

Nghiên cứu sử dụng ảnh đa phổ chụp từ thiết bị bay không người lái trong đánh giá tình trạng dinh dưỡng vườn xoài tại tỉnh Sơn La

Nguyễn Huy Trung*, Nguyễn Quang Thi, Nguyễn Ngọc Anh, Chu Văn Trung, Hoàng Hữu Chiền

Trường Đại học Nông lâm, Đại học Thái Nguyên, phường Quyết Thắng, tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam

Ngày nhận bài 9/4/2024; ngày chuyển phản biện 11/4/2024; ngày nhận phản biện 12/5/2024; ngày chấp nhận đăng 17/5/2024

Tóm tắt:

Thiết bị bay không người lái (Unmanned aerial vehicle - UAV) tích hợp cảm biến đa phổ đang ngày càng phổ biến trong nông nghiệp chính xác. Nghiên cứu này sử dụng chỉ số thực vật (NDVI) từ dữ liệu ảnh thu thập bằng thiết bị bay Phantom 4 Multispectral để đánh giá nhanh tình trạng dinh dưỡng của cây xoài tại huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La (trước sáp nhập) qua bốn giai đoạn: trước ra hoa, ra hoa, đậu quả và thu hoạch. Kết quả chỉ ra rằng, chỉ số NDVI của cây xoài đạt giá trị cao nhất trong giai đoạn trước ra hoa ($NDVI > 0,8$), nhưng giảm đáng kể khi cây chuyển sang giai đoạn ra hoa và đậu quả ($NDVI 0,6-0,8$). Phân loại tình trạng dinh dưỡng (tốt, trung bình, kém) dựa trên ngưỡng NDVI đạt độ chính xác cao, từ 73 đến 82%. Phần lớn cây xoài trong khu vực nghiên cứu được phân loại tình trạng dinh dưỡng tốt, chiếm khoảng 90%, trong khi tỷ lệ cây thuộc nhóm trung bình và kém dao động lần lượt từ 5 đến 8% và từ 1 đến 3%, tùy thuộc vào từng giai đoạn. Nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng UAV trong theo dõi cây ăn quả và gợi mở khả năng tích hợp công nghệ số trong quản lý nông nghiệp bền vững tại Sơn La.

Từ khóa: cây xoài, chỉ số thực vật, dinh dưỡng, phương pháp ngưỡng, thiết bị không người lái, Yên Châu.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.7

Using multispectral images acquired by unmanned aerial vehicle for assessing the nutritional condition of mango trees in Son La province

Huy Trung Nguyen*, Quang Thi Nguyen, Ngoc Anh Nguyen, Van Trung Chu, Huu Chien Hoang

University of Agriculture and Forestry, Thai Nguyen University, Quyet Thang Ward, Thai Nguyen Province, Vietnam

Received 9 April 2024; revised 12 May 2024; accepted 17 May 2024

Abstract:

Unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with multispectral sensors is increasingly utilised for monitoring and assessing crop health, playing a crucial role in precision agriculture. This study employed the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) computed from images captured by Phantom 4 Multispectral UAV for rapidly assessing the nutritional status of mango fruit trees in Yen Chau district, Son La province (before merging) across four different stages: pre-flowering, flowering, fruiting, and harvesting. The results revealed that the NDVI values of mango trees peaked during the pre-flowering stage ($NDVI > 0.8$) but significantly decreased during the flowering and fruiting stages ($NDVI$ from 0.6 to 0.8). Nutritional conditions (good, moderate and poor) were classified based on defined NDVI thresholds, achieving high overall accuracies, ranging from 73% to 82%. The majority of mango trees in the study area exhibited good nutritional status, accounting for approximately 90%, while the proportion of trees categorised as moderate and poor ranged from 5 to 8% and from 1 to 3%, respectively, depending on the stage. This study indicates the potential of UAV technology in monitoring and evaluating fruit trees, paving the way for integration with other digital technologies to enhance the efficiency of sustainable agriculture in Son La province.

Keywords: mango tree, normalised difference vegetation index, nutrition, threshold method, unmanned aerial vehicle, Yen Chau.

Classification numbers: 4.1, 4.7

*Tác giả liên hệ: Email: nguyenhuytrung@tuaf.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Trong ngành nông nghiệp, việc đánh giá sức khỏe cây trồng ngày càng trở nên quan trọng khi nhu cầu về chất lượng, sản lượng sản phẩm ngày càng tăng cao. Đặc biệt, việc tiếp cận thông tin chính xác và nhanh chóng về tình trạng cây trồng không những giúp cải thiện năng suất, mà còn giúp nông dân quản lý và điều chỉnh quá trình canh tác hiệu quả hơn. Sơn La là tỉnh miền núi thuộc khu vực Tây Bắc, sở hữu điều kiện khí hậu và thổ nhưỡng thuận lợi cho phát triển các loại cây ăn quả như xoài, nhãn và mận. Tính đến 2023, diện tích trồng xoài của tỉnh đạt khoảng 20.000 ha, chủ yếu tập trung ở các huyện Yên Châu, Mường La và sông Mã, tỉnh Sơn La (trước sáp nhập) [1]. Trước nhu cầu phát triển nông nghiệp bền vững, tỉnh Sơn La đã và đang đẩy mạnh việc ứng dụng công nghệ cao, nhất là trong lĩnh vực chăm sóc cây ăn quả. Một phần không thể thiếu trong chiến lược phát triển các khu vực chuyên canh cây ăn quả quy mô lớn tại Sơn La là đẩy mạnh nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ hiện đại trong việc đánh giá và chăm sóc cây trồng, giúp người nông dân ra quyết định nhanh chóng và chính xác hơn.

Ở nhiều quốc gia, UAV ngày càng được ứng dụng như một công cụ quan trọng trong công tác giám sát và chăm sóc cây trồng [2-5]. Với khả năng bay linh hoạt, chúng cho phép thu thập thông tin về tình trạng cây trồng chính xác và nhanh chóng. Dữ liệu ảnh từ UAV giúp đánh giá sức khỏe cây trồng và hỗ trợ nhà nông trong việc điều chỉnh chăm sóc [4]. Tính hiệu quả và chính xác của công nghệ UAV đã được thể hiện trong một số nghiên cứu trước đây, đặc biệt là trong việc quản lý các loại cây ăn quả như táo, lê, bưởi, nhãn và cây nông nghiệp khác [6-10]. Các UAV cỡ nhỏ tích hợp cảm biến đa phổ đang được coi là giải pháp thích hợp cho nhiều ứng dụng trong lĩnh vực nông nghiệp [2, 11]. Từ dữ liệu ảnh đa phổ thu thập được bởi UAV, các chỉ số thực vật được tính toán và sử dụng nhằm diễn giải những tín hiệu phản ánh tình trạng bất thường của cây trồng, chẳng hạn như sâu bệnh, thiếu nước hoặc thiếu dinh dưỡng [3, 4]. Trong số đó, các chỉ số phổ biến thường dùng để đánh giá sức khỏe cây bao gồm chỉ số khác biệt thực vật xanh lá (Green normalized difference vegetation index - GNDVI), chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa (Normalized difference vegetation index - NDVI) và chỉ số khác biệt thực vật cạnh đỏ (Red-edge normalized difference vegetation index - NDVI_{re}). Những chỉ số này giữ vai trò quan trọng trong giám sát, đánh giá cây trồng và đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu trước đây [9, 12, 13]. Trong đó, chỉ số NDVI được coi là một trong những chỉ số quan trọng nhất để đánh giá trạng thái sức khỏe của cây, được tính toán dựa trên sự tương phản trong khả năng hấp thụ ánh

sáng đỏ (650-700 nm) và phản xạ ánh sáng cận hồng ngoại (750-1000 nm), hai vùng phổ có liên hệ mật thiết với quá trình quang hợp. Thông thường, cây khỏe mạnh và đủ dinh dưỡng sẽ hấp thụ tới 90-95% năng lượng ánh sáng đỏ để tổng hợp diệp lục, đồng thời phản xạ mạnh bức xạ ở vùng cận hồng ngoại [12].

Việc áp dụng các thuật toán học máy (như Support vector machine, random forest) hoặc các phương pháp học sâu (Deep learning) cho phép đánh giá sức khỏe cây trồng từ dữ liệu ảnh UAV với độ chính xác cao [5, 12, 14, 15]. Tuy nhiên, các phương pháp này thường đòi hỏi kỹ thuật khá phức tạp, khó áp dụng rộng rãi trong điều kiện ứng dụng công nghệ trong sản xuất nông nghiệp chưa đồng bộ như ở nước ta hiện nay. Phương pháp xác định ngưỡng (thresholds) là một trong những kỹ thuật đơn giản để phân loại sức khỏe cây trồng từ chỉ số thực vật. Nhìn chung, cây trồng có sức khỏe tốt thường thể hiện giá trị chỉ số thực vật cao hơn so với cây bị suy yếu. Nghiên cứu của S.A. Suab và cs (2019) [16] cho thấy, NDVI có thể được dùng để phân loại cây cọ dầu, với cây yếu nằm trong khoảng 0,3-0,4 và cây khỏe từ 0,41-1,0. Phương pháp ngưỡng cho phép đánh giá cây trồng nhanh chóng và dễ dàng, đồng thời giảm thiểu sự phức tạp trong việc xử lý dữ liệu. Đặc biệt, một số loại UAV, như DJI Phantom 4 Multispectral, cho phép người dùng theo dõi chỉ số thực vật và đánh giá nhanh cây trồng trực tiếp trên thực địa trong quá trình bay chụp ảnh.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm xây dựng một phương pháp đánh giá và phân loại tình trạng dinh dưỡng của cây xoài tại Sơn La sử dụng công nghệ UAV và phương pháp ngưỡng dựa trên chỉ số NDVI. Phương pháp này tạo nền tảng khoa học cho việc ứng dụng UAV trong công tác giám sát và đánh giá tình trạng sinh trưởng của cây xoài, có thể áp dụng cho nhiều loại cây trồng khác và trong các khu vực chuyên canh nông nghiệp lớn.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thời gian và địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 8/2022 đến 6/2023 tại khu vực trồng xoài chuyên canh có diện tích 10 ha, thuộc Hợp tác xã Nông nghiệp an toàn Chiềng Hặc, huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La. Tọa độ trung tâm của khu vực nghiên cứu là 21°02'09.8" Bắc và 104°22'51.1" Đông. Đây là khu vực nằm trên sườn núi, có độ cao trung bình khoảng 505 m (dao động từ 420 đến 590 m), với độ dốc trung bình là 15°. Loại đất trong khu vực nghiên cứu là feralit trên núi, có tầng canh tác khá dày, thích hợp cho cây xoài phát triển. Toàn bộ diện tích được trồng giống xoài nhập nội Đài Loan, Trung Quốc (GL4), cho năng suất trung bình hàng năm từ

14 đến 16 tấn/ha. Cây xoài giống chủ yếu được sản xuất theo phương pháp nhân giống vô tính (ghép cành). Tổng số cây xoài trong khu vực nghiên cứu trên 4.500 cây, với mật độ trung bình đạt 456 cây/ha và khoảng cây trung bình là 3,7 m. Độ tuổi trung bình đạt từ 6 đến 7 năm. Chiều cao cây xoài trung bình là 4,1 m, trong đó phổ biến nhất là từ 3 đến 5 m, diện tích tán phổ biến từ 2,0 đến 11 m² (trung bình khoảng 7,5 m²).

2.2. Vật liệu

Thiết bị bay DJI Phantom 4 Multispectral được sử dụng để thu thập dữ liệu ảnh. Đây là thiết bị được thiết kế chuyên biệt cho các ứng dụng nông nghiệp. Thiết bị có khối lượng khoảng 1,5 kg, với mỗi pin cho phép thời gian bay trung bình 27 phút. Hệ thống cảm biến gồm 6 camera: một cảm biến thu ảnh toàn sắc (RGB) và một cụm cảm biến đa phổ với 5 kênh trải rộng từ vùng sáng nhìn thấy đến cận hồng ngoại (bảng 1). Kế hoạch bay và quá trình điều khiển bay được thực hiện trên phần mềm DJI Ground Station Pro (phiên bản v2.0.17) trên máy tính bảng iPad Pro, tích hợp trên bộ điều khiển từ xa.

Bảng 1. Các kênh ảnh đa phổ thu thập bằng Phantom 4 Multispectral.

TT	Kênh ảnh	Bước sóng
1	Lục (Green)	450±16 nm
2	Lam (Blue)	560±16 nm
3	Đỏ (Red)	650±16 nm
4	Cạnh đỏ (Red edge)	730±16 nm
5	Cận hồng ngoại (Near infrared)	840±26 nm

Dữ liệu ảnh phục vụ đánh giá tình trạng cây trồng được thu thập qua 4 giai đoạn của một chu kỳ sinh trưởng: trước khi ra hoa (11/2022), ra hoa (2/2023), đậu quả (4/2023) và chuẩn bị thu hoạch (6/2023). Ở mỗi lượt thu thập dữ liệu, thời gian bay chụp được lựa chọn là từ khoảng 11:00 đến 13:00 giờ để hạn chế bóng địa vật, trong điều kiện thời tiết phù hợp (trời nắng, ít mây và tốc độ gió dưới 4 m/s). Ảnh được UAV thu thập ở độ cao 50 m, tốc độ bay trung bình 4 m/s, với độ chồng phủ 80% theo hai hướng ngang và dọc. Tổng số gần 6.000 ảnh (cho 6 cảm biến) được thu thập cho mỗi lượt, với độ phân giải ảnh gốc 3,1 cm (kích thước ảnh 1.600x1.300 pixel). Ngoài ra, 10 điểm không chế mặt đất cũng được thu thập bằng công nghệ Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu để nâng cao độ chính xác trong xử lý ảnh. Tọa độ các điểm không chế được thu thập sử dụng thiết bị định vị Trimble R8 với độ chính xác khoảng 3 mm.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Đánh giá cây mẫu

Tình trạng dinh dưỡng của cây mẫu được xác định thông qua đánh giá chuyên gia và được thực hiện cùng thời điểm thu thập ảnh UAV (tương ứng với 4 lượt thu ảnh UAV). Trong mỗi đợt khảo sát, nhóm gồm ba nhà khoa học chuyên ngành cây trồng phối hợp với người dân địa phương tiến hành khảo sát thực địa và lựa chọn ngẫu nhiên 60 cây mẫu trong khu vực nghiên cứu. Tình trạng dinh dưỡng của cây mẫu được đánh giá và phân loại thành 3 mức độ: kém (cây thiếu dinh dưỡng nghiêm trọng), trung bình và tốt. Kết quả đánh giá trên cây mẫu được sử dụng để kiểm định mối quan hệ giữa chỉ số thực vật và tình trạng dinh dưỡng, xác định ngưỡng phân loại và đánh giá độ chính xác.

2.3.2. Xử lý ảnh và xác định vị trí cây trồng

Dữ liệu ảnh từ thiết bị UAV sau khi thu thập được xử lý bằng phần mềm Pix4Dmapper. Quá trình này bao gồm việc nhập ảnh cùng các tham số cần thiết, sau đó phần mềm tự động ghép nối các ảnh có độ chồng phủ cao thông qua việc phát hiện điểm đồng nhất (keypoints) và xây dựng đám mây điểm dày đặc. Từ đám mây điểm, phần mềm tiếp tục tạo mô hình số độ cao (DEM), ảnh ghép trực giao RGB (orthomosaic), đồng thời tính toán giá trị phản xạ của năm kênh phổ đã thu thập. Các sản phẩm đầu ra được xuất với độ phân giải 4,5 cm để phục vụ các bước phân tích tiếp theo. Vị trí và hình thái tán cây xoài được xác định dựa trên mô hình chiều cao tán (Canopy Height Model - CHM) bằng cách áp dụng kỹ thuật tìm cực đại cục bộ (local maxima) kết hợp với thuật toán phân đoạn ảnh (watershed segmentation). Chi tiết về phương pháp xử lý ảnh và trích xuất đặc điểm cấu trúc cây trồng từ ảnh UAV được trình bày bởi H.T. Nguyen và cs (2023a, c) [10, 17].

2.3.3. Kiểm định mối quan hệ giữa chỉ số thực vật và các nhóm tình trạng dinh dưỡng

Từ ảnh UAV đã xử lý, chỉ số NDVI được tính toán nhằm phục vụ đánh giá tình trạng dinh dưỡng của cây trồng. Chỉ số NDVI được chọn sau khi so sánh các kết quả từ một số chỉ số thực vật khác như GNDVI và NDVI_{re} và cho kết quả tốt nhất. Chỉ số NDVI được tính toán theo công thức sau:

$$NDVI = \frac{\text{Cận hồng ngoại} - \text{Đỏ}}{\text{Cận hồng ngoại} + \text{Đỏ}} \quad (1)$$

Chỉ số NDVI của mỗi cây được xác định là giá trị trung bình của tất cả các điểm ảnh trên cây đó. Mối quan hệ giữa chỉ số NDVI và các nhóm tình trạng dinh dưỡng (tốt, trung bình, kém) được kiểm định sử dụng phương pháp Kruskal-Wallis [18] dựa trên tập cây mẫu (n=60). Phép kiểm định phi tham số Kruskal-Wallis thường được áp dụng nhằm xác

định liệu có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về trung vị giữa các nhóm mẫu hay không. Chỉ số NDVI của tập cây mẫu cũng được sử dụng để xác định giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của mỗi nhóm, phục vụ tính toán ngưỡng phân loại ở bước tiếp theo.

2.3.4. Xác định ngưỡng phân loại và đánh giá độ chính xác

Ngưỡng phân loại tình trạng dinh dưỡng được xác định từ chỉ số NDVI dựa trên tập cây mẫu (n=60). Ngưỡng phân loại được tính toán như sau:

$$NDVI_{K_TB} = \frac{(\bar{x}_K + s_K) + (\bar{x}_{TB} - s_{TB})}{2} \quad (2)$$

$$NDVI_{TB_T} = \frac{(\bar{x}_{TB} + s_{TB}) + (\bar{x}_T - s_T)}{2} \quad (3)$$

trong đó, $NDVI_{K_TB}$ là ngưỡng phân loại giữa nhóm kém và trung bình; $NDVI_{TB_T}$ là ngưỡng phân loại giữa nhóm trung bình và tốt. \bar{x} là giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của chỉ số NDVI của tập cây mẫu, tương ứng với mỗi nhóm tình trạng dinh dưỡng (tốt=T, trung bình=TB, kém=K). Ở mỗi giai đoạn sinh trưởng khác nhau, cây trồng thường có đặc trưng phân xạ phổ riêng biệt. Do đó, ngưỡng phân loại được xác định độc lập cho từng giai đoạn, bao gồm trước ra hoa, ra hoa, đậu quả và thu hoạch.

Kết quả phân loại tình trạng dinh dưỡng của cây dựa trên chỉ số NDVI sẽ được so sánh với kết quả đánh giá cây mẫu trên thực địa bằng phương pháp chuyên gia. Độ chính xác của kết quả phân loại được đánh giá thông qua độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa tính toán từ ma trận nhầm lẫn (confusion matrix), cùng với hệ số p.

3. Kết quả và bàn luận

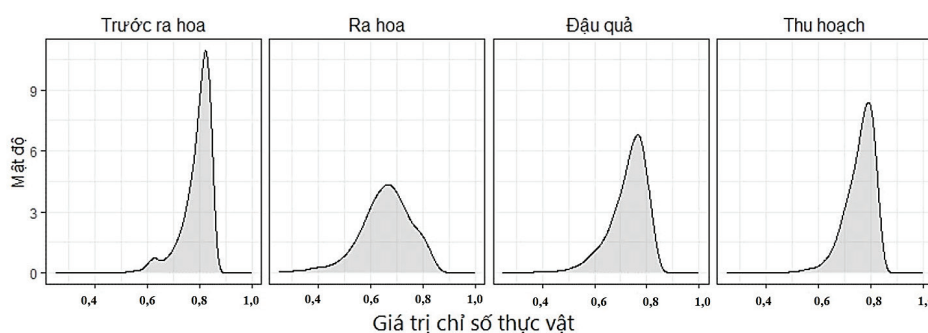
3.1. Mối quan hệ giữa chỉ số thực vật và các nhóm tình trạng dinh dưỡng

Kết quả cho thấy, chỉ số NDVI của cây xoài đạt giá trị cao nhất trong giai đoạn trước ra hoa, trong đó đa số cây có chỉ số NDVI > 0,8 (hình 1). Tuy nhiên, khi cây chuyển sang giai đoạn ra hoa, chỉ số NDVI giảm đáng kể, đa số cây có giá trị 0,6-0,8, sau đó tăng dần khi cây chuyển sang giai đoạn đậu quả và

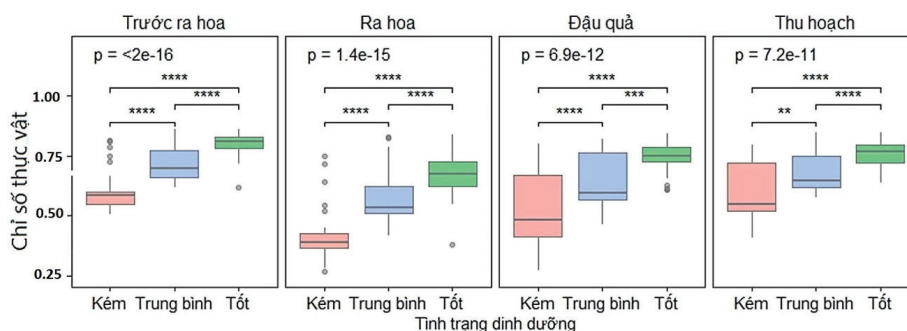
thu hoạch. Điều này phản ánh sự thay đổi trong hoạt động sinh học của cây, từ việc tập trung vào tăng trưởng và phát triển cấu trúc đến quá trình sinh sản và phát triển quả. Ở giai đoạn trước khi ra hoa, cây thường có mức độ hấp thụ ánh sáng cao hơn để phục vụ quá trình quang hợp và tập trung vào việc tăng trưởng lá và cấu trúc của cây để chuẩn bị cho quá trình ra hoa. Khi cây chuyển sang giai đoạn ra hoa và đậu quả, mức độ hấp thụ ánh sáng từ lá cây có thể giảm đi và một phần được chuyển hướng vào quá trình sản xuất hoa và quả [19].

Kết quả phân tích cho thấy, NDVI có mối quan hệ chặt chẽ với tình trạng dinh dưỡng của cây xoài, với giá trị p nhỏ hơn mức ý nghĩa thống kê (p < 0,05) ở cả 4 giai đoạn nghiên cứu (hình 2).

Giá trị NDVI thấp phản ánh mức độ thiếu dinh dưỡng nghiêm trọng hơn ở cây trồng. Kết quả này phù hợp với những phát hiện trong các nghiên cứu trước đây thực hiện trên các cây trồng khác như bưởi và lúa [12, 20], cho thấy chỉ số NDVI là một chỉ thị tốt để đánh giá dinh dưỡng cây trồng. Sự khác biệt rõ rệt về chỉ số NDVI giữa các nhóm cây được quan sát ở giai đoạn trước ra hoa và ra hoa (p < 0,0001). Tuy nhiên, vẫn có những giá trị ngoại biên ở giai đoạn đậu quả và thu hoạch, với một số cây thuộc nhóm trung bình và kém dinh dưỡng có chỉ số khá cao.



Hình 1. Mật độ phân phối của cây xoài (n=4.522) theo chỉ số thực vật ở các giai đoạn sinh trưởng.



Hình 2. Chỉ số NDVI của cây xoài (n=60) theo các nhóm tình trạng dinh dưỡng. Ký hiệu các mức ý nghĩa *: p < 0,05; **: p < 0,01; ***: p < 0,001; ****: p < 0,0001.

Nhóm cây kém dinh dưỡng có chỉ số NDVI trung bình khoảng 0,61 trong giai đoạn trước ra hoa và thu hoạch, cao hơn nhiều so với giai đoạn ra hoa (0,42) và đậu quả (0,52) (bảng 2). Xu hướng này cũng được thể hiện rõ đối với nhóm cây thuộc nhóm dinh dưỡng trung bình và tốt. Nhóm trung bình có chỉ số NDVI từ 0,57 (ra hoa) đến 0,72 (trước ra hoa); trong khi đó nhóm tốt có giá trị từ 0,68 đến 0,80. Ngoài ra, biến động về chỉ số NDVI của nhóm cây kém và trung bình thường lớn hơn (độ lệch chuẩn lớn hơn) so với nhóm cây tốt.

Bảng 2. Giá trị trung bình (\bar{x}) và độ lệch chuẩn (s) của chỉ số thực vật theo nhóm tình trạng dinh dưỡng.

Nhóm	Trước ra hoa		Ra hoa		Đậu quả		Thu hoạch	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kém	0,61	0,09	0,42	0,11	0,52	0,14	0,61	0,11
Trung bình	0,72	0,07	0,57	0,11	0,66	0,11	0,69	0,08
Tốt	0,80	0,04	0,68	0,08	0,75	0,05	0,76	0,05

3.2. Ngưỡng phân loại và độ chính xác

Ngưỡng NDVI để phân loại và đánh giá tình trạng dinh dưỡng được xác định dựa trên kết quả thống kê trên cây mẫu (bảng 2). Kết quả cho thấy, ngưỡng phân loại NDVI có sự thay đổi theo giai đoạn sinh trưởng (bảng 3).

Bảng 3. Ngưỡng chỉ số thực vật để phân loại nhóm tình trạng dinh dưỡng.

Nhóm	Trước ra hoa	Ra hoa	Đậu quả	Thu hoạch
Kém	<0,67	<0,50	<0,61	<0,65
Trung bình	0,67-0,78	0,50-0,64	0,61-0,73	0,63-0,74
Tốt	>0,78	>0,64	>0,73	>0,74

Trong giai đoạn trước ra hoa, cây được xác định là kém dinh dưỡng khi chỉ số NDVI dưới 0,67, cây dinh dưỡng tốt khi chỉ số NDVI trên 0,78, nhóm cây trung bình nằm ở giữa hai ngưỡng này. Không có sự khác biệt lớn về ngưỡng NDVI giữa giai đoạn cây đậu quả và thu hoạch. Tuy nhiên, trong thời kỳ ra hoa, ngưỡng phân loại thấp hơn rõ rệt, với giá trị dưới 0,50 cho nhóm kém và trên 0,64 cho nhóm tốt (bảng 3). Kết quả này được tương thích với sự biến đổi của chỉ số NDVI theo các giai đoạn khác nhau (hình 1) và phù hợp với kết quả đánh giá mối quan hệ giữa chỉ số NDVI và các nhóm tình trạng dinh dưỡng được trình bày trước đó. Kết quả này cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của việc điều chỉnh ngưỡng phân loại NDVI cho từng giai đoạn cụ thể để phản ánh chính xác tình trạng dinh dưỡng của cây trong các giai đoạn sinh trưởng khác nhau.

Độ chính xác của kết quả phân loại nhóm tình trạng dinh dưỡng dựa trên chỉ số NDVI trích xuất từ dữ liệu ảnh UAV dao động khoảng từ 73 đến 82%, với $p < 0,001$ và hệ số Kappa từ 0,68 đến 0,73 (bảng 4). Kết quả phân loại tốt nhất thu được cho giai đoạn trước ra hoa, trong khi thấp nhất cho giai đoạn thu hoạch. Ngoài ra, việc phân loại giữa các nhóm dinh dưỡng kém và trung bình, hoặc trung bình và tốt thường gặp nhầm lẫn. Thực tế, quá trình đánh giá của các chuyên gia cây trồng trên thực địa cũng gặp khó khăn trong việc phân biệt và đánh giá chính xác các cây thuộc nhóm kém hay trung bình, hoặc trung bình hay tốt. Độ chính xác trong phân loại nhóm tình trạng dinh dưỡng từ chỉ số NDVI thấp hơn một chút so với các nghiên cứu sử dụng các phương pháp học máy, ví dụ qua số liệu tham khảo của H.T. Nguyen và cs (2023b) [12]. Tuy nhiên, kết quả này vẫn phù hợp với mục tiêu nghiên cứu, đồng thời chỉ ra rằng chỉ số NDVI trích xuất từ ảnh UAV có thể cung cấp cơ sở đáng tin cậy để đánh giá và phân loại tình trạng dinh dưỡng của cây trồng. Điều quan trọng là phương pháp trong nghiên cứu này cung cấp một giải pháp đánh giá nhanh chóng và dễ thực hiện mà không cần đến kỹ năng và kiến thức về các thuật toán phân loại phức tạp.

Bảng 4. Độ chính xác trong phân loại nhóm tình trạng dinh dưỡng từ chỉ số thực vật, so sánh với kết quả đánh giá cây mẫu bằng chuyên gia (n=60).

Thông số	Trước ra hoa	Ra hoa	Đậu quả	Thu hoạch
Độ chính xác tổng thể	0,82	0,79	0,74	0,73
Khoảng tin cậy 95%	0,75-0,91	0,70-0,87	0,66-0,84	0,65-0,83
Hệ số Kappa	0,73	0,72	0,70	0,68
Hệ số p	0,005	0,007	0,002	0,002

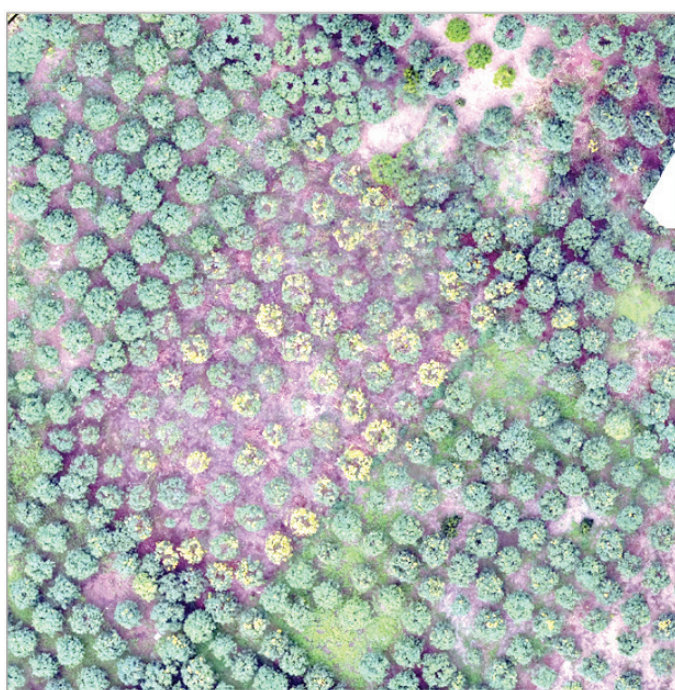
3.3. Kết quả phân loại nhóm tình trạng dinh dưỡng cây xoài

Ngưỡng phân loại đã được xác định ở phần trước được áp dụng để đánh giá tình trạng dinh dưỡng của cây xoài tại khu vực nghiên cứu. Thống kê kết quả đánh giá tình trạng dinh dưỡng cây xoài được trình bày tại bảng 5. Ví dụ về kết quả phân loại trong giai đoạn trước ra hoa được thể hiện ở hình 3. Phần lớn cây xoài trong khu vực nghiên cứu có tình trạng sức khỏe tốt, chiếm khoảng 90%. Tỷ lệ cây có tình trạng dinh dưỡng trung bình dao động từ 5 đến 8%, tùy thuộc vào từng giai đoạn. Trong khi đó, tỷ lệ cây kém dinh dưỡng thường dao động từ 1 đến 3%. Số lượng cây xoài kém dinh dưỡng có xu hướng giảm khi di chuyển qua các giai đoạn từ trước ra hoa đến thu hoạch, chuyển dần sang tình trạng dinh dưỡng trung bình và tốt (bảng 5).

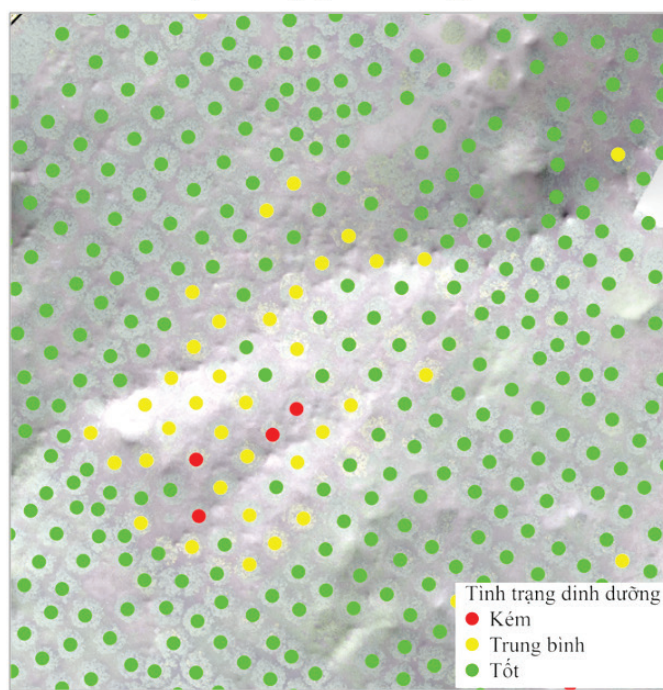
Bảng 5. Kết quả đánh giá tình trạng dinh dưỡng cây xoài tại khu vực nghiên cứu.

Nhóm	Trước ra hoa		Ra hoa		Đậu quả		Thu hoạch	
	Số cây	Tỷ lệ (%)	Số cây	Tỷ lệ (%)	Số cây	Tỷ lệ (%)	Số cây	Tỷ lệ (%)
Tốt	4141	91,6	4098	90,6	4052	89,6	4117	91,0
Trung bình	239	5,3	365	8,1	371	8,2	321	7,1
Kém	142	3,1	59	1,3	99	2,2	84	1,9

Ảnh chụp từ thiết bị máy bay không người lái



Phân loại tình trạng dinh dưỡng



Hình 3. Ví dụ về kết quả phân loại tình trạng dinh dưỡng cây xoài giai đoạn trước ra hoa, so sánh với hình ảnh chỉ số thực vật (màu thực).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công ảnh đa phổ thu thập bằng UAV Phantom 4 Multispectral phục vụ đánh giá nhanh tình trạng dinh dưỡng cây xoài trên diện tích lớn. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh mối liên hệ chặt chẽ giữa chỉ số NDVI và các nhóm tình trạng dinh dưỡng (tốt, trung bình, kém) của cây xoài ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau, từ giai đoạn trước ra hoa đến thu hoạch. Việc xác định ngưỡng NDVI phù hợp cho từng giai đoạn sinh trưởng là yếu tố then chốt nhằm nâng cao độ chính xác trong phân loại tình trạng dinh dưỡng cây trồng. Đối với cây xoài, phương pháp này đạt độ chính xác từ 73% đến 82%. Kết quả nghiên cứu không chỉ tạo cơ sở khoa học cho ứng dụng UAV trong giám

sát và đánh giá tình trạng cây xoài, mà còn có thể mở rộng cho nhiều loại cây ăn quả khác tại các vùng sản xuất nông nghiệp tập trung. Phương pháp này có thể được mở rộng và ứng dụng tích hợp với các công nghệ khác trong việc quản lý và cải thiện năng suất của các mô hình nông nghiệp số và bền vững. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ tập trung vào việc đánh giá tình trạng dinh dưỡng của cây trồng bằng cách phân loại chúng thành ba nhóm. Do đó, cần tiến hành các nghiên cứu chuyên sâu hơn nhằm ước tính hàm lượng dinh dưỡng của cây trồng thông qua công nghệ UAV.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này thuộc đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển khoa học công nghệ tỉnh Sơn La, mã số ĐTCN.05/22. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Department of Agriculture and Rural Development of Son La province (2023), *Report on The Development of Fruit Trees and Perennial Industrial Trees in Son La Province* (in Vietnamese).

[2] L.R.D. Amaral, C. Zerbato, R.G.D. Freitas, et al. (2020), “UAV applications in agriculture 4.0”, *Revista Ciência Agronômica*, **51(5)**, DOI: 10.5935/1806-6690.20200091 (in Portuguese).

[3] A.I.D. Castro, Y. Shi, J.M. Maja, et al. (2021), “UAVs for vegetation monitoring: Overview and recent scientific contributions”, *Remote Sensing*, **13(11)**, DOI: 10.3390/rs13112139.

- [4] J. Cuaran, J. Leon (2021), “Crop monitoring using unmanned aerial vehicles: A review”, *Agricultural Reviews*, **42(2)**, pp.121-132, DOI: 10.18805/ag.R-180.
- [5] C.J. Chen, Y.Y. Huang, Y.S. Li, et al. (2021), “Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying”, *IEEE Access*, **9**, pp.21986-21997, DOI: 10.1109/access.2021.3056082.
- [6] D. Xiao, Y. Pan, J. Feng, et al. (2022), “Remote sensing detection algorithm for apple fire blight based on UAV multispectral image”, *Computers and Electronics in Agriculture*, **199**, DOI: 10.1016/j.compag.2022.107137.
- [7] C. Zhang, J. Valente, L. Kooistra, et al. (2021), “Orchard management with small unmanned aerial vehicles: A survey of sensing and analysis approaches”, *Precision Agriculture*, **22(6)**, pp.2007-2052, DOI: 10.1007/s11119-021-09813-y.
- [8] V.Q. Tuan, N.T. Loi, Q.T. Dal, et al. (2021), “Applying UAV technology (drones) to monitor and support early warning of pests in rice cultivation areas in Soc Trang province”, *Can Tho University Journal of Science*, **57(2)**, pp.28-38, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2021.034 (in Vietnamese).
- [9] M. Yang, M.A. Hassan, K. Xu, et al. (2020), “Assessment of water and nitrogen use efficiencies through UAV-based multispectral phenotyping in winter wheat”, *Front. Plant Sci.*, **11**, DOI: 10.3389/fpls.2020.00927.
- [10] H.T. Nguyen, Q.T. Nguyen, D.H. Nguyen, et al. (2023a), “Using unmanned aerial vehicle for extracting fruit tree structural properties in Son La province”, *Journal of Vietnam Agricultural Science and Technology*, **5(147)**, pp.75-82 (in Vietnamese).
- [11] D.C. Tsouros, A. Triantafyllou, S. Bibi, et al. (2019), “Data acquisition and analysis methods in UAV-based applications for precision agriculture”, *Conference: 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, DOI: 10.1109/DCOSS.2019.00080.
- [12] H.T. Nguyen, T.K.O. Le, T.H. Bui, et al. (2023b), “Assessment of fruit tree nutritional conditions using unmanned aerial vehicle and machine learning”, *Journal of Forestry Science and Technology*, **12(6)**, pp.18-26 (in Vietnamese).
- [13] J. Barbedo (2019), “A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses”, *Drones*, **3(2)**, DOI: 10.3390/drones3020040.
- [14] H. Zheng, W. Li, J. Jiang, et al. (2018), “A comparative assessment of different modeling algorithms for estimating leaf nitrogen content in winter wheat using multispectral images from an unmanned aerial vehicle”, *Remote Sensing*, **10(12)**, DOI: 10.3390/rs10122026.
- [15] D. Zermas, D. Teng, P. Stanitsas, et al. (2015), “Automation solutions for the evaluation of plant health in corn fields”, *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp.6521-6527, DOI: 10.1109/IROS.2015.7354309.
- [16] S.A. Suab, M.S. Syukur, R. Avtar, et al. (2019), “Unmanned aerial vehicle (UAV) derived normalised difference vegetation index (NDVI) and crown projection area (CPA) to detect health conditions of young oil palm trees for precision agriculture”, *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **XLII-4/W16**, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-611-2019.
- [17] H.T. Nguyen, T.H. Bui, D.H. Nguyen, et al. (2023c), “Effects of flight altitudes on the determination of pomelo fruit tree locations and heights using Unmanned Aerial Vehicle”, *TNU Journal of Science and Technology*, **228(9)**, pp.384-391, DOI: 10.34238/tnu-jst.7667.
- [18] W.W. Daniel (1990), “Kruskal-Wallis one-way analysis of variance by ranks”, *Applied Nonparametric Statistics*, pp.226-234.
- [19] J. Zhu, R. Fraysse, M.C. Trought, et al. (2020), “Quantifying the seasonal variations in grapevine yield components based on pre-and post-flowering weather conditions”, *OENO One*, **54(2)**, DOI: 10.20870/oeno-one.2020.54.2.2926.
- [20] V.H. Bui, Q.H. Ngo, H.C. Nguyen, et al. (2022), “Unmanned aerial vehicle imaging application for crop health in rice field”, *Science & Technology Development Journal-Engineering and Technology*, DOI: 10.32508/stdjet.v5i1.941.