

# TỔNG QUAN MỘT SỐ VẤN ĐỀ LÝ LUẬN VỀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SỐ TRONG NÔNG NGHIỆP

Vũ Thị Khánh Toàn<sup>1</sup>, Lưu Văn Duy<sup>2\*</sup>, Nguyễn Thanh Phong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Ban Quản lý đào tạo, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

<sup>2</sup>*Khoa Kinh tế và Quản lý, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

\*Tác giả liên hệ: [luuvanduy@vnua.edu.vn](mailto:luuvanduy@vnua.edu.vn)

Ngày nhận bài: 11.08.2025

Ngày chấp nhận đăng: 12.03.2026

## TÓM TẮT

Bài viết này tập trung hệ thống hóa và phân tích các vấn đề lý luận liên quan đến ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu, phân tích và tổng hợp nội dung các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến nông nghiệp số. Kết quả cho thấy, công nghệ số trong nông nghiệp không chỉ là tập hợp các giải pháp kỹ thuật riêng lẻ mà là một hệ thống tích hợp, trong đó dữ liệu giữ vai trò trung tâm, kết nối các công nghệ như IoT, AI, Big Data, UAV và Blockchain dọc theo chuỗi giá trị nông nghiệp. Các công nghệ số có thể được phân nhóm theo chức năng chính gồm nâng cao hiệu quả sản xuất, tăng khả năng phục hồi trước rủi ro và thúc đẩy phát triển nông nghiệp bền vững. Việc ứng dụng công nghệ số chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như thể chế - chính sách, hạ tầng công nghệ, năng lực người sản xuất, chi phí đầu tư, điều kiện tự nhiên và cơ chế liên kết giữa các tác nhân. Nghiên cứu đóng góp nền tảng lý luận cho việc xây dựng khung lý thuyết và gợi mở các hướng nghiên cứu thực nghiệm nhằm đề xuất chính sách thúc đẩy chuyển đổi số nông nghiệp theo hướng hiệu quả và bền vững.

Từ khóa: Công nghệ số, chuyển đổi số trong nông nghiệp, nông nghiệp số, nông nghiệp bền vững.

## Theoretical Perspectives on the Application of Digital Technology in Agriculture

### ABSTRACT

This paper focused on systematizing the theoretical issues related to the application of digital technologies in agriculture. The study employed a comprehensive review combined with content analysis and synthesis of studies on digital agriculture. The findings indicated that digital technologies in agriculture should not be viewed as a collection of standalone technical solutions but as an integrated system in which data play a central role, connecting technologies such as IoT, AI, Big Data, UAVs, and Blockchain along the agricultural value chain. Digital technologies can be functionally categorized into three main groups: enhancing production efficiency, strengthening resilience to risks, and promoting sustainable agricultural development. The application of digital technologies in agriculture is influenced by multiple factors, including institutional and policy frameworks, digital infrastructure, farmers' capabilities, investment costs, natural conditions, and coordination mechanisms among stakeholders. The study provides a theoretical foundation for developing analytical frameworks and suggests directions for future empirical research to inform policies that promote effective and sustainable digital transformation in agriculture.

Keywords: Digital technology, digital transformation in agriculture, digital agriculture, sustainable agriculture.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh Cách mạng công nghiệp lần thứ tư diễn ra mạnh mẽ, công nghệ số đã trở thành động lực cốt lõi thúc đẩy phát triển bền vững trên phạm vi toàn cầu. Ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp được xem là giải pháp chiến lược nhằm nâng cao năng suất, chất

lượng sản phẩm, tối ưu hóa chi phí và tăng khả năng cạnh tranh trong điều kiện biến đổi khí hậu, đô thị hóa và già hóa dân số nông thôn ngày càng gia tăng (FAO, 2021; World Bank, 2020). Các công nghệ số như trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI), Internet vạn vật (Internet of Things - IoT), dữ liệu lớn (Big Data), cảm biến từ xa, blockchain và các nền

tăng số đang từng bước làm thay đổi cách thức quản trị và tổ chức sản xuất nông nghiệp hiện đại. Theo FAO (2021), việc tích hợp công nghệ số vào toàn bộ chuỗi giá trị nông nghiệp - từ canh tác, thu hoạch, bảo quản, chế biến đến tiêu thụ - đã góp phần nâng cao hiệu quả sản xuất, giảm thất thoát sau thu hoạch và mở rộng khả năng tiếp cận thị trường của nông dân. Đồng thời, công nghệ số còn thúc đẩy minh bạch hóa chuỗi giá trị, cải thiện chất lượng quản trị và nâng cao vai trò của nông dân trong hệ sinh thái đổi mới sáng tạo. Thực tiễn tại nhiều quốc gia cho thấy ứng dụng công nghệ số giúp gia tăng năng suất, giảm đáng kể lượng vật tư đầu vào và cung cấp thông tin thời gian thực về thời tiết, kỹ thuật và thị trường cho hàng triệu nông hộ (FAO, 2021; World Bank, 2020).

Tuy nhiên, chuyển đổi số trong nông nghiệp không đơn thuần là việc áp dụng các công nghệ mới mà là quá trình tái cấu trúc toàn diện hệ thống nông nghiệp, bao gồm tổ chức sản xuất, phân phối tri thức và quản trị chuỗi giá trị. Theo Klerkx & cs. (2019), quá trình này đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa nhiều tác nhân như nông dân, doanh nghiệp, nhà nghiên cứu và cơ quan quản lý trong một hệ sinh thái đổi mới mở, nơi dữ liệu, kết nối số và tự động hóa giữ vai trò trung tâm. Sự xuất hiện của các nền tảng số và mô hình dịch vụ mới đang làm thay đổi vai trò truyền thống của các chủ thể, đặt ra yêu cầu tái định nghĩa lại giá trị trong nông nghiệp số (Klerkx & cs., 2019).

Các nghiên cứu hiện nay về công nghệ số trong nông nghiệp vẫn còn những hạn chế nhất định. Nhiều nghiên cứu hiện nay mới chỉ dừng lại ở việc mô tả công nghệ, thiếu phân tích hệ thống về tác động của các yếu tố thể chế, kinh tế - xã hội và năng lực nội sinh đến hiệu quả chuyển đổi số trong nông nghiệp (Eastwood & cs., 2019; Rose & cs., 2021). Đặc biệt, còn thiếu nghiên cứu tổng quan bao quát đầy đủ các yếu tố cấu thành, quá trình vận hành và tác động đa chiều của công nghệ số đối với toàn bộ chuỗi giá trị nông nghiệp. Điều này khiến việc đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ số thường dựa trên các chỉ số rời rạc, khó phản ánh đầy đủ những thay đổi về tổ chức sản xuất và hiệu quả

kinh tế - xã hội. Xuất phát từ khoảng trống lý luận đó, bài viết tập trung làm rõ các vấn đề lý luận cơ bản về ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp, phân tích đặc điểm, vai trò, nội hàm và yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ứng dụng công nghệ số trong bối cảnh biến đổi khí hậu, toàn cầu hóa và sự phát triển nhanh của trí tuệ nhân tạo.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu có hệ thống, kết hợp phân tích nội dung và so sánh nhằm tổng hợp các nghiên cứu hiện có, xác định vai trò của công nghệ số trong nông nghiệp. Nguồn tài liệu gồm các công trình nghiên cứu khoa học công bố quốc tế và trong nước liên quan đến nông nghiệp số và chuyển đổi số. Lập bảng tra cứu, truy xuất dữ liệu theo từ khóa (ví dụ: “công nghệ số”, “ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp”, “digital agriculture”, “smart farming”, “ICT in agriculture”,...), sau đó tổng hợp, mã hóa và phân loại nội dung tài liệu theo chủ đề. Bài viết này chủ yếu dùng phương pháp phân tích định tính để thực hiện: (1) Phương pháp phân tích nội dung (Content Analysis) để phân tích và mã hóa nội dung từ các tài liệu nghiên cứu, bài báo, sách và báo cáo liên quan để hiểu rõ hơn về các chủ đề, mô hình và kết quả của các nghiên cứu hiện có về công nghệ số trong nông nghiệp; (2) Phân tích xu hướng chủ đề (Topic Trend Analysis) để xác định các xu hướng chủ đề quan trọng trong các nghiên cứu đã được công bố, từ đó đánh giá mức độ phát triển và sự quan tâm đối với các ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp.

## 2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ LÝ LUẬN VỀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SỐ TRONG NÔNG NGHIỆP

### 2.1. Khái niệm ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp

#### 2.1.1. Công nghệ số trong nông nghiệp

Công nghệ số trong nông nghiệp (digital technologies in agriculture) bao gồm Internet vạn vật, trí tuệ nhân tạo, dữ liệu lớn, thiết bị bay không người lái và blockchain được sử dụng xuyên suốt chuỗi giá trị nông nghiệp nhằm thu

thập, xử lý và phân tích thông tin, hỗ trợ ra quyết định, tự động hóa quy trình sản xuất, nâng cao khả năng chống chịu, năng suất, tính bền vững và hiệu quả quản lý (Parra-López & cs., 2024). Các công nghệ này thường được tích hợp trong một hệ thống thống nhất, trong đó dữ liệu đóng vai trò trung tâm kết nối các công cụ và chủ thể tham gia sản xuất nông nghiệp (Wolfert & cs., 2017; Klerkx & cs., 2019). Công nghệ số mang lại nhiều lợi ích thiết thực như: (i) Tối ưu hóa đầu vào (giống, phân bón, thuốc bảo vệ thực vật); (ii) Giảm chi phí sản xuất và tổn thất sau thu hoạch; (iii) Cải thiện chất lượng và truy xuất nguồn gốc sản phẩm; (iv) Hỗ trợ ra quyết định và dự báo dịch bệnh, thời tiết; (v) Tăng khả năng tiếp cận thị trường và minh bạch chuỗi cung ứng (FAO, 2021).

### **2.1.2. Ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

Ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp được hiểu là quá trình đưa các công nghệ số vào thực tiễn sản xuất, quản lý và tổ chức chuỗi giá trị nông nghiệp nhằm giải quyết các vấn đề cụ thể của sản xuất nông nghiệp. Khác với khái niệm công nghệ số trong nông nghiệp vốn nhấn mạnh đến bản thân các công cụ và giải pháp công nghệ, ứng dụng công nghệ số tập trung vào việc xác định nhu cầu, cách thức lựa chọn, tích hợp và vận hành các công nghệ này trong điều kiện cụ thể của từng địa phương, từng mô hình sản xuất và từng nhóm đối tượng sản xuất. Quá trình ứng dụng bao gồm khía cạnh kỹ thuật, gắn với các yếu tố thể chế, nguồn lực, năng lực tiếp nhận của người sản xuất và cơ chế phối hợp giữa các tác nhân trong chuỗi giá trị. Do đó, hiệu quả ứng dụng công nghệ số phụ thuộc lớn vào mức độ phù hợp giữa công nghệ với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và năng lực tổ chức sản xuất, hơn là vào bản thân trình độ công nghệ được lựa chọn. Theo Wolfert & cs. (2017), ứng dụng công nghệ số giúp tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên như đất, nước, phân bón, giống cây trồng, đồng thời cung cấp dữ liệu thời gian thực để hỗ trợ người sản xuất đưa ra quyết định nhanh chóng và chính xác. Điều này góp phần tăng năng suất, giảm chi phí, giảm

thiếu rủi ro do biến đổi khí hậu hoặc dịch bệnh, đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của thị trường về truy xuất nguồn gốc, chất lượng và an toàn thực phẩm. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên hợp quốc (FAO, 2021) khẳng định rằng công nghệ số là chìa khóa để xây dựng hệ thống nông nghiệp, thực phẩm thông minh, linh hoạt và bền vững trong tương lai.

### **2.2. Các loại công nghệ số trong nông nghiệp**

Công nghệ số trong nông nghiệp có thể được hệ thống hóa và phân nhóm theo những chức năng chủ đạo mà chúng đảm nhiệm trong hệ thống sản xuất. Cách tiếp cận này giúp làm rõ vai trò và giá trị của từng nhóm công nghệ, cho thấy đóng góp của công nghệ số trong việc nâng cao hiệu quả sản xuất, tăng cường khả năng thích ứng và thúc đẩy phát triển nông nghiệp theo hướng bền vững.

*Thứ nhất, nhóm công nghệ nâng cao hiệu quả và chính xác trong sản xuất nông nghiệp.* Nhóm này bao gồm các công nghệ IoT, AI, Big Data và UAV. IoT cho phép thu thập dữ liệu thời gian thực về điều kiện môi trường và hoạt động sản xuất thông qua hệ thống cảm biến, từ đó hỗ trợ tự động hóa các khâu như tưới tiêu, cho ăn, kiểm soát vi khí hậu (Zhang & cs., 2020). Dữ liệu thu thập được đóng vai trò đầu vào cho các hệ thống AI và phân tích Big Data, giúp dự báo thời tiết, sâu bệnh, sinh trưởng cây trồng và tối ưu hóa quyết định canh tác (Wolfert & cs., 2017; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). UAV hỗ trợ giám sát cây trồng, thu thập dữ liệu hình ảnh độ phân giải cao và phun thuốc chính xác, đặc biệt hiệu quả trong canh tác quy mô lớn hoặc địa hình phức tạp (Zhang & cs., 2020).

*Thứ hai, nhóm công nghệ tăng khả năng phục hồi và quản lý rủi ro trong nông nghiệp.* Các nền tảng quản lý sản xuất nông nghiệp số, hệ thống cảnh báo sớm, bản đồ đất số và ứng dụng dự báo thời tiết góp phần nâng cao khả năng thích ứng của nông nghiệp trước biến đổi khí hậu và rủi ro thị trường. Những công nghệ này hỗ trợ người sản xuất lập kế hoạch mùa vụ, theo dõi sản xuất, quản lý đầu vào - đầu ra và phản ứng kịp thời với các cú sốc từ môi trường tự nhiên hoặc thị trường. Một số nền tảng còn

tích hợp AI và IoT, giúp nâng cao năng lực ra quyết định và giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm truyền thống.

*Thứ ba, nhóm công nghệ thúc đẩy tính bền vững và minh bạch của chuỗi giá trị nông nghiệp.* Blockchain là công nghệ tiêu biểu trong nhóm này, cho phép lưu trữ và chia sẻ dữ liệu minh bạch, khó bị thay đổi, đặc biệt hữu ích trong truy xuất nguồn gốc nông sản. Thông qua blockchain, toàn bộ quá trình sản xuất, chế biến và phân phối được ghi nhận và xác thực, góp phần nâng cao niềm tin của người tiêu dùng, bảo vệ thương hiệu nông sản và hỗ trợ quản lý nhà nước hiệu quả hơn (Lin & cs., 2021). Khi được tích hợp với IoT và các nền tảng quản lý số, blockchain góp phần thúc đẩy phát triển hệ sinh thái nông nghiệp số theo hướng bền vững.

### **2.3. Đặc điểm của ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

#### **2.3.1. Dữ liệu là yếu tố trung tâm**

Một trong những đặc điểm cơ bản là điều kiện tiên đề cho việc của ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp là dữ liệu. Khác với mô hình truyền thống dựa chủ yếu vào kinh nghiệm, nông nghiệp ứng dụng công nghệ số vận hành dựa trên việc thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu lớn từ nhiều nguồn như cảm biến môi trường, vệ tinh, UAV, ứng dụng di động... Theo Wolfert & cs. (2017), dữ liệu giúp phản ánh hiện trạng sản xuất, hỗ trợ ra quyết định dựa trên các mô hình phân tích và dự báo. Điều này tạo nên nền sản xuất linh hoạt, chính xác và có thể thích ứng tốt hơn với các yếu tố biến đổi như thời tiết, dịch bệnh hay thị trường. Bên cạnh đó, theo Eastwood & cs. (2019), việc quản trị dữ liệu hiệu quả còn mở ra tiềm năng liên kết chuỗi giá trị, cải thiện hiệu suất sử dụng tài nguyên và nâng cao độ tin cậy trong truy xuất nguồn gốc sản phẩm. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng dữ liệu trong nền nông nghiệp ứng dụng công nghệ số không đơn thuần là thông tin kỹ thuật mà còn gắn liền với các yếu tố xã hội, tổ chức và thể chế, do đó đòi hỏi hệ thống quản trị minh bạch và có sự tham gia của nhiều bên liên quan (Rose & cs., 2021).

#### **2.3.2. Kết nối liên thông và thời gian thực**

Công nghệ số trong nông nghiệp cho phép kết nối liên thông giữa các thiết bị, hệ thống và chủ thể tham gia chuỗi giá trị nông nghiệp. Nhờ vào IoT, các thiết bị như cảm biến độ ẩm, máy bay không người lái, camera giám sát có thể truyền dữ liệu về máy chủ hoặc ứng dụng di động trong thời gian thực. Zhang & cs. (2020) nhấn mạnh rằng tính kết nối thời gian thực giúp người nông dân và nhà quản lý phản ứng nhanh với các tình huống bất thường như thay đổi thời tiết, côn trùng gây hại hoặc sự cố về nguồn nước. Ngoài ra, theo Liakos & cs. (2018), khả năng thu thập và xử lý dữ liệu tức thì còn tạo điều kiện tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên như nước tưới, phân bón và thuốc bảo vệ thực vật, qua đó nâng cao hiệu quả kinh tế và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Bên cạnh đó, Wolfert & cs. (2017) cũng lưu ý rằng để đạt được hiệu quả kết nối liên thông trong nông nghiệp số, cần xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật chung và cơ chế chia sẻ dữ liệu minh bạch giữa các bên.

#### **2.3.3. Tự động hóa và thông minh hóa quy trình sản xuất**

Nền nông nghiệp ứng dụng công nghệ số hướng đến tự động hóa các khâu trong chuỗi sản xuất, từ gieo trồng, chăm sóc, thu hoạch đến chế biến và phân phối. Việc tích hợp trí tuệ nhân tạo và học máy cho phép thiết lập các thuật toán điều khiển thông minh, tự động điều chỉnh hoạt động sản xuất dựa trên điều kiện môi trường, sinh trưởng của cây trồng hoặc vật nuôi. Kamilaris & Prenafeta-Boldú (2018) cho rằng, hệ thống AI trong nông nghiệp có khả năng phân tích hình ảnh từ UAV để phát hiện sâu bệnh, xác định thời điểm thu hoạch tối ưu hoặc dự đoán năng suất mùa vụ. Bên cạnh đó, theo Shamshiri & cs. (2018), robot nông nghiệp hiện đại có thể thực hiện các công việc như gieo hạt, phun thuốc, hái quả một cách tự động với độ chính xác cao, giảm thiểu tổn thất và chi phí sản xuất. Quá trình này làm giảm sự phụ thuộc vào lao động thủ công, nâng cao độ chính xác và hiệu quả sản xuất, đồng thời góp phần xây dựng hệ thống sản xuất nông nghiệp bền vững hơn trong tương lai.

#### **2.3.4. Truy xuất nguồn gốc minh bạch và bảo mật thông tin**

Ứng dụng công nghệ blockchain vào nông nghiệp cho phép xây dựng hệ thống truy xuất nguồn gốc sản phẩm minh bạch, không thể thay đổi hoặc giả mạo. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh người tiêu dùng ngày càng quan tâm đến chất lượng và xuất xứ thực phẩm. Theo Lin & cs. (2021), blockchain giúp người tiêu dùng kiểm tra được quá trình sản xuất, giúp nhà sản xuất nâng cao uy tín, bảo vệ thương hiệu và mở rộng thị trường. Ngoài ra, theo Casino & cs. (2019), blockchain trong chuỗi cung ứng nông nghiệp còn hỗ trợ tăng cường tính bảo mật và giảm thiểu rủi ro gian lận dữ liệu nhờ cơ chế lưu trữ phân tán và bất biến. Tian (2017) nhấn mạnh, việc tích hợp blockchain với công nghệ IoT và Big Data sẽ góp phần tối ưu hóa khả năng giám sát chuỗi cung ứng theo thời gian thực, nâng cao hiệu quả và tính minh bạch trong quản lý sản phẩm nông nghiệp.

#### **2.3.5. Hỗ trợ ra quyết định dựa trên phân tích dự báo**

Công nghệ số ghi nhận dữ liệu, phân tích, mô hình hóa, đưa ra các dự báo nhằm hỗ trợ quyết định ở cả cấp độ hộ nông dân, doanh nghiệp và cơ quan quản lý. Các mô hình dự báo thời tiết, sâu bệnh, giá cả thị trường hay năng suất mùa vụ giúp người sản xuất lập kế hoạch dài hạn và tối ưu hóa đầu tư. Wolfert & cs. (2017) nhấn mạnh rằng, điểm khác biệt của nông nghiệp số so với các mô hình công nghệ nông nghiệp trước đây là tính dự báo - cho phép nông dân phản ứng với hiện tại, chuẩn bị cho tương lai. Bên cạnh đó, theo Liakos & cs. (2018), các hệ thống hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu lớn và học máy đã cho thấy hiệu quả trong việc tối ưu hóa quản lý nông trại, giảm thiểu rủi ro và nâng cao năng suất thông qua các dự đoán chính xác về điều kiện sinh trưởng và nguy cơ dịch bệnh.

#### **2.4. Vai trò của ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

Các nghiên cứu gần đây của Rotz & cs. (2021) và Lưu Văn Duy & cs. (2025) đã chỉ ra

rằng, ứng dụng công nghệ số đóng vai trò quan trọng trong giảm thiểu rủi ro và thiệt hại mà biến đổi khí hậu gây ra cho nông nghiệp. Là ngành kinh tế phụ thuộc nhiều vào điều kiện thời tiết và khí hậu, nông nghiệp chịu ảnh hưởng trực tiếp từ sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu, các hiện tượng thời tiết cực đoan, bão mạnh hơn, nước biển dâng, dịch bệnh lan rộng, suy giảm diện tích đất và nguồn nước ngọt, cũng như mất mát về đa dạng sinh học. Những biến động này dẫn tới năng suất và chất lượng nông sản giảm sút, thậm chí gây thất thu nghiêm trọng. Trong bối cảnh đó, việc tích hợp AI và phân tích dữ liệu vào quản lý rủi ro cho phép đưa ra các cảnh báo sớm, giúp chính quyền, ngành chức năng và nông dân chủ động triển khai giải pháp ứng phó, qua đó nâng cao hiệu quả và tính bền vững của sản xuất nông nghiệp.

Nhiều nghiên cứu như của Mehmet & Ufuk (2021), Lajoie-O'Malley & cs. (2020), Lưu Văn Duy & cs. (2022) khẳng định, công nghệ số góp phần nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả của sản xuất - tiêu thụ nông sản. Các công nghệ như IoT, Big Data và công nghệ sinh học cho phép phân tích dữ liệu về môi trường, đất đai, cây trồng để tối ưu quyết định sản xuất, giúp giảm chi phí, hạn chế ô nhiễm, bảo tồn đa dạng sinh học. Kinh nghiệm ở các nước phát triển cho thấy, áp dụng công nghệ số có thể giảm một nửa chi phí và công lao động, cắt giảm 50% khí thải nhà kính, tăng năng suất khoảng 30%, qua đó cải thiện thu nhập cho nông dân (Araújo & cs., 2021). Đồng thời, công nghệ số còn hỗ trợ truy xuất nguồn gốc theo thời gian thực, kết nối hiệu quả giữa cung - cầu, góp phần ổn định giá cả và hướng tới nền nông nghiệp bền vững.

Mặt khác, các nghiên cứu của Klerkx & Rose (2020), Clapp & Ruder (2020), Prause & cs. (2020), Miles (2019), Connolly (2022) và Lưu Văn Duy & Đỗ Kim Chung (2024) đều thống nhất rằng công nghệ số giúp nâng cao hiệu quả quản lý và điều hành trong nông nghiệp. Với cơ quan quản lý nhà nước, ứng dụng công nghệ thông tin và số hóa hỗ trợ ra quyết định nhanh, chính xác nhờ hệ thống báo cáo kịp thời, từ đó tăng hiệu lực quản lý. Đối với doanh nghiệp, công nghệ số giúp tối ưu vận hành, giảm chi phí,

mở rộng tiếp cận khách hàng, qua đó nâng cao hiệu quả và năng lực cạnh tranh.

## **2.5. Nội dung nghiên cứu ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

### **2.5.1. Xác định nhu cầu và điều kiện kỹ thuật ứng dụng công nghệ số**

Việc xác định nhu cầu và điều kiện kỹ thuật là bước khởi đầu mang tính nền tảng trong quá trình ứng dụng công nghệ số vào sản xuất nông nghiệp. Ở giai đoạn này, các nhà nghiên cứu và nhà quản lý cần phân tích toàn diện thực trạng sản xuất, đặc điểm thị trường, năng lực tài chính và khả năng tiếp nhận công nghệ của người sản xuất, đồng thời xem xét có hệ thống các yếu tố tự nhiên, kinh tế - xã hội và mức độ sẵn sàng về công nghệ tại địa phương nhằm bảo đảm tính khả thi và hiệu quả ứng dụng.

Nội dung trọng tâm là nhận diện các khó khăn, thách thức mà người sản xuất đang đối mặt. Theo Ghimire & cs. (2019), tại nhiều khu vực nông thôn, năng suất thấp, chi phí đầu vào cao và khả năng kiểm soát rủi ro hạn chế vẫn phổ biến. Do đó, nhu cầu ứng dụng công nghệ số gắn với nâng cao hiệu quả và giảm rủi ro sản xuất. IoTs phục vụ giám sát các yếu tố môi trường; AI và Big Data hỗ trợ dự báo và ra quyết định dựa trên dữ liệu; UAV đáp ứng nhu cầu giám sát và canh tác chính xác; trong khi Blockchain góp phần truy xuất nguồn gốc và minh bạch hóa chuỗi giá trị.

Song song với xác định nhu cầu, đánh giá điều kiện kỹ thuật là yếu tố quyết định khả năng triển khai. Hạ tầng công nghệ thông tin, kết nối internet, nguồn điện và thiết bị phân cứng tác động trực tiếp đến hiệu quả ứng dụng. Theo Yang & cs. (2021) và Lưu Văn Duy & cs. (2025), hạn chế về hạ tầng, đặc biệt tại vùng sâu, vùng xa, vẫn là rào cản lớn đối với chuyển đổi số trong nông nghiệp hiện nay.

### **2.5.2. Lập kế hoạch ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

Sau khi xác định nhu cầu và điều kiện kỹ thuật, lập kế hoạch ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp là bước then chốt, trong đó

khu vực công giữ vai trò trung tâm trong định hướng, điều phối và bảo đảm tính thống nhất của quá trình triển khai. Thông qua hệ thống chiến lược, quy hoạch, cơ chế chính sách và đầu tư công, Nhà nước không chỉ định hình mục tiêu chuyển đổi số nông nghiệp mà còn tạo lập khung thể chế và môi trường thuận lợi để các chủ thể tham gia hiệu quả vào quá trình này.

Trước hết, kế hoạch ứng dụng công nghệ số cần xác định rõ mục tiêu dưới góc độ quản lý nhà nước, bảo đảm các mục tiêu cụ thể, có thể đo lường và phù hợp với chiến lược phát triển nông nghiệp, nông thôn. Các mục tiêu chủ yếu hướng tới nâng cao năng suất và chất lượng nông sản, sử dụng hiệu quả tài nguyên, giảm tác động môi trường và tăng cường khả năng truy xuất nguồn gốc, đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của thị trường. Việc xác lập mục tiêu rõ ràng giúp khu vực công định hướng lựa chọn công nghệ và ưu tiên phân bổ nguồn lực.

Thứ hai, kế hoạch cần làm rõ phương thức và lộ trình triển khai, trong đó khu vực công đóng vai trò lựa chọn, chuẩn hóa và nhân rộng các mô hình ứng dụng công nghệ số phù hợp với điều kiện thực tiễn. Nội dung này bao gồm định hướng sử dụng các công nghệ như IoTs trong giám sát sản xuất, UAV trong canh tác chính xác, AI và phân tích Big Data trong hỗ trợ ra quyết định. Lộ trình triển khai cần được xây dựng theo từng giai đoạn, gắn với mức độ sẵn sàng về hạ tầng và năng lực tiếp nhận công nghệ của người sản xuất.

Thứ ba, kế hoạch phải xác định rõ nguồn lực và ngân sách thực hiện, trong đó đầu tư công giữ vai trò “vốn môi” nhằm dẫn dắt và huy động các nguồn lực xã hội. Việc bố trí ngân sách cần gắn với phát triển hạ tầng số, đào tạo nhân lực và hỗ trợ người sản xuất tiếp cận công nghệ. Cuối cùng, kế hoạch ứng dụng công nghệ số cần thiết lập cơ chế giám sát, đánh giá và kiểm tra định kỳ nhằm kịp thời phát hiện và điều chỉnh các vướng mắc trong quá trình triển khai. Theo Hossain & cs. (2020), việc lập kế hoạch chi tiết, khả thi và có cơ chế đánh giá rõ ràng là nền tảng quan trọng để nâng cao hiệu quả và giảm thiểu rủi ro trong ứng dụng công nghệ số vào nông nghiệp.

### **2.5.3. Đào tạo nhân lực quản lý và vận hành các công nghệ số**

Việc trang bị kỹ năng và kiến thức cho các cán bộ quản lý, kỹ thuật viên và nông dân là cực kỳ quan trọng. Nếu thiếu sự đào tạo phù hợp, công nghệ sẽ không được sử dụng đúng cách và không phát huy được hiệu quả. Nội dung đào tạo tập trung vào hai nhóm đối tượng: Đào tạo cho cán bộ quản lý và đào tạo cho kỹ thuật viên và nông dân.

Đào tạo cho cán bộ quản lý: Cán bộ quản lý cần được trang bị kiến thức về quản lý công nghệ số, quản lý dự án và cách ứng dụng công nghệ vào các quy trình sản xuất nông nghiệp. Theo Lưu Văn Duy & Đỗ Kim Chung (2024), việc đào tạo đội ngũ quản lý là rất quan trọng vì họ là những người trực tiếp giám sát và đánh giá hiệu quả của công nghệ.

Đào tạo cho kỹ thuật viên và nông dân: Việc đào tạo cho nông dân và kỹ thuật viên về cách sử dụng và bảo trì thiết bị công nghệ là không thể thiếu. Các khóa đào tạo này có thể bao gồm cách sử dụng phần mềm quản lý sản xuất, vận hành máy móc tự động và xử lý các vấn đề kỹ thuật phát sinh. Hình thức đào tạo trực tuyến hoặc tổ chức các buổi hội thảo, lớp học thực tế là những phương thức hiệu quả để nâng cao kỹ năng cho nông dân (Zhang & cs., 2020).

### **2.5.4. Xây dựng các mô hình thử nghiệm và điều chỉnh ứng dụng công nghệ số**

Xây dựng các mô hình thử nghiệm giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong quá trình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ số vào sản xuất nông nghiệp, bởi đây là bước trung gian giúp kiểm chứng tính khả thi và hiệu quả của công nghệ trước khi triển khai trên diện rộng. Thông qua các mô hình thử nghiệm, giải pháp công nghệ số được đặt trong điều kiện sản xuất cụ thể, qua đó phản ánh sát thực tế hơn so với giả định lý thuyết. Các mô hình này thường được triển khai trên quy mô diện tích nhỏ hoặc tại một khu vực đại diện, cho phép đánh giá toàn diện hiệu quả ứng dụng công nghệ. Tiêu chí đánh giá chủ yếu bao gồm mức độ cải thiện năng suất, khả năng tiết giảm chi phí sản xuất, hiệu quả sử dụng tài nguyên và tác động đến

môi trường sinh thái (Liu, 2020). Kết quả từ mô hình thử nghiệm giúp xác định rõ các điều kiện kỹ thuật, tổ chức và quản lý cần thiết để công nghệ số có thể phát huy tối đa hiệu quả trong thực tiễn.

Trên cơ sở dữ liệu và kết quả đánh giá thu được từ các mô hình thử nghiệm, việc điều chỉnh ứng dụng công nghệ số là bước tiếp theo mang tính quyết định nhằm hoàn thiện giải pháp trước khi nhân rộng. Quá trình điều chỉnh có thể bao gồm việc tối ưu hóa phần mềm, nâng cấp hoặc thay đổi thiết bị, cũng như điều chỉnh quy trình sản xuất để phù hợp hơn với điều kiện tự nhiên, kinh tế và trình độ của người sản xuất. Hoạt động này giúp nâng cao hiệu quả, giảm chi phí triển khai, hạn chế rủi ro khi áp dụng trên quy mô lớn. Đồng thời, việc xây dựng và điều chỉnh các mô hình thử nghiệm cần có sự phối hợp chặt chẽ giữa cơ quan quản lý nhà nước, các tổ chức nghiên cứu và người sản xuất nhằm bảo đảm tính đại diện, tính khả thi và khả năng nhân rộng.

### **2.5.5. Triển khai ứng dụng các công nghệ số trong nông nghiệp**

Sau khi hoàn thành giai đoạn thử nghiệm và điều chỉnh, việc triển khai ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp trên diện rộng là bước mang tính quyết định đối với hiệu quả và tính bền vững của quá trình chuyển đổi số. Ở giai đoạn này, khu vực công giữ vai trò chủ đạo trong định hướng và điều phối thông qua xây dựng chính sách, ban hành hướng dẫn kỹ thuật và bố trí nguồn lực hỗ trợ. Các doanh nghiệp cung cấp công nghệ là chủ thể trực tiếp triển khai giải pháp, thực hiện chuyển giao kỹ thuật và cung ứng dịch vụ công nghệ. Người sản xuất nông nghiệp đóng vai trò trung tâm trong việc tiếp nhận, vận hành và khai thác công nghệ vào quy trình sản xuất, trong khi các tổ chức nghiên cứu, hợp tác xã và tổ chức trung gian hỗ trợ về kỹ thuật, đào tạo và kết nối các chủ thể liên quan.

Quá trình triển khai cần được thực hiện theo lộ trình phù hợp, bảo đảm tích hợp công nghệ số vào quy trình sản xuất hiện có nhằm nâng cao năng suất, chất lượng nông sản và hiệu quả sử dụng nguồn lực. Điểm cần đặc biệt

chú ý là mức độ phù hợp của công nghệ với điều kiện tự nhiên, quy mô sản xuất và năng lực tiếp nhận của người nông dân, tránh áp dụng công nghệ một cách dàn trải hoặc mang tính hình thức. Bên cạnh đó, việc xây dựng năng lực cho người sử dụng thông qua đào tạo, hướng dẫn vận hành và hỗ trợ kỹ thuật thường xuyên là điều kiện quan trọng để công nghệ được khai thác hiệu quả. Theo Klerkx & Rose (2020), triển khai công nghệ số không chỉ dừng ở việc cung cấp giải pháp kỹ thuật mà cần gắn với phát triển kỹ năng, dịch vụ hỗ trợ và cơ chế phản hồi từ người sử dụng. Do đó, chú trọng các hoạt động hậu mãi, bảo trì và cập nhật công nghệ là yếu tố then chốt nhằm duy trì hiệu quả và bảo đảm tính bền vững của ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp.

### **2.5.6. Đánh giá kết quả, hiệu quả ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

Đánh giá kết quả và hiệu quả ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp là khâu cuối cùng nhưng có ý nghĩa quyết định trong toàn bộ quá trình triển khai, nhằm xác định mức độ đạt được các mục tiêu đề ra và cung cấp cơ sở khoa học cho việc điều chỉnh hoặc nhân rộng mô hình. Hoạt động đánh giá cần được thực hiện định kỳ, có hệ thống và dựa trên tiêu chí rõ ràng để theo dõi tiến trình triển khai, kịp thời phát hiện hạn chế và đề xuất giải pháp khắc phục phù hợp.

Hệ thống chỉ tiêu đánh giá cần được xây dựng theo hướng toàn diện, phản ánh kết quả đầu ra và hiệu quả tổng thể của ứng dụng công nghệ số. Về mặt kinh tế - kỹ thuật, các chỉ tiêu quan trọng bao gồm mức độ tăng năng suất cây trồng, vật nuôi; cải thiện chất lượng và tính đồng đều của sản phẩm; khả năng tiết kiệm chi phí đầu vào như giống, phân bón, thuốc bảo vệ thực vật, nước tưới và lao động; cũng như hiệu quả sử dụng tài nguyên trong sản xuất. Bên cạnh đó, chỉ tiêu về quản lý và vận hành như mức độ chính xác của dự báo, khả năng kiểm soát quy trình sản xuất, mức độ giảm rủi ro và tính ổn định của sản xuất cũng cần được xem xét.

Ngoài các chỉ tiêu kinh tế, việc đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ số cần chú trọng

đến khía cạnh xã hội và môi trường. Các tiêu chí như mức độ giảm phát thải, hạn chế ô nhiễm đất và nước, bảo vệ hệ sinh thái nông nghiệp, cũng như khả năng nâng cao năng lực và kỹ năng của người sản xuất có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với phát triển bền vững. Theo Xu & cs. (2019), đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ số không nên chỉ dừng lại ở lợi ích tài chính ngắn hạn mà cần tiếp cận theo hướng dài hạn, gắn với bảo vệ môi trường, bảo tồn tài nguyên thiên nhiên và nâng cao tính bền vững của hệ thống sản xuất nông nghiệp.

## **2.6. Các yếu tố ảnh hưởng đến ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

### **2.6.1. Thể chế và chính sách cho ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp**

Chính sách của nhà nước đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy sự ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp. Chính phủ có thể cung cấp chính sách hỗ trợ tài chính, như các khoản vay ưu đãi, trợ cấp cho nông dân để đầu tư vào công nghệ mới. Thêm vào đó, chính sách giảm thuế cho doanh nghiệp công nghệ hoặc nông dân sử dụng công nghệ số sẽ tạo động lực mạnh mẽ cho việc triển khai giải pháp công nghệ hiện đại trong sản xuất nông nghiệp (Lưu Văn Duy & Đỗ Kim Chung, 2024). Chính sách khuyến khích nghiên cứu và phát triển (R&D) trong công nghệ nông nghiệp cũng rất quan trọng. Các chính sách này giúp nhà nghiên cứu, tổ chức và doanh nghiệp công nghệ tạo ra các sản phẩm và giải pháp tiên tiến để cải thiện năng suất và chất lượng sản phẩm nông nghiệp (Ghimire & cs., 2019).

Công nghệ số trong nông nghiệp thường xuyên yêu cầu thu thập, phân tích và xử lý lượng lớn dữ liệu từ các thiết bị như cảm biến, máy bay không người lái (drone) và các hệ thống giám sát môi trường. Tuy nhiên, việc thu thập và sử dụng dữ liệu này cần tuân thủ quy định về bảo mật và quyền riêng tư. Quy định pháp lý về bảo vệ dữ liệu giúp đảm bảo rằng dữ liệu cá nhân của nông dân hoặc thông tin nhạy cảm khác không bị lợi dụng. Việc thiếu các quy định rõ ràng có thể làm giảm sự tin tưởng của nông

dân và doanh nghiệp trong việc triển khai công nghệ số (Luu Văn Duy & Đỗ Kim Chung, 2024).

### **2.6.2. Cơ sở hạ tầng công nghệ**

Cơ sở hạ tầng công nghệ ảnh hưởng trực tiếp đến việc ứng dụng công nghệ vào nông nghiệp, cụ thể ở hai khía cạnh sau. Một là, kết nối internet: Kết nối internet ổn định là yếu tố then chốt trong việc triển khai các công nghệ số trong nông nghiệp, đặc biệt đối với các ứng dụng IoT và hệ thống giám sát từ xa. Công nghệ IoT giúp thu thập dữ liệu về các yếu tố môi trường như độ ẩm, nhiệt độ và ánh sáng, từ đó tối ưu hóa quy trình sản xuất. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi có đường truyền internet đủ mạnh để truyền tải và xử lý dữ liệu thời gian thực. Khu vực nông thôn, nơi có cơ sở hạ tầng mạng yếu, có thể gặp nhiều khó khăn trong việc áp dụng các công nghệ này (Liu, 2020).

Hai là, điện và thiết bị phân cứng: Công nghệ số trong nông nghiệp đòi hỏi phải có nguồn điện ổn định và thiết bị phân cứng chất lượng cao. Các cảm biến, máy móc tự động hóa và thiết bị thu thập dữ liệu cần được vận hành liên tục mà không gặp sự cố. Hệ thống điện yếu hoặc không ổn định sẽ gây gián đoạn trong quá trình hoạt động của các thiết bị này, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả sản xuất (Yang & cs., 2021). Do đó, việc nâng cấp cơ sở hạ tầng điện và thiết bị phân cứng là yêu cầu cần thiết để triển khai thành công công nghệ số trong nông nghiệp.

### **2.6.3. Trình độ và kỹ năng người vận hành và tiếp nhận công nghệ**

Một trong những yếu tố quan trọng trong việc triển khai công nghệ số là sự hỗ trợ kỹ thuật từ chuyên gia và kỹ thuật viên. Công nghệ số trong nông nghiệp có thể khá phức tạp đối với nông dân, đặc biệt là việc vận hành và bảo trì thiết bị công nghệ. Nếu không có sự hỗ trợ chuyên môn từ kỹ thuật viên, việc áp dụng công nghệ sẽ gặp khó khăn và có thể dẫn đến thất bại (Hossain & cs., 2020).

Sau khi triển khai công nghệ, dịch vụ bảo trì và hỗ trợ sau bán hàng là yếu tố quan trọng để duy trì hiệu quả của công nghệ. Các thiết bị như máy bay không người lái, cảm biến hay hệ

thống tự động hóa cần được kiểm tra và bảo trì thường xuyên để tránh hỏng hóc và đảm bảo hoạt động ổn định. Việc thiếu dịch vụ hỗ trợ có thể dẫn đến giảm hiệu suất của công nghệ số và làm giảm lợi ích mà chúng mang lại.

Mặt khác, nhận thức và tư duy của người nông dân là yếu tố quyết định đến khả năng tiếp nhận và áp dụng công nghệ mới (Luu Văn Duy & Le Thi Thu Huong, 2025). Nếu nông dân không có sự sẵn sàng hoặc hiểu biết đầy đủ về lợi ích của công nghệ số, việc triển khai sẽ gặp phải rào cản. Do đó, công tác tuyên truyền, đào tạo và nâng cao nhận thức về công nghệ số trong nông nghiệp là rất cần thiết để đạt được sự thành công trong quá trình chuyển đổi số (Luu Văn Duy & Le Thi Thu Huong, 2025).

### **2.6.4. Chi phí đầu tư cho công nghệ**

Việc ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp đòi hỏi một khoản chi phí đầu tư ban đầu tương đối lớn. Các chi phí này bao gồm chi phí mua sắm phần mềm quản lý sản xuất, thiết bị cảm biến (đo độ ẩm, ánh sáng, dinh dưỡng), máy bay không người lái, hệ thống tưới tiêu tự động, máy chủ lưu trữ dữ liệu và thiết lập hạ tầng mạng kết nối internet ổn định tại khu vực sản xuất. Ngoài ra, còn phát sinh chi phí đào tạo người sử dụng, bảo trì và cập nhật công nghệ. Đây là những yếu tố tạo nên rào cản không nhỏ đối với việc tiếp cận và triển khai công nghệ số, đặc biệt trong bối cảnh đa số nông hộ có quy mô nhỏ lẻ, khả năng tích lũy vốn hạn chế.

Theo Zhang & cs. (2020), dù lợi ích dài hạn từ việc áp dụng công nghệ số như nâng cao năng suất, giảm chi phí sản xuất, tăng khả năng truy xuất nguồn gốc và cải thiện hiệu quả quản lý là rõ ràng, nhưng chi phí đầu tư ban đầu lại là yếu tố khiến nhiều nông dân do dự. Điều này đặc biệt đúng đối với hộ nông dân ở vùng sâu, vùng xa hoặc dân tộc thiểu số, nơi điều kiện tiếp cận tín dụng và dịch vụ hỗ trợ công nghệ còn hạn chế. Trong bối cảnh đó, vai trò của chính sách hỗ trợ tài chính từ nhà nước, tổ chức tín dụng, doanh nghiệp công nghệ và các quỹ đầu tư trở nên đặc biệt quan trọng. Những chính sách như vậy giúp giảm bớt rào cản đầu vào, khuyến khích quá trình chuyển đổi số diễn ra mạnh mẽ hơn trong khu vực nông nghiệp.

### 2.6.5. Môi trường và điều kiện tự nhiên

Môi trường và điều kiện tự nhiên là những yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả ứng dụng công nghệ số trong lĩnh vực nông nghiệp. Đặc điểm về khí hậu, thổ nhưỡng, địa hình, nguồn nước và hệ sinh thái bản địa quyết định loại hình sản xuất, ảnh hưởng đến khả năng tương thích và hiệu quả của từng loại công nghệ được áp dụng. Trong bối cảnh chuyển đổi số nông nghiệp, việc xem xét và điều chỉnh công nghệ sao cho phù hợp với điều kiện tự nhiên là một yêu cầu mang tính quyết định đối với tính khả thi và hiệu quả đầu ra của toàn bộ quá trình sản xuất.

Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, công nghệ số không thể áp dụng đồng loạt và rập khuôn giữa các vùng sinh thái nông nghiệp khác nhau (Jiang, 2020). Ví dụ, các hệ thống cảm biến tự động giám sát độ ẩm đất, nhiệt độ không khí, lượng mưa hay ánh sáng cần được hiệu chỉnh thông số cho từng loại cây trồng và điều kiện vi khí hậu cụ thể. Việc không điều chỉnh công nghệ cho phù hợp với điều kiện tự nhiên địa phương có thể dẫn đến kết quả sai lệch, gây lãng phí đầu tư và thậm chí ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình sinh trưởng của cây trồng hoặc vật nuôi.

Ngoài ra, môi trường tự nhiên còn quyết định tính bền vững của việc ứng dụng công nghệ. Những vùng có điều kiện thời tiết khắc nghiệt, địa hình hiểm trở hoặc khó tiếp cận với cơ sở hạ tầng kỹ thuật số như internet, điện lưới... sẽ gặp khó khăn trong việc vận hành các hệ thống công nghệ hiện đại. Do đó, việc đánh giá kỹ lưỡng điều kiện tự nhiên và tích hợp yếu tố này vào quy trình lựa chọn, thiết kế và triển khai công nghệ là rất cần thiết.

### 3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này tập trung phân tích có hệ thống các vấn đề lý luận liên quan đến ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp, qua đó làm rõ nội hàm khái niệm và những đặc trưng cốt lõi của quá trình ứng dụng công nghệ số vào sản xuất nông nghiệp. Trên cơ sở tổng hợp và khái quát hóa các nghiên cứu hiện hành, bài viết làm nổi bật vai trò trung tâm của dữ liệu trong quản lý sản xuất; khả năng kết nối, chia sẻ dữ liệu theo thời gian thực giữa các thiết bị

và chủ thể trong chuỗi giá trị; xu hướng tự động hóa và thông minh hóa các khâu sản xuất; minh bạch hóa truy xuất nguồn gốc thông qua blockchain; cá thể hóa giải pháp công nghệ theo điều kiện canh tác địa phương; cũng như vai trò hỗ trợ ra quyết định của các công cụ phân tích, mô hình hóa và dự báo. Đây là những nội dung lý luận quan trọng nhưng còn phân tán trong các nghiên cứu trước, được bài viết hệ thống hóa và tích hợp trong một cách tiếp cận thống nhất.

Các nhóm yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả ứng dụng công nghệ số trong nông nghiệp bao gồm thể chế và chính sách, cơ sở hạ tầng công nghệ, năng lực và kỹ năng của người vận hành, chi phí đầu tư, điều kiện tự nhiên - môi trường sản xuất, cũng như cơ chế liên kết và hợp tác giữa các tác nhân trong chuỗi giá trị. Việc làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố này góp phần bổ sung cơ sở lý luận cho việc phân tích và thiết kế các chương trình, dự án chuyển đổi số trong nông nghiệp. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất nên tăng lý luận làm cơ sở tham khảo cho nghiên cứu tiếp theo, đặc biệt là các nghiên cứu thực nghiệm nhằm đo lường hiệu quả, đánh giá tác động kinh tế - xã hội - môi trường và hoàn thiện các hàm ý chính sách thúc đẩy chuyển đổi số nông nghiệp theo hướng hiệu quả và bền vững.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Araújo S.O., Peres R.S., Barata J., Lidon F. & Ramalho J.C. (2021). Characterising the Agriculture 4.0 Landscape-Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Agronomy*. 11: 667.
- Casino F., Dasaklis T.K. & Patsakis C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*. 36: 55-81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>.
- Chính phủ (2020). Quyết định số 749/QĐ-TTg Phê duyệt “Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030”.
- Clapp J. & Ruder S.L. (2020). Precision technologies for agriculture: digital farming, gene-edited crops, and the politics of sustainability *Global Environ. Polit.* 20(3): 49-69.
- Connolly A. (2022). 10 Digital Technologies That Are Transforming Agriculture. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/04/26/10-digital-technologies-that-are-transforming-agriculture/?sh=640472857baf>. on Oct 20, 2022.

- Eastwood C., Klerkx L., Ayre M. & Dela Rue B. (2019). Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 32: 741-768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>.
- FAO (2021). Digital Agriculture Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>.
- Ghimire R. (2019). Rural development and technology: Opportunities and challenges. *Development Studies Quarterly*.
- Hossain M.S., Muhammad G. & Alamri A. (2020). Smart agriculture: Sustainable energy, precision agriculture, and security challenges. *IEEE Communications Magazine*. 58(10): 88-93. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000267>.
- Jiang, Z. (2020). Climate-adaptive technologies for agriculture: Integrating digital solutions. *Environmental Sustainability in Agriculture*.
- Kamilaris A. & Prenafeta-Boldú F.X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Science Direct*. 147: 70-90. [doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016).
- Klerkx L. & Rose D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*. 24: 100347. [doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347).
- Klerkx L., Jakku E. & Labarthe P. (2019). A review of social science on digital agriculture. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*.
- Lajoie-O'Malley K., Bronson S. & van der Burg L. Klerkx (2020). The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: an analysis of high-level policy documents *Ecosystem Services*. 45: Article 101183, [10.1016/j.ecoser.2020.101183](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183).
- Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S. & Bochtis D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*. 18(8): 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Lin Q., Wang H., Pei X. & Wang J. (2021). Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS. *IEEE Access*. 7: 20698-20707. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2892070>.
- Liu Y. (2020). The role of internet connectivity in advancing agricultural productivity. *Information Systems for Agriculture*.
- Luu Van Duy & Le Thi Thu Huong (2025). Determinants of Farmers' Understanding of Digital Transformation in Agriculture: Evidence from the Red River Delta, Vietnam. *Asian Journal of Agriculture and Development*. 22(1): 57-74. <https://doi.org/10.37801/ajad2025.22.1.4>.
- Luu Văn Duy & Đỗ Kim Chung (2024). Chuyển đổi số trong nông nghiệp: Những vấn đề lý luận và một số đề xuất cho tỉnh Thái Bình. *Tạp chí Nghiên cứu Kinh tế*. 7(554): 97-108.
- Luu Văn Duy, Hà Thị Thanh An & Vũ Khánh Toàn (2025). Thực trạng chuyển đổi số trong sản xuất nông nghiệp ở tỉnh Thái Bình. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Việt Nam*. 67(4): 28-34.
- Luu Văn Duy, Nguyễn Hữu Nhuận, Nguyễn Thị Thu Quỳnh, Nguyễn Minh Đức, Trần Mạnh Hải & Hồ Ngọc Cường (2022). Chuyển đổi số trong nông nghiệp và hàm ý chính sách cho Việt Nam. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Việt Nam*.
- Mehmet & Ufuk (2021). Digital Transformation for Sustainable Future - Agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Sciences*. 27(4): 373-399.
- Miles C. (2019). The combine will tell the truth: on precision agriculture and algorithmic rationality. *Big Data & Society*.
- Parra-López C., Abdallah C.B., Garcia-Garcia G., Hassoun A., Sánchez-Zamora P., Trollman H., Jagtap S. & Carmona-Torres C. (2024). Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*. 226: 109412. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>.
- Rose D.C., Parker C. & Maynard D.S. (2021). Data governance in agriculture: Towards a new research agenda. *Journal of Rural Studies*. 82: 481-490. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.004>.
- Rotz S., Gravely E., Mosby I., Duncan E., Finnis E., Horgan M., LeBlanc J., Martin R., Neufeld H.T., Nixon A., Pant L., Shalla V. & Fraser E.D.G. (2021). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labor and rural communities. *Journal of Rural Studies*. 82: 176-187. [doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.004](https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.004).
- Shamshiri R.R., Kalantari F., Ting K.C., Thorp K.R., Hameed I.A., Weltzien C. & Balasundram, S.K. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11(1): 1-22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>.
- Tian F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*. pp. 1-6. [doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119](https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119).
- Wolfert S., Ge L., Verdouw C. & Bogaardt M.J. (2017). Big Data in Smart Farming - A review. *Agricultural Systems*. 153: 69-80.
- Zhang Y., Wang G. & Wang J. (2020). Precision Agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 178: 105759. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105759>.