AN APPLICATION OF SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY MAPPING OF SOIL pH AND NDVI INDEXES IN SMALL-SCALE DURIAN ORCHARDS MANAGEMENT

Ho The Anh[1,2], Luu Trong Hieu[2], Vo Quang Minh[2], Nguyen Chi Ngon[2*]
[1]Can Tho University of Technology, [2]Can Tho University

ARTICLE INFO

Received: 19/3/2024
Revised: 29/5/2024
Published: 30/5/2024

KEYWORDS

Soil electrical conductivity
Soil pH
Soil moisture
Durian
NDVI

ABSTRACT

Durian is hailed as the king of fruits and is widely cultivated in the Mekong Delta region. However, most cultivation and orchard management techniques rely on experience combined with expert recommendations. The purpose of this research is to utilize soil EC (electrical conductivity), soil pH, and NDVI (normalized difference vegetation index) indices obtained from UAVs to develop a comprehensive management solution for durian orchards. The research results demonstrate a correlation between soil EC and moisture obtained from the Wenner method and ES-SM-THEC-01 sensor with an R^2 value of 0.9081. The correlation between soil EC and NDVI is r = 0.754, p = 0, N = 116 (Pearson correlation). Although soil EC and pH maps were created on a small scale, they reflected the heterogeneous distribution based on crop locations. The research results can be further refined and developed into an effective toolkit to provide farmers with better orchard management tools.

MỘT ỨNG DỤNG CỦA BẢN ĐỒ SỐ ĐỘ DẪN ĐIỆN ĐẤT, pH ĐẤT VÀ CHỈ SỐ NDVI TRONG QUẢN LÝ VƯỜN SẦU RIÊNG QUY MÔ NHỎ

Hồ Thế Anh[1,2], Lưu Trọng Hiếu[2], Võ Quang Minh[2], Nguyễn Chí Ngôn[2*]
[1]Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Cần Thơ, [2]Trường Đại học Cần Thơ

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 19/3/2024
Ngày hoàn thiện: 29/5/2024
Ngày đăng: 30/5/2024

TỪ KHÓA

Độ dẫn điện đất
pH đất
Độ ẩm đất
Cây sầu riêng
NDVI

TÓM TẮT

Cây sầu riêng được mệnh danh là vua các loài trái cây và phù hợp để trồng phổ biến tại khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long. Tuy nhiên, phần lớn kỹ thuật trồng và quản lý vườn sầu riêng thông qua kinh nghiệm kết hợp các khuyến cáo từ chuyên gia. Mục đích nghiên cứu này sử dụng các chỉ số EC (độ dẫn điện - electrical conductivity) đất, pH đất và chỉ số NDVI (chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa - normalized difference vegetation index) thu được từ các máy bay không người lái (UAV), tạo thành một giải pháp quản lý tổng hợp cho vườn sầu riêng. Kết quả nghiên cứu thể hiện mối tương quan giữa EC và độ ẩm thu được từ phương pháp Wenner và cảm biến ES-SM-THEC-01 với R^2 = 0,9081. Mối tương quan giữa EC đất và chỉ số NDVI với r = 0,754, p = 0, N = 116 (Tương quan Pearson). Mặc dù các bản đồ EC và pH đất được lập ở quy mô nhỏ nhưng đã phản ánh sự phân bố không đồng nhất theo vị trí cây trồng. Kết quả nghiên cứu có thể được hoàn thiện và phát triển thành bộ công cụ hiệu quả để nhà nông có thêm công cụ quản lý vườn cây được tốt hơn.

DOI: https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9922

* Corresponding author. *Email: ncngon@ctu.edu.vn*

1. Giới thiệu

Sầu riêng là loại cây bản địa được trồng tại các nước Đông Nam Á và được mệnh danh là vua của các loài trái cây [1]. Loại trái cây này được ưa chuộng trên toàn thế giới vì mùi thơm nồng và hương vị độc đáo [2]. Tuy nhiên, để cây sầu riêng có thể phát triển tốt cần phải chăm sóc thường xuyên, kiểm soát tốt các chỉ số như pH, độ ẩm và độ mặn đất. Lập bản đồ độ dẫn điện biểu kiến của đất cho phép nông dân giám sát tính chất đất một cách hiệu quả, phân định các khu vực quản lý và thiết lập ranh giới đất [3]. Kỹ thuật lập bản đồ này, khi được tích hợp với viễn thám và cảm biến đất, tạo điều kiện xác định sự biến đổi trong vườn cây, hỗ trợ thực hành nông nghiệp chính xác [4].

Hơn nữa, độ dẫn điện của đất EC đã được chứng minh là một yếu tố dự báo đáng tin cậy về tính chất của nước trong đất, đặc biệt là ở các cánh đồng có sự thay đổi không gian đáng kể về kết cấu đất trong khu vực được quản lý [5]. Trong quản lý vườn cây, việc sử dụng bản đồ độ dẫn điện của đất là nền tảng căn bản để xác định các khu vực quản lý trong các bối cảnh nông nghiệp khác nhau, chẳng hạn như các lĩnh vực sản xuất cà phê [6]. Các nghiên cứu đã nhấn mạnh rằng độ dẫn điện biểu kiến của đất có thể hỗ trợ phân định ranh giới các khu vực quản lý do mối tương quan mạnh mẽ của nó với các tính chất đất đa dạng [7]. Ngoài ra, công nghệ này đã tìm thấy ứng dụng trong vườn táo để đánh giá sự phù hợp của đất và lập bản đồ biến đổi không gian đất bằng cách sử dụng độ dẫn điện của đất biểu kiến [8].

Mặt khác, việc kết hợp chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI trong quản lý vườn cây ăn quả cung cấp những hiểu biết có giá trị về động lực thực vật. NDVI đóng vai trò là chỉ số đại diện để đánh giá dịch vi-rút tristeza trên cây cam quýt trong vườn cam, chứng minh hiệu quả của nó trong việc theo dõi sức khỏe vườn cây ăn quả [9]. Ngoài ra, khi kết hợp với lập bản đồ độ dẫn điện của đất và phân tích tính chất đất, NDVI góp phần hiểu biết toàn diện về sự biến đổi của đất, hỗ trợ việc ra quyết định trong vườn cây ăn quả [4].

Như vậy, việc áp dụng đồng bộ giải pháp lập bản đồ độ dẫn điện của đất, đánh giá độ pH của đất và chỉ số NDVI trong quản lý vườn sầu riêng quy mô nhỏ thể hiện một cách tiếp cận toàn diện nhằm tối ưu hóa các hoạt động nông nghiệp, tăng cường độ phì nhiêu của đất và cải thiện năng suất cây trồng. Mục đích nghiên cứu này trình bày giải pháp sử dụng bản đồ đất được lập từ phần mềm QGIS về EC, pH đất kết hợp với chỉ số NDVI thu thập từ UAV để quản lý vườn sầu riêng ở qui mô nhỏ. Kết quả nghiên cứu này có thể được áp dụng trong các nghiên cứu tiếp theo và được sử dụng như một công cụ giúp cho quản lý cây trồng theo vị trí được tốt hơn.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại một vườn sầu riêng có diện tích 0,3 ha ở ngoại ô Thành phố Cần Thơ có tọa độ 10°01'28.6"N 105°34'54.8"E. Thửa đất này có lịch sử trồng lúa nước sau đó được thay đổi kết cấu để chuyển sang canh tác cây ăn quả (cụ thể là cây sầu riêng), cây sầu riêng sử dụng là giống Ri-6 được trồng vào tháng 5 năm 2020. Khu vực này nằm bên trong hệ thống cống ngăn nước lũ thuộc tiểu dự án Ô Môn – Xà No (vùng Đồng bằng sông Cửu Long, *Hình 1)*.

Hình 1. *Khu vực nghiên cứu*

Khu vực này có khí hậu nhiệt đới bao gồm mùa mưa từ tháng 6 đến tháng 11, thời gian còn lại trong năm hầu hết là không mưa. Nghiên cứu được thực hiện vào tháng 1 năm 2024, quá trình thực hiện đo đạt vào lần tưới cuối cùng trong mùa vụ để sau đó tiến hành kích thích ra hoa.

2.2. Dụng cụ và phương pháp nghiên cứu

Đo độ dẫn điện đất sử dụng phương pháp bốn điện cực Wenner, cách thức hiệu chuẩn và phương pháp đo được thực hiện tương tự như trong nghiên cứu trước đây [10]. Đo độ pH đất sử dụng máy đo Takemura DM-15 (Nhật Bản), khoảng đo pH: 3 – 8 pH / Độ phân giải: ±0,2 pH *(Hình 2a)*. Cảm biến ES-SM-THEC-01 được tích hợp để đo 3 thông số bao gồm độ dẫn điện đất, độ ẩm đất và nhiệt độ với các thông số được thể hiện trong *Bảng 1* và *Hình 2b*. UAV DJI Phantom 4 RTK được lắp đặt thêm máy ảnh Sentera Double 4K được sử dụng để thu nhận ảnh màu RGB và ảnh đa phổ NDVI để đánh giá tình trạng cây trồng *(Hình 3)*.

Bảng 1. *Thông số cảm biến ES-SM-THEC-01*

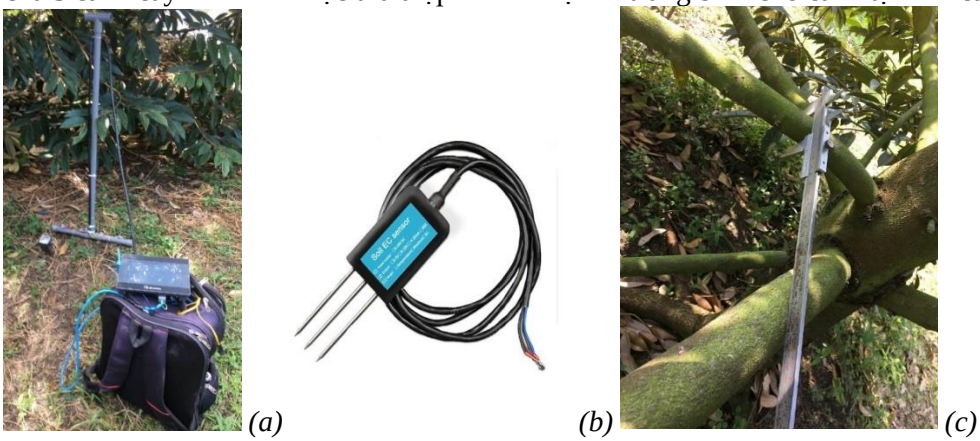
Nguồn cấp	12-24VDC	Độ chính xác của nhiệt độ	± 0,5 ℃
Tín hiệu ngõ ra	RS485 (Modbus RTU)	Độ chính xác của độ dẫn điện EC	0-10000 us/cm ±3% 10000 – 20000 us/cm ±5%
Cấp bảo vệ	IP68	Phạm vi đo nhiệt độ	-40 ℃ ~ 80 ℃
Thời gian đáp ứng	<1s	Phạm vi đo độ ẩm	0-100%
Phạm vi đo độ ẩm	0-100%	Phạm vi đo độ dẫn điện EC	0 – 20000 us/c
Độ chính xác của độ ẩm	±3% (0 – 53%) ±5% (53 – 100%)	Chiều dài đầu dò	70mm
		Đường kính đầu dò	3 mm

2.2.1. Bố trí thí nghiệm trong môi trường phòng thí nghiệm

Đất được thu thập tại vườn được phơi khô tự nhiên đến khối lượng không đổi, sau đó dã nhuyễn và loại bỏ những hạt lớn hơn 2 mm. Đất được đưa vào khay và ngâm nước 24 giờ rồi để ráo nước và tiến hành lắp đặt cảm biến ES-SM-THEC-01, kết hợp với phương pháp đo Wenner (với kích thước và khoảng cách điện cực tương đương) các số liệu từ hai cảm biến này được thu thập liên tục với mỗi chu kỳ lấy mẫu là 15 phút. Quá trình này được thực hiện đến khi khay đất không còn thay đổi về khối lượng.

2.2.2. Bố trí thí nghiệm trong khu vực vườn sầu riêng

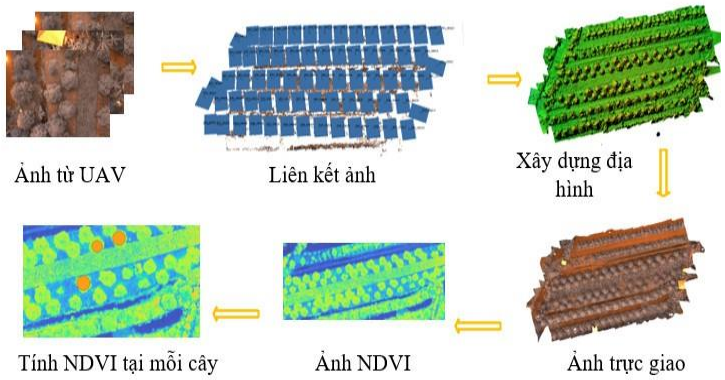
Hai thông số EC và pH được thu thập ở 3 vị trí khác nhau tại mỗi cây sầu riêng, mỗi chỉ số EC và pH của từng cây được tính từ trung bình cộng từ bộ thông số trên. Các điểm thu thập dữ liệu tại mỗi cây được cố định cho các lần đo đạt khác nhau *(Hình 2a)*. Đo thông số cây trồng bao gồm độ lớn thân cây và độ lớn cành cây sử dụng thước kẹp cơ khí thước cặp Mitutoyo *(Hình 2c)*, thông số của 5 cành cây lớn nhất được thu thập và tính độ lớn trung bình cho cành tại mỗi cây.



(a) *(b)* *(c)*

Hình 2. *Đo các thông số đất và cây trồng - (a) Đo độ dẫn điện và pH, (b) Cảm biến ES-SM-THEC-01, (c) Sử dụng thước kẹp Mitutoyo đo thông số cây sầu riêng*

Hình 3. *UAV DJI Phantom 4 RTK và máy ảnh Sentera Double 4K*



Hình 4. *Quy tình trính toán giá trị NDVI từ ảnh đa phổ*

Thu thập dữ liệu chỉ số NDVI được thực hiện qua các bước sau:

Ảnh đa phổ thu được từ máy ảnh Sentera *(Hình 3)* được ghép lại, xây dựng ảnh địa hình và tạo ra ảnh trực giao, sau đó tính toán ra ảnh NDVI từ ảnh trực giao trên phần mềm QGIS theo công thức (1), tiếp tục sử dụng công cụ Zonal statistics để tính giá trị NDVI tại mỗi cây *(Hình 4)*.

Chỉ số NDVI được tính theo công thức (1) với các hệ số RED và Nir tính trong công thức (2), và (3) được cung cấp bởi nhà sản xuất Sentera theo hồ sơ đính kèm thiết bị.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Trong đó:

$$RED = -0{,}966 * ChNir + 1{,}000 * ChRed \quad (2)$$

$$Nir = 4{,}35 * ChNir - 0{,}286 * Red \quad (3)$$

Thu thập dữ liệu GPS cây trồng:

Sau khi quá trình ghép ảnh trực giao từ ảnh UAV được thực hiện, lúc này trên ảnh đã có kèm theo dữ liệu GPS theo mỗi vị trí trên ảnh *(Hình 5)*. Sử dụng phần mềm QGIS để truy xuất dữ liệu GPS cây trồng, quá trình thu thập được thực hiện một lần tại mỗi vị trí và sử dụng cho các lần thu thập dữ liệu kết tiếp.

Hình 5. *Vườn sầu riêng được ghép từ ảnh UAV*

2.3. Lập bản đồ đất sử dụng công cụ Smart-Map và phân tích tương quan

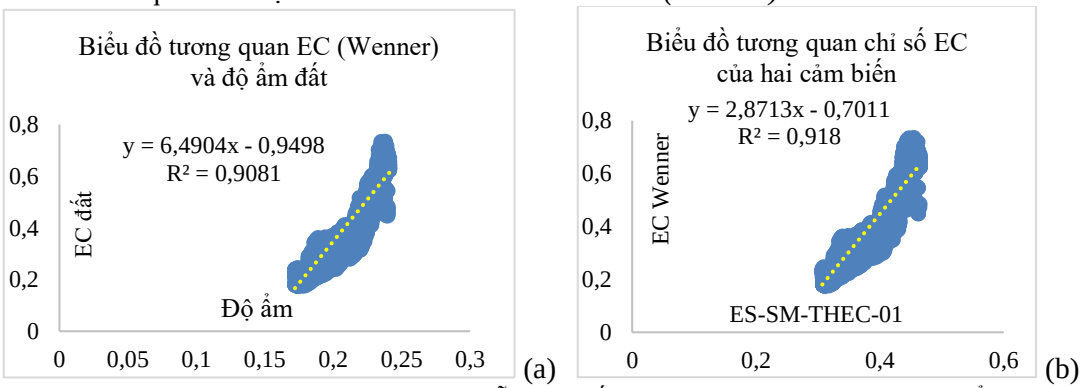
Nghiên cứu này sử dụng chương trình con *Smart-map* là chương trình mã nguồn mở được tích hợp trong gói phần mềm QGIS. Chương trình này được sử dụng để lập bản đồ dựa trên hai phương pháp chính là nội suy *Kriging* và phương pháp máy học (SVM). Đối với nội suy *Kriging*

chương trình con *Smart-map* được phát triển cho phép người dùng cấu hình với năm mô hình bán biến thể lý thuyết đẳng hướng: tuyến tính, tuyến tính với ngưỡng, hàm mũ, hình cầu và Gaussian. Phương pháp *SVM* được chọn để nội suy vì phương pháp này có thể xử lý khối lượng dữ liệu ngày càng lớn hơn [11]. Phần mềm thống kê SPSS V.20 được sử dụng để phân tích tương quan giữa các biến EC, pH đất và chỉ số NDVI. Mối liên hệ giữa hai biến được đánh giá bằng phương pháp tương quan Pearson (r), hệ số *Sig. (2-tailed)* còn gọi là giá trị (p) là hệ số kiểm định thường đặt ở mức $p < 0,05$ (5%) để kiểm định có ý nghĩa thống kê, N là số lượng mẫu.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả thu được trong điều kiện phòng thí nghiệm

Việc thu thập mẫu độ dẫn điện EC được triển khai bằng hai phương pháp đo và độ ẩm đất được thu thập từ cảm biến ES-SM-THEC-01. Quá trình này được thực hiện mỗi giây với 5 lần lấy mẫu và được lặp lại sau 15 phút. Có tổng cộng 13.359 dữ liệu được thu thập cho mỗi thông số cảm biến. Kết quả thống kê cho thấy đo độ dẫn điện theo pháp Wenner có tương quan với độ ẩm với $R^2 = 0,9081$ *(Hình 6a)*, hệ số này tăng khi so sánh giữa độ dẫn điện theo phương pháp Wenner và kết quả thu được từ cảm biến ES-SM-THEC-01*(Hình 6b)*.



Hình 6. *Phân tích tương quan độ dẫn điện đất, (a) Phương pháp Wenner và độ ẩm, (b) Phương pháp Wenner và cảm biến ES-SM-THEC-01*

3.2. Kết quả thu được trong điều kiện tại vườn sầu riêng

3.2.1. Tương quan EC đất, pH và chỉ số NDVI

Bảng 2. *Kết quả phân tích tương quan Pearson trên phần mềm SPSS*

		NDVI	pH	EC
NDVI	Tương quan Pearson	1	0,020	0,754**
	p		0,830	0,000
	N	116	116	116
pH	Tương quan Pearson	0,020	1	0,126
	p	0,830		0,177
	N	116	116	116
EC	Tương quan Pearson	0,754**	0,126	1
	p	0,000	0,177	
	N	116	116	116

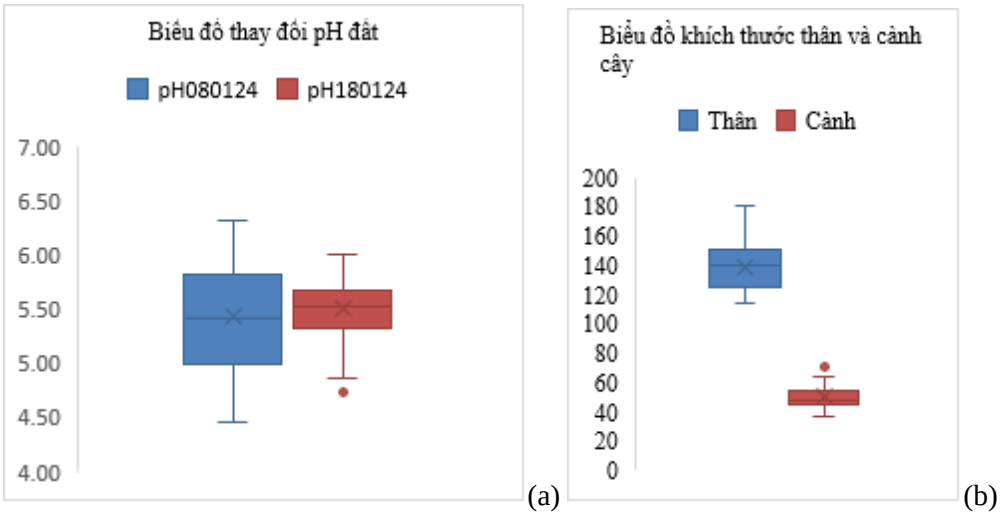
** Tương quan có ý nghĩa ở mức 0,01 (2 phía)

Kết quả thu thập tại vườn sầu riêng bao gồm chỉ số EC đất sử dụng phương pháp Wenner (khoảng cách điện cực là 10 cm), pH đất và chỉ số NDVI được thực hiện tại thời điểm ngay sau tưới nước, lần thu thập thứ hai được triển khai sau lần thứ nhất 10 ngày. Kết quả thu được chỉ số EC đất và chỉ số NDVI đều giảm sau khi đất không được tưới nước. Phân tích tương quan chỉ số

EC đất và chỉ số NDVI với kết quả thu được r = 0,754, p = 0, N = 116 *(Bảng 2)*. Từ kết quả cho thấy pH đất không tương quan với EC đất và chỉ số NDVI.

3.2.2. Biến động pH

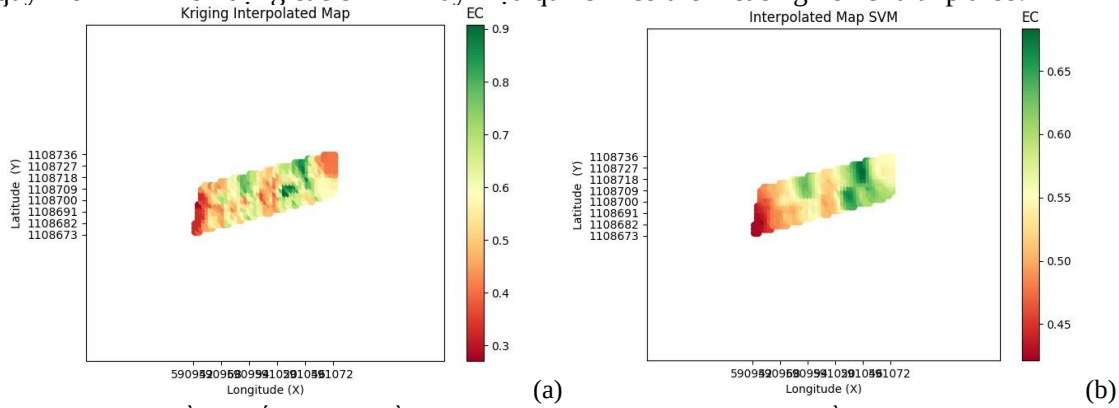
Kết quả thu thập chỉ số pH đất vào thời điểm sau khi tưới nước dao động trong khoảng 5,0 – 5,83; lần thu thập thứ hai chỉ số này dao động trong khoảng 5,33 – 5,67 *(Hình 7a)*. Kết quả thu thập kích thước thân cây sầu riêng dao động trong khoảng 125,75 – 150,5 mm. Kích thước cành cây dao động trong khoảng 44,85 – 64,6 mm *(Hình 7b)*. Thông số về đường kính thân cây và đường kính cành cây không thay đổi qua hai lần đo.



Hình 7. *Chỉ số pH và kích thước cây trồng, (a) thay đổi chỉ số pH, (b) Thông số kích thước thân cây và cành cây*

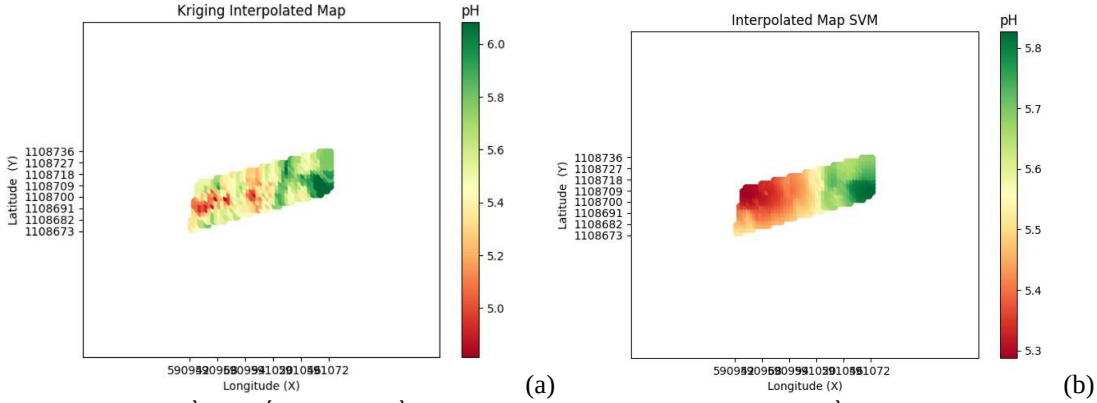
3.2.3. Bản đồ EC và pH vườn sầu riêng

Có tổng số 116 vị trí được lấy mẫu các chỉ số EC và pH đất ở vườn sầu riêng để lập bản đồ EC đất *(Hình 8)*. Mặc dù quy mô thử nghiệm khá nhỏ, song kết quả vẫn có thể đánh giá được sự phân bố không đồng nhất tại các vị trí khác nhau trong vườn. Tuy nhiên, kết quả cho thấy, các chỉ số này không thay đổi ngẫu nhiên mà có phân bố theo từng khu vực. Qua bản đồ được lập có thể đánh giá được EC đất *(Hình 9)* ở cuối vườn có chỉ số thấp hơn so với ở khu vực đầu ngoài (vị trí đặt máy bơm nước). Bản đồ được lập theo phương pháp SVM *(Hình 8b, 9b)* đã được nhiều nghiên cứu chứng minh là có khả năng tin cậy hơn so với phương pháp Kriging *(Hình 8a, 9a)*. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chỉ giới hạn đánh giá khả năng ứng dụng bản đồ EC và pH đất ở quy mô nhỏ. Để sử dụng các bản đồ này hiệu quả cần có thêm các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 8. *Bản đồ EC đất: (a) bản đồ EC từ phương pháp Kriging; (b) Bản đồ EC từ phương pháp SVM*

Chỉ số pH đất có liên quan mật thiết với hóa tính của đất và ảnh hưởng đến sự phát triển của cây trồng. Bản đồ pH đất cho thấy được sự phân bố không đồng đều theo các vị trí *(Hình 9)*. Đã có các nghiên cứu sử dụng thiết bị đo pH đất Takemura [12] cho kết quả tốt. Tuy nhiên, cần thêm các nghiên cứu khác để sử dụng hiệu quả thiết bị này trong điều kiện trồng sầu riêng ở khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long.



Hình 9. *Bản đồ pH đất: (a) bản đồ pH từ phương pháp Kriging; (b) Bản đồ pH từ phương pháp SVM.*

3.3. Thảo luận

EC và pH đất là hai chỉ số quan trọng thể hiện tình trạng thực tế của đất, chỉ số NDVI phản ánh tình trạng cây trồng sau khi hấp thụ nước và các khoáng chất trong đất. Do đó, việc quản lý cây trồng dựa trên các chỉ số EC, pH đất và chỉ số NDVI có thể tiếp tục được áp dụng và nghiên cứu ở qui mô lớn hơn.

Nghiên cứu đã xác định được mối tương quan giữa EC và độ ẩm theo phương pháp đo thông qua cảm biến ES-SM-THEC-01, tuy nhiên, kết quả vẫn chưa phản ánh được mối liên quan trực tiếp đến lượng nước được đo theo khối lượng và chỉ số EC đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự tương quan cao với R^2 = 0,9081 giữa EC đất đo bằng phương pháp điện cực Wenner và độ ẩm đất sử dụng cảm biến ES-SM-THEC-01. Mối tương quan giữa EC và chỉ số NDVI với r = 0,754, p = 0, N = 116 được ghi nhận trong giai đoạn tưới lần cuối và sau đó 10 ngày. Ngoài ra, các bản đồ EC, pH đất được lập trong vườn trồng sầu riêng cho thấy sự phân bố không đồng đều theo vị trí cây trồng. Kết quả này có thể được sử dụng là cơ sở để tiến hành cho các nghiên cứu chuyên sâu tiếp theo để có thể sử dụng như một giải pháp tổng thể để quản lý cây trồng mang lại hiệu quả cao.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đề xuất một hướng tiếp cận mới trong quản lý vườn sầu riêng thông qua bản đồ phân bố các chỉ số về đất như EC, pH và NDVI của cây trồng. Trong khi các chỉ số EC, pH phản ánh cụ thể tình trạng thực tế của đất, thì chỉ số NDVI phản ánh sự thay đổi của cây trồng khi điều kiện trong đất có sự thay đổi. Nghiên cứu được triển khai trong phòng thí nghiệm và kiểm chứng trên khoảng 60 cây sầu riêng, thu được kết quả khả quan. Chỉ số EC tương quan thuận với độ ẩm đất, chỉ số NDVI cây trồng có cùng xu hướng giảm với EC trong điều kiện đất trong vườn sầu riêng không được tưới nước. Chỉ số EC đất thay đổi khác nhau ở những vị trí khác nhau trên cùng một vườn sầu riêng, phản ánh chế độ dinh dưỡng khác biệt trong quá trình canh tác. Các nghiên cứu trong tương lai cần hướng đến các yếu tố về đất như sa cấu đất, khả năng giữ nước, sự mất mát phân bón đã làm thay đổi chỉ số EC đất. Chỉ số pH đất không chỉ phản ánh độ chua đất mà còn thể hiện sự hiện diện của các thành phần vi lượng trong đất. Việc quản lý vườn, cần theo dõi thường xuyên các chỉ số này, để đánh giá tổng quát hơn về tình trạng đất và ảnh hưởng các chỉ số này đến sự phát triển cây trồng.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cám ơn PGS.TS Ngô Quang Hiếu, trường Bách khoa, trường Đại học Cần Thơ, đã hỗ trợ thiết bị trong triển khai thực nghiệm của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1] S. Ketsa, "Durian—Durio zibethinus," in *Exotic Fruits*, S. Rodrigues, E. de Oliveira Silva, and E. S. de Brito, Eds.: Academic Press, 2018, pp. 169-180.

[2] M. M. Ali, N. Hashim, S. A. Aziz, and O. Lasekan, "Exploring the chemical composition, emerging applications, potential uses, and health benefits of durian: A review," *Food Control*, vol. 113, p. 107189, 2020.

[3] J. Serrano, S. Shahidian, and J. M. d. J. S. Silva, "Spatial and temporal patterns of apparent electrical conductivity: DUALEM vs. Veris sensors for monitoring soil properties," *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 10024-10041, 2014.

[4] J. A. Martínez-Casasnovas *et al.*, "Combined use of remote sensing and soil sensors to detect variability in orchards with previous changes in land use and landforms: consequences for management," *Advances in Animal Biosciences*, vol. 8, no. 2, pp. 492-497, 2017.

[5] T. H. Lo *et al.*, "Field characterization of field capacity and root zone available water capacity for variable rate irrigation," *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 33, no. 4, pp. 559-572, 2017.

[6] D. S. M. Valente, D. M. d. Queiroz, F. d. A. d. C. Pinto, N. T. Santos, and F. L. J. S. A. Santos, "Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity," *Scientia Agricola*, vol. 69, pp. 173-179, 2012.

[7] N. Peralta, J. Costa, M. Balzarini, and H. Angelini, "Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas," *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 93, pp. 205-218, 2013.

[8] A. Fulton, L. Schwankl, K. Lynn, B. Lampinen, J. Edstrom, and T. Prichard, "Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development," *Irrigation Science*, vol. 29, pp. 497-512, 2010.

[9] D. Vanella, S. Consoli, J. R. Cuesta, and M. Tessitori, "Suitability of the MODIS-NDVI Time-Series for an a Posteriori Evaluation of the Citrus Tristeza Virus Epidemic," *Remote Sensing*, vol. 12, 2020, Art. no. 1965.

[10] T.-A. Ho, V.-H. Bui, V.-K. Nguyen, V.-K. Nguyen, and C.-N. Nguyen, "An Application of Soil Electrical Conductivity Measurement by Wenner Method in Paddy Field," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 72, no. 2, pp. 58-68, 2024.

[11] G. Pereira, D. Valente, D. Queiroz, A. L. Coelho, M. Costa, and T. Grift, "Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging," *Agronomy*, vol. 12, p. 1350, 2022.

[12] S. N. M. M. Ibrahim *et al.*, "Screening and identifying of cellulolytic bacteria from Alas Purwo National Park," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2002, no. 1, 2018, Art. no. 020064.