

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.027

# ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ UAV (DRONES) THEO DÕI SINH TRƯỞNG VÀ DỰ BÁO NĂNG SUẤT LÚA TẠI VÙNG CANH TÁC LÚA TỈNH HẬU GIANG

Bùi Văn Hữu\*, Lưu Trọng Hiếu và Ngô Quang Hiếu

Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Bùi Văn Hữu (email: bvhuu@ctu.edu.vn)

## Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 29/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 10/11/2022

Ngày duyệt đăng: 15/11/2022

## Title:

Application of artistic UAV (drone) to monitor and forecast rice yield in the rice cultivation area of Hau Giang province

## Từ khóa:

Độ cứng đất, máy bay không người lái, năng suất lúa, NDVI, NDRE, sinh trưởng của cây lúa

## Keywords:

NDVI, NDRE, rice growth, rice yield, soil compaction, UAV

## ABSTRACT

Research on the effects of soil compaction, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Red Edge (NDRE) on the growth and yield of rice that is really necessary. In this study, the Pearson's correlation test were applied to analyze the correlation between factors. This research results show that soil compaction that increase with depth, are unevenly distributed in the field; the relationship between the soil compaction at the time of rice with a 26-day seedling age and the growth and yield of rice has not been determined. NDVI and NDRE increase and decrease steadily after reaching the maximum value (0.79-0.86) during the reproductive stage. NDVI and NDRE has a high relationship with the yield components of rice, but has a low relationship with plant height and number of rice shoots. Two Artificial Neural Networks (ANN) were built, trained and tested according to the training algorithm integrated in the Toolbox of Matlab software for predicting rice yield with high reliability.

## TÓM TẮT

Nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng đất và chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa (NDVI) và chỉ số khác biệt rìa đỏ (NDRE) đến khả năng sinh trưởng và năng suất thực tế (NSTT) của lúa thật sự cần thiết. Trong nghiên cứu này, kiểm định hệ số tương quan Pearson được áp dụng để phân tích sự tương quan giữa các yếu tố. Kết quả nghiên cứu chỉ ra độ cứng đất tăng dần theo độ sâu và phân bố không đều trên đồng; mối quan hệ giữa độ cứng đất tại thời điểm lúa 26 ngày tuổi với sự sinh trưởng và NSTT của lúa chưa được xác định. NDVI và NDRE tăng và giảm đều khi đạt giá trị lớn nhất (0,79-0,86) trong giai đoạn lúa làm đồng. NDVI và NDRE có mối quan hệ cao với năng suất thành phần của lúa, nhưng thấp với chiều cao cây và số chồi lúa. Hai mạng nơron nhân tạo được xây dựng, huấn luyện và kiểm tra theo thuật toán huấn luyện tích hợp trong bộ công cụ của phần mềm Matlab cho kết quả dự đoán NSTT của lúa với độ tin cậy cao.

## 1. GIỚI THIỆU

Thiết bị bay không người lái (UAV) được sử dụng ngày càng nhiều trong lĩnh vực nông nghiệp (Sinha et al., 2016). Trong việc canh tác lúa, UAV được sử dụng để giám sát giai đoạn đầu tăng trưởng của lúa (Norasma et al., 2018); theo dõi quá trình sinh trưởng lúa giống thực nghiệm (Chosa et al., 2010) và ước tính năng suất lúa (Duan et al., 2019). UAV loại Phantom 4 Pro V2 lắp cảm biến Sentera

Double 4K (chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa - NDVI và chỉ số khác biệt rìa đỏ - NDRE) có thể được sử dụng hiệu quả để theo dõi sự sinh trưởng và dự đoán năng suất lúa (Norasma et al., 2019).

Trong những năm gần đây, nghiên cứu và ứng dụng về mối quan hệ giữa chỉ số NDVI và năng suất cây trồng trở nên phổ biến. Huang et al. (2014) đã xây dựng mô hình hồi quy để ước tính năng suất cây trồng (lúa nước, lúa mì, bắp) ở các vùng trồng hỗn

hợp bằng cách sử dụng dữ liệu MODIS - NDVI theo chuỗi thời gian. Theo nghiên cứu của Kailou Liu et al. (2015) năng suất lúa có thể được dự đoán thông qua phương trình hồi quy với chỉ số NDVI tại giai đoạn lúa làm đồng. Mô hình hồi quy tuyến tính giữa chỉ số thực vật cực đại và năng suất lúa cũng được xác định trong nghiên cứu của Guan et al. (2018) tại Tỉnh Thái Bình, Việt Nam. Raza et al. (2019) sử dụng chỉ số thực vật tỷ lệ (RVI) và NDVI để ước tính năng suất lúa bằng cách áp dụng hồi quy tuyến tính. Kết quả nghiên cứu tại vùng trồng lúa thung lũng Sacramento của California minh chứng rằng NDVI tại thời điểm lúa làm đồng có tương quan thuận với năng suất hạt cuối cùng ( $R^2 = 0,58$ ) và có thể phát triển các dự đoán năng suất (Rehman et al., 2019). Mỗi quan hệ thuận giữa NDRE và năng suất lúa ( $R^2 = 0,6414$ ) được chỉ ra trong nghiên cứu của Pipatsithee et al. (2020). NDVI cũng được ứng dụng trong hệ thống theo dõi sự sinh trưởng và dự đoán năng suất lúa trồng tại nông trường thông minh (Cropin & AWS, 2021).

Độ cứng đất là đặc trưng vật lý của đất ảnh hưởng đến quá trình đẻ nhánh (Guimarães & Moreira, 2001) và năng suất lúa (Pinheiro et al., 2016; Singh et al., 2017).

Việc ước tính sớm NSTT của lúa thông thường rất quan trọng với người canh tác và nhà quản lý. ANN được ứng dụng rộng rãi trong những năm gần đây với ưu điểm nổi bật. Một số nghiên cứu điển hình về việc ứng dụng ANN để dự báo sự cố (Tuấn, 2019; Lành et al., 2020; Tùng & Khanh, 2021), dự

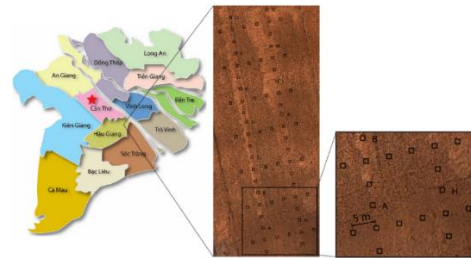
báo năng suất cây trồng (Jeong et al., 2022; Son et al., 2022). Trong nghiên cứu này, một phương pháp dự đoán NSTT của lúa được xây dựng dựa trên kết quả phân tích mối quan hệ giữa độ cứng đất, NDVI, NDRE với sinh trưởng và năng suất thành phần của lúa được đo đạc ngoài đồng kết hợp với huấn luyện mạng nơron nhân tạo.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thu thập dữ liệu và điều tra, khảo sát thực địa

#### 2.1.1. Thu thập dữ liệu ảnh UAV

Thí nghiệm được thực hiện trong vụ Đông Xuân (từ tháng 12/2021-3/2022) và vụ Hè Thu (từ tháng 4-7/2022) trên cùng một đồng lúa với diện tích thí nghiệm khoảng 02 ha tại Hợp tác xã Bình Hòa Phú thuộc xã Long Phú, thị xã Long Mỹ, tỉnh Hậu Giang (Hình 1). Giống lúa Đài Thơm 8 và thuần chủng OM 18 được sạ thủ công cho 02 vụ tương ứng.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu

**Bảng 1. Thời gian và số lượng dữ liệu được thu thập**

Vụ lúa	Ngày	Tuổi lúa (ngày)	Số lượng ảnh		Số lượng dữ liệu thực địa	
			NDRE	NDVI	Mẫu lúa	Độ cứng đất
Vụ Đông Xuân	25/12/2021	15	185	185		
	05/01/2022	26	257	257	70	70
	15/01/2022	36	286	286	70	
	25/01/2022	46	329	329	70	
	08/02/2022	60	186	186	70	
	20/02/2022	72	279	279		
	09/03/2022	89	262	262		
	15/03/2022	95	198	198	70	
Vụ Hè Thu	17/04/2022	8	228	228		
	05/05/2022	26	275	275	80	80
	15/05/2022	36	242	242	80	
	25/05/2022	46	169	169	80	
	06/06/2022	58	240	240	80	
	16/06/2022	68	245	245	80	
	27/06/2022	79	228	228		
	07/07/2022	89	205	205		
14/07/2022	96	218	218	80		

Dữ liệu ảnh UAV (NDRE và NDVI) được thu thập 07 và 08 lần tại thời điểm sinh trưởng của cây

lúa và 01 lần tại thời điểm sạ thu hoạch lúa lần lượt trong vụ Đông Xuân và Hè Thu, được trình bày

trong Bảng 1. Các lần thu dữ liệu ảnh UAV cách nhau trung bình khoảng 12 ngày để đảm bảo việc theo dõi sự thay đổi các chỉ số của ảnh UAV được liên tục.

Máy ảnh đôi NDRE và NDRE có độ chính xác 4K của nhà sản xuất Sentera được gắn trên UAV Phantom 4 Pro V2 để ghi lại hình ảnh ruộng lúa. Các hình ảnh được chụp tự động với các thông số cài đặt cho Phantom 4 Pro V2 trong phần mềm Field Agent (Bảng 2).

**Bảng 2. Thông số cài đặt trong phần mềm Field Agent cho Phantom 4 Pro V2**

Diện tích	Độ cao	Tốc độ	Độ phủ	Độ phân giải không gian
02 ha	30 m	04 m/s	60%	0,8 cm/px

**2.1.2. Thu thập dữ liệu độ cứng các tầng đất**

Như được trình bày trong Bảng 1, 70 và 80 vị trí cần thu thập dữ liệu thực địa trong vụ Đông Xuân và vụ Hè Thu, được chọn ngẫu nhiên và đánh dấu để việc thu thập các dữ liệu được chính xác theo vị trí. Tại mỗi vị trí, độ cứng đất được đo đạc 01 lần bằng thiết bị đo độ cứng đất FieldScout SC 900 tại thời điểm lúa 26 ngày tuổi cùng thời điểm với việc đo đạc dữ liệu sinh trưởng lần đầu tiên. Sau 26 ngày tuổi, bụi lúa sẽ phát triển thành nhiều chồi nên việc đo độ cứng sẽ ảnh hưởng đến cây lúa trong vùng khảo sát. Các vị trí được chọn theo khối 05 vị trí với kích thước 25 x 25 cm và cách nhau 05 m như được trình bày trong Hình 1 bằng các ô vuông màu đen.

**2.1.3. Điều tra, khảo sát thực địa**

Tại các vị trí được đánh dấu, các chỉ tiêu nông học như chiều cao và số chồi (nhánh) của cây lúa được chọn để khảo sát quá trình sinh trưởng trong các giai đoạn tăng trưởng, giai đoạn sinh sản và giai đoạn chín của cây lúa (Đệ, 2008). Nhánh lúa đạt tối thiểu 3 lá được đếm và chiều cao cây lúa được xác định từ mặt đất đến đỉnh lá cao nhất (Thái, 2003) trong khung có kích thước 25 x 25 cm. Các dữ liệu này được thu thập khoảng 04-05 lần trong giai đoạn lúa từ 26 - 68 ngày tuổi (Bảng 1). Các chỉ tiêu nông học của cây lúa không được đo đạc tại một số thời điểm do lúa chưa được dặm trước 26 ngày tuổi; số chồi và chiều cao cây lúa không thay đổi nhiều trong giai đoạn lúa sau khoảng 70 ngày tuổi.

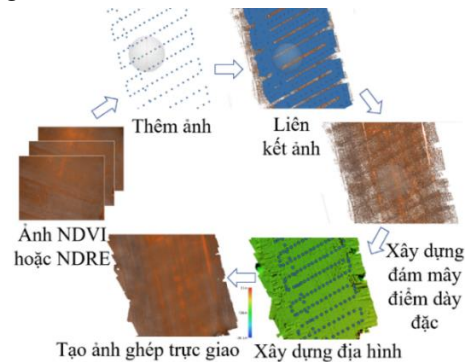
Dữ liệu về sinh khối rom (SKR), số bông, NSTT trên 1 m<sup>2</sup> và trọng lượng (TL) 1000 hạt cũng được thu thập lúc thu hoạch lúa. NSTT và TL 1000 hạt của lúa được tính theo điều kiện tiêu chuẩn ở độ ẩm 14% (Shouichi & Thành, 1981) từ khối lượng lúa được đo đạc bằng cân điện tử Vibra Shinko Denshi

và máy đo độ ẩm Kett Riceter tại thời điểm thu hoạch.

**2.2. Xây dựng ảnh ghép trực giao**

Phần mềm Agisoft PhotoScan/Metashape được ứng dụng để sửa lỗi hình học của các ảnh được chụp bởi UAV và ghép chúng thành 01 ảnh trực giao (Orthomosaic) có độ chính xác về hình học và vị trí (Ngadiman et al., 2018).

Quy trình ghép trực giao được thực hiện theo 05 bước chính: thêm ảnh (Add photos) NDVI hoặc NDRE từ thư mục, sắp xếp ảnh (Align photos) để định vị máy ảnh và hướng chụp cho từng ảnh, xây dựng đám mây điểm dày đặc (Build dense cloud) với mật độ điểm tương đối đều nhau, xây dựng địa hình (Build DEM), tạo ảnh ghép trực giao (Build Orthomosaic) (Bản Đồ Lâm Nghiệp, 2022). Các bước của quy trình ghép ảnh này được minh họa trong Hình 2.



**Hình 2. Quy trình xây dựng ảnh trực giao**

**2.3. Tạo chỉ số NDVI và NDRE**

Chỉ số khác biệt thực vật và chỉ số khác biệt ria đỏ được xác định bằng phần mềm Matlab từ kênh xanh dương (Blue) và kênh đỏ (Red) trên cảm biến Sentera Double 4K.

Chỉ số NDVI (Minh et al., 2015) và NDRE được tính toán theo công thức (1) và (2) như sau:

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

$$NDRE = \frac{NIR-RedEdge}{NIR+RedEdge} \quad (2)$$

Trong đó, NIR là kênh phổ gần hồng ngoại, Red là kênh đỏ và RedEdge là kênh phổ rìa đỏ.

**2.4. Đánh giá quan hệ giữa giá trị độ cứng đất, NDVI và NDRE với sinh trưởng và năng suất lúa**

Các giá trị độ cứng các tầng đất, chỉ số NDVI và NDRE và các chỉ tiêu nông học của cây lúa được

nhập liệu và xử lý thô bằng phần mềm Microsoft Excel. Phương pháp kiểm định hệ số tương quan Pearson được sử dụng để so sánh trung bình, độ lệch chuẩn và đánh giá sự tương quan của các đối tượng nghiên cứu bằng phần mềm SPSS (Field, 2009).

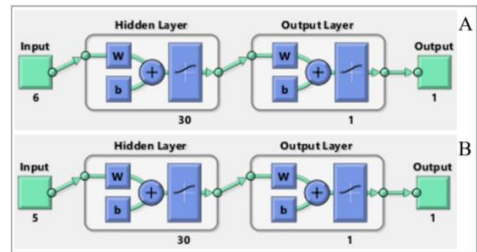
**2.5. Xây dựng mô hình dự đoán năng suất lúa theo phương pháp huấn luyện mạng nơron nhân tạo (ANN)**

Phương pháp huấn luyện mạng ANN được tích hợp trong Toolbox Neural Network Training (Nntraintool) của phần mềm Matlab được sử dụng xây dựng mô hình dự đoán NSTT của cây lúa. Một trong 12 thuật toán huấn luyện trong Toolbox này được chọn để huấn luyện và kiểm tra dữ liệu là Levenberg - Marquardt (Trainlm) vì thuật toán này cho kết quả hội tụ nhanh (Lành et al., 2020).

Hai mạng nơron truyền thẳng (với tên gọi mạng A và mạng B áp cho 70 mẫu dữ liệu vụ Đông Xuân và 80 mẫu dữ liệu vụ Hè Thu) áp dụng thuật toán huấn luyện Levenberg - Marquardt được thiết lập gồm 01 lớp đầu vào với ma trận dữ liệu 06 hoặc 05 đầu vào (Input Data), 01 lớp ẩn (Hidden Layer) gồm 30 nơron, 01 lớp đầu ra (Output Layer) và 01 dữ liệu đầu ra (Output) (Hình 3). Trong đó, giá trị NDVI và NDRE được thu thập vào các ngày 15/1/2022, 25/1/2022 và 8/2/2022 là 06 dữ liệu đầu vào cho mạng huấn luyện cho vụ Đông Xuân; giá trị NDVI được thu thập ngày 15/5/2022, 6/6/2022 và 16/6/2022, NDRE được thu thập ngày 25/5/2022 và độ cứng tầng đất ở độ sâu 20 cm là 05 dữ liệu đầu vào cho mạng huấn luyện cho vụ Hè Thu. Các dữ liệu đầu vào được chọn vì chúng có mối quan hệ ở mức ý nghĩa 1 hoặc 5% với dữ liệu đầu ra (NSTT), được thể hiện trong Bảng 5 và Bảng 6. Ngoài ra, mối tương quan thuận giữa NDVI, NDRE với NSTT vụ Đông Xuân và mối tương quan thuận giữa NDVI, NDRE, độ cứng đất với NSTT vụ Thu Đông được thể hiện dạng biểu đồ phân tán trong Hình 6 và 7 tương ứng. Điều này minh chứng rằng các dữ liệu đầu vào này có thể được sử dụng để huấn luyện và kiểm chứng mạng nơron nhân tạo.

Hàm kích hoạt nơron ẩn và nơron đầu ra được sử dụng là hàm sigmoid với dạng logsig. Hàm xác định lỗi được chọn là hàm xác định độ lệch trung bình bình phương Mean Squared Error (MSE). Dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành 03 nhóm huấn luyện (70%), kiểm tra chéo (15%) và kiểm tra mạng (15%). Việc khởi tạo trọng số và hệ số bias ban đầu và quá trình huấn luyện mạng A và B được thực hiện ngẫu nhiên trong bộ công cụ Toolbox của Matlab (Lành et al, 2020).

Thông qua việc chọn mô hình huấn luyện, hàm kích hoạt và thiết lập cấu trúc mạng, việc sử dụng mô hình huấn luyện Trainlm với các thông số được cài đặt như trên và ứng dụng hàm kích hoạt là sigmoid dạng logsig cho kết quả huấn luyện tốt nhất.

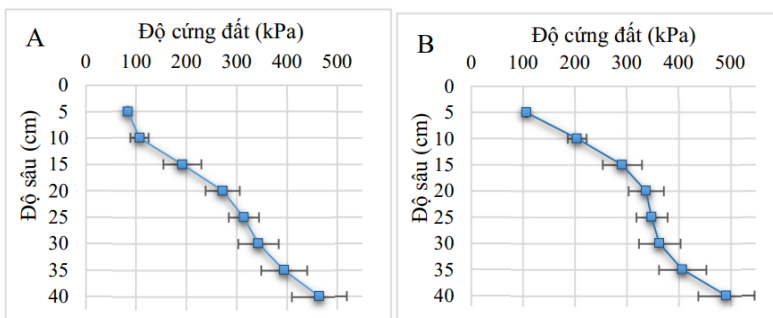


**Hình 3. Cấu trúc mạng A và B**

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**

**3.1. Kết quả khảo sát độ cứng các tầng đất**

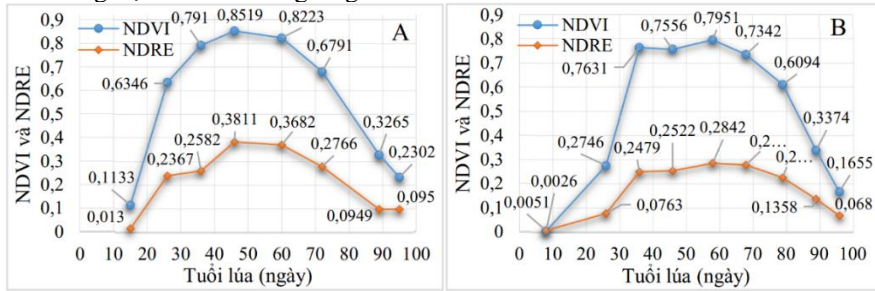
Giá trị trung bình của độ cứng đất được ghi nhận tại tất cả các vị trí theo độ các sâu 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 và 40 cm được tính toán và minh họa dạng biểu đồ trong Hình 4. Nhìn chung, trung bình giá trị độ cứng tăng nhanh ở tầng 10-20 cm và tăng chậm ở tầng dưới 20 cm và độ cứng thay đổi trong khoảng 20% giá trị trung bình. Kết quả này có thể được giải thích và phù hợp với nghiên cứu đã được thực hiện về sự nén dẽ và suy thoái cấu trúc của các tầng đất (Phuong et al., 2009). Sự thay đổi độ cứng đất theo độ sâu trong nghiên cứu này gần giống kết quả nghiên cứu của Bui et al. (2022).



**Hình 4. Độ cứng các tầng đất trong vụ Đông Xuân (A) và Hè Thu (B)**

**3.2. Kết quả khảo sát chỉ số NDVI và NDRE**

Kết quả việc tạo chỉ số NDVI và NDRE được trình bày trong Hình 5. Ta có thể nhận thấy xu hướng thay đổi của chỉ số NDVI và NDRE trong 2 vụ lúa gần giống nhau. Hai chỉ số này tăng dần và giảm xuống sau khi đạt giá trị cực đại khoảng 0,8519 và 0,3811 tại thời điểm lúa đạt 46 ngày tuổi trong vụ Đông Xuân và 0,7951 và 0,2842 tại thời điểm lúa đạt 58 ngày tuổi trong vụ Hè Thu tương ứng. Kết



**Hình 5. Biểu đồ thay đổi giá trị NDVI và NDRE trong vụ Đông Xuân (A) và Hè Thu (B)**

**3.3. Kết quả khảo sát các chỉ tiêu sinh trưởng và năng suất lúa**

Kết quả khảo sát thực địa tại các điểm khảo sát được thể hiện trong Bảng 3 cho thấy chiều cao cây tăng đều từ khi được sạ và đạt giá trị lớn nhất từ khoảng 96,6 và 101,2 cm lúc trổ bông, số chồi lúa tăng nhanh trong giai đoạn đẻ nhánh (lúa khoảng 40 NSS) đến giá trị số chồi tối đa khoảng 527 và 420

quả nghiên cứu này cũng tương đồng với kết quả trong nghiên cứu của Minh et al. (2015). Chỉ số NDRE luôn thấp hơn và có mối quan hệ thuận so với chỉ số NDVI tại mọi thời điểm ghi nhận dữ liệu như kết quả nghiên cứu của (Murata et al., 2016; Pipatsitee et al., 2020). Tuy nhiên, giá trị cực đại của chỉ số NDVI và NDRE của cây lúa trong vụ Đông Xuân cao hơn một ít so với giá trị này trong vụ Hè Thu.

trên m<sup>2</sup> (lúa khoảng 46 NSS) trong vụ Đông Xuân và Hè Thu tương ứng. Tuy nhiên, số chồi lúa giảm nhẹ xuống giá trị 517 và 394 trên m<sup>2</sup> (số chồi hữu hiệu) trước khi lúa làm đồng. Số chồi hữu hiệu ảnh hưởng tích cực đến số bông và năng suất hạt sau này. Một kết quả đặc biệt khác được mô tả trong Bảng 3 là chiều cao cây và số chồi lúa trong vụ Đông Xuân luôn cao hơn chiều cao cây và số chồi lúa trong vụ Hè Thu trong suốt quá trình sinh trưởng của cây lúa.

**Bảng 3. Các chỉ tiêu sinh trưởng của cây lúa**

Vụ lúa	Sinh trưởng cây lúa	Tuổi lúa (ngày)				
		26	36	46	60	68
Đông Xuân	Chiều cao cây (cm)	57±1,8	72,77±2,14	79,36±2,19	96,6±3,51	
	Số chồi/ m <sup>2</sup>	428±40	488±41	527±40	517±40	
Hè Thu	Chiều cao cây (cm)	43,29±1,3	68,03±2,08	74,65±2,05	89±2,45	101,2±3,01
	Số chồi/ m <sup>2</sup>	304±30	366±30	420±33	394±32	351±31

Năng suất thành phần (số bông, TL 1000 hạt, NSTT) và SKR được minh họa trong Bảng 4. Số bông trên m<sup>2</sup>, TL 1000 hạt, NSTT và SKR của lúa trong vụ Đông Xuân đều cao hơn so với vụ Hè Thu. Điều kiện dinh dưỡng và thời tiết vụ Đông Xuân tốt

hơn vụ Hè Thu có thể là nguyên nhân của kết quả này. Vụ Đông Xuân có NSTT (6,03 tấn/ha) cao hơn vụ Hè Thu (4,2 tấn/ha) do Vụ Đông Xuân có số bông trên m<sup>2</sup> cao hơn vụ Hè Thu (Bảng 3).

**Bảng 4. Các thành phần năng suất và năng suất lúa**

Vụ lúa	Số bông/ m <sup>2</sup>	Trọng lượng 1000 hạt (g)	NSTT (tấn/ha)	Sinh khối rơm (g)
Đông Xuân	393±41	27,94±0,26	6,03±0,59	468±53,88
Hè Thu	301±31	18,99±0,68	4,2±0,52	391,54±48,51

**3.4. Kết quả đánh giá quan hệ giữa giá trị NDVI, NDRE và độ cứng các tầng đất với sự sinh trưởng và năng suất lúa**

Bảng 5 và Bảng 6 trình bày kết quả kiểm định hệ số tương quan Pearson giữa NDVI, NDRE và độ

cứng đất với chiều cao cây, số chồi và các thành phần năng suất lúa trong vụ Đông Xuân và vụ Hè Thu.

Nhìn chung, NDVI/ NDRE có mối tương quan nghịch với chiều cao cây với hệ số tương quan từ

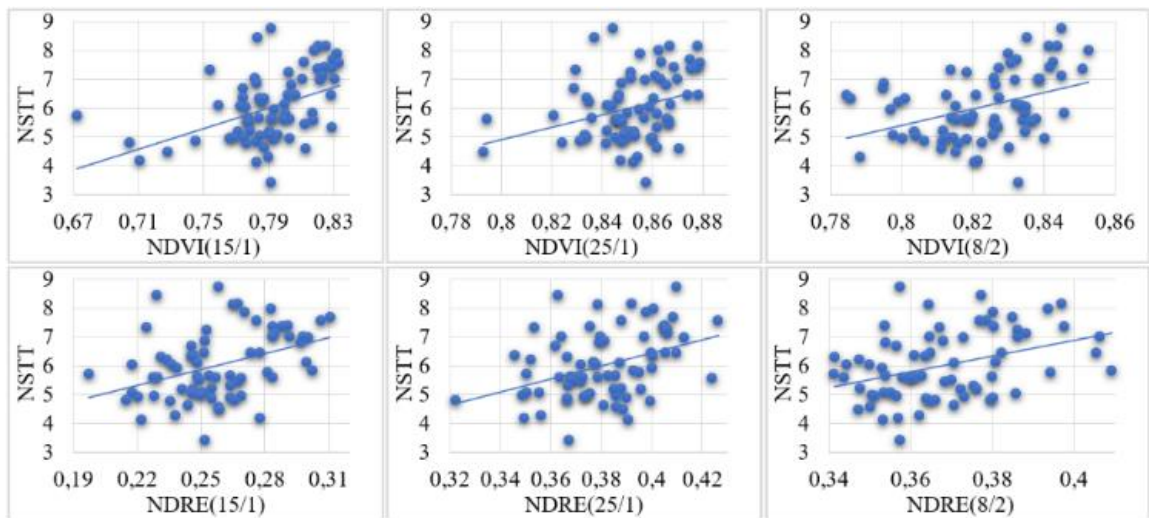
0,325-0,405/ 0,328-0,378 và có mối tương quan thuận với số chồi, số bông trên m<sup>2</sup>, SKR và NSTT của lúa với hệ số tương quan lần lượt từ 0,35-0,358/ 0,348, 0,32-0,58/ 0,33-0,244, 0,336-0,504/ 0,314-0,43 và 0,311-0,457/ 0,351-0,397 ở mức ý nghĩa 1% trong vụ Đông Xuân. Tuy nhiên, nếu ta xét đến mối quan hệ giữa NDVI/ NDRE với chiều cao cây và số chồi tại cùng thời điểm thu thập dữ liệu, NDVI chỉ

có mối tương quan nghịch với chiều cao cây với hệ số tương quan thấp (0,293 và 0,257) ở mức ý nghĩa 5% với dữ liệu đo đạc ngày 15 và 25/1/2022. Một kết quả khác có thể được nhận thấy trong là độ cứng đất ở độ sâu 10, 15 và 20 cm có mối quan hệ nghịch biến với chiều cao cây ở mức ý nghĩa 5% và độ cứng đất ở độ sâu 20 cm có mối quan hệ thuận với TL 1000 hạt với hệ số 0,31 ở mức ý nghĩa 1% (Bảng 5).

**Bảng 5. Kết quả đánh giá quan hệ giữa giá trị NDVI, NDRE và độ cứng các tầng đất với sự sinh trưởng và năng suất lúa vụ Đông Xuân**

Biến	Cao cây (5/1)	Cao cây (15/1)	Cao cây (25/1)	Cao cây (8/2)	Số chồi (5/1)	Số chồi (15/1)	Số chồi (25/1)	Số chồi (8/2)	Số bông	SKR	NSTT	TL 1000 hạt
NDVI(5/1)	-0,119	-0,049	0,107	0,048	0,046	0,081	0,067	0,058	0,121	0,159	0,165	0,119
NDVI(15/1)	-0,370**	-0,293*	-0,172	0,121	0,144	0,185	0,251*	0,250*	0,331**	0,414**	0,457**	0,054
NDVI(25/1)	-0,186	-0,231	-0,257*	-0,009	0,095	0,092	0,140	0,140	0,253*	0,336**	0,311**	0,028
NDVI(8/2)	-0,325**	-0,024	-0,064	0,165	0,012	0,057	0,156	0,163	0,320**	0,401**	0,392**	-0,159
NDVI(20/2)	-0,355**	-0,074	-0,008	0,236*	0,146	0,142	0,238*	0,250*	0,366**	0,407**	0,414**	-0,303*
NDVI(9/3)	-0,352**	-0,118	-0,152	0,153	0,181	0,216	0,354**	0,358**	0,458**	0,462**	0,452**	-0,097
NDVI(15/3)	-0,405**	-0,151	-0,229	0,021	0,221	0,244*	0,342**	0,350**	0,456**	0,504**	0,455**	-0,097
NDRE(5/1)	-0,196	-0,053	-0,054	0,065	-0,086	-0,060	0,004	0,002	0,143	0,244*	0,186	0,069
NDRE(15/1)	-0,328**	-0,136	-0,187	0,161	0,043	0,064	0,106	0,117	0,202	0,392**	0,397**	-0,108
NDRE(25/1)	-0,373**	-0,237*	-0,156	0,244*	0,044	0,074	0,113	0,135	0,281*	0,430**	0,386**	-0,216
NDRE(8/2)	-0,378**	-0,139	-0,123	0,037	0,069	0,038	0,087	0,103	0,165	0,276*	0,375**	-0,172
NDRE(20/2)	-0,329**	-0,201	0,029	-0,016	0,128	0,153	0,250*	0,258*	0,330**	0,376**	0,351**	0,067
NDRE(9/3)	-0,191	0,038	-0,034	0,015	0,223	0,242*	0,290*	0,290*	0,344**	0,353**	0,296*	-0,128
NDRE(15/3)	-0,367**	-0,195	-0,348**	0,122	0,105	0,126	0,190	0,188	0,242*	0,314**	0,361**	0,010
ĐC đất_5cm	0,103	0,028	0,093	-0,207	-0,041	-0,078	-0,110	-0,103	-0,201	-0,214	-0,185	0,141
ĐC đất_10cm	-0,281*	-0,280*	-0,148	-0,074	-0,059	-0,061	0,033	0,026	0,133	0,094	0,084	0,072
ĐC đất_15cm	-0,053	-0,279*	-0,153	-0,075	0,017	0,013	0,013	0,003	-0,056	-0,044	-0,064	0,288*
ĐC đất_20cm	0,045	-0,269*	-0,132	-0,140	0,049	0,042	0,005	-0,016	-0,030	-0,081	-0,039	0,310**
ĐC đất_25cm	0,023	-0,164	-0,185	-0,107	-0,018	-0,036	-0,036	-0,046	0,002	0,027	0,089	0,180
ĐC đất_30cm	0,032	-0,108	-0,117	-0,033	0,041	0,009	-0,002	0,000	0,025	0,046	0,131	0,186
ĐC đất_35cm	0,094	-0,040	-0,035	-0,060	-0,035	-0,033	-0,029	-0,038	-0,061	-0,072	0,043	0,196
ĐC đất_40cm	0,172	-0,018	0,097	0,057	-0,100	-0,114	-0,098	-0,105	-0,165	-0,140	-0,061	0,272*

\*: Khác biệt ý nghĩa ở mức 5%; \*\*: Khác biệt ý nghĩa ở mức 1%



**Hình 6. Biểu đồ phân tán về mối tương quan giữa NDVI, NDRE với NSTT vụ Đông Xuân**

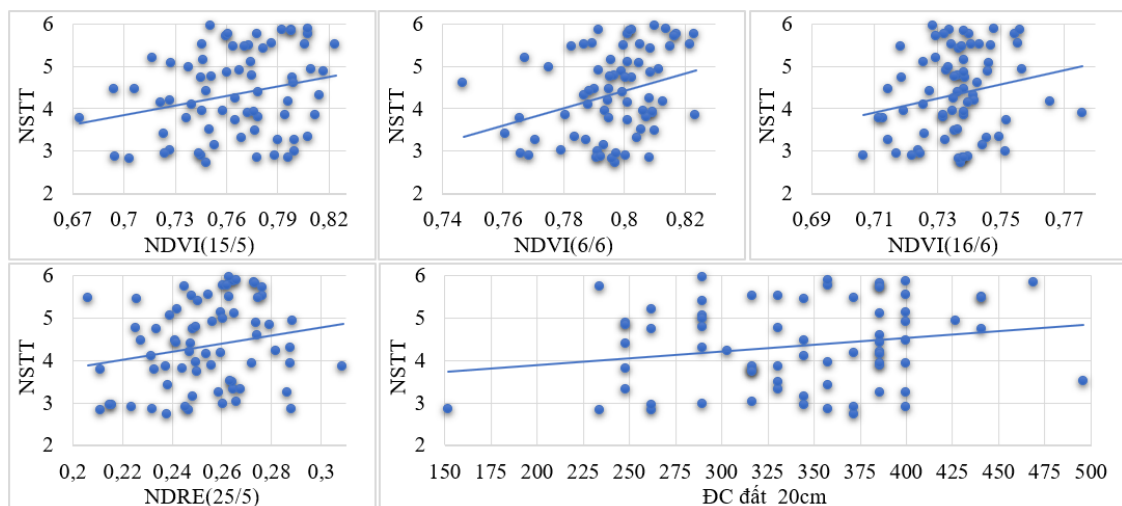
Kết quả phân tích được mối quan hệ giữa các yếu tố trong vụ Hè Thu trình bày trong Bảng 6 cho thấy NDVI/ NDRE có mối tương quan thuận với chiều cao cây với hệ số tương quan từ 0,224-0,446/ 0,255; NDVI/ NDRE có mối tương quan thuận với số chồi lúa trên m<sup>2</sup> với hệ số tương quan từ 0,288-0,322/ 0,257-0,259 ở mức ý nghĩa 1% với dữ liệu đo đạc ngày 15 và 25/5/2022. Có một mối quan hệ tương

quan thuận khác giữa NDVI/ NDRE với số bông và NSTT của lúa với hệ số tương quan lần lượt từ 0,281-0,362/ 0,24 và 0,266-0,372/ 0,232-0,241. NDVI có mối tương quan thuận với SKR với hệ số tương quan từ 0,32 ở mức ý nghĩa 1%. Độ cứng đất ở độ sâu 20 cm có mối quan hệ thuận với NSTT và TL 1000 hạt với hệ số 0,258 và 0,247 ở mức ý nghĩa 5%.

**Bảng 6. Kết quả đánh giá quan hệ giữa giá trị NDVI, NDRE và độ cứng các tầng đất với sự sinh trưởng và năng suất lúa vụ Hè Thu**

Biến	Cao cây (5/5)	Cao cây (15/5)	Cao cây (25/5)	Cao cây (6/6)	Cao cây (16/6)	Số chồi (5/5)	Số chồi (15/5)	Số chồi (25/5)	Số chồi (6/6)	Số chồi (16/6)	Số bông	SKR	NSTT	TL 1000 hạt
NDVI(5/5)	-0,018	0,478**	0,192	-0,454**	-0,132	0,276*	0,267*	0,305**	0,248*	0,131	0,018	0,320**	-0,009	0,171
NDVI(15/5)	0,016	0,446**	0,314**	-0,300**	0,154	0,329**	0,288**	0,313**	0,271*	0,194	0,193	0,160	0,266*	0,197
NDVI(25/5)	0,069	0,421**	0,268*	-0,079	0,208	0,256*	0,244*	0,322**	0,221*	0,144	0,169	0,124	0,189	0,162
NDVI(6/6)	0,142	0,109	0,182	0,316**	0,359**	0,048	-0,001	0,034	-0,033	-0,007	0,094	-0,077	0,350**	0,164
NDVI(16/6)	0,239*	0,299**	0,081	-0,187	0,224*	0,237*	0,197	0,230*	0,236*	0,228*	0,281*	0,030	0,312**	-0,016
NDVI(27/6)	0,192	0,083	0,133	0,162	0,453**	0,210	0,191	0,186	0,202	0,162	0,219	0,004	0,261*	0,004
NDVI(7/7)	0,238*	0,137	0,191	0,235*	0,558**	0,224*	0,221*	0,230*	0,271*	0,280*	0,362**	-0,165	0,363**	0,071
NDVI(14/7)	0,186	0,016	0,079	0,237*	0,486**	0,110	0,109	0,123	0,161	0,199	0,286*	-0,136	0,372**	0,023
NDRE(5/5)	0,040	0,291**	0,108	-0,191	0,039	0,208	0,156	0,166	0,131	0,092	0,069	0,163	0,127	0,100
NDRE(15/5)	0,151	0,208	0,222*	-0,140	0,218	0,316**	0,257*	0,341**	0,313**	0,188	0,148	0,080	0,156	0,244*
NDRE(25/5)	0,156	0,285*	0,255*	0,109	0,236*	0,253*	0,234*	0,259*	0,217	0,136	0,240*	-0,034	0,232*	0,108
NDRE(6/6)	0,049	0,155	0,117	0,204	0,088	0,265*	0,153	0,196	0,066	0,039	0,068	0,130	0,058	-0,055
NDRE(16/6)	0,069	0,094	-0,018	-0,101	0,026	0,126	0,135	0,142	0,127	0,145	0,194	-0,004	0,134	-0,060
NDRE(27/6)	0,079	0,102	0,164	-0,070	0,181	0,296**	0,230*	0,194	0,192	0,192	0,198	0,066	0,169	-0,007
NDRE(7/7)	0,158	0,218	0,316**	0,028	0,261*	0,276*	0,253*	0,291**	0,271*	0,093	0,098	-0,015	0,113	0,201
NDRE(14/7)	0,262*	-0,033	0,033	0,252*	0,015	0,075	0,067	0,083	0,039	0,097	0,117	0,044	0,241*	0,027
ĐC đất 5cm	-0,068	-0,098	0,154	-0,054	-0,147	0,026	0,036	0,042	0,112	0,161	0,138	0,108	0,022	-0,118
ĐC đất 10cm	0,107	-0,132	0,148	0,117	-0,070	-0,092	-0,018	-0,048	0,006	0,066	0,075	0,109	0,147	0,112
ĐC đất 15cm	0,066	-0,039	0,119	0,140	0,062	-0,076	0,031	0,022	0,119	0,192	0,197	-0,094	0,172	0,004
ĐC đất 20cm	0,002	0,039	-0,013	-0,022	0,165	-0,034	0,046	-0,003	0,074	0,206	0,258*	0,013	0,247*	-0,150
ĐC đất 25cm	-0,051	0,189	0,033	-0,201	0,050	-0,028	-0,004	-0,010	0,047	0,092	0,067	0,086	0,068	-0,065
ĐC đất 30cm	-0,056	0,065	0,025	-0,079	-0,005	0,035	0,041	0,004	0,039	0,101	0,055	0,000	0,055	-0,053
ĐC đất 35cm	-0,075	-0,030	0,045	-0,088	-0,094	0,136	0,136	0,083	0,052	0,032	-0,055	0,023	0,055	-0,007
ĐC đất 40cm	-0,089	-0,185	-0,041	-0,100	-0,200	0,037	0,018	-0,022	-0,058	-0,093	-0,266*	0,147	-0,121	0,013

\*: Khác biệt ý nghĩa ở mức 5%; \*\*: Khác biệt ý nghĩa ở mức 1%



**Hình 7. Biểu đồ phân tán về mối tương quan giữa NDVI, NDRE, độ cứng đất với NSTT vụ Hè Thu**

### 3.5. Kết quả huấn luyện mạng A và B

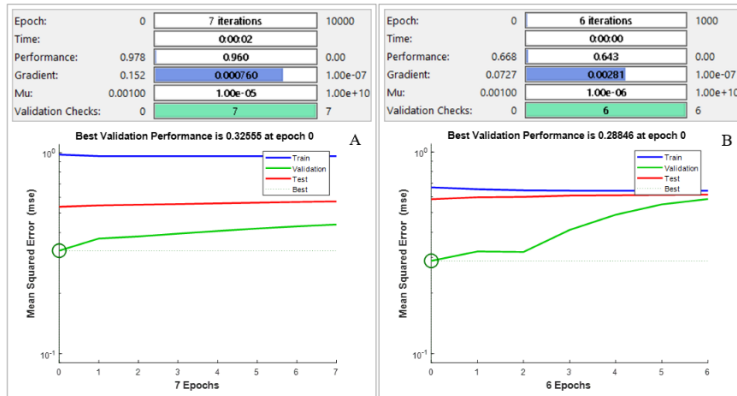
Giá trị huấn luyện và giá trị được chọn của mạng A và B được thể hiện trong Hình 8. Giá trị thích ứng (Mu) của mạng A và B là  $1,00 \cdot e^{-5}$  và  $1,00 \cdot e^{-6}$  nhỏ hơn nhiều lần so với giá trị được đặt (0,001). Giá trị độ dốc (Gradient) của mạng A và B giảm nhanh và về giá trị thấp nhất (0,00076 và 0,00281) ở vòng lặp thứ 7 và 6.

Hình 8 và 9 thể hiện kết quả huấn luyện mạng, kiểm tra chéo và kiểm tra mạng A và B ở vòng lặp thứ 7 và 6 tương ứng. Kết quả ở mạng A, MSE = 0,32555 và hệ số hồi quy R = 0,77174. Ta có thể nhận thấy rằng kết quả huấn luyện mạng A thấp hơn mạng B (MSE = 0,28846 và hệ số hồi quy R = 0,81312). Ngoài ra, Bảng 7 thể hiện sự phân bố mức độ sai lệch giữa giá trị dự báo và giá trị NSTT khi huấn luyện, kiểm tra chéo và kiểm tra mô hình A và B. Số lượng sai lệch dưới 5 và 10% chiếm tỷ lệ rất cao, trong khi đó tỷ lệ của các mức sai lệch khác không đáng kể.

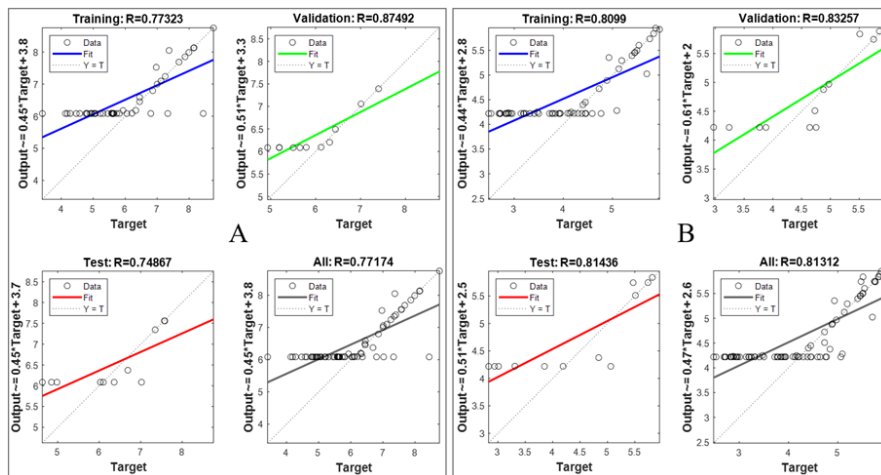
**Bảng 7. Kết quả sai lệch giữa giá trị dự báo của mạng A và B so với giá trị thực tế**

Mức độ sai lệch	Số lượng giá trị (mạng A)	Số lượng giá trị (mạng B)
0-5%	29	31
5,1-10%	12	13
10,1-15%	5	7
15,1-20%	4	2
20,1-25%	8	3
25,1-30%	5	2
30,1-35%	2	5
35,1-40%	1	0
40,1-45%	1	5
45,1-50%	2	6
Trên 50%	1	6
<b>Tổng cộng</b>	<b>70</b>	<b>80</b>

Kết quả hệ số hồi quy lớn và sai lệch giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế ở mức thấp cho thấy mạng A và B được huấn luyện thành công và cho ra giá trị dự báo xấp xỉ với giá trị NSTT được khảo sát thực địa trong cả 02 vụ Đông Xuân và Hè Thu.



**Hình 8. Các tham số và biểu đồ giá trị MSE của mạng A và B**



**Hình 9. Biểu đồ tương quan giữa giá trị dự báo của mạng A và B với giá trị thực tế**



#### 4. KẾT LUẬN

Giá trị NDVI/ NDRE được khảo sát trong vụ Đông Xuân và Hè Thu thay đổi theo xu hướng tăng dần trong giai đoạn lúa đẻ nhánh và giảm dần đến thời điểm thu hoạch lúa. NDVI/ NDRE có mối quan hệ với số bông trên m<sup>2</sup>, SKR, NSTT và TL 1000 hạt ở mức ý nghĩa cao, nhưng có mối quan hệ thấp với chiều cao cây và số chồi lúa.

Giá trị độ cứng các tầng đất tăng dần theo độ sâu và có sự khác nhau giữa các vị trí khác nhau trên đồng. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mối quan hệ giữa độ cứng các tầng đất đo tại thời điểm lúa 26 ngày tuổi với sự sinh trưởng và NSTT của cây lúa kém chặt với nhau trong vụ lúa Đông Xuân và Hè Thu được khảo sát.

Kết hợp việc sử dụng dữ liệu độ cứng đất, NDVI, NDRE và NSTT của cây lúa đo đạt trong vụ Đông

Xuân và Hè Thu với việc huấn luyện và kiểm tra thông qua 02 hai mạng A và B (gồm 01 lớp đầu vào, 01 lớp ẩn và 01 lớp đầu ra) theo thuật toán huấn luyện Levenberg - Marquardt và ứng dụng hàm kích hoạt sigmoid dạng logsig cho kết quả dự đoán năng suất lúa với độ tin cậy cao.

Tuy nhiên, nghiên cứu này còn điểm cần cải thiện là số lượng mẫu đo đạc ngoài đồng ruộng chưa nhiều để tăng độ tin cậy khi đánh giá các mối quan hệ cũng như huấn luyện và đánh giá lại kết quả mô hình mạng nơron. Ngoài ra, do quá trình phân chia mẫu ngẫu nhiên và không được thể hiện cụ thể trong các nhóm huấn luyện, kiểm tra chéo và kiểm mạng nên việc đánh giá sự sai lệch giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế chưa được cụ thể theo các bước huấn luyện, kiểm tra chéo và kiểm mạng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bản Đồ Lâm Nghiệp. (2022). *Ghép ảnh flycam bằng Agisoft Metashape*. Bản Đồ Lâm Nghiệp. Truy cập ngày 13/10/2022 từ <https://bandolamnghep.com/ghiep-anh-flycam-bang-agisoft-metashape/>
- Bui, V. H. ., Ngo, Q. H. ., & Ho, T. A. . (2022). Establishment of a Rice Tiller Number Prediction Model Using Soil Compaction and Days after Transplanting. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 12(2), 130–137. <https://doi.org/10.55493/5005.v12i2.4497>
- Chosa, T., Miyagawa, K., Tamura, S., Yamazaki, K., Iiyoshi, S., Furuhashi, M., & Motobayashi, K. (2010). Monitoring rice growth over a production region using an unmanned aerial vehicle: Preliminary trial for establishing a regional rice strain. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 3(PART 1). <https://doi.org/10.3182/20101206-3-jp-3009.00031>
- Cropin and AWS. (2021). *NDVI and its practical uses in agriculture*. Cropin and AWS. Truy cập ngày 26/10/2022 từ <https://www.cropin.com/blogs/ndvi-in-agriculture>
- Đê, N. N. (2008). *Giáo trình cây lúa*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- Duan, B., Fang, S., Zhu, R., Wu, X., Wang, S., Gong, Y., & Peng, Y. (2019). Remote estimation of rice yield with unmanned aerial vehicle (UAV) data and spectral mixture analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10(February), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00204>
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS ISM*. London, England.
- Guan, K., Hien, N. T., Li, Z., & Rao, L. N. (2018). Measuring rice yield from space: the case of Thai Binh province, Viet Nam. *SSRN Electronic Journal*, 541. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3188560>
- Guimarães, C., & Moreira, J. (2001). Soil compaction on upland rice. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 703–707.
- Huang, J., Wang, H., Dai, Q., & Han, D. (2014). Analysis of NDVI data for crop identification and yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4374–4384. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2334332>
- Jeong, S., Ko, J., & Yeom, J. M. (2022). Predicting rice yield at pixel scale through synthetic use of crop and deep learning models with satellite data in South and North Korea. *Science of the Total Environment*, 802(2022), 149726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149726>
- Kailou Liu Huiwen Hu, Lijun Zhou, Xiaojun Xiao, Paolan Yu, Y. L. (2015). Estimating rice yield based on Normalized Difference Vegetation Index at heading stage of different Nitrogen application rates in Southeast of China. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 2(September 2016), 13.
- Lành, P. T. M., Bảo, H. Đ., & Trường, N. Q. (2020). Ứng dụng mạng nơron nhân tạo trong dự báo ống bễ trong mạng lưới cấp nước. *Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường*, 71(12/2020), 93–100.
- Minh, V. Q., Hien, T. T., & Chien, H. Van. (2015). Monitoring and delineating the progress of rice sowing and cropping calendar assisting in early warning pest and disease in the Mekong delta.

- ACRS 2015 - 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, Proceedings, January 2013.
- Murata, K., Ito, A., Hatano, H., & Takahashi, Y. (2016). A study on growth condition analysis of rice using drone. *Remote Sensing*.
- Ngadiman, N., Kaamin, M., Sahat, S., Mokhtar, M., Ahmad, N. F. A., Kadir, A. A., & Razali, S. N. M. (2018). Production of orthophoto map using UAV photogrammetry: A case study in UTHM Pagoh campus. *AIP Conference Proceedings*, 2016(September), 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.5055514>
- Norasma, C. Y. N., Abu Sari, M. Y., Fadzilah, M. A., Ismail, M. R., Omar, M. H., Zulkarami, B., Hassim, Y. M. M., & Tarmidi, Z. (2018). Rice crop monitoring using multirotor UAV and RGB digital camera at early stage of growth. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012095>
- Norasma, C. Y. N., Fadzilah, M. A., Roslin, N. A., Zanariah, Z. W. N., Tarmidi, Z., & Candra, F. S. (2019). Unmanned aerial vehicle applications in agriculture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 506(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012063>
- Phuong, N. M., Hubert, V., Khoa, L. Van, & Guong, V. T. (2009). Physical soil degradation on intensive rice cultivation areas in the Mekong Delta and the effects of crop rotation on aggregate stability of paddy soils. *Journal of Science Can Tho University*, 11, 194–199.
- Pinheiro, V., Nascente, A. S., Stone, L. F., & Lacerda, M. C. (2016). Seed treatment, soil compaction and nitrogen management affect upland rice. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(1), 72–79. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638428>
- Pipatsitee, P., Eiumnoh, A., Tisarum, R., Taota, K., Kongpugdee, S., Sakulleerungroj, K., & Cha-Um, S. (2020). Above-Ground Vegetation Indices and Yield Attributes of Rice Crop Using Unmanned Aerial Vehicle Combined with Ground Truth Measurements. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2368–2384. <https://doi.org/10.15835/48412134>
- Raza, S. M. H., Mahmood, S. A., Gillani, S. A., Hassan, S. S., Aamir, M., Saifullah, M., Basheer, M., Ahmad, A., Saif-ul-Rehman, & Ali, T. (2019). Estimation of net rice production by remote sensing and multi source datasets. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35(3), 955–965. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.3.955.965>
- Rehman, T. H., Borja Reis, A. F., Akbar, N., & Linquist, B. A. (2019). Use of normalized difference vegetation index to assess N status and predict grain yield in rice. *Agronomy Journal*, 111(6), 2889–2898. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0217>
- Shouichi, Y., & Thành, T. M. (1981). *Cơ sở khoa học cây lúa*. Viện nghiên cứu lúa quốc tế (IRRI). <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA62259934>
- Singh, S. P., Jain, A., Anantha, M. S., Tripathi, S., Sharma, S., Kumar, S., Prasad, A., Sharma, B., Karmakar, B., Bhattarai, R., Das, S. P., Singh, S. K., Shenoy, V., Chandra Babu, R., Robin, S., Swain, P., Dwivedi, J. L., Yadaw, R. B., Mandal, N. P., ... Henry, A. (2017). Depth of soil compaction predominantly affects rice yield reduction by reproductive-stage drought at varietal screening sites in Bangladesh, India, and Nepal. *Plant and Soil*, 417(1–2), 377–392. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3265-2>
- Sinha, J. P., Kushwaha, H. L., & Kushwaha, D. K. (2016). Prospect of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology for agricultural production management SOP project view project robotic planter view project. *International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering 27 – 30th December, 2016, Agricultural and Food Engineering Department, IIT Kharagpur, December*, 53–66. <https://www.researchgate.net/publication/312589716>
- Son, N. T., Chen, C. F., Cheng, Y. S., Toscano, P., Chen, C. R., Chen, S. L., Tseng, K. H., Syu, C. H., Guo, H. Y., & Zhang, Y. T. (2022). Field-scale rice yield prediction from Sentinel-2 monthly image composites using machine learning algorithms. *Ecological Informatics*, 69(March), 101618. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101618>
- Thái, L. X. (2003). *So sánh và đánh giá tính ổn định năng suất và phẩm chất gạo của 8 giống lúa cao sản ở ĐBSCL*. Đại học Cần Thơ.
- Tuần, Đ. A. (2019). Nghiên cứu tích hợp mạng nơron trí tuệ nhân tạo (AI) vào hệ thống SCADA trạm biến áp để chẩn đoán sự cố. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Hàng Hải*, 37–41.
- Tùng, H. V., & Khanh, V. (2021). Đề xuất giải pháp chẩn đoán hư hỏng động cơ điện không xâm lấn ứng dụng mạng GoogleNet. *Tạp Chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật - Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật - TP.HCM*, 66, 83–93. <https://doi.org/10.54644/jte.66.2021.1070>