

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN**



PHAN THỊ HẰNG

**ỨNG DỤNG ĐA PHƯƠNG PHÁP TRONG NGHIÊN CỨU
CÁC LOÀI THỰC VẬT THÂN GỖ QUÝ HIẾM TẠI VƯỜN
QUỐC GIA TÀ ĐÙNG, TỈNH ĐẮK NÔNG**

Ngành: Lâm sinh

Mã số: 9 62 02 05

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP

Đắk Lắk, năm 2025

Công trình hoàn thành tại:
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Nguyễn Thị Thanh Hương

Người hướng dẫn 2: PGS.TS. Lưu Hồng Trường

Phản biện 1: PGS.TS Lê Xuân Trường, Trường Đại học Lâm Nghiệp Việt Nam

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Thị Hồng Diệp, Trường Đại học Cần Thơ

Phản biện 3: TS. Trần Lâm Đồng, Viện Lâm Nghiệp Việt Nam

Luận án sẽ bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường, họp tại:

Vào hồi 8 giờ 15 phút, ngày 22 tháng 11 năm 2025

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện: Thư viện quốc gia Việt Nam và thư viện Trường Đại học Tây Nguyên

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của luận án

Biến đổi khí hậu và suy giảm sinh cảnh đang làm suy giảm số lượng và chất lượng các loài thực vật thân gỗ quý hiếm, qua đó tác động tiêu cực đến đa dạng sinh học rừng. Trong bối cảnh đó, bảo tồn nhóm loài này trở thành yêu cầu cấp thiết, song các nghiên cứu tích hợp viễn thám, GIS và học máy để phân tích và dự báo phân bố của các loài này dưới tác động của biến đổi khí hậu vẫn còn hạn chế. Tại Vườn Quốc gia Tà Đùng – khu vực có giá trị đa dạng sinh học cao – đến nay chưa có nghiên cứu toàn diện ứng dụng các công nghệ hiện đại nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu định lượng, mô hình dự báo phân bố tiềm năng và xác định các điểm nóng ưu tiên cho bảo tồn. Xuất phát từ khoảng trống này, luận án hướng tới cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quy hoạch, quản lý và bảo tồn bền vững các loài thực vật thân gỗ quý hiếm trong bối cảnh khí hậu đang biến đổi.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- + Phân loại và xác định trạng thái rừng theo mức tác động tại VQG Tà Đùng dựa vào ảnh vệ tinh.

- + Ứng dụng mô hình phân bố loài (SDMs) nhằm hỗ trợ công tác điều tra và khảo sát thực địa.

- + Đánh giá đặc điểm đa dạng sinh học của các lâm phần tại VQG Tà Đùng.

- + Phân tích tác động của kịch bản biến đổi khí hậu đến sự thay đổi phân bố của các loài TGQH, qua đó nhận diện nguy cơ suy giảm đa dạng sinh học trong tương lai.

- + Xác định các vùng ưu tiên về đa dạng sinh học, từ đó đề xuất giải pháp bảo tồn và định hướng quản lý, sử dụng bền vững tài nguyên rừng tại VQG Tà Đùng.

3. Phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là 10 loài cây gỗ TGQH: Xá xị (*Cinnamomum balansae*), Dầu baid (*Dipterocarpus baudii*), Trầm hương (*Aquilaria crassna*), Dầu hasselt (*Dipterocarpus hasseltii*), Hồng quang (*Rhodoleia championii*), Thông tre (*Podocarpus neriifolius*), Thông nằng (*Dacrycarpus imbricatus*), Dẻ langbian (*Quercus langbianensis*), Sồi ba cạnh (*Trigonobalanus verticillata*), và Trám nâu (*Canarium littorale*).

Phạm vi không gian: Tại VQG Tà Đùng, tỉnh Lâm Đồng

4. Những đóng góp mới của đề tài

Luận án đóng góp một số điểm mới trong nghiên cứu sinh thái và bảo tồn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm. Thứ nhất, luận án áp dụng cách tiếp cận liên ngành, tích hợp dữ liệu thực địa với viễn thám, GIS, học máy và phân tích thống kê, góp phần nâng cao độ tin cậy trong phân tích đa dạng sinh học và mô hình hóa phân bố loài. Thứ hai, kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi và hiệu quả của mô hình phân bố loài (SDMs) đối với các loài TGQH có mật độ thấp ở quy mô vườn quốc gia, hỗ trợ giám sát sinh cảnh và quy hoạch bảo tồn. Thứ ba, luận án xây dựng mô hình dự báo phân bố tiềm năng cho 10 loài TGQH dưới kịch bản biến đổi khí hậu SSP5-8.5 trong thế kỷ XXI, qua đó chỉ ra xu hướng thu hẹp sinh cảnh và cung cấp cơ sở khoa học cho các chiến lược bảo tồn thích ứng tại địa phương.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Luận án góp phần hoàn thiện cách tiếp cận tích hợp giữa dữ liệu thực địa, viễn thám, GIS và mô hình SDMs trong nghiên cứu đa dạng sinh học, cho phép xác định sinh cảnh tiềm năng, dự báo phân bố loài dưới tác động biến đổi khí hậu và nhận diện các khu vực ưu tiên bảo tồn. Kết quả cung cấp cơ sở dữ liệu khoa học phục vụ quản lý, giám sát và

bảo tồn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng và có khả năng áp dụng cho các hệ sinh thái rừng tự nhiên khác ở Việt Nam.

6. Kết cấu luận án

Luận án có 150 trang với 20 Bảng và 62 Hình. Gồm có phần Mở đầu (5 trang), Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu (25 trang), Chương 2: Đối tượng, phạm vi, nội dung và phương pháp nghiên cứu (26 trang), Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận (76 trang), Kết luận, tồn tại và kiến nghị (3 trang); Danh mục các công trình khoa học đã công bố của tác giả (1 trang), Tài liệu tham khảo (14 trang); và Phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

- 1.1. Khái niệm và ý nghĩa của thực vật thân gỗ quý hiếm.
- 1.2. Tổng quan về viễn thám và GIS trong nghiên cứu tài nguyên rừng.
 - 1.2.1. Nguyên lý và ứng dụng cơ bản.
 - 1.2.2. Khái quát ảnh Sentinel-2A trong phân tích trạng thái rừng.
 - 1.2.3. Phân loại ảnh vệ tinh bằng thuật toán phân loại Support Vector Machine (SVM).
- 1.3. Tổng quan về nghiên cứu đa dạng sinh học của thực vật thân gỗ.
 - 1.3.1. Các chỉ số đa dạng sinh học trong đánh giá quần xã rừng
 - 1.3.2. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong nghiên cứu đa dạng sinh học.
- 1.4. Ứng dụng mô hình phân bố loài (SDMs) trong dự báo phân bố tiềm năng và xác định điểm nóng đa dạng sinh học dưới các kịch bản biến đổi khí hậu.
 - 1.4.1. Khái niệm về kịch bản biến đổi khí hậu và các biến khí hậu
 - 1.4.2. Giới thiệu về mô hình SDMs.

1.4.3. Ứng dụng mô hình SDMs trong dự báo phân bố loài và xác định các điểm nóng đa dạng sinh học

1.5. Thảo luận

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu.

+ 10 loài TV TGQH như sau: Xá xị (*Cinnamomum balansae*), Dầu baid (*Dipterocarpus baudii*), Trầm hương hay còn gọi là Gió bầu (*Aquilaria crassna*), Dầu hasselt (*Dipterocarpus hasseltii*), Hồng quang (*Rhodoleia championii*), Thông tre hay còn gọi là thông tre lá dài (*Podocarpus neriifolius*), Thông nạng (*Dacrycarpus imbricatus*), Dẻ langbian (*Quercus langbianensis*), Sồi ba cạnh (*Trigonobalanus verticillata*) và Trám nâu (*Canarium littorale*).

2.2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu.

2.2.1. Nội dung nghiên cứu

(i) Phân loại và xây dựng bản đồ trạng thái rừng dựa vào ảnh vệ tinh;

(ii) Ứng dụng mô hình SDMs để xác định vùng sinh thái tiềm năng, hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa;

iii) Tính toán chỉ số đa dạng sinh học và phân tích tác động của địa hình đến đa dạng sinh học của lâm phần;

(iv) Dự báo phân bố tiềm năng của các loài TGQH theo các kịch bản biến đổi khí hậu trong tương lai;

(v) Xác định điểm hotspots đa dạng sinh học và đề xuất giải pháp bảo tồn các loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng.

2.2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.2.1. Phương pháp luận

Nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận tích hợp giữa viễn thám, GIS, học máy và dữ liệu thực địa để phân tích phân bố, đa dạng sinh học và định hướng bảo tồn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

2.2.2.2. Phương pháp cụ thể

A) Cơ sở lựa chọn đối tượng nghiên cứu.

Việc lựa chọn đối tượng nghiên cứu tại VQG Tà Đùng được thực hiện từ 21 loài cây gỗ quý hiếm thông qua kết hợp MCDA và PRA, dựa trên năm nhóm tiêu chí về cơ sở khoa học–pháp lý, đặc thù sinh thái, giá trị kinh tế–văn hóa, độ tin cậy dữ liệu và ưu tiên quản lý. Kết quả xác định 10 loài tiêu biểu, bao gồm cả các loài có nguy cơ suy giảm cao theo đánh giá thực địa, bảo đảm tính khoa học và khách quan cho nghiên cứu và công tác bảo tồn.

B) Phát triển cơ sở dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu không gian và phi không gian từ nhiều nguồn, gồm bản đồ hiện trạng rừng và địa hình, 19 biến khí hậu hiện tại và kịch bản SSP5-8.5 (CMIP6), ảnh Sentinel-2A và NDVI, dữ liệu địa hình–đất, cùng dữ liệu thực địa với 584 điểm hiện diện loài và 100 ô mẫu.

C) Phân loại và xây dựng bản đồ trạng thái rừng dựa vào ảnh vệ tinh
Ảnh Sentinel-2A năm 2022 (mùa khô–mưa) tại VQG Tà Đùng được thu thập từ Google Earth Engine và tiền xử lý để lựa chọn 17 cảnh ảnh. Sáu kênh phổ chính, NDVI và biến địa hình được chuẩn hóa; mặt nạ rừng tự nhiên được xây dựng bằng phân loại SVM. Tổng cộng 600 điểm mẫu được dùng huấn luyện–kiểm định (65:35), độ chính xác đánh giá bằng OA, UA, PA và Kappa; bản đồ kết quả được biên tập trên QGIS và ArcGIS

D) Ứng dụng mô hình SDMs để xác định vùng sinh thái tiềm năng, hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa

Mô hình MaxEnt được sử dụng để dự báo vùng sinh cảnh tiềm năng cho 10 loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng, dựa trên 156 điểm hiện diện loài và các biến môi trường (khí hậu, địa hình, thảm phủ, NDVI, pH đất). Sau phân tích cộng tuyến bằng Pearson, PCA và Jackknife, 10 biến đại diện được lựa chọn để xây dựng mô hình. Hiệu suất mô hình được đánh giá bằng AUC với xác thực chéo k-fold = 10 (tỷ lệ huấn luyện/kiểm định 70:30); kết quả được phân loại thành bốn mức độ phù hợp sinh cảnh và kiểm chứng bằng điều tra thực địa tại các vùng dự báo có và không có loài.

E) Phương pháp thiết lập ô mẫu, thu thập dữ liệu thực địa

Tuyến điều tra và vị trí ô tiêu chuẩn được xác định dựa trên kết quả mô hình SDMs kết hợp với thông tin thu thập từ thảo luận có sự tham gia của cán bộ VQG và cộng đồng địa phương. Các ô tiêu chuẩn (OTC) được bố trí theo tuyến địa hình từ chân núi lên các đai cao theo phương pháp bán định hướng. Tổng cộng 100 OTC (30×30 m), tương ứng kích thước 3×3 pixel ảnh Sentinel-2A, được thiết lập; trong đó có 65 ô mới và 35 ô kế thừa từ các nghiên cứu trước. Trong mỗi ô, các cá thể cây gỗ có $D1.3 \geq 6$ cm được điều tra, định danh với sự tham gia của chuyên gia thực vật học, sử dụng thiết bị đo chuyên dụng nhằm bảo đảm độ chính xác số liệu.

F) Tính toán chỉ số đa dạng sinh học và phân tích tác động của địa hình đến đa dạng sinh học của lâm phần.

Đa dạng sinh học được đánh giá thông qua các chỉ số *IVI*, Margalef (*d*), Shannon–Wiener (*H'*), Simpson (*D*) và chỉ số loài hiếm (*IR*), tính toán bằng gói vegan trong RStudio. Ảnh hưởng của địa hình được phân tích dựa trên dữ liệu độ cao và độ dốc trích xuất từ DEM

(30 *30m), phân chia theo các đai cao và nhóm độ dốc; mức độ tương đồng thành phần loài được đánh giá bằng chỉ số Jaccard và phương pháp phân cụm Ward.D2, kết hợp phân tích NMDS để nhận diện biến đổi cấu trúc lâm phần.

F) Dự báo phân bố tiềm năng của các loài TGQH theo các kịch bản biến đổi khí hậu trong tương lai.

Mô hình MaxEnt trong phần mềm RStuido được sử dụng để dự báo sinh cảnh tiềm năng cho 10 loài nghiên cứu dưới các kịch bản biến đổi khí hậu, dựa trên 584 điểm hiện diện loài và 10 biến môi trường chính được lựa chọn thông qua phân tích Pearson, PCA và Jackknife. Dữ liệu khí hậu tương lai theo kịch bản SSP5-8.5 được khai thác từ hai mô hình CMIP6 (EC-Earth3-Veg, HadGEM3-GC31-LL) cho giai đoạn 2021–2100. Mô hình được huấn luyện–kiểm định theo tỷ lệ 70:30 với xác thực chéo $k = 10$, đánh giá bằng AUC và phân loại kết quả thành bốn mức độ sinh cảnh tiềm năng.

G) Xác định điểm hotspots đa dạng sinh học và đề xuất giải pháp bảo tồn các loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng

Các điểm nóng đa dạng sinh học được xác định bằng phân tích chồng lớp giữa phân bố tiềm năng loài, trạng thái rừng và mức độ tác động của con người, làm cơ sở phối hợp với Ban Quản lý VQG Tà Đùng đề xuất các giải pháp bảo tồn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm phù hợp với điều kiện địa phương.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân loại và xây dựng bản đồ trạng thái rừng dựa vào ảnh vệ tinh.

3.1.1. Tiền xử lý ảnh và tạo mặt nạ rừng.

Tổng cộng 17 cảnh ảnh đủ điều kiện (tỷ lệ che phủ mây dưới 30%) đã được lựa chọn. Ảnh ở mức xử lý Level-1C được hiệu chỉnh hình

học theo mô hình số độ cao (DEM) và đăng ký không gian với sai số dưới 1 pixel. Bộ dữ liệu gồm sáu kênh phổ chính (B2, B3, B4, B8, B11, B12), các biến địa hình (độ cao, độ dốc) và chỉ số NDVI; sau khi áp dụng mặt nạ mây–bóng mây, dữ liệu ảnh được tổng hợp trung bình theo mùa khô và mùa mưa.

Kết quả tại hình 3.2 trong luận án cho thấy diện tích rừng tự nhiên chiếm 17.261,97 ha (78,54%) trong tổng số 21.977,42 ha của VQG Tà Đùng.

3.1.2. Phân loại trạng thái rừng và đánh giá kết quả phân loại.

3.1.2.1. Xây dựng bộ mẫu giải đoán.

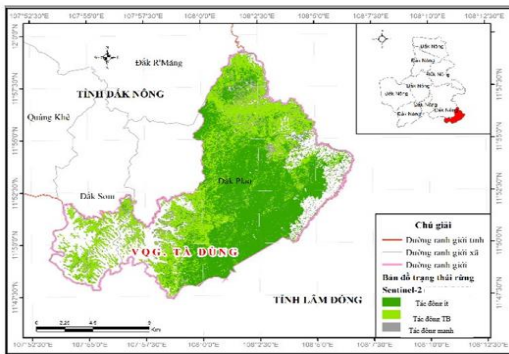
600 điểm mẫu được phân loại thành: (i) Rừng bị tác động ít; (ii) Rừng bị tác động trung bình; (iii) Rừng bị tác động mạnh. Trong đó 390 điểm (65%) dùng để huấn luyện mô hình SVM và 210 điểm (35%) dùng để kiểm định độ chính xác.

3.1.2.2. Phân loại trạng thái rừng theo mức độ tác động.

Kết quả tối ưu tham số cho mô hình SVM cho thấy tổ hợp $C = 256$ và $\gamma = 1.0$ đạt hiệu quả cao nhất với sai số phân loại 0,055, tương ứng độ chính xác 94,5% (Bảng 3.2, trong luận án). Đánh giá bằng kiểm định chéo k-fold ($k = 10$) cho thấy mô hình đạt độ chính xác tổng thể (OA) 85,24% và hệ số Kappa 0,90, phản ánh mức độ phù hợp cao giữa kết quả phân loại và dữ liệu thực tế (Bảng 3.3, Hình 3.5 trong luận án). Kết quả phân loại trạng thái rừng dưới mặt nạ rừng tự nhiên (Bảng 3.3) cho thấy trong tổng diện tích 17.261,97 ha, rừng ít bị tác động chiếm 62%, rừng bị tác động trung bình chiếm 20% và rừng bị tác động mạnh chiếm 18%.

Bảng 3.3. Đánh giá độ chính xác từng lớp phủ trạng thái rừng

SE-2A	Rừng bị TĐ ít	Rừng bị TĐ TB	Rừng bị TĐ mạnh	Tổng	User's Accuracy (%)
Rừng bị TĐ ít	92	3	5	100	92,0
Rừng bị TĐ TB	3	50	7	60	83,3
Rừng bị TĐ mạnh	5	8	37	50	74,0
Tổng	100	61	49	210	
Producer's Accuracy (%)	92,0	82,0	75,5	Overall Accuracy: 85,24% Kappa Coefficient: 0,76	



Hình 3.5. Bản đồ thăm phủ rừng VQG Tà Đùng

3.2. Ứng dụng mô hình SDMs để xác định vùng sinh thái tiềm năng, hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa.

3.2.1. Cơ sở dữ liệu để xây dựng mô hình SDMs hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa.

3.2.1.1. Biến sinh thái và khí hậu.

25 lớp dữ liệu môi trường đã được thu thập và xử lý để xây dựng mô hình SDMs cho 10 loài (Hình 3.6 và Hình 3.7 trong luận án)

3.2.1.2. Dữ liệu về điểm hiện diện của loài cây gỗ quý hiếm

Tổng cộng 156 điểm hiện diện được thể hiện tại hình 3.8 trong luận án.

3.2.2. Phân tích mức độ đa cộng tuyến của các biến dữ liệu.

3.2.2.1. Phân tích tương quan Pearson.

Để loại bỏ cộng tuyến, các biến có $|r| > 0,85$ được loại bỏ hoặc gộp nhóm. Kết quả phân tích được thể hiện tại Hình 3.9 trong luận án. Kết quả phân cụm thứ bậc (Hình 3.10 trong luận án) được chia thành ba nhóm chính: Nhóm 1: Gồm các biến nhiệt độ (Bio01, Bio05, Bio06, Bio08, Bio09, Bio10, Bio11); Nhóm 2: Bio02–Bio04, Bio07 và NDVI; Nhóm 3: Là nhóm đa yếu tố, kết hợp giữa các biến địa hình (độ cao, độ dốc, hướng phơi), đất (pH), hiện trạng sinh thái và các biến khí hậu từ Bio12 đến Bio19.

3.2.2.2. Phân tích thành phần chính – PCA

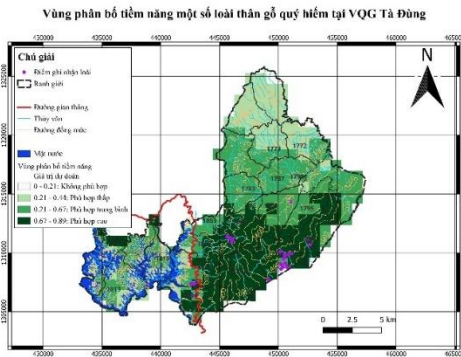
Thông qua phân tích tương quan Pearson và PCA, 16 biến có mức đóng góp nổi bật đã được lựa chọn (Hình 3.11 trong luận án). Nhóm khí hậu (10 biến): Gồm các yếu tố về nhiệt độ và lượng mưa như Bio01, Bio02, Bio03, Bio04, Bio07, Bio12–Bio14, Bio16 và Bio19. Nhóm địa hình và thảm thực vật (6 biến): Gồm Elev, Slope, Aspect, Soil pH, NDVI và hiện trạng sử dụng đất (HienTrang).

3.2.2.3. Kiểm tra mức độ đóng góp của các biến dữ liệu vào việc xây dựng mô hình SDMs.

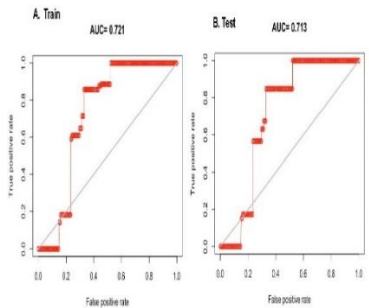
Phân tích Jackknife được sử dụng, kết quả tại Bảng 3.6 và Bảng 3.7 trong luận án đã lựa chọn ra 10 biến: Bio01, Bio03, Bio04, Bio12, Bio16, NDVI, hiện trạng thảm phủ rừng, độ dốc, độ cao, và pH đất là các biến dữ liệu đầu vào để chạy mô phỏng phân bố tiềm năng.

3.2.3. Mô hình hóa vùng sinh thái tiềm năng của các loài TGQH, hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa.

Kết quả mô hình hóa được trình bày tại Hình 3.12 và 3.13 trong luận án, với xác suất phân bố dao động từ 0,21 đến 0,89, chia thành bốn mức độ sinh cảnh: không phù hợp ($< 0,21$), phù hợp thấp (0,21–0,44), phù hợp trung bình (0,44–0,67) và phù hợp cao (0,67–0,89). Mô hình được huấn luyện qua 700 vòng lặp, sử dụng xác thực chéo k-fold ($k = 10$) để tăng độ tin cậy và hiệu suất, chỉ số AUC = 0,7 với khoảng tin cậy 95%.



Hình 3.12. Bản đồ phân bố tiềm năng của 10 loài TGQH tại VQG Tà Đùng



Hình 3.13. Kết quả đánh giá chất lượng mô hình dự đoán

3.2.4. Kiểm định kết quả xây dựng mô hình SDMs

Độ tin cậy của mô hình SDMs được kiểm chứng thông qua khảo sát thực địa tại các khu vực dự báo “có” và “không có” loài. Trên cơ sở bản đồ phân bố sinh thái tiềm năng, 67 ô mẫu có giá trị xác suất từ 0,44–0,89 được lựa chọn để đối chiếu. Kết quả khảo sát cho thấy 91% số ô (61/67 ô) ghi nhận sự hiện diện của ít nhất một loài thực vật thân gỗ quý hiếm (Bảng 3.9 trong luận án), trong khi chỉ 9% không ghi nhận loài (Bảng 3.10 trong luận án), cho thấy độ tin cậy của mô hình SDMs trong dự báo phân bố tiềm năng và hỗ trợ hiệu quả cho thiết kế khảo sát thực địa.

3.3. Tính toán các chỉ số đa dạng sinh học và phân tích tác động của địa hình (độ dốc, độ cao) đến đa dạng sinh học của lâm phần.

3.3.1. Tính toán các chỉ số đa dạng sinh học.

3.3.1.1. Chỉ số IVI của các loài thực vật cây gỗ trong lâm phần

Kết quả phân tích tại bảng 3.11 trong luận án, chỉ số giá trị quan trọng (IVI) cho thấy chỉ có 10 loài cây gỗ đạt $IVI > 5$, trong đó loài Chò xót (*Schima wallichii*) có IVI cao nhất (8,49), thể hiện vai trò ưu thế trong quần xã thực vật. Nhãn rừng (*Walsura elata*) và Trâm trắng (*Syzygium wightianum*) lần lượt đứng thứ hai và ba với IVI là 7,06 và 6,90.

Kết quả phân tích tại bảng 3.12 trong luận án, chỉ số IVI của 10 loài cây gỗ quý hiếm phản ánh mức độ ưu thế sinh thái và vai trò của từng loài trong cấu trúc quần xã rừng tại khu vực nghiên cứu. Trong đó, *Dacrycarpus imbricatus* (Thông nang) có IVI cao nhất (6,37), *Cinnamomum balansae* (Xá xị) và *Rhodoleia championii* (Hồng quang) cũng có IVI tương đối cao, lần lượt là 4,77 và 4,28, phản ánh vai trò nhất định trong quần xã. Tuy nhiên, các loài còn lại, bao gồm *Quercus langbianensis*. (Dẻ langbian), *Dipterocarpus baudii* (Dầu baud), *Canarium littorale* (Trám nâu), *Dipterocarpus hasseltii* (Dầu Hasselt), và *Trigonobalanus verticillata* (Sồi vàng), có IVI dưới 2, thể hiện sự phân bố hạn chế về mặt mật độ và sinh khối.

Đặc biệt, *Podocarpus nerifolius* (Thông tre) và *Aquilaria crassna* (Trầm hương) có IVI rất thấp (0,23 và 0,06), cho thấy đây là những loài hiếm gặp.

3.3.1.2. Chỉ số Margalef (d), Shannon – Wiener (H'), Simpson (D) của lâm phần

Các chỉ số đa dạng sinh học tại VQG Tà Đùng tại Hình 3.16 trong luận án cho thấy mức độ đa dạng cao và ổn định. Cụ thể, chỉ số

Simpson dao động từ 0,98–0,99, phản ánh tính đa dạng cao và tương đồng với các nghiên cứu trong khu vực. Chỉ số Shannon (H') cũng cho thấy xu hướng giảm nhẹ theo kích thước cây: toàn bộ cây gỗ ($H' = 4,82$), cây trung bình ($H' = 4,77$) và cây lớn ($H' = 4,57$), phù hợp với quy luật phân tầng sinh thái. Chỉ số Margalef phản ánh sự phong phú loài cao, đặc biệt ở nhóm cây trung bình ($d = 31,65$) và toàn bộ cây gỗ ($d = 32,62$).

3.3.1.3. Chỉ số loài hiếm của lâm phần

Trong nghiên cứu tại VQG Tà Đùng, có 82/294 loài được xác định là loài ít xuất hiện (chiếm 18%), với chỉ số độ hiếm tương đối là 0,1807.

3.3.2. Phân tích ảnh hưởng của địa hình đến đa dạng TVTG tại VQG Tà Đùng.

3.3.2.1. Phân tích sự tương đồng thành phần loài theo địa hình bằng chỉ số Jaccard và phân cấp Ward.D2

Phân tích thành phần loài theo độ cao chia thành hai nhóm chính: nhóm từ 600–1000m (H2, H3) và nhóm trên 1000m (H4, H5, H6). Chỉ số Jaccard (dj) ở nhóm dưới 1000m đạt khoảng 0,7, trong khi ở nhóm trên 1000m dao động từ 0,4–0,5, phản ánh sự thay đổi về cấu trúc quần xã theo độ cao (Hình 3.17 và Hình 3.18 trong luận án).

3.3.2.2. Phân tích đa chiều phi định lượng NMDS

- Phân tích NMDS theo độ cao

Kết quả tại hình 3.19 và 3.20 trong luận án, cho thấy độ cao ảnh hưởng đến cấu trúc và thành phần loài, phản ánh sự thích nghi của thực vật với điều kiện sinh thái khác nhau. Các sinh cảnh ≥ 1400 m xuất hiện các loài chuyên biệt vùng cao, cần được ưu tiên bảo tồn nhằm duy trì đa dạng sinh học. Vùng chuyển tiếp 1000–1400 m đóng vai trò vùng đệm sinh thái, hỗ trợ kết nối giữa sinh cảnh thấp và cao.

-Phân tích NMDS theo độ dốc

Biểu đồ Shepard xác nhận mô hình NMDS tái hiện tốt cấu trúc dữ liệu phi tuyến với $R^2 = 0.964$. Phân tích cho thấy độ dốc không gây ra sự phân tách rõ ràng về thành phần loài (Hình 3.21 và Hình 3.22 trong luận án)

3.4. Dự báo phân bố tiềm năng của các loài TGQH theo các kịch bản biến đổi khí hậu trong tương lai.

3.4.1. Cơ sở dữ liệu để dự báo phân bố tiềm năng.

- Dữ liệu thực địa: Tổng cộng có 584 điểm phân bố của 10 loài (Bảng 3.13 trong luận án).

Bảng 3.13. Số lượng điểm ghi nhận 10 loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng

STT	Tên loài	Số lượng điểm ghi nhận ngoài thực địa	Tên loài	Số lượng điểm ghi nhận ngoài thực địa
1	Trầm hương	2	Dầu Hasselt	25
2	Trám nâu	25	Sồi vàng	28
3	Xá xị	81	Dẻ langbian	34
4	Thông nạng	99	Thông tre	14
5	Dầu baud	91	Hồng quang	185

- *Dữ liệu sinh thái*: 10 biến đầu vào (Bio01, Bio03, Bio04, Bio12, Bio16, NDVI, hiện trạng thảm phủ rừng, độ dốc, độ cao, và pH đất) để chạy mô phỏng phân bố tiềm năng.

- *Dữ liệu kịch bản biến đổi khí hậu*: EC-Earth3-Veg và HadGEM3-GC31-LL

3.4.2. Dự báo phân bố tiềm năng của các loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng (Hình 3.24 đến Hình 3.33 trong luận án)

- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Trầm hương:** Mô hình thu được có giá trị AUC =0,9 (Hình 3.24)
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Trám nâu:** AUC mô hình đạt 0,84 tại các điểm dùng xây dựng mô hình và đạt 0,8 tại 8 điểm (30%) ghi nhận dùng kiểm tra (Hình 3.25)
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Xá xị:** Giá trị AUC đạt 0.9, cho thấy mô hình có khả năng phân biệt hiệu quả giữa khu vực có và không có loài (Hình 3.26).
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Thông nang:** Mô hình dự đoán có giá trị AUC đạt 0,93 (Hình 3.27).
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Dầu baid:** AUC của mô hình đạt 0,9 cho các điểm dùng chạy mô hình và 0,86 cho các điểm kiểm tra (Hình 3.28).
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Dầu Hasselt:** AUC đánh giá đối với các điểm dùng xây dựng mô hình và điểm kiểm tra đều đạt cao với lần lượt là 0,93 và 0,94 (Hình 3.29).
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Sồi ba cạnh:** Giá trị AUC đánh giá mô hình trên 15 điểm xây dựng và 8 điểm kiểm tra lần lượt là 0,97 và 0,96 (Hình 3.30)
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Dẻ langbian:** Giá trị AUC đạt 0,94 đối với các điểm xây dựng (23 điểm) và 0,92 đối với 11 điểm dùng kiểm tra (Hình 3.31)
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Thông tre:** AUC đánh giá tại 5 điểm xây dựng đạt 0,96 và với 2 điểm kiểm tra là 0,8 (Hình 3.32)
- **Mô hình phân bố tiềm năng của loài Hồng quang:** Giá trị AUC đánh giá mô hình trên 125 vị trí sử dụng xây dựng mô hình và 62 điểm dùng kiểm tra đều đạt 0,78 (Hình 3.33)

3.4.3. Dự báo phân bố tiềm năng của các loài TGQH theo các kịch

bản biến đổi khí hậu trong tương lai (Hình 3.34 đến 3.45 trong luận án)

Kết quả dự báo phân bố tiềm năng của loài Xá xị tại VQG Tà Đùng dưới kịch bản phát thải cao SSP5-8.5 cho thấy xu hướng suy giảm rõ rệt trong suốt thế kỷ XXI. Theo mô hình EC-Earth3-Veg, phạm vi phân bố tiềm năng của loài thu hẹp mạnh trong giai đoạn 2061–2080, với xác suất xuất hiện giảm xuống mức rất thấp, song đến giai đoạn 2081–2100 xuất hiện dấu hiệu phục hồi nhẹ tại một số khu vực trung tâm. Ngược lại, mô hình HadGEM3-GC31-LL dự báo mức độ suy giảm nghiêm trọng hơn, với phần lớn sinh cảnh tiềm năng hiện tại trở nên không phù hợp từ giữa thế kỷ và xu hướng phục hồi vào cuối thế kỷ không rõ ràng (Hình 3.34, Hình 3.35, Hình 3.36 trong luận án).

Kết quả mô phỏng từ hai mô hình khí hậu EC-Earth3-Veg và HadGEM3-GC31-LL cho thấy phần lớn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm có xu hướng suy giảm phạm vi sinh cảnh trong thế kỷ XXI, song mức độ và xu hướng biến động khác nhau giữa các loài.

Nhóm suy giảm nghiêm trọng, nguy cơ mất sinh cảnh cao gồm Trầm hương, Dầu Hasselt, Sồi vàng, Dẻ langbian và Thông tre. Các loài này được dự báo thu hẹp mạnh sinh cảnh từ giữa đến cuối thế kỷ, nhiều khu vực có xác suất xuất hiện giảm xuống dưới 0,1, thậm chí tiệt cận 0 vào giai đoạn 2061–2100, đặc biệt rõ rệt trong mô hình HadGEM3-GC31-LL.

Nhóm suy giảm trung bình, có khả năng phục hồi hoặc ổn định cục bộ gồm Xá xị, Trám nâu và Dầu baud. Các loài này có xu hướng thu hẹp sinh cảnh trong nửa sau thế kỷ, nhưng một số mô hình (đặc biệt EC-Earth3-Veg) ghi nhận dấu hiệu ổn định hoặc phục hồi nhẹ vào giai đoạn 2081–2100, phản ánh tiềm năng thích nghi sinh thái nhất định.

Nhóm tương đối ổn định gồm Thông nài và Hồng quang. Hai loài này chỉ suy giảm nhẹ hoặc gần như duy trì ổn định sinh cảnh trong suốt thế kỷ, với biến động trong phạm vi hẹp; sinh cảnh phù hợp vẫn được bảo tồn ở các khu vực lõi, cho thấy khả năng thích nghi tương đối tốt với biến đổi khí hậu.

Nhìn chung, mô hình HadGEM3-GC31-LL thường dự báo mức độ suy giảm nghiêm trọng hơn so với EC-Earth3-Veg, làm gia tăng rủi ro mất sinh cảnh đối với các loài nhạy cảm. Các kết quả này cho thấy sự phân hóa rõ rệt về khả năng thích ứng giữa các loài, đồng thời nhấn mạnh sự cần thiết của các chiến lược bảo tồn phân loài, ưu tiên các loài và khu vực có nguy cơ cao trong bối cảnh biến đổi khí hậu (Hình 3.36 đến Hình 3.45 trong luận án).

3.4.4. Tác động của biến đổi khí hậu đến phân bố địa lý của 10 loài TGQH tại VQG Tà Đùng.

Kết quả được trình bày tại Bảng 3.13 trong luận án. Kết quả mô hình hóa cho thấy biến đổi khí hậu theo kịch bản phát thải cao SSP5-8.5 sẽ làm suy giảm đáng kể phạm vi phân bố tiềm năng của phần lớn các loài thực vật thân gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng trong thế kỷ XXI. Mức độ suy giảm khác nhau giữa các loài, phản ánh sự phân hóa về khả năng thích nghi sinh thái. Giai đoạn 2061–2080 được xác định là thời kỳ rủi ro cao nhất, khi nhiều loài có nguy cơ thu hẹp mạnh sinh cảnh hoặc mất sinh cảnh cục bộ. Mặc dù một số loài cho thấy dấu hiệu ổn định hoặc phục hồi nhẹ vào cuối thế kỷ, mức phục hồi này không đủ bù đắp tổn thất tích lũy trước đó. So sánh hai mô hình khí hậu cho thấy HadGEM3-GC31-LL dự báo kịch bản tiêu cực hơn so với EC-Earth3-Veg, nhấn mạnh tính bất định và rủi ro cao đối với công tác bảo tồn nếu không có các giải pháp thích ứng kịp thời.

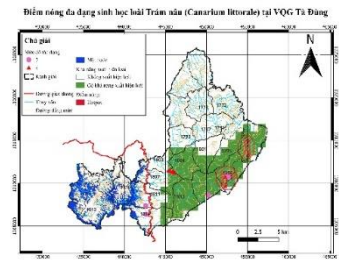
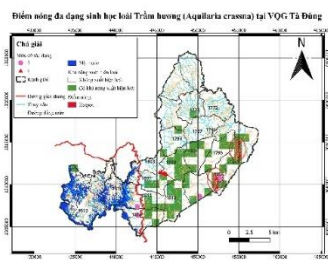
3.5. Xác định điểm hotspots đa dạng sinh học và đề xuất giải pháp bảo tồn các loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng.

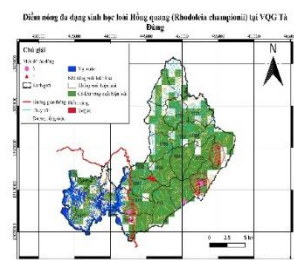
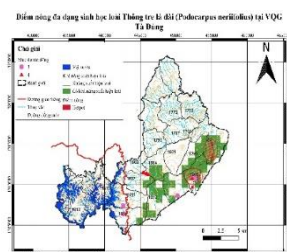
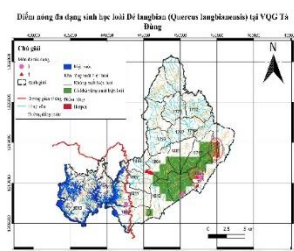
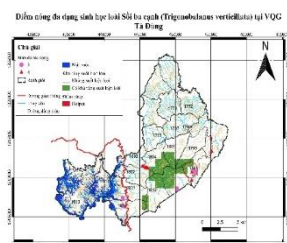
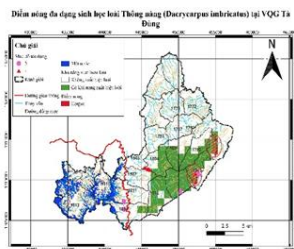
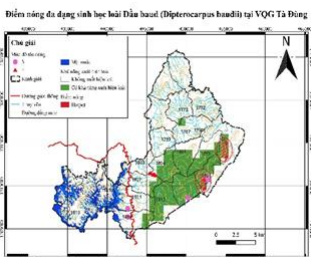
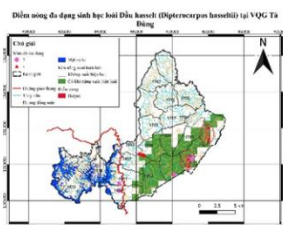
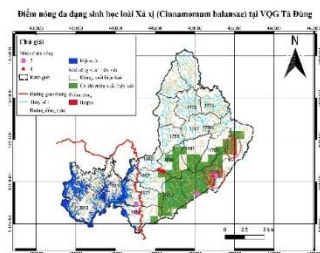
* Xác định điểm hotspots đa dạng sinh học

Kết quả tại hình 3.46 và Bảng 3.15 trong luận án, cho thấy các tiểu khu thường xuyên xuất hiện trong các vùng hotspots của 10 loài quan tâm bao gồm: 1795, 1801, 1805, 1804, 1812, 1811 và 1814

Bảng 3.15. Các tiểu khu ưu tiên bảo tồn theo từng loài quan tâm

Loài	Tiểu khu ưu tiên bảo tồn
Trầm hương	1795, 1805,1804, 1812
Trám nâu	1795, 1805,1804, 1812
Xá xị	1795, 1805,1804, 1812
Thông nạng	1795, 1805, 1804, 1812
Dầu baud	1795, 1805, 1801, 1804, 1812
Dầu hasselt	1795, 1805, 1801, 1804, 1812
Sồi ba cạnh	1805, 1812, 1804
Dẻ langbian	1795, 1805, 1804
Thông tre	1795, 1805,1804, 1812
Hồng quang	1795, 1805, 1812, 1814, 1811, 1804





*** Đề xuất giải pháp bảo tồn tại VQG Tà Đùng dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu.**

Thiết lập hệ thống giám sát rừng thông minh dựa trên GEE, GIS và UAV; khoanh vùng bảo tồn trọng điểm tại các tiểu khu 1795, 1801,

1805, 1804, 1812, 1811 và 1814 kết hợp tuần tra định kỳ và cảnh báo sớm. Ưu tiên phục hồi và quản lý rủi ro tại các khu vực chịu tác động mạnh, đặc biệt phía Tây và Tây Bắc VQG, thông qua trồng bổ sung loài bản địa, xúc tiến tái sinh tự nhiên và kiểm soát cháy rừng, khai thác trái phép. Đồng thời, tích hợp dữ liệu hotspot vào quy hoạch bảo tồn và xây dựng hành lang sinh học kết nối VQG Tà Đùng với các khu bảo tồn lân cận.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. Kết luận: Luận án rút ra một số kết luận chính như sau:

i) *Phân loại và xây dựng bản đồ trạng thái rừng dựa vào ảnh vệ tinh:*

Kết quả phân loại rừng tại VQG Tà Đùng đạt độ tin cậy $OA = 85.24\%$, $Kappa = 0,76$ đối với trạng thái thảm phủ. Diện tích rừng ít bị tác động chiếm 62%, rừng tác động trung bình và rừng tác động mạnh lần lượt là 20% và 18%.

ii) *Ứng dụng mô hình SDMs để xác định vùng sinh thái tiềm năng, hỗ trợ điều tra khảo sát thực địa:* Nghiên cứu đã lựa chọn 10 biến đầu vào (Bio01, Bio03, Bio04, Bio12, Bio16, NDVI, hiện trạng thảm phủ rừng, độ dốc, độ cao và pH đất) để xây dựng mô hình SDMs dự báo phân bố tiềm năng của 10 loài TGQH với kết quả mô hình đạt $AUC = 0,7$, khoảng tin cậy 95% cho thấy độ tin cậy trong đánh giá. Kết quả kiểm chứng thực địa cho thấy 91% ô mẫu dự báo có ghi nhận loài, khẳng định tính khả thi của SDMs trong điều kiện dữ liệu hạn chế và hiệu quả trong tối ưu hóa khảo sát thực địa.

iii) *Tính toán chỉ số đa dạng sinh học và phân tích tác động của địa hình (độ dốc, độ cao) đến đa dạng sinh học của lâm phần:*

Hệ sinh thái rừng tại VQG Tà Đùng được đặc trưng bởi sự ưu thế của các loài phổ biến như Chò xót, Nhãn rừng, Trâm trắng, trong khi 10 loài cây gỗ quý hiếm có giá trị IVI thấp, phản ánh tình trạng suy giảm

quần thể. Quần xã thực vật thể hiện mức độ đa dạng và ổn định cao với các chỉ số Shannon = 4,82, Simpson = 0,99 và Margalef = 32,62, phản ánh tính đa dạng cao đặc trưng của rừng mưa nhiệt đới tại Tà Đùng. Độ cao là yếu tố chi phối chính đến phân hóa thành phần loài, trong khi độ dốc chỉ đóng vai trò thứ yếu. Vùng sinh cảnh trên 1.200m có mức đa dạng sinh học cao hơn, trong khi các khu vực thấp (<1.000m) bị suy giảm thành phần loài do ảnh hưởng từ các hoạt động của con người.

vi) *Dự báo phân bố tiềm năng của các loài TGQH theo các kịch bản biến đổi khí hậu trong tương lai:* Thuật toán MaxEnt đã dự báo hiệu quả vùng phân bố tiềm năng của các loài cây gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng với AUC giao động từ 0,78–0,97, khoảng tin cậy 95% cho thấy độ tin cậy trong đánh giá. Kết quả chỉ ra rằng phần lớn các loài tập trung ở phía Đông–Đông Nam và trung tâm VQG. Dưới kịch bản biến đổi khí hậu SSP5-8.5, cả hai mô hình khí hậu (EC-Earth3-Veg, HadGEM3-GC31-LL) đều dự báo sự suy giảm mạnh phạm vi phân bố trong thế kỷ XXI, đặc biệt giai đoạn 2061–2080. Các loài như Sồi ba cạnh, Trầm hương, Dầu hasselt, Dẻ langbian và Thông tre có nguy cơ suy giảm nghiêm trọng, trong khi Xá xị, Trám nâu, Dầu baud, Thông nạng và Hồng quang cho thấy khả năng thích nghi và phục hồi cục bộ vào cuối thế kỷ.

v) *Xác định điểm hotspots đa dạng sinh học và đề xuất giải pháp bảo tồn các loài nghiên cứu tại VQG Tà Đùng:*

Các tiểu khu 1795, 1801, 1805, 1804, 1812, 1811 và 1814 là những khu vực ưu tiên về bảo tồn đa dạng sinh học.

Các ứng dụng và giải pháp bảo tồn tại VQG Tà Đùng trong bối cảnh biến đổi khí hậu như sau:

+ Thiết lập hệ thống giám sát rừng thông minh dựa trên nền tảng GEE, QGIS và UAV/Drone.

+ Khoanh vùng bảo tồn trọng điểm tại các tiểu khu 1795, 1801, 1805, 1804, 1812, 1811 và 1814, kết hợp với chốt bảo vệ, tuần tra định kỳ và UAV để giám áp lực xâm lấn.

+ Hỗ trợ giám sát và tuần tra thông qua dữ liệu bản đồ phân bố tiềm năng và hotspots, xây dựng thiết kế tuyến tuần tra và lắp đặt thiết bị cảnh báo sớm suy thoái sinh cảnh.

+ Ưu tiên phục hồi và quản lý rủi ro tại các khu vực phía Tây và Tây Bắc của VQG – nơi sinh cảnh ít phù hợp, cùng một số tiểu khu có mức độ tác động cao như 1795, 1801, 1805, 1804, 1812, 1811 và 1814– cần được đưa vào kế hoạch phục hồi rừng (trồng bổ sung cây bản địa, xúc tiến tái sinh tự nhiên). Đồng thời, cần triển khai biện pháp quản lý rủi ro, bao gồm kiểm soát cháy rừng, khai thác trái phép và chuyển đổi mục đích sử dụng đất, nhằm giảm thêm áp lực đối với các sinh cảnh vốn đã nhạy cảm.

+ Tích hợp quy hoạch bảo tồn bằng cách đưa dữ liệu hotspots vào quy hoạch bảo tồn phát triển của VQG, đồng thời xây dựng hành lang sinh học kết nối Tà Đùng với các khu bảo tồn lân cận.

Các giải pháp bảo tồn tại VQG Tà Đùng được định hướng theo cách tiếp cận tổng hợp, kết hợp giữa thiết lập các vùng bảo tồn nghiêm ngặt, phục hồi sinh cảnh và ứng dụng công nghệ hiện đại trong giám sát – quản lý.

B. Kiến nghị:

* **Tồn tại:** Bên cạnh những kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế. Thứ nhất, phạm vi phân tích mới chỉ tập trung vào 10/21 loài cây gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng, nên chưa phản ánh đầy đủ tính đa dạng loài. Thứ hai, việc kiểm chứng mô hình chủ yếu thực

hiện ở các khu vực có xác suất phân bố cao, trong khi các vùng tiềm năng thấp và trung bình chưa được khảo sát toàn diện. Thứ ba, kiểm chứng thực địa đối với các điểm vắng mặt còn hạn chế, có thể ảnh hưởng đến độ đặc hiệu của mô hình. Cuối cùng, nghiên cứu mới sử dụng MaxEnt mà chưa đối sánh với các mô hình khác (RF, GAM, Ensemble...), do đó chưa xác định được mô hình tối ưu nhất.

*** Kiến nghị:**

Để nâng cao hiệu quả nghiên cứu và bảo tồn, các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng phạm vi sang toàn bộ 21 loài cây gỗ quý hiếm tại VQG Tà Đùng, tăng cường kiểm chứng thực địa ở các khu vực có xác suất phân bố thấp, và thử nghiệm nhiều mô hình dự báo khác nhau (RF, GAM, BIOMOD2, Ensemble) bên cạnh MaxEnt. Ngoài ra, việc tích hợp thêm các biến môi trường động và yếu tố kinh tế – xã hội sẽ giúp phân tích toàn diện hơn.

Về quản lý, cần xây dựng mạng lưới giám sát dài hạn ứng dụng UAV, LiDAR, dữ liệu vệ tinh; khoanh vùng bảo tồn trọng điểm và phục hồi sinh cảnh bằng loài bản địa; đồng thời tích hợp bản đồ hotspots và phân bố tiềm năng vào quy hoạch nhằm hình thành hành lang sinh học liên vùng.

Ở cấp cộng đồng và chính sách, nên thúc đẩy bảo tồn dựa vào cộng đồng gắn với sinh kế bền vững, tăng cường kiểm soát khai thác trái phép, mở rộng hợp tác kỹ thuật – tài chính, và phát triển chiến lược thích ứng biến đổi khí hậu để bảo đảm tính bền vững lâu dài cho hệ sinh thái rừng.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

A. Tạp chí

1. Application of species distribution models to predict the distribution model of *Cinnamomum balansae* Lecomte in Ta Dung National Park, Dak Nong, Viet Nam. International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA). ISSN: 2455-7137. Volume – 09, Issue – 09, September 2024, PP – 01-11. DOI.10.56581/IJLERA.9.9.01-11. IF=2,105

2. Classification of forest cover of Ta Dung National Park, Vietnam using optical satellite images. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1391 012018. DOI 10.1088/1755-1315/1391/1/012018.SCOPUS

3. Đánh giá hiệu suất của ảnh vệ tinh Sentinel 2A và PlanetScope trong phân loại thảm phủ rừng tại Vườn Quốc gia Tà Đùng, Đắk Nông, Việt Nam. Tạp chí Khoa học Lâm Nghiệp. Số 02.2024. Page: 84-98

4. Ứng dụng của công nghệ viễn thám và GIS trong việc mô hình hóa không gian phân bố thực vật thích ứng với biến đổi khí hậu. Tạp chí Khoa học Lâm Nghiệp. Số 04.2024. Page: 93-113.

5. Assessment of stand structure characteristics in forest compartments containing *Cinnamomum balansae* in Ta Dung National Park, Dak Nong Province, Viet Nam. International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA). ISSN: 2455-7137. pp 01 - 12, Vol 10 - No. 03, 2025. 10.56581/IJLERA.10.3.01-12. IF=2,105

B. Bài báo hội thảo Quốc tế

1. “Application of GIS technology, remote sensing, and data analysis for studying woody plant biodiversity in Ta Dung National Park, Dak Nong”, hội thảo ASTRA 2024 (2nd National Conference on Advances in Science and Technology for Regenerative Agriculture) do Viện Công nghệ Bannari Amman, Sathyamangalam, Ấn Độ, hợp tác với Đại học Brunei Darussalam tổ chức (đã có chấp nhận đăng của của Ban tổ chức hội thảo).