực vật thân gỗ dựa vào ảnh vệ tinh.



Hình 2. Cửa sổ di chuyển 3x3 (nguồn [3])

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xác định chỉ số đa dạng loài thực vật thân gỗ theo dữ liệu thực địa

Bảng 1. Chỉ số đa dạng loài thực vật thân gỗ tại các khu rừng nghiên cứu

Mã đơn vị	Shannon H'			Simpon (1-D)			Margalef SR		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
1	1,770	3,377	2,521	0,754	0,950	0,858	3,018	11,850	6,817
2	1,821	3,434	2,859	0,761	0,957	0,904	2,982	8,506	6,240
3	1,897	3,357	2,908	0,747	0,955	0,905	3,641	8,957	6,747
4	2,548	2,605	3,047	0,882	0,964	0,933	5,938	17,202	8,955
5	2,602	3,760	3,186	0,815	0,971	0,937	5,556	11,297	7,752
6	2,096	3,953	3,067	0,793	0,975	0,923	3,425	13,349	7,361

1,2,3,4,5,6: lần lượt là BQL rừng phòng hộ Đăk R'Măng, Công ti LN Đăk N'tao, Công ti Lâm nghiệp Đức Hòa, BQL rừng phòng hộ Gia Nghĩa, BQL rừng phòng hộ Nam Cát Tiên, VQG Tà Đùng.

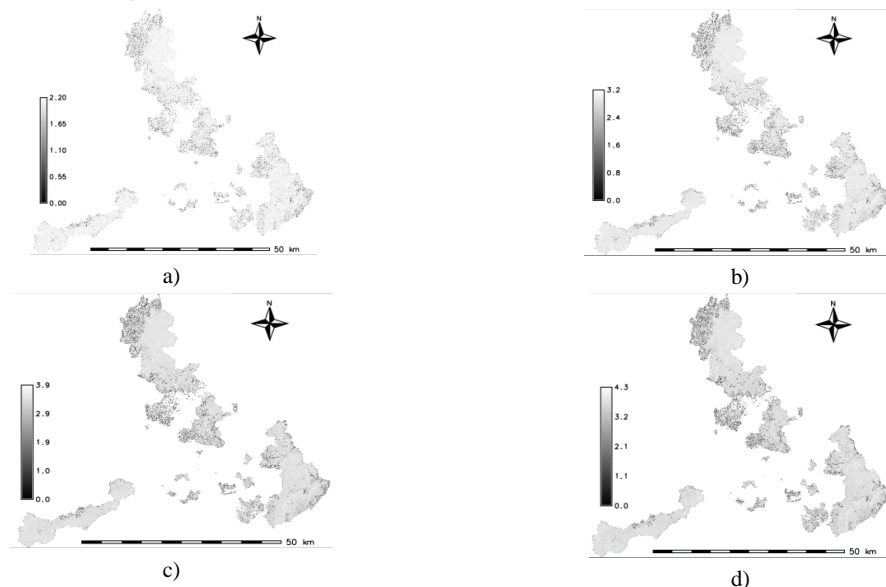
Nghiên cứu điều tra 152 OTC phát hiện tổng cộng 477 loài thực vật thân gỗ, thuộc 65 họ, 150 chi. Các chỉ số đa dạng loài cây gỗ như Shannon – Weiner và Simpson, Margalef được tính toán cho từng OTC 900m². Kết quả thống kê các chỉ số đa dạng theo từng đơn vị quản lý rừng được thể hiện ở Bảng 1. Chỉ số Shannon – Weiner càng cao thì quần xã càng đa dạng. Giá trị của Shannon thường từ 1,5 đến 3,5, hiếm khi vượt qua được 4,5. Trong khu vực nghiên cứu, chỉ số Shannon H' dao động từ 1,770 đến 3,953 cho thấy khu vực tương đối đa dạng về loài cây gỗ. VQG Tà Đùng có chỉ số Shannon H' cao nhất là 3953, thấp nhất ở ban quản lý rừng Đăk R'Măng. Các công ti lâm nghiệp chỉ số Shannon H' thấp hơn so với các Ban quản lý và VQG. Điều này cũng phần nào phản ánh hiệu quả quản lý rừng của VQG và Ban quản lý tốt hơn so với công ti lâm nghiệp. So sánh với các khu rừng nhiệt đới ở một số nước khác, khu vực nghiên cứu có chỉ số Shannon H' thấp hơn. Chẳng hạn tại rừng mưa nhiệt đới lưu vực sông Congo, chỉ số Shannon H' cao nhất đạt 4,46 (Suspense và cộng sự, 2016 [12]), tuy vậy mức độ dao động khá lớn với H' từ 0,75-4,46, trong khi đó ở khu rừng nhiệt đới rụng của Northcentral India, phạm vi chỉ số này là 3,59 đến 4,05 [13]. Mặc dù hệ sinh thái khá tương đồng song tại Khu bảo tồn thiên nhiên Nam Kar thuộc tỉnh Đăk Lăk, chỉ số Shannon H' dao động từ 1,5 đến 5,15 [14], biến thiên lớn hơn nhiều so với chỉ số Shannon H' được xác định tại rừng tự nhiên Đăk Nông.

Giá trị của chỉ số Simpson nằm trong khoảng từ 0 đến 1, Simpson càng gần về 1 sự đa dạng càng lớn. Chỉ số Simpson ở khu vực nghiên cứu dao động từ 0,747-0,975, đa số tập trung >0,9 cho thấy sự đa dạng loài cây gỗ khá cao. Trong khi đó, chỉ số đa dạng loài thực vật thân gỗ Simpson tại khu bảo tồn thiên nhiên Nam Kar dao động từ 0,84-0,95 [14]. Điều đó chứng tỏ rừng tự nhiên Đăk Nông vẫn rất đa dạng về thực vật thân gỗ.

Ngoài chỉ số Shannon – Weiner và Simpson, chỉ số Margalef SR (biểu thị cho độ phong phú loài) tại khu vực nghiên cứu cho thấy dao động từ 2982 đến 17.202. Chỉ số này thấp nhất ở Công ti Lâm nghiệp Đăk N'tao và cao nhất ở BQL rừng phòng hộ Gia Nghĩa. Điều này cũng tương thích kết quả đã được phản ánh về hiệu quả quản lý như đã đề cập ở trên.

3.2. Xác định chỉ số đa dạng loài thực vật thân gỗ dựa vào ảnh vệ tinh

Công cụ r.diversity trong Grass GIS được sử dụng để tính toán các chỉ số đa dạng sinh học Shannon H' , Simpson $1 - D$ từ ảnh NDVI theo các kích thước cửa sổ di chuyển khác nhau (3x3, 5x5, 7x7, 9x9). Tất cả các điểm ảnh trong cửa sổ di chuyển được sử dụng để tính các chỉ số đa dạng này. Dựa trên tiếp cận này, bản đồ chỉ số đa dạng sinh học của toàn bộ khu vực nghiên cứu được xây dựng. Hình 3 thể hiện kết quả ước tính chỉ số Shannon – Weiner dựa vào ảnh NDVI theo các kích thước cửa sổ khác nhau.



Hình 3. Bản đồ chỉ số Shannon – Weiner tại các khu rừng nghiên cứu được tính toán từ ảnh NDVI theo các kích thước cửa sổ a) cửa sổ 3x3, b) cửa sổ 5x5, c) cửa sổ 7x7, d) cửa sổ 9x9

Các nghiên cứu của Rocchini và cộng sự [3], [4], [6], Khare và cộng sự (2017) đều đưa ra kết quả các chỉ số đa dạng sinh học được tính toán từ ảnh vệ tinh theo các cửa sổ di chuyển, tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào đánh giá độ chính xác các chỉ số này so với thực tế. Vì vậy, để có cơ sở thực tiễn việc sử dụng ảnh vệ tinh để ước lượng chỉ số đa dạng loài cho vùng rộng lớn, phân tích tương quan Pearson được áp dụng trong nghiên cứu này để tìm hiểu mức độ tương quan giữa giá trị ước lượng từ ảnh NDVI và giá trị thực tế. Mặc dù chỉ số Simpson được đổi biến đổi để đảm bảo đạt được phân bố chuẩn, tuy vậy các phép biến đổi đều không đạt chuẩn (2 chỉ số skewness và kurtosis đều không nằm trong phạm vi ± 2), do vậy biến số Simpson không được sử dụng trong phân tích tương quan. Trong khi đó chỉ số H thực địa và H' được tạo từ các cửa sổ đều đạt phân bố chuẩn với các giá trị gốc hoặc giá trị được biến đổi. Kết quả phân tích tương quan thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích tương quan Pearson giữa chỉ số Shannon H' từ ảnh NDVI và chỉ số Shannon H từ thực địa

	H^3	H^5	$\ln(H^7)$	$\ln(H^9)$
$(H)^3$	0,029ns	0,008ns	-0,030ns	-0,033ns

H: chỉ số Shannon tính từ số liệu thực địa

H^3, H^5, H^7, H^9 : lần lượt là chỉ số Shannon H' ở các cửa sổ 3x3, 5x5, 7x7, 9x9; ns: insignificant

Bảng kết quả trên chỉ ra chỉ số Shannon tính từ thực địa và được tính từ ảnh NDVI theo các cửa sổ đều có tương quan thuận, tuy vậy mối tương quan là rất thấp. Tương quan cao nhất với được tìm thấy ở cửa sổ 9x9 với hệ số tương quan là 0,033, thấp nhất là ở cửa sổ 5x5 với hệ số tương quan là 0,008. Tuy nhiên tất cả các mối tương quan đều chưa có ý nghĩa thống kê. Khare và cộng sự (2017) giữ nguyên kích thước cửa sổ 3x3 nhưng tăng độ phân giải ảnh vệ tinh từ trung bình (Landsat 8) đến cao (RapidEye) và siêu cao (Pléiades 1A) để định lượng các chỉ số đa dạng sinh học. Mặc dù mối tương quan giữa ước lượng và thực tiễn chưa được đề cập bởi các tác giả này, tuy vậy các tác giả đã so sánh các chỉ số đa dạng ước lượng theo đặc điểm của thảm phủ theo mức độ dày đặc, trung bình, và thưa thớt với NDVI. Kết quả chỉ ra có mối tương quan nghịch giữa NDVI trung bình của từng khu vực thảm phủ với chỉ số đa dạng loài được tính từ ảnh NDVI.

Mối tương quan giữa ảnh vệ tinh và số lượng loài cũng đã được thử nghiệm trong một nghiên cứu khác được thực hiện bởi Nguyễn Thị Thanh Hương và Châu Thị Như Quỳnh (2016). Các tác giả đã kiểm tra mối tương quan giữa các band của ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI và số lượng loài thực vật thân gỗ, tuy nhiên kết quả cũng chưa tìm ra mối tương quan đáng kể trong phân tích này. Điều này cho thấy ước lượng chỉ số đa dạng thực vật dựa vào ảnh vệ tinh vẫn đang là một thách thức lớn cần được quan tâm. Các chỉ số ảnh vệ tinh liên quan đến thực vật, loại ảnh vệ tinh (như ảnh siêu phổ), độ phân giải ảnh (độ phân giải cao đến rất cao), cũng như đặc điểm thảm phủ theo các mức độ tác động... cần được thử nghiệm tiếp tục để tìm ra giải pháp hiệu quả trong việc áp dụng ảnh vệ tinh để xây dựng bản đồ đa dạng sinh học nhằm hỗ trợ trong công tác quản lý rừng cũng như bảo tồn đa dạng sinh học.

4. Kết luận

Đa dạng loài thực vật thân gỗ được ước tính cho 6 khu vực rừng nghiên cứu tại Đăk Nông, kết quả cho thấy thực vật thân gỗ tại Đăk Nông vẫn còn rất đa dạng, cụ thể trong 152 ô mẫu phát hiện 477 loài thực vật thân gỗ thuộc 65 họ, 150 chi. Chỉ số đa dạng Shannon – Weiner dao động từ 1770 đến 3953, chỉ số Simpson ở hầu hết các khu vực đều cao hơn 0,9. Mặc dù phân tích tương quan giữa chỉ số Shannon – Weiner tính từ ảnh NDVI và tính từ thực địa chưa tìm thấy mối quan hệ ý nghĩa, song chiều hướng tương quan cũng phần nào chỉ ra có khả năng ứng dụng ảnh vệ tinh trong ước lượng đa dạng loài để thành lập bản đồ đa dạng sinh học. Kết quả cũng chỉ ra cần có các thử nghiệm theo các hướng khác nhau như sử dụng các loại ảnh vệ tinh có độ phân giải cao, ảnh siêu phổ, các chỉ số ảnh khác... để tìm ra mối tương quan tốt hơn để thành lập bản đồ đa dạng sinh học phục vụ cho công tác quản lý cũng như bảo tồn đa dạng sinh học.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **Lời cảm ơn:** Nghiên cứu là một phần trong Dự án nghiên cứu Chương trình Quan hệ Đối tác nhằm Thúc đẩy Tham gia Nghiên cứu (PEER – Partnership for Enhanced Engagement in Research) của Chính phủ Hoa Kỳ nhằm tài trợ nghiên cứu khoa học tại nước đang phát triển. Chương trình được tài trợ bởi cơ quan phát triển USAID và do Viện Khoa học Quốc gia Hoa Kỳ (NAS) quản lí. Các tác giả chân thành cảm ơn tất cả những người tham gia việc điều tra thu thập dữ liệu, đặc biệt là các đơn vị quản lí rừng, các cơ quan quản lí thuộc tỉnh Đắk Nông và Chương trình tài trợ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Carmel Y. and Kadmon R., “Effects of grazing and topography on long – term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel,” *Plant Ecology*, no. 2, pp. 243-254, 1999.
- [2] Palmer M.W., Earls P., Hoagland B.W., White P.S. and Wohlgemuth T., “Quantitative tools for perfecting species lists,” *Environmetrics*, vol. 13, no. 2, pp. 121-137, 2002.
- [3] Rocchini D., Balkenhol N., Carter G.A., Foody G.M., Gillespie T.W., He K.S., Kark S., Levin N., Lucas K., Luoto M., Nagendra H., Oldeland J., Ricotta C., Southworth J., and Neteler M. “Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: recent advances and open challenges,” *Ecological*, vol. 5, no. 5, pp. 318-329, 2010.
- [4] Rocchini D., Delucchi L., Bacaro G., Cavallini P., Feilhauer H., Foody G.M., He K.S., Nagendra H., Porta C., Ricotta C., Schmidtlein S., Spano L. D., Wegmann M., and Neteler M., “Calculating landscape diversity with information-theory based indices: a GRASS GIS solution,” *Ecological Informatics*, vol. 17, pp. 82-93, 2013.
- [5] Rocchini D., Hernández-Stefanoni J.L., and He K. S., “Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: a conceptual review,” *Ecological Informatics*, vol. 25, pp. 22-28, 2015.
- [6] Rocchini D., Delucchi L., and Bacaro G., “The power of generalized entropy for biodiversity assessment by remote sensing: an open source approach,” in *48th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society - SIS2016*, University of Salerno, Fiscia, 2016.
- [7] Khare S., Latifi H., and Ghosh S. K., “Multi-scale assessment of invasive plant species diversity using Pléiades 1A, RapidEye and Landsat-8 data,” *Geocarto International*, pp. 1-18, 2017.
- [8] Margalef R. F., “Information theory in ecology,” *International Journal of General Systems*, vol. 3, pp. 36-71, 1958.
- [9] Shannon C. E. and Weiner W., “The Mathematical Theory of Communication University of Illinois Press. Urbana, USA,” 1949.
- [10] Clarke K. R., and Warwick R. M., *Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd ed.: Plymouth, U.K. : PRIMER-E Ltd., 2001.
- [11] Simpson E. H., *Measurement of diversity*. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1949.

- [12] Suspense A. I., Moutsambote J., Koubouana F., Yoka J., Ndzai S. F., Bouetou-Kadilamio L. N. O., Mampouya H., Jourdain C., Bocko Y., Mantota A. B., Mbemba M., Mouanga-Sokath D., Odende R., Mondzali L. R., Wenina Y. E. M., Ouissika B.C. and Joel L. J., “Tree Species Diversity, Richness, and Similarity in Intact and Degraded Forest in the Tropical Rainforest of the Congo Basin: Case of the Forest of Likouala in the Republic of Congo,” *International Journal of Forestry Research*, vol. 2016, pp. 1-12, 2016.
- [13] Tarakeswara Naidu M., Premavani D., Suthari S. and Venkaiah M., “Assessment of tree diversity in tropical deciduous forests of Northcentral Eastern Ghats, India,” *Geology, Ecology, and Landscapes*, vol. 2, no. 3, pp. 216-227, 2018.
- [14] Nguyễn Thị Thanh Hương and Châu Thị Như Quỳnh, “Influence of elevations on woody tree species diversity in Nam Kar Natural Reserve of Daklak province, Vietnam,” *J. Viet. Env.*, vol. 8, pp. 95-101, 2016.