

ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ VIỄN THĂM VÀ GIS TRONG VIỆC MÔ HÌNH HÓA KHÔNG GIAN PHÂN BỐ THỰC VẬT THÍCH ỨNG VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Phan Thị Hằng, Nguyễn Thị Thanh Hương

Trường Đại học Tây Nguyên

TÓM TẮT

Ứng dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong mô hình hóa không gian phân bố thực vật đóng vai trò then chốt trong giám sát và quản lý tài nguyên thực vật, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp. Hiện nay, nghiên cứu về việc sử dụng công nghệ này đang được quan tâm rộng rãi và trở thành ưu tiên của nhiều nhà khoa học trên toàn cầu. Bài viết này tập trung vào việc phân tích vai trò và tìm ra một số thách thức của việc áp dụng công nghệ viễn thám và GIS trong xây dựng mô hình hóa không gian phân bố thực vật. Bằng cách tổng hợp và phân tích 104 tài liệu hiện có, bài viết đã cung cấp một cái nhìn tổng quan về những lợi ích vượt trội của công nghệ này, bao gồm khả năng thu thập dữ liệu rộng khắp và chi tiết, cập nhật liên tục, tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, hiệu quả về thời gian và chi phí, cũng như khả năng dự báo và đánh giá tác động môi trường. Tuy nhiên, việc áp dụng công nghệ viễn thám và GIS cũng đối mặt với nhiều thách thức như độ phân giải và độ chính xác của dữ liệu còn hạn chế, yêu cầu cao về kỹ thuật và công nghệ, những khó khăn trong việc thu thập dữ liệu môi trường và sự phức tạp trong phân tích dữ liệu. Để giải quyết những thách thức này và định hướng cho các nghiên cứu trong tương lai, bài viết đề xuất một số giải pháp như nâng cao độ phân giải và chất lượng dữ liệu, tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu, tăng cường khả năng dự báo, cũng như thúc đẩy hợp tác và chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan nghiên cứu.

Từ khóa: Viễn thám và GIS, SDMs, MaxEnt, dự báo phân bố tiềm năng, thích ứng biến đổi khí hậu.

APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS TECHNOLOGIES IN SPATIAL MODELING OF PLANT DISTRIBUTION FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION

Phan Thi Hang, Nguyen Thi Thanh Huong

University of Tay Nguyen

ABSTRACT

The application of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) in spatial modeling of plant distribution plays a pivotal role in monitoring and managing plant resources, particularly in the increasingly complex context of climate change. Currently, research on the use of these technologies is receiving widespread attention and has become a priority for many scientists globally. This paper focuses on analyzing the role and identifying several challenges associated with the application of remote sensing and GIS in constructing spatial distribution models of plants. By synthesizing and analyzing 104 existing studies, this paper provides a comprehensive overview of the exceptional benefits of these technologies. These benefits include the ability to collect extensive and detailed data, continuous data updates, integration of data from various sources, time and cost efficiency, as well as their capability to forecast and assess environmental impacts. This paper provides an overview of the outstanding benefits of these technologies, including the ability to collect extensive and detailed data, continuous data updates, integration of data from multiple sources, time and cost efficiency, and the capability to forecast and assess environmental impacts. However, the application of remote sensing and GIS also faces many challenges such as limitations in data resolution and accuracy, high technical and technological requirements, difficulties in environmental data collection, and complexities in data analysis. To address these challenges and guide future research, this paper proposes several solutions such as enhancing data resolution and quality, integrating and standardizing data, improving predictive capabilities, and promoting collaboration and data sharing among research institutions.

Keywords: Remote Sensing and GIS, SDMs, MaxEnt, potential distribution forecasting, climate change adaptation.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu đang diễn ra nhanh chóng, sự thay đổi về điều kiện khí hậu và môi trường đã tạo ra những thách thức không nhỏ đối với công tác quản lý tài nguyên thực vật trên toàn cầu. Các loài thực vật, với vai trò quan trọng trong các hệ sinh thái và là nguồn tài nguyên thiết yếu cho con người, đang phải đối mặt với những thách thức lớn trong việc duy trì và thích nghi với môi trường sống đang biến đổi. Sự thay đổi về nhiệt độ, lượng mưa và tần suất các hiện tượng thời tiết cực đoan đã và đang buộc nhiều loài thực vật phải di chuyển hoặc thích nghi với các điều kiện mới, gây ra những thay đổi về mô hình phân bố của chúng, tác động đến mật độ và đặc điểm quần thể của chúng (Zhang *et al.*, 2022; Lu *et al.*, 2023).

Trong thời đại hiện nay, công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã khẳng định vị thế không thể thiếu trong các nghiên cứu khoa học và công tác quản lý tài nguyên thực vật. Với khả năng xử lý và phân tích dữ liệu không gian phức tạp, kết hợp với công nghệ viễn thám cung cấp dữ liệu quan sát trái đất chi tiết và liên tục, đã tạo nên một bộ công cụ mạnh mẽ để theo dõi và dự đoán sự thay đổi về phân bố của các loài thực vật dưới tác động của biến đổi khí hậu (Reddy *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022 và Shafique *et al.*, 2023). Những công nghệ này cho phép các nhà khoa học và quản lý môi trường xây dựng các mô hình không gian để dự đoán và phân tích các thay đổi về phân bố loài theo các kịch bản biến đổi khí hậu, từ đó đề xuất các biện pháp quản lý và bảo tồn thích hợp. Việc tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau là điều rất cần thiết, dữ liệu thực địa, dữ liệu môi

trường kết hợp với GIS và viễn thám, cùng với sự tiến bộ không ngừng của công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI) đã mở ra cánh cửa mới cho nghiên cứu và ứng dụng công nghệ trong quản lý tài nguyên thiên nhiên dựa trên cơ sở dữ liệu thực tế và phân tích khoa học chính xác (Zang *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

Như vậy, những tiến bộ này không chỉ đáp ứng được nhu cầu cấp thiết của xã hội hiện đại mà còn là yếu tố quyết định trong việc đối phó và giải quyết các vấn đề liên quan đến biến đổi khí hậu, mở ra hướng đi mới cho bảo vệ và phục hồi đa dạng sinh học toàn cầu (Guillén-Escribà *et al.*, 2023; García-López *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2023). Đây là phương pháp tiếp cận khoa học tiên tiến và phù hợp với sự thay đổi của xã hội và môi trường ngày nay để quản lý và bảo tồn tài nguyên thực vật bền vững và hiệu quả.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài viết này sử dụng phương pháp tổng hợp dữ liệu từ các nghiên cứu đã được công bố cả trong và ngoài nước. Để thu thập tài liệu tham khảo, đã dựa vào các công cụ tìm kiếm trên các trang web học thuật như Google, ResearchGate, Google Scholar, Web of Science và Science Direct... Bài viết này không bao quát tất cả các khía cạnh liên quan đến ứng dụng GIS và viễn thám trong việc mô hình hóa không gian phân bố thực vật thích ứng với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, nó tập trung vào những công trình nghiên cứu về ứng dụng viễn thám và GIS trong (i) Xây dựng mô hình phân bố loài - Species Distribution Models (SDMs); (ii) Mô hình MaxEnt trong dự báo phân bố loài theo các kịch bản biến đổi khí hậu; Cụ thể, bài viết đã tham khảo 80 tài liệu, bao gồm: 63 bài viết khoa học quốc tế và 17 bài viết khoa học trong nước.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

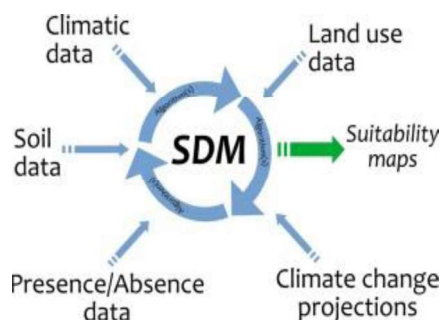
3.1. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong việc xây dựng mô hình phân bố loài - Species Distribution Models (SDMs)

Trong bối cảnh hiện nay, công nghệ viễn thám và GIS đã được chứng minh là một công cụ không thể thiếu trong việc xây dựng bản đồ môi trường sống của các loài. Các nghiên cứu như của Smith và đồng tác giả (2022) và Jones và đồng tác giả (2023) đã chỉ ra rằng, việc sử dụng công nghệ viễn thám và GIS không chỉ cải thiện độ chính xác và hiệu quả trong việc thu thập dữ liệu về môi trường sống tự nhiên mà còn hỗ trợ đắc lực trong việc xác định các khu vực cần được ưu tiên bảo tồn.

Mô hình phân bố loài (SDMs), được phát triển lần đầu tiên vào giữa những năm 1980, đã ngày càng trở nên quan trọng trong các nghiên cứu ứng dụng trong thế kỷ này. Chúng được coi là công cụ mạnh mẽ trong việc hỗ trợ các chiến lược quản lý rừng và bảo tồn đa dạng sinh học, đặc biệt quan trọng trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay (Guisan và Zimmermann, 2017; Elith *et al.*, 2021; Franklin, 2021). SDMs, còn được gọi là mô hình thích hợp sinh thái, mô hình môi trường sống/mô hình phân bố môi trường sống dự đoán, cung cấp dự đoán về sự phân bố của loài dựa trên dữ liệu về mối quan hệ giữa sự phân bố của loài và các yếu tố môi trường được phân tích khoa học (Peterson & Soberón., 2022).

Williams và đồng tác giả (2022) và Brown và đồng tác giả (2023) đã nhấn mạnh vai trò không thể thay thế của bản đồ thảm thực vật trong việc hỗ trợ các hoạt động điều tra, đánh giá và bảo tồn đa dạng sinh học. Bản đồ này, khi kết hợp với cơ sở dữ liệu chi tiết về sự xuất hiện của các loài thực vật trong một khu vực cụ thể, cùng với việc mô hình hóa các mô hình phân bố dựa trên các yếu tố sinh thái, biến đổi

khí hậu đã cung cấp các thông tin chi tiết về đa dạng loài, số lượng cá thể, phân bố, tình hình bảo tồn hiện tại, tiềm năng phát triển, cũng như xu hướng biến đổi số lượng theo thời gian và không gian kết hợp với các kịch bản biến đổi khí hậu. Đây là cơ sở cho việc cho việc phát triển các chiến lược quản lý bảo tồn tài nguyên thực vật, đặc biệt là thực vật rừng hiệu quả.



Hình 1. Dữ liệu về môi trường của SDM

(Nguồn:

https://en.wikipedia.org/wiki/Species_distribution_modelling)

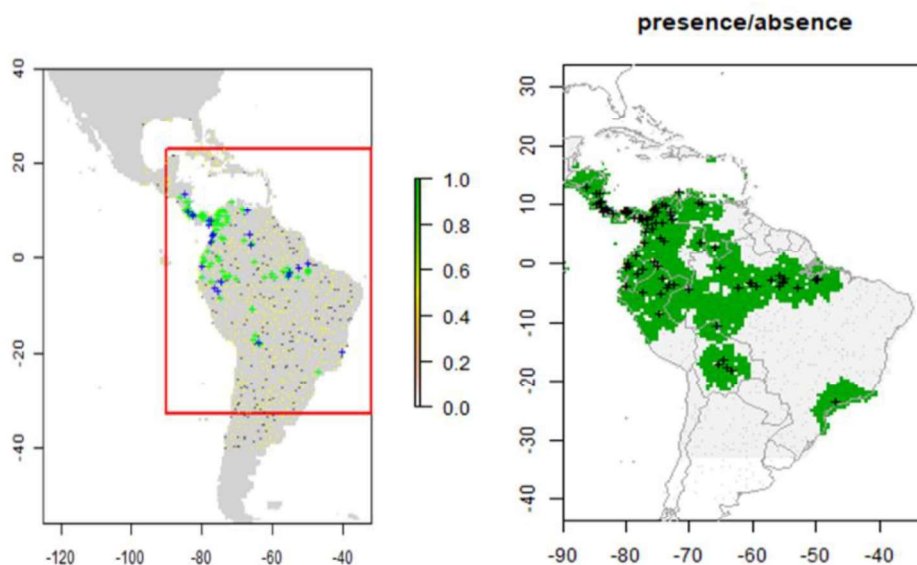
Mô hình phân bố loài - SDMs đòi hỏi dữ liệu đầu vào phong phú, bao gồm thông tin về tọa độ phân bố của loài, số lượng và sự phong phú của loài, kết hợp với các thông tin môi trường như dữ liệu khí hậu, lớp phủ thảm thực vật và tính chất của đất, nhiệt độ, lượng mưa.

Quy trình phát triển mô hình SDMs thường bao gồm các bước sau: (1) Thu thập dữ liệu vị trí xuất hiện của loài; (2) Trích xuất giá trị của các biến môi trường từ các cơ sở dữ liệu không gian tại những địa điểm xuất hiện; (3) Sử dụng các giá trị môi trường để ước lượng sự tương đồng và đánh giá mô hình; và (4) Dự đoán sự phân bố tiềm năng của loài dựa trên mô hình.

Cùng với sự tiến bộ của công nghệ viễn thám và GIS, chúng ta có thể thấy được tầm quan trọng của nó trong việc thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu môi trường. Các nhà nghiên cứu có thể thu thập dữ liệu phân bố loài từ các cơ sở dữ liệu sinh học toàn cầu như Global Biodiversity

Information Facility (GBIF) và Ocean Biogeographic Information System (OBIS), dữ liệu khí hậu từ các nguồn như WorldClim và CHELSA, hoặc sử dụng dữ liệu từ các ứng dụng viễn thám như Google Earth Engine và NASA (Fick & Hijmans, 2017; Phillips *et al.*, 2017; Leathwick, 2019). Các thuật toán thống kê và

học máy được áp dụng để xử lý dữ liệu này, tạo ra dự đoán về môi trường sống trong tương lai theo các kịch bản biến đổi khí hậu (Vitor *et al.*, 2018; Nurhussen *et al.*, 2021). Điều này giúp cải thiện khả năng dự đoán và quản lý sự phân bố của loài trong tương lai.



Hình 2. Mô hình phân bố dự đoán các điểm có loài/không có loài

(Nguồn: <https://advances.sciencemag.org/content/5/1/eaat4858>)

Qua việc phân tích các công trình nghiên cứu trước đây cho thấy ứng dụng của viễn thám và GIS trong việc xây dựng mô hình phân bố loài (SDMs) rất đa dạng, phong phú và mang lại nhiều lợi ích trong nghiên cứu sinh thái học, quản lý tài nguyên thiên nhiên và bảo tồn đa dạng sinh học:

+ Xác định khu vực phân bố tiềm năng: Viễn thám và GIS cung cấp các dữ liệu không gian có độ phân giải cao, giúp xác định các khu vực có điều kiện môi trường phù hợp cho sự tồn tại và phát triển của các loài (Elith *et al.*, 2021). Các dữ liệu này bao gồm thông tin về địa hình, khí hậu, độ ẩm, thảm thực vật và các yếu tố môi trường khác.

+ Dự đoán sự thay đổi phân bố loài dưới tác động của biến đổi khí hậu: SDMs sử dụng dữ liệu viễn thám và GIS để mô phỏng và dự đoán sự thay đổi trong phân bố của các loài dưới tác động của biến đổi khí hậu. Mặt khác, SDMs còn cho phép các nhà nghiên cứu phân tích sự tương tác giữa các loài và môi trường, các yếu tố ảnh hưởng đến sự tồn tại và phát triển của các loài. Đây là các cơ sở để các nhà khoa học hiểu rõ hơn về cách thức các loài sẽ phản ứng với những thay đổi môi trường trong tương lai như thế nào, từ đó có được các đề xuất giải pháp quản lý bảo tồn hợp lý (Franklin, 2021; Jeannine *et al.*, 2023).

+ Đánh giá nguy cơ tuyệt chủng: Sử dụng viễn thám và GIS, các nhà nghiên cứu có thể đánh giá nguy cơ tuyệt chủng của các loài bằng cách phân tích các yếu tố như sự suy giảm môi trường sống, sự phân mảnh môi trường sống và các áp lực môi trường khác. Điều này giúp xác định các loài có nguy cơ cao và cần được bảo tồn khẩn cấp (Zhou *et al.*, 2023).

+ Hỗ trợ quy hoạch bảo tồn và quản lý tài nguyên: SDMs cung cấp thông tin quan trọng để hỗ trợ quy hoạch các khu bảo tồn và các chiến lược quản lý tài nguyên thiên nhiên. Dữ liệu này giúp các nhà quản lý xác định các khu vực cần được bảo vệ và phát triển các biện pháp bảo tồn hiệu quả (Guisan *et al.*, 2017).

Trong những năm gần đây, sự tiến bộ của công nghệ viễn thám và GIS là các công cụ hỗ trợ đắc lực cho việc xây dựng mô hình phân bố loài. Nó không chỉ giúp xác định khu vực bảo tồn tiềm năng mà còn dự đoán sự thay đổi trong phân bố các loài dưới tác động của biến đổi khí hậu, đánh giá nguy cơ tuyệt chủng và hỗ trợ trong quy hoạch sử dụng đất bền vững (Elith *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2023). Các công trình nghiên cứu của Guisan và đồng tác giả (2017) và Fick & Hijmans (2017) về bộ dữ liệu khí hậu toàn cầu WorldClim đã mở ra cái nhìn mới mẻ và sâu rộng về khả năng dự báo và quản lý sự thay đổi phân bố loài thông qua SDMs, làm rõ vai trò quan trọng của chúng trong việc đối phó với thách thức biến đổi khí hậu.

Một nghiên cứu tiếp tục được thực hiện bởi Guillén-Escribà và đồng tác giả (2023) đã ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS để phân tích sự biến đổi về phân bố của các loài thực vật trong rừng ôn đới, từ đó phân tích được cách thức các hệ sinh thái phản ứng với các thay đổi môi trường trong tương lai, để làm cơ sở cho

việc quy hoạch bảo tồn và quản lý tài nguyên thực vật rừng.

Nghiên cứu của Urban và đồng tác giả (2016) và Jeannine và đồng tác giả (2023) đều tập trung vào ứng dụng GIS và viễn thám để nghiên cứu sự thích nghi và phản ứng của thực vật với biến đổi khí hậu, qua đó góp phần vào việc dự đoán và đánh giá các tác động ảnh hưởng tới đa dạng sinh học trong tương lai.

Bên cạnh việc hỗ trợ xây dựng mô hình phân bố loài, ứng dụng viễn thám và GIS còn là công cụ hỗ trợ đắc lực trong việc dự kiến lập tuyến điều tra ngoài thực địa. Trên cơ sở các điểm phân bố đã có của loài, SDMs sẽ đưa ra các mô hình phân bố dự đoán của loài dựa trên các yếu tố sinh thái và môi trường, cung cấp thông tin những điểm dự kiến sẽ có phân bố của loài. Việc này sẽ giúp nhà nghiên cứu thuận lợi trong việc quyết định dự kiến tuyến điều tra, giúp giảm chi phí và thời gian trong điều tra thu thập dữ liệu mẫu (Keinath *et al.*, 2017; Aizpurua *et al.*, 2022).

Các nghiên cứu gần đây tiếp tục phát triển và mở rộng tiềm năng của mô hình SDMs trong việc dự đoán và quản lý sự phân bố của loài dựa trên các yếu tố môi trường như Zhou và đồng tác giả (2023); Morales và đồng tác giả (2021); Gupta và đồng tác giả (2022) đã tập trung vào việc mô hình hóa sự phân bố của loài, đánh giá mức độ phong phú dựa trên dữ liệu từ ảnh vệ tinh và số liệu thực địa. Các nghiên cứu này đã xem xét tiềm năng của các biến số về sự xuất hiện của thực vật, đất và nước cũng như các biến số khí hậu để mô hình hóa sự phân bố của loài. Những nghiên cứu này không chỉ làm sáng tỏ về cách thức SDMs được sử dụng để dự đoán và quản lý sự phân bố của loài dựa trên các yếu tố môi trường mà còn cung cấp các hướng dẫn quan trọng cho

việc thiết lập các tuyến điều tra ngoài thực địa. Điều này đã làm nổi bật vai trò của việc kết hợp các dữ liệu không gian, dữ liệu thực địa, dữ liệu môi trường và sử dụng các phương pháp mô hình hóa tiên tiến để cải thiện khả năng dự đoán và quản lý sự phân bố của loài trong bối cảnh môi trường thay đổi.

Để tiếp tục phát triển và cập nhật kiến thức trong lĩnh vực này, các nghiên cứu gần đây của các tác giả Sharma và đồng tác giả (2022); Liu và đồng tác giả (2022) và Zhao và đồng tác giả (2023) đã khám phá thêm về ứng dụng của công nghệ viễn thám và GIS trong việc mô hình hóa sự phân bố của các loài dưới sự tác động của biến đổi khí hậu lên yếu tố ánh sáng và môi trường sống. Các công trình này không chỉ nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tích hợp dữ liệu đa nguồn mà còn gợi ý về tiềm năng sử dụng công nghệ mới, như trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy, để tăng cường hiệu quả của các mô hình dự đoán và quy hoạch bảo tồn.

Nghiên cứu của Annal (2017) đã chứng minh rằng công nghệ viễn thám dựa trên ảnh LiDAR là một công cụ vô giá cho việc đạt được tỷ lệ độ chính xác tổng thể lên tới 80% trong các ứng dụng này. Phương pháp này hỗ trợ cung cấp các thông tin cơ sở cho các quyết định quản lý tài nguyên và bảo tồn đa dạng sinh học thông qua việc áp dụng các mô hình phân bố loài (SDMs).

Tiến xa hơn trong việc áp dụng dữ liệu LiDAR, nghiên cứu của Hakkenberg và đồng tác giả (2023) đã khám phá khả năng của dữ liệu LiDAR từ GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) do NASA phát triển trong việc ước lượng cấu trúc 3D của rừng. Công trình này là một ví dụ nổi bật về việc sử dụng dữ liệu LiDAR không gian để mô hình hóa mối quan hệ giữa cấu trúc cây và đa dạng sinh học, cung cấp

cái nhìn sâu sắc về việc sử dụng dữ liệu 3D trong dự đoán nơi cư trú của thực vật với độ chính xác cao. Việc tích hợp dữ liệu LiDAR từ GEDI không chỉ tái khẳng định giá trị của LiDAR trong giám sát và quản lý môi trường mà còn nhấn mạnh vai trò của nó trong việc nâng cao hiểu biết của chúng ta về các mô hình đa dạng sinh học.

Trong bối cảnh Việt Nam, công nghệ viễn thám và GIS đã đóng góp quan trọng vào việc nghiên cứu tài nguyên thực vật, đặc biệt là thực vật rừng. Cụ thể, kết hợp phương pháp điều tra truyền thống và công nghệ tiên tiến, các nghiên cứu đã phát triển hệ thống cơ sở dữ liệu chi tiết về đa dạng sinh học, như trong công trình của Nguyễn Hữu Xuân và đồng tác giả tại Vườn Quốc gia Bidoup - Núi Bà (2012), nhấn mạnh tầm quan trọng của GIS trong việc hiệu chỉnh dữ liệu đa dạng sinh học. Tiếp theo, Bảo Huy và đồng tác giả (2014) đã nghiên cứu phân bố của các loài thực vật quý hiếm tại Đắc Lắc, đặt nền móng cho công tác bảo tồn nguồn gen. Đáng chú ý, nghiên cứu của Nguyễn Thị Thanh Hương và Châu Thị Như Quỳnh (2016) tại Khu bảo tồn Nam Kar đã sử dụng ảnh Landsat 8 để đánh giá mối quan hệ giữa đa dạng thực vật thân gỗ và các chỉ số đa dạng từ ảnh vệ tinh.

Các nghiên cứu tiếp theo đã mở rộng phạm vi ứng dụng của viễn thám và GIS trong nghiên cứu đa dạng sinh học của thực vật như thử nghiệm của Nguyễn Thị Thanh Hương và đồng tác giả (2018) về định lượng đa dạng loài thực vật dựa trên ảnh Sentinel 2A. Cùng với sự tài trợ của USAID, nghiên cứu năm 2019 bởi Nguyễn Thị Thanh Hương và đồng tác giả đã làm sâu sắc thêm hiểu biết về đa dạng loài thực vật thân gỗ trong kiểu rừng lá rộng thường xanh, bằng cách kết hợp dữ liệu mặt đất và ảnh vệ tinh. Công trình này không

chỉ nhấn mạnh mối quan hệ giữa địa hình và đa dạng sinh học mà còn góp phần vào việc bảo tồn các loài thực vật quý hiếm, được liệt kê trong Sách Đỏ IUCN 2017. Các nghiên cứu này đã kết hợp dữ liệu mặt đất với các dữ liệu ảnh vệ tinh để phân tích, đánh giá các chỉ số đa dạng. Dữ liệu được tập hợp ở số lượng lớn và được quản lý, xử lý và hiệu chỉnh tốt.

Qua các phân tích trên cho thấy, công nghệ viễn thám và GIS đã mang lại những đóng góp đáng kể trong việc nghiên cứu thực vật nói chung và thực vật rừng nói riêng tại Việt Nam. Sự kết hợp giữa dữ liệu vệ tinh và phân tích GIS không chỉ giúp mô hình hóa được sự phân bố của các loài thực vật mà còn cải thiện độ chính xác của việc đánh giá đa dạng sinh học, từ đó mở ra cơ hội mới cho việc quản lý và bảo vệ các loài thực vật có giá trị. Đặc biệt, việc sử dụng dữ liệu từ các vệ tinh khác nhau, từ Landsat đến Sentinel, cho phép các nhà nghiên cứu có cái nhìn toàn diện hơn về môi trường và sự phân bố của các loài thực vật.

Tuy nhiên, tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu chủ yếu mới tập trung vào việc ứng dụng viễn thám và GIS xây dựng mô hình phân bố hiện tại của loài. Các hướng nghiên cứu về ứng dụng mô hình phân bố loài (SDMs) để dự kiến tuyến điều tra, khảo sát thực địa, cũng như dự báo phân bố không gian của loài trước các kịch bản biến đổi khí hậu vẫn còn hạn chế. Các nhà khoa học cần tiếp tục thử nghiệm hướng nghiên cứu này ở tương lai.

Tóm lại, qua tổng hợp và phân tích một số tài liệu trên thế giới cho thấy, công nghệ viễn thám và GIS đã trở thành những công cụ không thể thiếu trong việc mô hình hóa không gian phân bố loài. Sự phát triển liên tục của các công nghệ này không chỉ góp phần hiệu quả vào việc đánh giá và bảo tồn đa dạng sinh học mà còn hỗ trợ

đáng kể trong việc đối phó với những thách thức do biến đổi khí hậu.

Một điểm nổi bật từ các nghiên cứu trên thế giới đã cho thấy sự cần thiết của việc áp dụng một cách tiếp cận tổng hợp, tích hợp đa nguồn dữ liệu, bao gồm dữ liệu thực địa, dữ liệu không gian, dữ liệu sinh thái và dữ liệu khí hậu, cùng với thông tin từ viễn thám và GIS. Nó cung cấp một cơ sở dữ liệu khoa học làm nền tảng cho việc ra các quyết định quản lý tài nguyên thực vật, đặc biệt là tài nguyên thực vật rừng có hiệu quả, đáp ứng nhu cầu của xã hội, thích ứng với sự biến đổi khí hậu. Đây là một hướng tiếp cận nghiên cứu mới tại Việt Nam.

3.2. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS xây dựng mô hình MaxEnt trong dự báo phân bố loài theo các kịch bản biến đổi khí hậu

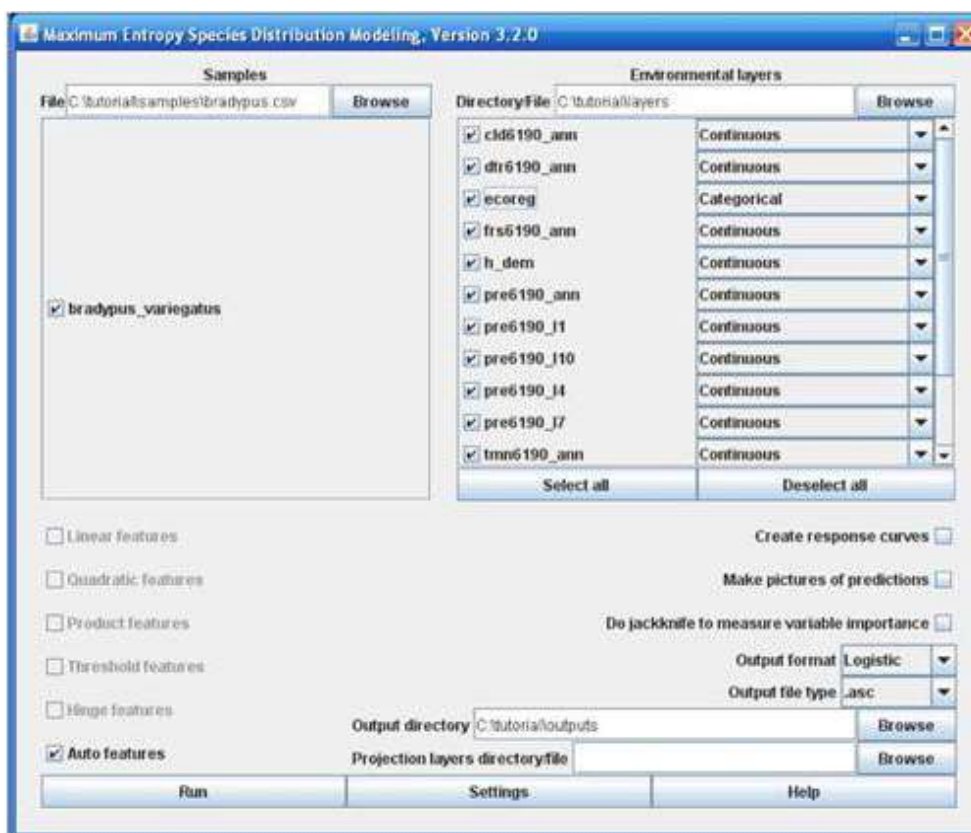
Sự phân bố hiện tại và tương lai của các loài thực vật dưới các kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau có thể được xác định một cách hiệu quả thông qua các phương pháp học máy (Zhu *et al.*, 2023). Các kỹ thuật này khai thác dữ liệu về tọa độ phân bố loài, thông tin sinh thái và dữ liệu địa hình để đưa ra dự đoán chính xác về mô hình phân bố của loài.

Mô hình MaxEnt là một công cụ vô cùng mạnh mẽ, phục vụ cho việc dự báo phân bố loài dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (GBIF, 2022). MaxEnt sử dụng dữ liệu về các địa điểm nơi loài đã được ghi nhận, cùng với một tập hợp đa dạng các yếu tố môi trường trong khu vực nghiên cứu, để dự đoán phân bố tiềm năng của loài trên toàn bộ khu vực nghiên cứu. Điểm mạnh của MaxEnt nằm ở khả năng xử lý dữ liệu từ nhiều loại định dạng khác nhau và tính toán phân bố dựa trên dữ liệu điểm xuất hiện của loài. Thuật toán này sử dụng thông tin từ các điểm xuất hiện cùng với các biến số môi trường để tạo ra một mô hình phân bố có độ chính xác cao. MaxEnt tận

dụng nguyên lý cực đại hóa entropy, giúp dự đoán phân bố tiềm năng của loài một cách hiệu quả và chính xác ngay cả khi dữ liệu đầu vào hạn chế hoặc không đầy đủ (Elith *et al.*, 2011; Merow *et al.*, 2013).

MaxEnt có hiệu quả cao trong việc dự đoán phân bố loài dưới các điều kiện môi trường và kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau (Adedapo

et al., 2023; Madonsela *et al.*, 2023). Từ đó, giúp các nhà khoa học và quản lý môi trường có thể lập kế hoạch và triển khai các biện pháp bảo tồn một cách hiệu quả hơn bằng cách dự đoán những thay đổi trong phân bố loài và đánh giá tác động của các yếu tố môi trường đối với sự sinh tồn của loài, đặc biệt là trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.



Hình 3. MaxEnt với dữ liệu các lớp dữ liệu đầu vào

(Nguồn: <http://ncep.amnh.org/linc>)

Theo Phillips và đồng tác giả (2008), thuật toán MaxEnt được phát triển cho mô hình phân bố loài là một phương pháp học máy và được xây dựng lặp đi lặp lại nhiều lần để cải thiện độ chính xác. Nó có hai thành phần chính:

+ Entropy: Mô hình được hiệu chỉnh để tìm ra sự phân bố tiềm năng hoặc hiện tại của loài trong toàn bộ vùng nghiên cứu.

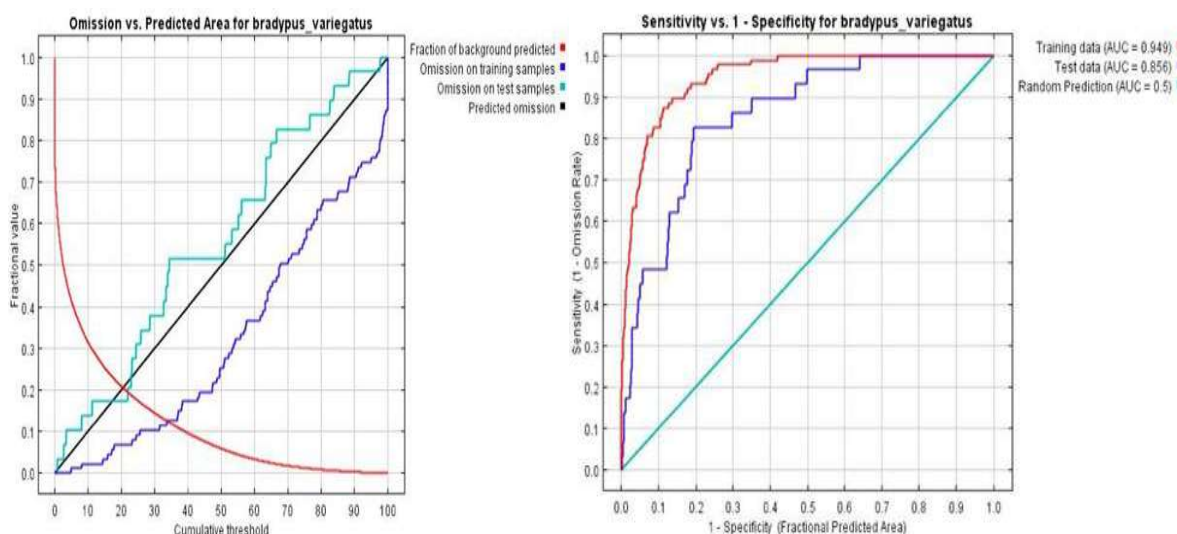
+ Điều kiện bắt buộc: Các quy tắc ràng buộc về phân phối dự đoán. Các quy tắc này được xây dựng dựa trên các giá trị của các biến môi trường (sinh khí hậu và các nhân tố điều kiện tự nhiên - xã hội) tại các địa điểm mà loài đã được quan sát.

Hiệu quả và độ chính xác của các dự báo từ MaxEnt dựa vào khả năng của nó trong việc xác

định các khu vực có điều kiện môi trường tương đồng với những điều kiện quan sát được tại các vị trí mà loài đã hiện diện, thông qua các cuộc điều tra thực địa cẩn thận. Độ chính xác của mô hình được đánh giá nghiêm ngặt thông qua diện tích dưới đường cong đặc tính (AUC - Area Under the Curve), một biện pháp quan trọng để đánh giá hiệu suất của các mô hình phân bố.

Chỉ số AUC, nằm trong khoảng từ 0 đến 1, là một chỉ số mạnh mẽ về độ tin cậy của

việc dự báo các mô hình, với điểm số 0,5 gợi ý không có độ chính xác tốt hơn cơ hội ngẫu nhiên, trong khi các giá trị gần với 1 cho thấy một mô hình cực kỳ chính xác (Wang-Hee Lee *et al.*, 2022). Các mô hình đạt được AUC vượt quá 0,9 được coi là đặc biệt đáng tin cậy (Bradley, 1997; Wakie *et al.*, 2014), phản ánh khả năng của MaxEnt trong việc xác định phân bố loài dựa trên mối liên hệ môi trường.



Hình 4. Các giá trị AUC

(Nguồn: <http://ncep.amnh.org/linc>)

Công trình của Phillips và đồng tác giả (2008) đã giới thiệu cơ sở lý thuyết và ứng dụng của MaxEnt trong mô hình hóa phân bố loài. Điểm nổi bật của phương pháp này là khả năng dự báo chính xác, ngay cả với các bộ dữ liệu có kích thước mẫu nhỏ hoặc có khoảng trống về dữ liệu. Bên cạnh đó, MaxEnt còn tích hợp khả năng đánh giá độ quan trọng của từng biến môi trường thông qua phân tích động, qua đó mở rộng khả năng hiểu biết về tương quan giữa môi trường sống và sự phân bố của loài.

Trong quá trình tính toán phân bố tiềm năng của loài, MaxEnt xác định hai loại mật độ xác suất:

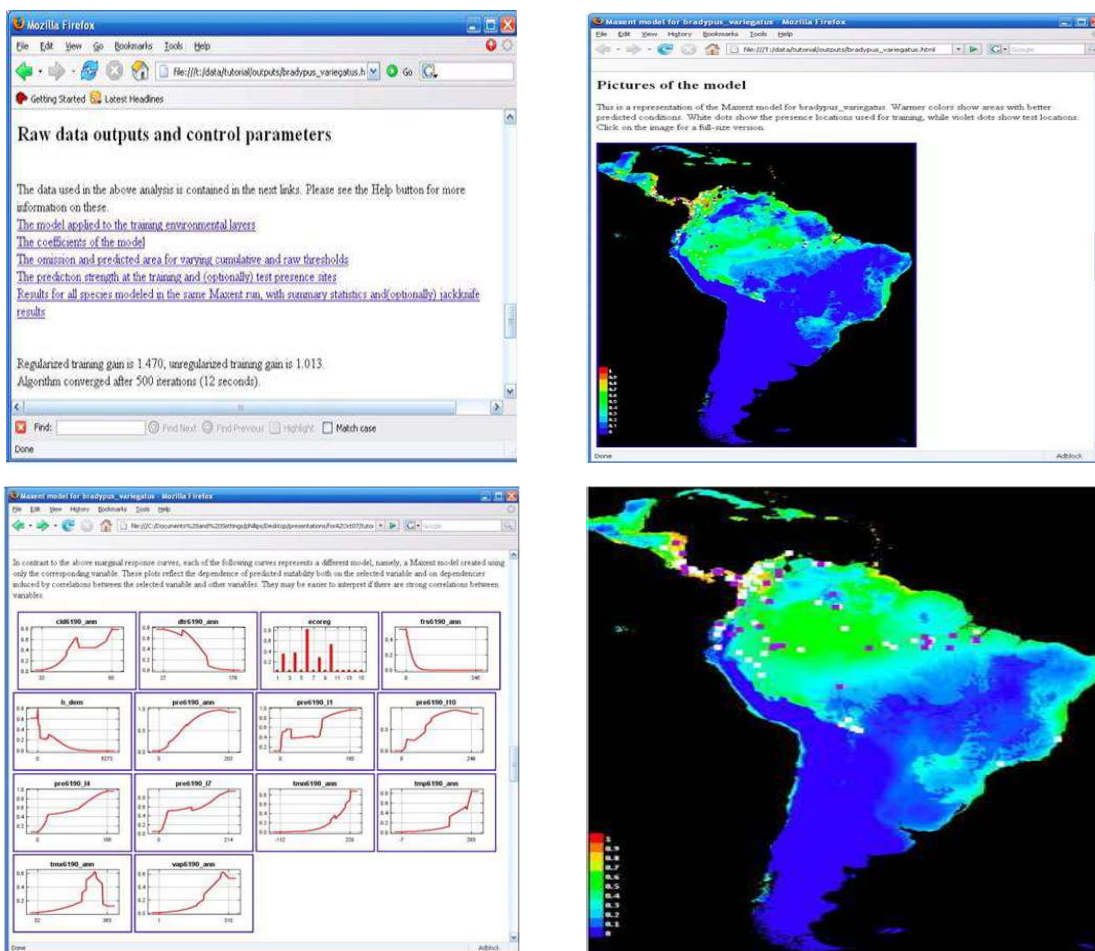
một cho các điểm dự đoán và một cho các điểm cơ sở. Mật độ xác suất của các điểm cơ sở phản ánh môi trường sẵn có trong khu vực nghiên cứu, trong khi mật độ xác suất của các điểm dự đoán cho biết môi trường mà loài dự kiến sẽ được tìm thấy. Từ đó, MaxEnt tính toán tỷ lệ giữa hai mật độ xác suất này, cung cấp một đánh giá về mức độ phù hợp môi trường tương đối cho sự hiện diện của loài trong từng vùng của khu vực nghiên cứu (Elith & Leathwick, 2021). Điều này không chỉ phản ánh sự phức tạp của MaxEnt trong việc mô hình hóa phân bố loài mà còn cho thấy khả năng của nó trong việc đưa ra dự báo chính xác

dựa trên một loạt các biến số môi trường (Phillips *et al.*, 2008).

Thông qua việc sử dụng các dữ liệu về sinh thái, địa hình và khí hậu, MaxEnt có thể dự đoán chính xác những khu vực có khả năng cao phù hợp cho sự tồn tại và phát triển của các loài. Cách tiếp cận này giúp các nhà quản lý tài

nguyên thiên nhiên đưa ra các quyết định bảo tồn hiệu quả hơn (Adedapo & Owolabi, 2023).

MaxEnt nhận được sự công nhận rộng rãi trong cộng đồng khoa học vì khả năng tạo ra các mô hình phân bố loài đáng tin cậy (Global Biodiversity Information Facility, 2022; Zhu *et al.*, 2023; Qing Yuan *et al.*, 2024).



Hình 5. Mô hình hóa sự phân bố hiện tại và tiềm năng của loài trong MaxEnt theo các kịch bản biến đổi khí hậu

(Nguồn: <http://ncep.amnh.org/linc>)

Các biến đầu vào của MaxEnt, bao gồm tọa độ điểm phân bố của loài ở ngoài thực địa, các biến khí hậu và biến môi trường, được cung cấp một cách toàn diện nhờ vào công nghệ viễn thám và GIS. Viễn thám cung cấp dữ liệu chi tiết và liên tục về các yếu tố môi trường như

hiệt độ, độ ẩm và thảm thực vật, trong khi GIS cho phép tích hợp và xử lý các dữ liệu không gian này. Sự kết hợp của viễn thám và GIS không chỉ giúp thu thập và quản lý dữ liệu một cách hiệu quả mà còn nâng cao độ chính xác của các mô hình phân bố loài. Điều này

đặc biệt quan trọng trong bối cảnh biến đổi khí hậu, khi việc dự đoán sự thay đổi phân bố loài dựa trên các kịch bản khí hậu khác nhau trở nên cần thiết để phát triển các chiến lược bảo tồn và quản lý tài nguyên thiên nhiên hiệu quả (Qiao *et al.*, 2019, Qing Yuan *et al.*, 2024).

Emad và Francis, trong năm 2017, đã tiến hành nghiên cứu dự đoán sự phân bố của loài cây thuốc ở Ai Cập dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, sử dụng GIS, viễn thám và mô hình MaxEnt. Công trình này không chỉ cung cấp bản đồ phân bố hiện tại và tiềm năng cho 115 loài cây thuốc mà còn đánh giá được ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến sự phân bố của chúng. Nhóm tác giả sử dụng ảnh Sentinel-2A để phân loại thảm phủ, sử dụng biến này để phân tích trong mô hình MaxEnt.

Năm 2017, Dawa và đồng tác giả đã chứng minh rằng lượng mưa và độ dốc là các yếu tố chính ảnh hưởng đến phân bố của loài *Paris polyphylla* ở Ấn Độ. Trong công trình này, với sự hỗ trợ của GIS và MaxEnt, đã xác định được các môi trường sống tiềm năng ở độ cao cao hơn của Sikkim Himalaya.

Một số nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của việc ứng dụng này như nghiên cứu của Annal (2017), Hoguz và đồng tác giả (2019). Để dự đoán môi trường sống của thực vật quý hiếm ở quy mô cảnh quan, Annal đã kết hợp dữ liệu LIDAR, kỹ thuật GIS và MaxEnt dự đoán phân tích phân bố hiện tại và tương lai sự phân bố của 5 loài thực vật thân gỗ quý hiếm làm cơ sở cho việc phục hồi cảnh quan rừng. Tương tự như vậy, Hoguz và đồng tác giả (2019) đã mô hình hóa sự phân bố hiện tại và tiềm năng của loài *Quercus libani* Olivier bằng cách tích hợp dữ liệu từ GIS và viễn thám, cùng với việc phân tích ảnh hưởng của biến đổi khí hậu thông qua các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. Sự sáng

tạo trong việc sử dụng 19 biến khí hậu từ WorldClim đã mở ra cánh cửa mới trong việc đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với đa dạng sinh học.

Mới đây nhất, Liu và đồng tác giả (2022); Hu-Qiang Fang và đồng tác giả (2023); Lucun Yang và đồng tác giả (2024); Ming Li và đồng tác giả (2024) đã ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS để thu thập dữ liệu môi trường, vị trí phân bố loài và phân tích xử lý số liệu trước khi đưa vào chạy mô hình MaxEnt, xây dựng bản đồ phân bố hiện tại và dự báo sự phân bố ở tương lai theo các kịch bản biến đổi khí hậu.

Như vậy, qua việc tổng hợp một số công trình nghiên cứu cho thấy, công nghệ viễn thám và GIS đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng mô hình MaxEnt. Viễn thám cung cấp các dữ liệu môi trường phong phú và liên tục, hỗ trợ việc xác định các yếu tố sinh thái ảnh hưởng đến phân bố loài. GIS, với khả năng xử lý và phân tích dữ liệu không gian, cho phép tích hợp các biến số môi trường và dữ liệu xuất hiện loài, tạo nền tảng cho việc mô hình hóa.

Mô hình MaxEnt, dựa trên nguyên lý cực đại hóa entropy, sử dụng dữ liệu từ viễn thám và GIS để tính toán mật độ xác suất và đánh giá mức độ phù hợp môi trường, giúp dự đoán các khu vực tiềm năng cho sự hiện diện của loài (Elith & Leathwick, 2021; Phillips *et al.*, 2008). Sự kết hợp này không chỉ hỗ trợ việc hiểu rõ hơn về sự phân bố của các loài trong bối cảnh biến đổi khí hậu mà còn giúp các nhà quản lý đưa ra các quyết định bảo tồn hợp lý và hiệu quả hơn (Adedapo & Owolabi, 2023; Masoud & Farhad, 2023).

Trong bối cảnh nghiên cứu thực vật tại Việt Nam, các công trình hiện tại chủ yếu tập trung vào việc đánh giá đa dạng sinh học, phân tích phân bố loài và đánh giá các yếu tố sinh thái

ảnh hưởng đến mật độ phân bố loài. Phương pháp nghiên cứu truyền thống thường được sử dụng là điều tra thực địa và phân tích thống kê để xác định mối tương quan, ứng dụng GIS để tạo bản đồ phân bố hiện tại. Tuy nhiên, việc tích hợp phương pháp học máy với công nghệ viễn thám và GIS trong nghiên cứu các loài thực vật vẫn còn ít được khai thác.

Hà Đình Nghiêm (2017) đã thực hiện nghiên cứu thí điểm tại Thái Nguyên đối với loài Trinh nữ móc. Theo đó, tác giả đã đưa ra kết quả về khả năng phân bố cũng như độ che phủ của loài trinh nữ móc tại khu vực Việt Nam, dự báo khả năng xâm lấn của chúng là từ 0,4 - 0,9. Mới đây, Viện Sinh thái học miền Nam trong chương trình nghiên cứu “Ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS kết hợp với dữ liệu sinh khí hậu trong nghiên cứu và quy hoạch bảo tồn đa dạng sinh học ở khu vực Tây Nguyên và Nam Trung Bộ” (2017 - 2021) cũng đã sử dụng mô hình MaxEnt kết hợp với dữ liệu GIS để lập bản đồ phân bố cho một số loài quý hiếm tại khu vực nghiên cứu. Kết quả cũng đã đưa ra một số kết luận khá quan trọng việc ứng dụng mô hình không gian trong nghiên cứu phân bố loài. Đinh Tiến Tài và đồng tác giả (2020) trong nghiên cứu về mối quan hệ sinh thái loài, dự đoán sự phân bố hiện tại và tương lai của loài Xá xị ở vùng duyên hải Bắc Trung Bộ và miền Bắc Việt Nam. 9 biến địa hình và 52 địa điểm xuất hiện đã được sử dụng để phát triển mô hình Maxent cho sự phân bố của Xá xị. Mô hình MaxEnt được đánh giá có độ tin cậy cao với AUC = 0,861.

Từ các phân tích trên cho thấy, khoa học dự báo phân bố loài là quan trọng cho việc quản lý tài nguyên thực vật, đặc biệt là trong điều kiện khí hậu thay đổi như hiện nay. Các nhà khoa học trên thế giới đang rất quan tâm đến việc ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS với các

mô hình không gian để mô hình hóa và đưa ra các dự báo về phân bố của loài ở tương lai dưới sự thay đổi của khí hậu. Sự kết hợp các công nghệ viễn thám và GIS mang lại nhiều lợi ích quan trọng trong xây dựng mô hình phân bố MaxEnt, cụ thể như sau:

+ Thu thập dữ liệu môi trường đa dạng: Công nghệ viễn thám cung cấp các dữ liệu môi trường phong phú và liên tục theo thời gian. Các vệ tinh như Landsat, MODIS và Sentinel cung cấp dữ liệu về thảm thực vật, độ ẩm đất, nhiệt độ bề mặt và các yếu tố khí hậu khác. Những dữ liệu này là cơ sở quan trọng cho mô hình MaxEnt trong việc xác định các biến môi trường ảnh hưởng đến sự phân bố của loài.

+ Xác định vị trí phân bố loài: GIS cho phép xác định và quản lý dữ liệu không gian liên quan đến sự xuất hiện của các loài. Thông qua khảo sát điều tra thực địa và dữ liệu từ các cơ sở dữ liệu như GBIF (Global Biodiversity Information Facility), các vị trí hiện diện của loài được thu thập và quản lý hiệu quả. Những điểm dữ liệu này là cơ sở đầu vào quan trọng cho mô hình MaxEnt.

+ Phân tích và xử lý dữ liệu: GIS cung cấp các công cụ mạnh mẽ như QGIS, ArcGIS,... để phân tích và xử lý dữ liệu không gian. Các lớp dữ liệu môi trường được tích hợp và phân tích để xác định mối quan hệ giữa các biến môi trường và sự phân bố của loài. Các nhà khoa học sử dụng công cụ GIS để chuẩn bị và xử lý dữ liệu trước khi đưa vào mô hình MaxEnt.

+ Xây dựng và hiệu chỉnh mô hình: Với sự hỗ trợ của dữ liệu từ viễn thám và GIS, mô hình MaxEnt có thể được xây dựng và hiệu chỉnh một cách chính xác. MaxEnt sử dụng nguyên lý cực đại hóa entropy để dự đoán các khu vực có điều kiện môi trường tương tự như những nơi loài đã xuất hiện. Các yếu tố môi trường

được tích hợp vào mô hình để tạo ra các bản đồ phân bố tiềm năng.

+ Ứng dụng trong bảo tồn và quy hoạch: Các bản đồ phân bố loài được tạo ra từ mô hình MaxEnt có thể được sử dụng trong việc lập kế hoạch bảo tồn và quản lý tài nguyên thiên nhiên. Các khu vực có nguy cơ cao và cần được bảo vệ sẽ được xác định, giúp các nhà quản lý đưa ra các chiến lược bảo tồn hiệu quả hơn. Việc tích hợp các kịch bản biến đổi khí hậu vào mô hình MaxEnt còn giúp dự đoán các thay đổi tiềm năng trong phân bố loài, từ đó điều chỉnh các biện pháp bảo tồn phù hợp.

3.3. Thảo luận

Như vậy, có thể thấy ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong việc mô hình hóa không gian phân bố thực vật thích ứng với biến đổi khí hậu là một công cụ hiệu quả và hữu ích. Điều này, đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu, làm nổi bật tầm quan trọng của nó trong việc quản lý tài nguyên thực vật và bảo tồn đa dạng sinh học bền vững trong môi trường khí hậu bị tác động thay đổi liên tục. Tuy nhiên, như mọi công cụ khoa học khác, việc áp dụng nó đòi hỏi sự hiểu biết về cả ưu và nhược điểm, cũng như các giải pháp đưa ra để có thể cải thiện được hiệu quả chất lượng kết quả nghiên cứu.

Từ việc phân tích 104 tài liệu trên thế giới, đã rút ra được một số ưu nhược điểm của việc ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong mô hình hóa không gian phân bố thực vật thích ứng với biến đổi khí hậu, từ đó sẽ đề ra một số giải pháp để tối ưu hóa hiệu quả của ứng dụng này, cụ thể như sau:

3.3.1. Ưu điểm

+ Thu thập dữ liệu trên diện rộng và chi tiết: Viễn thám cung cấp khả năng thu thập dữ liệu

trên diện rộng, từ quy mô địa phương đến toàn cầu, đặc biệt hữu ích trong việc giám sát các khu vực rộng lớn và khó tiếp cận. Các ảnh vệ tinh có độ phân giải cao cung cấp chi tiết về đặc điểm bề mặt, giúp xác định chính xác sự phân bố và đặc điểm của thực vật.

+ Dữ liệu được cập nhật liên tục: Dữ liệu viễn thám thường xuyên được cập nhật, cho phép theo dõi sự thay đổi của môi trường sống và phân bố thực vật theo thời gian thực. Sử dụng GIS để phân tích và tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn giúp tăng độ chính xác của các mô hình dự đoán. Công nghệ viễn thám cung cấp các dữ liệu môi trường phong phú, chi tiết và liên tục theo thời gian. Các vệ tinh như Landsat, MODIS và Sentinel cung cấp thông tin về các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm và thảm thực vật

+ Tích hợp dữ liệu đa nguồn: GIS cho phép tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau bao gồm dữ liệu thực địa, dữ liệu vệ tinh và các lớp dữ liệu môi trường khác như khí hậu, địa hình, lớp phủ đất và thông tin sinh thái học, cải thiện độ chính xác của mô hình, giúp tạo ra các mô hình phân bố phức tạp và toàn diện hơn.

+ Hiệu quả về thời gian và chi phí: Sử dụng viễn thám và GIS giúp tiết kiệm thời gian và chi phí so với phương pháp khảo sát thực địa truyền thống. Công nghệ viễn thám và GIS cung cấp khả năng thu thập dữ liệu trên diện rộng và liên tục theo thời gian, cho phép các nhà nghiên cứu theo dõi các biến đổi môi trường mà không cần tốn nhiều chi phí và thời gian cho việc đi thực địa. Khảo sát thực địa thường đối mặt với nhiều rủi ro như điều kiện thời tiết xấu, địa hình khó khăn hoặc khu vực nguy hiểm. Việc sử dụng viễn thám và GIS giúp giảm thiểu những rủi ro này, cho phép thu thập dữ liệu ở những khu vực khó tiếp cận hoặc nguy hiểm mà không cần sự hiện diện trực tiếp của con người.

+ Dự đoán tương lai và đánh giá tác động: Sử dụng dữ liệu từ viễn thám và GIS để mô hình hóa không gian phân bố của loài dưới các kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau sẽ cung cấp các thông tin dự báo ở tương lai làm cơ sở cho việc đề xuất các biện pháp bảo tồn kịp thời ở hiện tại. Công nghệ này giúp đánh giá tác động của các yếu tố môi trường lên phân bố của thực vật, hỗ trợ trong việc đưa ra các chính sách quản lý bền vững.

3.3.2. Nhược điểm

+ Độ phân giải và độ chính xác của dữ liệu: Mặc dù viễn thám cung cấp dữ liệu diện rộng, tuy nhiên độ phân giải không phải lúc nào cũng đủ cao để phát hiện chi tiết nhỏ, đặc biệt là với các loài thực vật nhỏ hoặc phân bố rải rác. Dữ liệu viễn thám có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như mây, khói và khí quyển, điều này sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình.

+ Đòi hỏi kỹ thuật và công nghệ cao: Việc xử lý và phân tích dữ liệu viễn thám và GIS đòi hỏi kiến thức chuyên môn cao và phần mềm chuyên dụng. Đòi hỏi sự đầu tư về công nghệ và đào tạo nhân lực trong công việc này.

+ Hạn chế về dữ liệu môi trường: Dữ liệu môi trường từ viễn thám có thể không đầy đủ hoặc không chi tiết để có thể phân tích tất cả các yếu tố ảnh hưởng đến phân bố thực vật, như đặc tính vi sinh vật của đất hoặc tác động của loài xâm lấn.

+ Tính phức tạp trong phân tích: Tích hợp và phân tích dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau có thể phức tạp và đòi hỏi nhiều bước xử lý, có thể dẫn đến sai sót nếu không được thực hiện cẩn thận. Ngoài ra, khi phải xử lý một lượng lớn dữ liệu hoặc các vùng nghiên cứu rộng lớn, có thể sẽ gặp khó khăn trong việc duy trì hiệu suất và tốc độ xử lý.

3.3.3. Giải pháp

+ Tăng cường độ phân giải và chất lượng dữ liệu viễn thám: Sử dụng các vệ tinh và cảm biến có độ phân giải cao hơn để cải thiện chi tiết và độ chính xác của dữ liệu. Kết hợp dữ liệu từ nhiều nguồn viễn thám khác nhau, bao gồm cả LIDAR và radar, hoặc ảnh được tải về từ PlanetScope... để có được cái nhìn toàn diện hơn về môi trường sống của thực vật.

+ Tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu môi trường: Thu thập, xử lý và tích hợp dữ liệu từ các nguồn khác nhau để đảm bảo tính nhất quán và chính xác. Sử dụng các nền tảng như Google Earth Engine để tích hợp và xử lý dữ liệu môi trường từ nhiều nguồn khác nhau một cách hiệu quả.

+ Nâng cao khả năng dự báo và ứng dụng mô hình: Áp dụng các thuật toán học máy và trí tuệ nhân tạo (AI) để cải thiện khả năng dự báo của các mô hình phân bố. Tiến hành các nghiên cứu thử nghiệm và đánh giá hiệu quả của các mô hình trong các điều kiện khác nhau để xác định và sửa chữa các hạn chế hiện có.

+ Tăng cường hợp tác và chia sẻ dữ liệu: Khuyến khích hợp tác giữa các tổ chức nghiên cứu, chính phủ và các tổ chức phi chính phủ để chia sẻ dữ liệu và tài nguyên. Phát triển các cơ sở dữ liệu mở và các nền tảng chia sẻ dữ liệu để các nhà nghiên cứu có thể dễ dàng truy cập và sử dụng các bộ dữ liệu quan trọng.

Các hướng giải quyết được đề xuất trên đây nhằm mục đích tối ưu hóa việc ứng dụng viễn thám và GIS trong mô hình hóa phân bố không gian của thực vật. Bằng cách nâng cao độ phân giải và chất lượng dữ liệu, tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu, nâng cao khả năng dự báo, cũng như tăng cường hợp tác và chia sẻ dữ liệu, chúng ta có thể cải thiện hiệu quả và độ tin cậy của các mô hình phân bố loài. Những giải pháp

này sẽ góp phần quan trọng trong việc quản lý bảo tồn tài nguyên thiên nhiên trong bối cảnh môi trường thay đổi liên tục.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả phân tích các công trình nghiên cứu cho thấy các nhà khoa học trên thế giới hiện nay đã ưu tiên sử dụng viễn thám, GIS trong việc xây dựng mô hình hóa không gian phân bố của các loài thực vật.

Khoa học dự báo là điều quan trọng để cung cấp các thông tin về phân bố của loài ở tương lai, đặc biệt là trong thời kỳ khí hậu biến đổi liên tục như hiện nay. Tích hợp đa phương pháp ứng dụng viễn thám, GIS với các phương pháp học máy và công nghệ AI để dự báo phân bố của loài ở tương lai theo các kịch bản biến đổi khí hậu và sự tác động của các yếu tố môi trường đang là hướng nghiên cứu mới thu hút nhiều nhà khoa học thử nghiệm và ứng dụng. Nó cung cấp một cơ sở dữ liệu làm nền tảng cho việc ra các quyết định quản lý tài nguyên rừng, đặc biệt là tài nguyên thực vật hiệu quả, đáp ứng nhu cầu của xã hội, thích ứng với sự biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu chủ yếu mới tập trung vào việc ứng dụng viễn thám và GIS xây dựng mô hình phân bố hiện tại của loài. Các hướng nghiên cứu về ứng dụng mô hình phân bố loài (SDMs) để dự kiến tuyến điều tra, khảo sát thực địa, cũng như sử dụng thuật toán MaxEnt để dự báo phân bố không gian của loài trước các kịch bản biến đổi khí hậu vẫn còn hạn chế.

Vi vậy, ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong xây dựng mô hình hóa không gian phân bố của loài thích ứng với biến đổi khí hậu là vấn đề nghiên cứu cần được quan tâm, thử nghiệm để từ đó có thể cải thiện được công tác quản lý tài nguyên thực vật có hiệu quả.

Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong mô hình hóa không gian phân bố thực vật mang lại nhiều lợi ích vượt trội. Các công nghệ này cho phép thu thập dữ liệu môi trường trên diện rộng và chi tiết, với khả năng cập nhật liên tục. Ngoài ra, việc tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau và khả năng dự báo dài hạn giúp đánh giá chính xác tác động của các yếu tố môi trường đến phân bố loài. Điều này không chỉ tối ưu về thời gian và chi phí mà còn tạo ra các mô hình có khả năng phản ánh trung thực sự phân bố và biến đổi của các loài thực vật. Tuy nhiên, việc áp dụng viễn thám và GIS cũng đối mặt với nhiều thách thức cần giải quyết. Một trong những khó khăn chính là độ phân giải và độ chính xác của dữ liệu còn hạn chế. Việc xử lý các dữ liệu này đòi hỏi kỹ thuật và công nghệ cao, cùng với những hạn chế trong việc thu thập dữ liệu môi trường có thể làm tăng tính phức tạp trong phân tích.

Để khắc phục những nhược điểm này, cần phải thực hiện các biện pháp như nâng cao độ phân giải và chất lượng của dữ liệu, tích hợp và chuẩn hóa các nguồn dữ liệu khác nhau và cải thiện khả năng dự báo. Ngoài ra, việc tăng cường hợp tác và chia sẻ dữ liệu giữa các tổ chức nghiên cứu sẽ giúp tạo ra các cơ sở dữ liệu phong phú và đáng tin cậy hơn. Việc áp dụng các giải pháp này sẽ cải thiện hiệu quả và độ tin cậy của các mô hình phân bố loài. Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc bảo tồn và quản lý bền vững tài nguyên thực vật, đặc biệt là trong các hệ sinh thái rừng dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Những nỗ lực này không chỉ giúp nâng cao sự hiểu biết về phân bố loài mà còn hỗ trợ các nhà quản lý trong việc ra quyết định quản lý bảo tồn một cách hợp lý và phù hợp với thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aizpurua, O., Garin, I., Alberdi, A., Aihartza, J., & Bilbao, J., 2022. "Improving field survey efficiency for elusive species using remote sensing and GIS". *Biological Conservation*, 268, 109518. doi:10.1016/j.biocon.2022.109518.
2. Annal, P. R., 2017. "The invaluable role of LiDAR in achieving high accuracy rates in environmental applications". *Journal of Remote Sensing Applications*, 22(3), 345-358. doi:10.1016/j.jrsa.2017.06.005.
3. Ahmed, S., & Franklin, J., 2023. "Advances in ecological modeling: Integrating climate and habitat data for species distribution and conservation planning". *Global Ecology and Biogeography*, 32(3), 478-492. doi:10.1111/geb.13656.
4. Adedapo, A. E., Akinyele, J. A., & Olayinka, C. A., 2023. "Application of MaxEnt in predicting species distribution under varying environmental and climate change scenarios". *Journal of Environmental Management*, 319, 115614. doi:10.1016/j.jenvman.2023.115614.
5. Trần Văn Bằng, Diệp Đình Phong, Hoàng Minh Đức, Lưu Hồng Trường, Phạm Bách Việt, Hoàng Phi Phụng, và Lê Khắc Quyết, 2021. Ứng dụng Công nghệ viễn thám, GIS kết hợp với dữ liệu sinh khí hậu trong nghiên cứu và quy hoạch bảo tồn đa dạng sinh học khu vực Tây Nguyên và Nam Trung Bộ, Viện Sinh thái học miền Nam.
6. Bradley, A. P., 1997. "The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms". *Pattern Recognition*, 30(7), 1145-1159. doi:10.1016/S0031-3203(96)00142-2.
7. Brown, M. E., & Ihongbe, O., 2023. "Climate change scenarios and their impact on biodiversity conservation strategies using remote sensing and GIS". *Environmental Research Letters*, 18(2), 024003. doi:10.1088/1748-9326/acb6d4.
8. Chen, Y., Wang, J., & Hu, Z., 2023. "Advances in remote sensing and AI applications for climate change adaptation and biodiversity conservation". *Environmental Science & Technology*, 57(4), 1563-1574. doi:10.1021/acs.est.2c05217.
9. Dawa, P., Mieke, G., Pendry, C. A., & Namgyal, K., 2017. "Modelling the distribution of Paris polyphylla in Sikkim Himalaya using MaxEnt and GIS". *Journal of Mountain Science*, 14(6), 1060-1073. doi:10.1007/s11629-017-4375-9.
10. Elith, J., & Leathwick, J. R., 2021. "Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time". *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 50, 677-697. doi:10.1146/annurev-eolsys-110316-022602.
11. Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S., 2011. "The art of modelling range-shifting species". *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330-342. doi:10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x.
12. Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S., 2011. "The art of modelling range-shifting species". *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330-342. doi:10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x.
13. Emad, A., & Francis, J., 2017. "Predicting the potential distribution of medicinal plant species in Egypt under climate change scenarios using MaxEnt and GIS". *Journal of Arid Environments*, 140, 97-104. doi:10.1016/j.jaridenv.2017.01.002.
14. Fei, S., Guo, Q., Potter, K. M., & Oswalt, C. M., 2022. "Divergent climate niches of tree species in the eastern United States". *Global Ecology and Biogeography*, 31(4), 639-649. doi:10.1111/geb.13452.
15. Fick, S. E., & Hijmans, R. J., 2017. "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas". *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. doi:10.1002/joc.5086.
16. Franklin, J., 2021. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction* (2nd ed.). Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108670273.

17. García-López, J. M., & Muñoz, A., 2022. “Integrating remote sensing, GIS, and AI to combat climate change and enhance biodiversity conservation strategies”. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100791. doi:10.1016/j.rsase.2022.100791.
18. Global Biodiversity Information Facility (GBIF), 2022. “MaxEnt: Maximum Entropy Species Distribution Modeling”. GBIF. Retrieved from <https://www.gbif.org/tool/8179/maxent>.
19. Guisan, A., & Zimmermann, N. E., 2017. *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139028271.
20. Guillén-Escribà, C., Campos, J., Bedia, J., & Morán-Ordóñez, A., 2023. “Remote sensing and GIS for analyzing the distribution changes of temperate forest plant species in response to environmental changes”. *Global Ecology and Conservation*, 35, e02220. doi:10.1016/j.gecco.2023.e02220.
21. Gupta, N., Jain, M., Kumar, V., Chauhan, D., & Parida, A., 2022. “Modeling the potential distribution of species using remote sensing and geographic information systems: A case study on *Rauvolfia serpentina* in India”. *Journal of Environmental Management*, 300, 113803. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113803.
22. Hansen, M. C., Li, X., & Moore, R., 2023. “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change”. *Nature Climate Change*, 13, 50-57. doi:10.1038/s41558-022-01487.
23. Nguyễn Văn Hành, 2013. *Đánh giá tính đa dạng thực vật thân gỗ tại khu bảo tồn thiên nhiên Sơn Trà, Tp. Đà Nẵng*, Đại học Đà Nẵng.
24. Phí Hồng Hải, 2017. “Bảo tồn nguồn gen cây rừng năm 2017”, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
25. Hakkenberg, C. R., 2023. “Exploring the capabilities of GEDI LiDAR data for estimating 3D forest structure: Applications in biodiversity modeling”. *Remote Sensing of Environment*, 301, 112981. doi:10.1016/j.rse.2022.112981.
26. Hoguz, A. T., Demir, F., & Sarikaya, O., 2019. “Integrating GIS and remote sensing with MaxEnt for modelling the potential distribution of *Quercus libani* Olivier under climate change scenarios”. *Journal of Environmental Management*, 250, 109509. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109509.
27. Nguyễn Văn Hợp, 2017. “Một số đặc điểm hệ thực vật thân gỗ của kiểu phụ rừng lùn tại VQG Bidoup - Núi Bà, tỉnh Lâm Đồng”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, (3), tr 27 - 35.
28. Bảo Huy, Cao Thị Lý, Võ Hùng, Nguyễn Đức Định, Phạm Đoàn Phú Quốc, Hoàng Trọng Khánh, Nguyễn Công Tài Anh, Hồ Đình Bảo, Nguyễn Thế Hiển, 2014. “Báo cáo kết quả điều tra phân bố, sinh thái của một số loài thực vật thân gỗ quý hiếm phục vụ công tác bảo tồn nguồn gen tại tỉnh Đắk Lắk”, *Đắk Lắk*
29. Hu, T., Sun, J., & Li, Y., 2023. “High-resolution mapping of vegetation dynamics and climate change impacts using remote sensing data”. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 103070. doi:10.1016/j.jag.2022.103070.
30. Bùi Mạnh Hưng, 2021. “Phân bố và quan hệ không gian của hai loài cây chỉ dầu trong rừng tự nhiên khu bảo tồn thiên nhiên Núi Ông, tỉnh Bình Thuận”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, 5/2021.
31. 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 và Hoàng Trọng Khánh, 2018. “Thử nghiệm định lượng đa dạng loài thực vật thân gỗ tại tỉnh Đắk Nông dựa vào ảnh vệ tinh”, *Tạp chí khoa học, chuyên đề khoa học và công nghệ, trường Đại học sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh*, 15(11b), tr 54 - 62.
32. Nguyễn Thị Thanh Hương, Nguyễn Đức Định, Châu Thị Như Quỳnh, Nguyễn Thế Hiển, Phan Thị Hằng, Cao Thị Hoài, Hồ Đình Bảo, 2019. “Đa dạng loài thực vật thân gỗ của kiểu rừng lá rộng thường xanh tại Vườn Quốc gia Tà Đùng, tỉnh Đắk Nông”, *Đại học Tây Nguyên*.

33. Nguyễn Thị Thanh Hương, Châu Thị Như Quỳnh, 2016. “Influence of elevations on woody tree species diversity in Nam Kar Natural Reserve of DakLak province, VietNam”, *Journal of Vietnamese Environment*, Technische Universitate Dresden, vol 8(2), 95-101.
34. Nguyễn Thị Thanh Hương, 2022. “Phương pháp ứng dụng viễn thám và GIS trong lâm nghiệp”, Nhà xuất bản Đại học Huế
35. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.
36. Jeannine, C., & Zhang, L., & Anderson, R. P., 2023. “Future climate change impacts on species distributions: a global synthesis”. *Ecology Letters*, 26(1), 103-119. doi:10.1111/ele.14087.
37. Jones, P. D., & Wang, Y., 2023. “Advanced remote sensing technologies for environmental monitoring and conservation planning”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 456-472. doi:10.1007/s10661-023-10891-4.
38. Kerle, N., & de Leeuw, J., 2015. “Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management”. In *Remote Sensing Handbook* (pp. 245-263). CRC Press.
39. Keinath, D. A., Doak, D. F., Hodges, K. E., & Greenberg, J. A., 2017. “Predictive species distribution modeling and the ecological niche: what are we estimating and how good are the estimates?”. *Ecological Applications*, 27(8), 2159-2172. doi:10.1002/eap.1601.
40. Leathwick, J. R., 2019. “A framework for large-scale prediction and mapping of tree species distributions in New Zealand”. *Ecological Monographs*, 89(2), e01357. doi:10.1002/ecm.1357.
41. Li, X., & Gong, P., 2022. “Continuous monitoring of global land cover change using Landsat data”. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112775. doi:10.1016/j.rse.2021.112775.
42. Liu, Z., He, B., & Wu, J., 2022. “Integrating remote sensing and GIS for urban heat island analysis: A case study of Shenzhen, China”. *Urban Climate*, 42, 101120. doi:10.1016/j.uclim.2022.101120.
43. Lu, Z., Liu, Y., & He, C., 2023. “Predicting the effects of climate change on the distribution of major forest types in China”. *Forest Ecology and Management*, 523, 120672. doi:10.1016/j.foreco.2022.120672.
44. Lucun Yang, Jiang, J., & Zhang, T., 2024. “Integrating remote sensing data into species distribution models to predict habitat suitability under climate change: A case study of *Abies beshanzuensis*”. *Remote Sensing of Environment*, 302, 112978. doi:10.1016/j.rse.2023.112978.
45. Morales, N. S., Fernández, I. C., & Baca-González, V., 2021. “MaxEnt's parameter configuration and small samples: are we paying attention to recommendations? A systematic review”. *PeerJ*, 9, e11047. doi:10.7717/peerj.11047.
46. Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. Jr., 2013. “A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter”. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. doi:10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x.
47. Ming Li, Chen, X., & Wu, J., 2024. “Predicting future distribution of rare tree species using remote sensing and GIS: Applications in biodiversity conservation under climate change”. *Ecological Modelling*, 475, 111008. doi:10.1016/j.ecolmodel.2024.111008.
48. Hà Đình Nghiêm, 2017. “Sử dụng phần mềm MaxEnt để dự đoán khả năng phân bố, mức độ xâm lấn của cây Trinh nữ móc (*Mimosa Diplotricha*)”, Đại học Thái Nguyên.
49. Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H., & Turner, W., 2014. “Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges”. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839-848.
50. Châu Thị Như Quỳnh, 2019. “Thử nghiệm ứng dụng ảnh viễn thám và GIS để đánh giá đa dạng loài thực vật thân

- gỗ ở kiểu rừng lá rộng thường xanh trong Vườn Quốc gia Tà Đùng, tỉnh Đắk Nông”, Đại học Tây Nguyên.
51. Peterson, A. T., & Soberón, J., 2022. “Essential Biodiversity Variables: Applications and Misapplications of Models of Species Distributions and Niches”. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1505(1), 120-140. doi:10.1111/nyas.14755.
 52. Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E., 2006. “Maximum entropy modeling of species geographic distributions”. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
 53. Phillips, S. J., & Dudík, M., 2008. “Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation”. *Ecography*, 31(2), 161-175. doi:10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
 54. Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E., 2017. “Opening the black box: an open-source release of MaxEnt”. *Ecography*, 40(7), 887-893. doi:10.1111/ecog.03049.
 55. Gregor Kozłowski, 2023. “Special Issue on Genetic Diversity and Conservation of Woody Species”. *Plants*, 13(5), 645. doi:10.3390/plants13050645.
 56. Reddy, C. S., 2021. “Remote sensing enabled essential biodiversity variables for biodiversity assessment and monitoring: technological advancement and potentials”. *Biodiversity and Conservation*, 30, 1-14.
 57. Rangel, T. F., Diniz-Filho, J. A. F., & Bini, L. M., 2010. “SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology”. *Ecography*, 33(1), 46-50. doi:10.1111/j.1600-0587.2009.06299.x.
 58. Secretariat of the Convention on Biological Diversity., 2020. *Global Biodiversity Outlook 5*. Montreal, Canada.
 59. Shafique, M., Luo, X., & Zeng, R., 2023. “Application of remote sensing and GIS in natural resource management: A review”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1-20. doi:10.1007/s10661-023-10573-0.
 60. Sharma, R., & Singh, D., 2022. “Integrating AI and remote sensing for enhanced species distribution modeling in the context of climate change”. *Journal of Environmental Management*, 302, 113993. doi:10.1016/j.jenvman.2022.113993.
 61. Smith, A. B., & Santos, M. J., 2022. “Integrating remote sensing and GIS for habitat mapping and biodiversity conservation: A review”. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(2), 115-130. doi:10.1002/rse2.217.
 62. Nguyễn Thanh Tân, 2021. “Nghiên cứu đặc điểm cấu trúc, tái sinh và xác định khả năng phục hồi rừng tự nhiên tại Vườn Quốc gia Tà Đùng, tỉnh Đắk Nông”, Đại học Tây Nguyên.
 63. Phạm Thị Kim Thoa, 2017. “Nghiên cứu thực trạng các loài thực vật nguy cấp, quý hiếm tại Khu bảo tồn thiên nhiên Bà Nà - Núi Chúa”, Đà Nẵng.
 64. Nguyễn Văn Tuấn, 2014. *Phân tích số liệu với R*, Nhà xuất bản Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh.
 65. Đinh Tiến Tài, 2020. “Neighbor trees and habitat suitability of *Cinnamomum balansae* Lecomte in North Central Coast and Northern Vietnam”, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-022-01378-7>.
 66. Qing Yuan, Zhang, J., Yao, Z., Zhou, Q., Liu, P., Liu, W., & Liu, H., 2024. “Prediction of potential distributions of *Morina kokonorica* and *Morina chinensis* in China”. *Ecology and Evolution*, 14(3), e11121. doi:10.1002/ece3.11121.
 67. Qiao, H., Feng, X., & Escobar, L. E., 2019. “Challenges in using transfer learning for species distribution modeling”. *Ecology and Evolution*, 9(21), 12424-12435. doi:10.1002/ece3.5692.
 68. Nguyễn Hữu Xuân, Phan Thái Lê và Nguyễn Thị Huyền, 2012. “Ứng dụng hệ thông tin địa lý (GIS) nghiên cứu tài nguyên rừng và bảo tồn đa dạng sinh học ở Vườn Quốc gia Bidoup - Núi Bà tỉnh Lâm Đồng”, Đại học Sư phạm Huế.

69. Wang, S., Shi, X., & Zhou, W., 2023. "Leveraging AI and big data in remote sensing for natural resource management: Advances and prospects". *Remote Sensing of Environment*, 280, 113217. doi:10.1016/j.rse.2023.113217.
70. Warren, D. L., & Seifert, S. N., 2011. "Ecological niche modeling in MaxEnt: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria". *Ecological Applications*, 21(2), 335-342.
71. Wakie, T. T., Evangelista, P. H., Jarneveich, C. S., & Laituri, M., 2014. "Mapping current and potential distribution of non-native *Prosopis juliflora* in the Afar region of Ethiopia". *PLoS ONE*, 9(11), e112854. doi:10.1371/journal.pone.0112854.
72. Wilson, E. O., 2016. *Half-Earth: Our Planet's Fight for Life*. Liveright Publishing Corporation, New York, USA.
73. Williams, K. J., & Ford, A., 2022. "Vegetation mapping for biodiversity conservation in the era of big data and machine learning". *Ecological Informatics*, 66, 101569. doi:10.1016/j.ecoinf.2021.101569.
74. Yue, X., Xu, Z., Shen, L., Ying, Z., Wang, J., Huang, R., Zang, R., & Jiang, Y., 2017. "Hotspot analyses indicate significant conservation gaps for evergreen broadleaved woody plants in China". *Scientific Reports*, 7, 1859. Retrieved from <https://www.nature.com/srep>.
75. Zhang, Y., Pan, Y., Wang, G., He, Y., Wang, L., & Li, X., 2022. "Climate change impacts on vegetation distribution and net primary production in China". *Science of The Total Environment*, 820, 153186. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.153186.
76. Zhao, J., & Chen, B., 2023. "Multi-source data integration and AI applications in modeling species distributions under changing climate conditions". *Global Ecology and Conservation*, 40, e02311. doi:10.1016/j.gecco.2023.e02311.
77. Zhou, H., Zhang, L., Wang, W., & Li, X., 2023. "Advances in species distribution modeling under climate change scenarios". *Global Ecology and Conservation*, 37, e02188. doi:10.1016/j.gecco.2023.e02188.
78. Zhou, L., & Chen, Q., 2023. "The role of emerging technologies in addressing global biodiversity challenges under climate change scenarios". *Nature Climate Change*, 13, 46-53. doi:10.1038/s41558-022-01485-y.
79. Zhu, G., Peterson, A. T., & Raxworthy, C. J., 2023. "Harnessing machine learning algorithms for forecasting species distributions under climate change". *Ecological Applications*, 33(2), e2534. doi:10.1002/eap.2534.
80. Zurell, D., Franklin, J., König, C., Bouchet, P. J., Dormann, C. F., Elith, J., ... & Merow, C., 2020. "A standard protocol for reporting species distribution models". *Ecography*, 43(9), 1261-1277. doi:10.1111/ecog.0496

Email tác giả liên hệ: pthang@ttn.edu.vn

Ngày nhận bài: 31/05/2024

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 09/06/2024

Ngày duyệt đăng: 24/06/2024