



ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CAO PHÁT THẢI THẤP TRONG SẢN XUẤT TRỒNG TRỌT: Mô hình điển hình tại một số quốc gia trên thế giới và bài học kinh nghiệm cho Việt Nam

ĐỖ THỊ HỒNG DUNG, MAI VĂN TRINH, BÙI THỊ PHƯƠNG LOAN, VŨ DƯƠNG QUỲNH

Viện Môi trường Nông nghiệp

Bài báo tổng hợp các mô hình trồng trọt công nghệ cao phát thải thấp được triển khai tại các quốc gia trên thế giới, tập trung vào nông nghiệp chính xác, nông nghiệp tái sinh, công nghệ sinh học, nông nghiệp số và nông nghiệp tuần hoàn. Thông qua phân tích các kết quả đạt được của các mô hình điển hình, bài báo rút ra các bài học kinh nghiệm có giá trị cho Việt Nam nhằm phát triển nông nghiệp xanh, thích ứng biến đổi khí hậu và thực hiện cam kết giảm phát thải.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng nghiêm trọng và các cam kết giảm phát thải khí nhà kính toàn cầu trở nên cấp bách, các quốc gia đang tăng cường thúc đẩy các mô hình sản xuất nông nghiệp phát thải thấp nhằm giảm thiểu các tác động tiêu cực lên khí hậu và tài nguyên thiên nhiên (IPCC, 2019). Nông nghiệp, đặc biệt là trồng trọt, chiếm một phần lớn trong tổng lượng phát thải khí nhà kính toàn cầu do các hoạt động sản xuất như sử dụng phân bón hóa học, đốt rơm rạ, kỹ thuật canh tác không bền vững. Vì vậy, phát triển các mô hình trồng trọt công nghệ cao giảm phát thải là hướng đi tất yếu để BVMT và đảm bảo an ninh lương thực bền vững (Getahun, 2024; ClimatePolicyLab, 2024).

Trồng trọt không chỉ góp phần quan trọng trong nền kinh tế nhiều quốc gia mà còn là lĩnh vực có tiềm năng giảm phát thải lớn nhất trong nông nghiệp nếu được tổ chức và áp dụng đúng công nghệ. Việc chuyển đổi mô hình trồng trọt truyền thống sang các giải pháp công nghệ cao, ứng dụng các kỹ thuật nông nghiệp chính xác, tái sinh, số hóa và tuần hoàn giúp tối ưu hóa sử dụng nguồn lực, giảm phát thải khí nhà kính như methane (CH₄) và nitrous oxide (N₂O), đồng thời nâng cao hiệu quả kinh tế và chất lượng sản phẩm (Vietnam Ministry of Agriculture and Rural Development [MARD], 2024; Moitruong.net, 2025). Thực hành trồng trọt phát thải thấp còn góp phần giữ gìn tài nguyên đất, nước và thúc đẩy nông nghiệp bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp.

Trên thế giới, các công nghệ như nông nghiệp chính xác, ứng dụng AI và IoT, kỹ thuật tưới tiết kiệm, giống biến đổi gen, cũng như kỹ thuật AWD và các mô hình sinh khối tuần hoàn đã chứng minh hiệu quả rõ rệt về mặt giảm phát thải khí nhà kính, tiết kiệm tài



Hình ảnh sử dụng Robot AI trong trang trại tại Hàn Quốc
nguyên nước, nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Những mô hình này không chỉ tạo ra giá trị kinh tế vượt trội mà còn giảm đáng kể chi phí đầu vào và tác động môi trường tiêu cực (Addoriso et al., 2025; Rahman et al., 2025). Các quốc gia đi đầu như Hoa Kỳ, Nhật Bản, Trung Quốc, Hà Lan đã triển khai rộng rãi các công nghệ này, tạo tiền đề vững chắc trong ứng phó biến đổi khí hậu toàn cầu.

Biến đổi khí hậu cùng phát thải khí nhà kính từ nông nghiệp đặt ra thách thức lớn cho các quốc gia. Việc phát triển mô hình sản xuất nông nghiệp công nghệ cao, thân thiện môi trường và giảm phát thải là chiến lược tất yếu. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy các công nghệ tiên tiến giúp giảm phát thải, tăng năng suất, giảm chi phí sản xuất. Việt Nam cần nghiên cứu tổng hợp để xây dựng chính sách và chiến lược phát triển nông nghiệp phát thải thấp hiệu quả. Bài báo nhằm tổng hợp, phân tích các mô hình trồng trọt công nghệ cao phát thải thấp trên thế giới, tập trung vào các công nghệ chính như nông nghiệp chính xác, nông nghiệp tái sinh, công nghệ sinh học, nông nghiệp số và tuần hoàn. Trên cơ sở phân tích các kinh nghiệm từ các quốc gia, đề xuất các bài học kinh nghiệm quan trọng, gợi mở lộ trình phát triển nông nghiệp giảm phát thải phù hợp cho Việt Nam.

2. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TRONG SẢN XUẤT TRỒNG TRỌT ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CAO PHÁT THẢI THẤP

2.1. Các mô hình về nông nghiệp chính xác (Precision Agriculture)



Nông nghiệp chính xác (PA) là một chiến lược quản lý để giải quyết các biến đổi địa lý và thời gian trong các lĩnh vực nông nghiệp (Alfred, R và cs, 2021; Monteiro, A và cs, 2021) liên quan đến dữ liệu và công nghệ đương đại. Nông nghiệp chính xác cho đến nay chủ yếu bao gồm các công nghệ biến đổi tỷ lệ (VRTs), bản đồ số, thiết bị giám sát năng suất và hướng dẫn hệ thống canh tác (McFadden, J và cs, 2023 và Liu, Y và cs, 2021). Ứng dụng công nghệ biến đổi tỷ lệ lần đầu tiên được chứng minh ở miền Bắc nước Đức và Đan Mạch vào năm 1988 sau khi hệ thống định vị toàn cầu

(GPS) có sẵn cho các dịch vụ dân sự (Haneklaus, S và cs, 2016).

Các quốc gia như Hoa Kỳ, Canada, Ôxtrâyliya và một số quốc gia châu Âu đã đi đầu, tận dụng các cải tiến như công nghệ tỷ lệ thay đổi (VRT), cảm biến từ xa và máy móc tự động (Kose U và cs, 2022). Những tiến bộ này cho phép theo dõi và quản lý cây trồng theo thời gian thực, dẫn đến năng suất cao hơn và sử dụng tài nguyên hiệu quả hơn.

Ở châu Phi, việc áp dụng nông nghiệp chính xác đang phát triển, mặc dù với tốc độ chậm hơn so với các

Bảng 1. Hiệu quả từ ứng dụng nông nghiệp chính xác trong trồng trọt

Ứng dụng	Lợi ích	Vấn đề	Nguồn
Tăng cường sức khỏe của đất và hiệu quả tài nguyên	Sức khỏe đất cải thiện 20%-30%; hiệu quả sử dụng tài nguyên tăng 15%	Độ phì nhiêu của đất kém; sử dụng tài nguyên không hiệu quả	Adams, BT, 2019 Hostiou, N. và cs, 2017
Sử dụng công nghệ cảm biến và phân tích dữ liệu để tối ưu hóa các hoạt động tưới tiêu	Giảm sử dụng nước từ 30%-50%; năng suất cây trồng tăng 10-20%	Khan hiếm nước; hệ thống tưới tiêu kém hiệu quả	Hendriks, WH và cs, 2017 Nóbrega, L. và cs, 2020
Sử dụng máy bay không người lái, hình ảnh vệ tinh và cảm biến IoT để giám sát cây trồng theo thời gian thực	Cải thiện năng suất 10%-25%; giảm 15% chi phí đầu vào	Thiếu dữ liệu cây trồng theo thời gian thực; chi phí đầu vào cao	Terrasson, G và cs, 2017 Buy-Baptista, E. và cs, 2019
Tối ưu hóa việc sử dụng chất dinh dưỡng thông qua các kỹ thuật dựa trên dữ liệu	Hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng tăng 20%; giảm 25% chi phí phân bón	Lạm dụng phân bón; chi phí dinh dưỡng cao	Song, C. và cs, 2021 Rutter, SM, 2019
Sử dụng các chiến lược dựa trên dữ liệu và viễn thám để quản lý dịch bệnh sâu bệnh	Giảm sâu bệnh từ 20%-40%; giảm mất mùa từ 15 – 25%	Quản lý sâu bệnh	Andriamandroso, ALH và cs, 2016 Grinter, LN và cs, 2019
Tối ưu hóa việc trồng trọt và thu hoạch thông qua hướng dẫn GPS và phân tích dữ liệu	Năng suất tăng 15%-30%; tiết kiệm nhiên liệu 10-20%	Trồng/thu hoạch không hiệu quả; chi phí nhiên liệu cao	Lovarelli, D và cs, 2020 Adams, BT và cs, 2019
Sử dụng dữ liệu khí hậu và mô hình dự đoán để thích ứng với thực tiễn quản lý cây trồng, đảm bảo khả năng chống chịu với các tác động của BĐKH	Cải thiện khả năng phục hồi của cây trồng lên 20%; chi phí thích ứng giảm 10%	Tác động của biến đổi khí hậu; chi phí thích ứng	Terrasson, G và cs, 2017 Dutta, R. và cs, 2014
Tối đa hóa sản lượng cây trồng thông qua các kỹ thuật phân tích và quản lý dữ liệu tiên tiến	Sản lượng cây trồng tăng 15%-25%; hiệu quả quản lý dữ liệu tăng 20%	Năng suất thấp; quản lý dữ liệu không hiệu quả	Meunier, B. và cs, 2018
Sử dụng công nghệ để tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và giảm thiểu tác động đến môi trường, thúc đẩy quản lý đất đai bền vững	Giảm 20% suy thoái đất; hiệu quả sử dụng tài nguyên tăng 15%	Suy thoái đất; sử dụng tài nguyên không hiệu quả	Adams, BT và cs, 2019 Meen, GH và cs, 2015
Giảm thiểu lượng khí thải các-bon và tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng cho nông nghiệp bền vững	Giảm 15%-25% lượng khí thải các-bon; giảm sử dụng năng lượng từ 10-20%	Lượng khí thải các-bon cao; chi phí năng lượng cao	Terrasson, G và cs, 2017 Hendriks, WH và cs, 2019

Nguồn: Sewnet Getahun và cs, 2024



khu vực phát triển hơn (Goel RK và cs, 2021). Châu lục này phải đối mặt với những thách thức đặc thù, chẳng hạn như khả năng tiếp cận công nghệ hạn chế, chi phí cao và cơ sở hạ tầng không đầy đủ (Kala ESM và cs, 2021).

Hiện nay, các ứng dụng của nông nghiệp chính xác tập trung vào quản lý đất, nước, giám sát cây trồng, quản lý dinh dưỡng và sâu, bệnh hại, thu hoạch... Một số nghiên cứu đã chứng minh những hiệu quả mang lại từ các ứng dụng của nông nghiệp chính xác trong sản xuất trồng trọt được trình bày trong Bảng 1.

Nông nghiệp chính xác với khả năng tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và tối đa hóa năng suất cây trồng được công nhận là một công cụ quan trọng trong các chiến lược thích ứng với khí hậu cho nông nghiệp. Nông nghiệp chính xác góp phần vào các nỗ lực quản lý các-bon và năng lượng rộng lớn hơn bằng cách cung cấp dữ liệu có giá trị cho việc hạch toán các-bon và giám sát lượng khí thải. Những hiểu biết chi tiết từ các hệ thống nông nghiệp chính xác cho phép nông dân đánh giá chính xác lượng khí thải các-bon của họ và đưa ra quyết định sáng suốt để giảm thiểu lượng khí thải.

2.2. Các mô hình về nông nghiệp tái sinh (Regenerative Agriculture)

Nông nghiệp tái sinh (RA) là một trong những hệ thống canh tác mang lại tiềm năng đồng thời của việc phục hồi cảnh quan và bảo tồn đa dạng sinh học (Khangura, R. và cs, 2023; Hensel, K., 2018). Mặc dù có những lợi ích tiềm năng, việc áp dụng RA có thể bị thách thức bởi các giai đoạn chuyển tiếp, chi phí ban đầu, sự thay đổi năng suất, quản lý rủi ro, khả năng kinh tế, các tiêu chuẩn mơ hồ và nhu cầu của nông dân để có được các kỹ năng mới (Sands, B. và cs, 2023; Newton, P. và cs, 2020; O'donoghue, T. và cs, 2020).

Thị trường RA toàn cầu được định giá 975,2 triệu USD vào năm 2022 và dự kiến sẽ tăng trưởng với tốc độ tăng trưởng kép hàng năm (CAGR) là 15,9% từ năm 2023 đến năm 2030, vượt qua 4290,9 triệu USD vào năm 2032 (Kapoor, V., 2023). Vào năm 2022, các quốc gia Bắc Mỹ, bao gồm Hoa Kỳ, Canada và México, nắm giữ thị phần lớn nhất (37%) của RA. Các quốc gia hàng đầu khác trong lĩnh vực này bao gồm các nước Tây Âu, Vương quốc Anh, Đức và Pháp, cũng như các nước châu Á - Thái Bình Dương như Ấn Độ, Trung Quốc và Ôxtrâyli.

Ở các nước đang phát triển, RA cung cấp các giải pháp để tăng cường an ninh lương thực và tiềm năng tăng thu nhập của trang trại gia đình (Tan, S.S và cs, 2022). Ngược lại, ở các nước phát triển như Hoa Kỳ, Đức và Vương quốc Anh, RA phù hợp với các nguyên tắc quản lý môi trường nhằm giảm sử dụng hóa chất, bảo tồn tài nguyên thiên nhiên và chuyển đổi sang

nông nghiệp bền vững và trung hòa các-bon có tầm quan trọng đối với thị trường và Chính phủ (Herzog, R, 2023; Kurth, T. và cs, 2023).

RA và tính bền vững có mối liên hệ chặt chẽ với nhau; tuy nhiên, RA là một cách tiếp cận quản lý đất đai toàn diện vượt ra ngoài các hoạt động canh tác bền vững. Nó tập trung vào việc khôi phục sức khỏe của đất và hệ sinh thái, với trọng tâm là cải thiện các chức năng sản xuất nông nghiệp hơn là quay trở lại trạng thái sản xuất bản địa. Ngược lại, tính bền vững chủ yếu tìm cách duy trì các hệ thống hiện có (Brown, K. và cs, 2021; Hes, D.; Rose, N, 2019), tập trung vào việc tối ưu hóa các tương tác có lợi giữa đất và cây trồng, giảm đầu vào bên ngoài và áp dụng các phương pháp canh tác sinh thái. Độ phì nhiêu và khả năng phục hồi của đất đóng vai trò trung tâm trong RA, nhằm tối ưu hóa các chu trình sinh địa hóa, tăng cường khả năng kháng bệnh và tăng năng suất trong khi vẫn duy trì mối quan hệ cộng sinh mạnh mẽ giữa đất và thực vật (Lal, R, 2020; McLennon, E và cs, 2021).

2.3. Các mô hình về công nghệ sinh học (Biotechnology)

Công nghệ sinh học, một ngành học đa diện, kết nối khoa học tự nhiên và kỹ thuật, đã trở thành nền tảng của đổi mới hiện đại (Mosier và Ladisch, 2011). Nó đã biến đổi nhiều lĩnh vực của đời sống con người bằng cách tận dụng các hệ thống, sinh vật và quy trình sinh học để phát triển các sản phẩm và dịch vụ đột phá (Udegbe và cộng sự, 2024). Thuật ngữ "công nghệ sinh học" lần đầu tiên được Károlyi Erekly giới thiệu vào năm 1919, dùng để chỉ việc sản xuất hàng hóa từ nguyên liệu thô bằng cách sử dụng các sinh vật sống (Goyal, 2018). Qua nhiều năm, lĩnh vực này đã phát triển để bao gồm nhiều công nghệ đa dạng như kỹ thuật di truyền, nuôi cấy mô, lên men và tin sinh học, hiện không thể thiếu trong các lĩnh vực như nông nghiệp, y học và khoa học môi trường (Hulse, 2004).

Trong lĩnh vực nông nghiệp, công nghệ sinh học đã nổi lên như một công nghệ mang tính đột phá (Betz và cộng sự, 2023). Nó giải quyết các thách thức toàn cầu cấp bách như an ninh lương thực, suy dinh dưỡng và bền vững môi trường. Bằng cách tích hợp các công cụ và kỹ thuật di truyền tiên tiến, công nghệ sinh học đã cho phép phát triển các giống cây trồng năng suất cao, giàu dinh dưỡng và có khả năng phục hồi (Joshi và cộng sự, 2023).

Brazil đã áp dụng rộng rãi giống đậu nành và mía biến đổi gen (GMOs) nhằm tăng khả năng chống chịu sâu bệnh và nhu cầu phân đạm thấp hơn. Nghiên cứu cho thấy công nghệ GMO giúp giảm khoảng 18% nhu cầu phân đạm và phát thải nitơ ôxit so với giống truyền thống, đồng thời năng suất tăng trung bình



15% (Anyibama et al., 2025; Seixas et al., 2022). Giống GMO còn góp phần giảm nhu cầu sử dụng thuốc trừ sâu và phương pháp canh tác không xới xáo đất (no-till), giúp giảm đáng kể lượng khí thải các-bon từ hoạt động cơ giới và cải tạo đất. Việc áp dụng các giống GMO đã thúc đẩy ngành nông nghiệp Brazil phát triển bền vững, đảm bảo hiệu quả kinh tế cùng giảm phát thải khí nhà kính.

Hoa Kỳ tập trung phát triển công nghệ sinh học với các giống cây chịu hạn, kháng sâu bệnh nâng cao chất lượng và tăng năng suất. Công nghệ gen giúp giảm 20% chi phí thuốc bảo vệ thực vật và tăng năng suất 10%, giúp tối ưu hóa sản xuất, giảm áp lực sử dụng tài nguyên và giảm phát thải khí nhà kính (Anyibama et al., 2025; Edgerton et al., 2009). Quy trình thí điểm và chứng nhận giảm rủi ro di truyền đã giúp nông dân Mỹ áp dụng rộng rãi các giống công nghệ cao, đồng thời thúc đẩy tính cạnh tranh trong thị trường quốc tế.

2.4. Các mô hình ứng dụng nông nghiệp số (Digital Agriculture)

Hàn Quốc cũng là quốc gia đi đầu trong ứng dụng công nghệ số vào sản xuất trồng trọt. Tỷ lệ áp dụng trang trại ứng dụng công nghệ số trong số các trang trại trồng trọt tại Hàn Quốc năm 2022 là 1,48% với 957 trang trại trên các cây trồng như cà chua, xà lách, ớt, dưa chuột, đậu tây, dưa vàng, quýt, nho và hoa. Các công nghệ được ứng dụng như Sử dụng Robot AI trong thu thập dữ liệu sinh trưởng, dữ liệu tưới, quản lý nhân lực.

Các ứng dụng tại Hàn Quốc cho thấy ứng dụng công nghệ số trong sản xuất mang đến các lợi ích như: Tăng năng suất và giảm giờ làm việc bằng cách kiểm soát hoàn toàn môi trường canh tác (nhiệt độ, độ ẩm, CO₂, ánh sáng...); Sản xuất ra các loại cây trồng chất lượng cao quanh năm thông qua hệ thống sản xuất tuần hoàn đồng đều; Kiểm soát/quản lý Môi trường

canh tác bằng Điều khiển tự động từ xa; Quản lý phương pháp sản xuất dựa trên các đặc điểm khí hậu khác nhau theo từng vùng và không bị ảnh hưởng bởi rủi ro dịch hại.

Hà Lan bắt đầu triển khai nông nghiệp số tích hợp blockchain và IoT trong quản lý chuỗi cung ứng từ giữa thập niên 2010. Blockchain cung cấp tính minh bạch, bảo mật và truy xuất nguồn gốc sản phẩm, giảm rủi ro gian lận và thất thoát (Addorisio et al., 2025). Đồng thời, cảm biến IoT trong nhà kính giúp kiểm soát các chỉ số môi trường như độ ẩm, ánh sáng, nhiệt độ nhằm tối ưu hóa năng lượng. Mô hình giúp giảm thất thoát sau thu hoạch 20%, giảm phát thải CO₂ 25-30% trong chuỗi cung ứng. Đây là mô hình có quy mô ứng dụng rộng rãi trong các trang trại rau quả, được hỗ trợ bởi Chính phủ và hợp tác công-tư hiệu quả (Farmonaut, 2025; TNO, 2025).

Israel từ cuối thập niên 2000 nổi tiếng với hệ thống tưới nhỏ giọt thông minh kết hợp AI, sử dụng cảm biến đo độ ẩm đất và dinh dưỡng để điều khiển tưới tiêu chính xác (Addorisio et al., 2025). Công nghệ giúp tiết kiệm nước tưới 40-50%, tăng năng suất 15-25%, và giảm phát thải N₂O khoảng 12% nhờ tối ưu lượng phân bón sử dụng. Chính phủ Israel hỗ trợ tài chính, đào tạo và nghiên cứu phát triển công nghệ tưới tiêu nhằm đối phó với hạn hán và khan hiếm nguồn nước, giúp đóng góp tích cực trong nông nghiệp bền vững.

Đức phát triển mô hình Agrovoltatics từ đầu những năm 2010, tích hợp lưới pin mặt trời trên diện tích canh tác (Addorisio et al., 2025). Nông dân có thể vừa trồng trọt vừa khai thác điện năng sạch, giảm phát thải CO₂ 10-15% so với nguồn điện lưới dựa trên nhiên liệu hóa thạch, đồng thời tăng thu nhập từ bán điện. Mô hình được triển khai rộng rãi trong các trang trại quy mô trung bình và lớn, được hỗ trợ bởi các chính

Bảng 2. Các thực hành quan trọng trong nông nghiệp tuần hoàn

Thực hành	Mô tả	Lợi ích
Sinh thái nông nghiệp	Ứng dụng nguyên tắc sinh thái trong canh tác; tích hợp trồng trọt và chăn nuôi	Tăng cường đa dạng sinh học, cải thiện sức khỏe của đất, giảm sâu bệnh
Nông nghiệp vĩnh cửu	Thiết kế hệ thống tập trung vào tự cung tự cấp và tái tạo cảnh quan	Optimizes resource use, increase resilience, reduces chemical inputs
Nông lâm kết hợp	Tích hợp canh tác cây trồng và chăn nuôi để tạo hệ thống đa chức năng	Cải thiện chất lượng đất, cung cấp môi trường sống, cô lập các-bon và đa dạng hóa thu nhập
Nông nghiệp tái sinh	Các biện pháp phục hồi và tăng cường hệ sinh thái, chẳng hạn như không canh tác và trồng trọt che phủ	Tăng chất hữu cơ trong đất, tăng cường giữ nước và thúc đẩy đa dạng sinh học
Hệ thống khép kín – Vòng lặp	Hệ thống tái sử dụng đầu ra, chẳng hạn như sản xuất thủy canh và khí sinh học	Giảm thiểu chất thải, cải thiện hiệu quả năng lượng và thúc đẩy khả năng tự cung tự cấp

Nguồn: Kiran Kotyal., 2023

**Bảng 3. Nguyên tắc và lợi ích của nông nghiệp tuần hoàn**

Nguyên tắc	Mô tả	Lợi ích
Tái chế chất dinh dưỡng	Giữ lại và tái sử dụng chất dinh dưỡng thông qua ủ phân và quản lý phân chuồng	Giảm nhu cầu sử dụng phân bón tổng hợp, tăng cường độ phì nhiêu của đất
Giảm đầu vào	Giảm thiểu sự phụ thuộc vào nguồn lực bên ngoài thông qua các quy trình và kỹ thuật tự nhiên	Giảm chi phí sản xuất, tăng cường khả năng phục hồi của hệ sinh thái
Bảo tồn đa dạng sinh học	Thúc đẩy các hệ sinh thái đa dạng, có khả năng chống chịu với sâu bệnh và biến đổi khí hậu	Hỗ trợ các dịch vụ hệ sinh thái, cải thiện khả năng phục hồi của trang trại
Giảm thiểu chất thải	Tái sử dụng tất cả các dạng chất thải trong hệ thống nông nghiệp	Giảm ô nhiễm môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên
Sức khỏe hệ sinh thái	Tạo ra các hệ thống canh tác giúp tăng cường sức khỏe tổng thể của hệ sinh thái	Hỗ trợ sản xuất nông nghiệp lâu dài và bền vững

Nguồn: Kiran Kotyal., 2023

sách khuyến khích năng lượng tái tạo và nghiên cứu đa ngành liên kết.

2.5. Nông nghiệp tuần hoàn (Circular Agriculture)

Nông nghiệp tuần hoàn cung cấp một cách tiếp cận chuyển đổi đối với canh tác bền vững bằng cách tập trung vào việc sử dụng hiệu quả và tái chế các nguồn tài nguyên trong hệ thống nông nghiệp. Không giống như canh tác tuyến tính truyền thống, dựa vào đầu vào tài nguyên liên tục và tạo ra chất thải đáng kể, nông nghiệp tuần hoàn nhấn mạnh việc đóng các vòng lặp dinh dưỡng và tài nguyên, giảm thiểu tác động đến môi trường và duy trì sức khỏe hệ sinh thái.

Nông nghiệp tuần hoàn hoạt động dựa trên một số nguyên tắc cốt lõi nhằm thúc đẩy hiệu quả tài nguyên, khép kín chu trình dinh dưỡng, thúc đẩy đa dạng sinh học và giảm thiểu tác động đến môi trường. Những nguyên tắc này về cơ bản định hình lại cách thức hoạt động của các hệ thống canh tác, chuyển đổi từ các mô hình tuyến tính tạo ra chất thải sang các hoạt động nông nghiệp tái sinh, không chất thải (Lehmann, S. 2011) (Bảng 2, 3).

Đối với môi trường, việc thực hiện kinh tế tuần hoàn có thể góp phần chống biến đổi khí hậu, vì ước tính nó có thể giảm lượng khí thải 5,6 tỷ tấn CO₂ tương đương vào năm 2050 (EMF, 2019a). EMF (2021) đã mô tả một nghiên cứu trồng khoai tây áp dụng các phương pháp canh tác tái sinh khác nhau theo nguyên tắc tuần hoàn có thể giảm 55% lượng khí thải nhà kính và giảm 15% tổn thất đa dạng sinh học, cũng như giảm chi phí nông nghiệp bằng cách giảm nhu cầu sử dụng phân bón và thuốc trừ sâu và sử dụng máy móc. Kết quả nghiên cứu của Carlson và cs (2016) nhận định ước tính khí nhà kính từ đất trồng trọt nằm trong khoảng 2.294 - 3.102 Tg CO₂e/năm.

Một số mô hình triển khai tại các nước như: Nhật Bản cải tiến mô hình nông nghiệp tuần hoàn bằng

cách tái chế phụ phẩm nông nghiệp thành phân hữu cơ, giúp giảm phát thải CO₂ khoảng 15% hàng năm. Trong trồng lúa, kỹ thuật AWD được áp dụng song song giúp tiết kiệm 20-30% lượng nước tưới (Rahman et al., 2025). Ngoài ra, Nhật Bản phát triển mô hình kết hợp canh tác các-bon thấp và năng lượng sinh khối từ phụ phẩm, góp phần tăng tính bền vững đất đai và giảm phát thải khí nhà kính.

Đức phát triển mô hình Agrovoltatics, kết hợp sản xuất nông nghiệp với điện mặt trời bằng cách cài đặt pin mặt trời trên cao hệ thống canh tác. Mô hình này giúp giảm phát thải CO₂ 10-15% bằng cách thay thế nguồn điện lưới bằng năng lượng sạch, đồng thời tăng thu nhập cho người nông dân từ việc bán điện (Addorisio et al., 2025). Công nghệ agrovoltatics được xem là giải pháp tích hợp hiệu quả năng lượng tái tạo và nông nghiệp bền vững.

Trung Quốc triển khai mô hình kết hợp sinh khối trong sản xuất lúa, tận dụng rơm rạ sau thu hoạch để làm năng lượng sinh khối thay vì đốt ngoài đồng. Phương pháp này giúp giảm phát thải CO₂ 20-25%, đồng thời cải thiện chất lượng không khí các vùng nông thôn và giảm nguy cơ cháy rừng (Rahman et al., 2025; Duan, 2023).

4. BÀI HỌC KINH NGHIỆM CHO VIỆT NAM

Từ những thực tiễn áp dụng các công nghệ cao giảm phát thải tại các quốc gia, bài học kinh nghiệm rút ra cho Việt Nam như:

Thứ nhất, tăng cường đầu tư hạ tầng số và dữ liệu lớn để triển khai nông nghiệp chính xác như mạng lưới cảm biến IoT, các nền tảng dữ liệu lớn (Big Data), trí tuệ nhân tạo (AI) để theo dõi và dự báo sâu bệnh, tối ưu lịch gieo trồng và quản lý phân bón. Việt Nam cần đẩy mạnh đầu tư hạ tầng số đặc biệt tại vùng sản xuất lớn, hỗ trợ đào tạo và phổ cập công nghệ nhằm giúp nông dân áp dụng thực hành canh tác tối ưu hơn.



Thứ hai, khuyến khích phát triển các mô hình nông nghiệp tái sinh và tuần hoàn cải thiện chất lượng đất và giảm phát thải. Việt Nam cần nhân rộng các mô hình này đi kèm quản lý nguồn phụ phẩm nông nghiệp để tái chế làm phân hữu cơ, tăng tính bền vững và giảm tổn thất tài nguyên, đồng thời hỗ trợ các vùng sinh thái khác nhau áp dụng phù hợp.

Thứ ba, tăng cường nghiên cứu và phát triển giống cây trồng công nghệ sinh học thích ứng biến đổi khí hậu, tạo ra các giống năng suất cao, ít phụ thuộc thuốc bảo vệ thực vật và phân bón hóa học, góp phần tạo nền tảng bền vững cho canh tác phát thải thấp.

Thứ tư, mở rộng hợp tác quốc tế để tiếp thu công nghệ và nâng cao trình độ. Chính sách hợp tác quốc tế giúp Việt Nam tiếp cận nguồn vốn, công nghệ và kinh nghiệm quản lý tiên tiến trong nông nghiệp giảm phát thải, như các dự án Quỹ khí hậu xanh (GCF), chương trình hợp tác đa quốc gia (UNDP, FAO). Việc tăng cường đào tạo, chuyển giao công nghệ, xây dựng hệ thống đo lường, báo cáo và thẩm định (MRV) chuẩn hóa (theo tiêu chuẩn quốc tế) sẽ giúp Việt Nam xây dựng hệ thống minh bạch, thúc đẩy phát triển tín chỉ các-bon, tạo điều kiện tiếp cận các thị trường xuất khẩu cao cấp mà các tập đoàn nông sản lớn hướng đến (Moitruong.net, 2025).

Thứ năm, phát triển chính sách hỗ trợ tài chính, đào tạo và truyền thông nâng cao nhận thức. Việc hỗ trợ tài chính từ Nhà nước, bao gồm tín dụng ưu đãi và các gói hỗ trợ kỹ thuật sẽ tạo điều kiện cho nông dân ứng dụng công nghệ cao. Cùng với đó, xây dựng bộ tài liệu truyền thông, tổ chức tập huấn kiến thức về canh tác phát thải thấp sẽ thay đổi hành vi sản xuất truyền thống. Đồng thời, việc đánh giá tác động kinh tế - xã hội, môi trường của các mô hình thử nghiệm giúp củng cố niềm tin và khuyến khích mở rộng áp dụng.

Thứ sáu, phát triển mô hình thử nghiệm thực tế đa dạng vùng sinh thái. Tập trung xây dựng và nhân rộng các mô hình thử nghiệm gắn với các vùng sinh thái đặc trưng như đồng bằng sông Cửu Long (lúa nước), Tây Nguyên (cà phê, hồ tiêu), đồng bằng sông Hồng (rau quả, lúa) để đánh giá và điều chỉnh phù hợp. Các mô hình này cần đáp ứng yêu cầu kiểm soát phát thải, hiệu quả kinh tế và khả năng nhân rộng cao. Kèm theo đó là phát triển các chỉ tiêu đo lường và hệ thống dữ liệu đồng bộ nhằm hỗ trợ việc ứng dụng tín chỉ các-bon khi thị trường tín chỉ trong nước và quốc tế phát triển.

5. KẾT LUẬN

Các mô hình nông nghiệp công nghệ cao phát thải thấp đã chứng minh hiệu quả rõ rệt trong giảm khí nhà kính, tiết kiệm tài nguyên và tăng năng suất kinh tế.

Việt Nam có thể học hỏi, điều chỉnh phù hợp với điều kiện tự nhiên và kinh tế - xã hội, góp phần thực hiện thành công cam kết giảm phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Addorasio, R., Spadoni, R., & Maesano, G. (2025). Adoption of innovative technologies for sustainable agriculture. *Sustainability*, 17(4224).
2. Alfred, R., Obit, J. H., Chin, C. P.-Y., Haviluddin, H., & Lim, Y. (2021). Towards paddy rice smart farming: A review on big data, machine learning, and rice production tasks. *IEEE Access*, 9, 50358–50380. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068829>.
3. Anyibama, B. J., Orjinta, K. K., Omisogbon, T. O., et al. (2025). Modern agricultural technologies for sustainable food production. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 10(2), 1465–1474.
4. Betz, U. A., Arora, L., Assal, R. A., Azevedo, H., Baldwin, J., Becker, M. S., et al. (2023). Game changers in science and technology—Now and beyond. *Technological Forecasting and Social Change*, 193, 122588.
5. Brown, K., Schirmer, J., & Upton, P. (2021). Regenerative farming and human wellbeing: Are subjective wellbeing measures useful indicators for sustainable farming systems? *Environmental Sustainability Indicators*, 11, 100132.
6. CEMA. (2023). Research report on AWD and methane emission reduction in Vietnamese rice cultivation. Centre for Environmental Monitoring and Analysis.
7. ClimatePolicyLab. (2024). Zero Budget Natural Farming (ZBNF) in India. Climate Policy Lab Report.
8. FarmerP. (2025, March). Precision agriculture in the USA: Advancements and adoption across states. Retrieved from <https://www.farmerp.com/blog/precision-agriculture-in-the-usa-advancements-and-adoption-across-states>.
9. Farmonaut. (2025, August). Japan smart agriculture robotics: 7 AI innovations 2025. Retrieved from <https://farmonaut.com>.
10. Getahun, S. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production and environmental sustainability. *The Scientific World Journal*.
11. Goel, R. K., Yadav, C. S., Vishnoi, S., & Rastogi, R. (2021). Nông nghiệp thông minh – Nhu cầu cấp thiết hiện nay ở các nước đang phát triển. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30.
12. Goyal, M. R. (2018). *Scientific and technical terms in bioengineering and biological engineering*. CRC Press.
13. Hensel, K. (2018). Will regenerative agriculture become the next 'organic'? *Institute of Food Technologists* (p. 23). Chicago, IL, USA.



14. Herzog, R. (2023). *Cultivating a sustainable future: The investability of regenerative agriculture technology. Insights by CESR. University of Colorado Boulder.* Retrieved from <https://www.colorado.edu/business/cesr/insights-new2023/09/11/Cultivating-a-Sustainable-Future-The-Investability-Regenerative-Agriculture-Technology>.
15. Hes, D., & Rose, N. (2019). *Shifting from farming to tending the earth: A discussion paper. Journal of Organics*, 6, 3–22.
16. Hulse, J. H. (2004). *Biotechnologies: Past history, present state and future prospects. Trends in Food Science & Technology*, 15(1), 3–18.
17. IPCC. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva, Switzerland: IPCC.*
18. Jeong, H. K., et al. (2022). *Agricultural policy tasks to achieve carbon neutrality. Agricultural Outlook. Korea Rural Economic Institute.*
19. Joshi, B. K., Shrestha, H. K., & Ayer, D. K. (2023). *Crop breeding and biotechnological advances towards nutrition and environment security. In Emerging solutions in sustainable food and nutrition security (pp. 255–285). Cham: Springer.*
20. Kala, E. S. M. (2023). *Thách thức về công nghệ ở các quốc gia Châu Phi: Nghiên cứu điển hình về Zambia. Open Journal of Science and Technology Safety*, 13, 202–230.
21. Kapoor, V. (2023). *Regenerative agriculture market size & share report. Grand View Research.* Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/regenerative-agriculture-market-report>.
22. Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). *Regenerative agriculture—A literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. Sustainability*, 15, 2338.
23. Kiran, K. (2023). *Circular agriculture: Sustainable farming practices for zero waste. Environment Report.*
24. Kose, U., Prasath, V. S., Mondal, M. R. H., Podder, P., & Bharati, S. (2022). *Trí tuệ nhân tạo và ứng dụng nông nghiệp thông minh. CRC Press, Boca Raton, FL.*
25. Kurth, T., Subei, B., Plötner, P., & Krämer, S. (2021, October 12). *The case for regenerative agriculture in Germany—And beyond. Yale Environment 360.* Retrieved September 20, 2023, from <https://e360.yale.edu/features/the-case-for-regenerative-agriculture-in-germany-and-beyond>.
26. Lal, R. (2020). *Regenerative agriculture for food and climate. Journal of Soil and Water Conservation*, 75, 123A–124A.
27. Lehmann, S. (2011). *Optimizing urban material flows and waste streams in urban development through principles of zero waste and sustainable consumption. Sustainability*, 3, 155–138.
28. Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). *From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17, 4322–4334.
29. MARD. (2024). *Vietnam Ministry of Agriculture and Rural Development annual report on high-tech agriculture.*
30. McFadden, J., Njuki, E., & Griffin, T. (2023). *Precision agriculture in the digital era: Recent adoption on U.S. farms. US Department of Agriculture, Economic Research Service Report No. 248.* Retrieved March 2, 2023, from <https://www.ers.usda.gov>.
31. McLennon, E., Dari, B., Jha, G., Sihi, D., & Kankarla, V. (2021). *Regenerative agriculture and integrative permaculture for sustainable and technology-driven global food production and security. Agronomy Journal*, 113, 4541–4559.
32. Monteiro, A., Santos, S., & Gonçalves, P. (2021). *Precision agriculture for crop and livestock farming—Brief review. Animals*, 11, 2345.
33. Mosier, N. S., & Ladisch, M. R. (2011). *Modern biotechnology: Connecting innovations in microbiology and biochemistry to engineering fundamentals. John Wiley & Sons.*
34. Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). *What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 577723.
35. O'donoghue, T., Minasny, B., & McBratney, A. (2022). *Regenerative agriculture and its potential to improve farmscape function. Sustainability*, 14, 5815.
36. Rahman, N. S. A., Arifin, K., & Aiyub, K. (2025). *Systematic literature review on new technologies in agriculture: Present and future. PaperAsia*, 41(1b).
37. Seixas, S. R., et al. (2022). *Environmental impact of GMO crop adoption in Brazil. Journal of Agricultural Biotechnology.*
38. Tan, S. S., & Kuebbing, S. E. (2023). *A synthesis of the effect of regenerative agriculture on soil carbon sequestration in Southeast Asian croplands. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 349, 108450.
39. TNO. (2025). *Sustainable agriculture through digitalisation. TNO Netherlands.*
40. Udegbe, F. C., Ebulue, O. R., Ebulue, C. C., & Ekesiobi, C. S. (2024). *Synthetic biology and its potential in US medical therapeutics: A comprehensive review. Engineering Science and Technology Journal*, 5(4), 1395–1414.
41. Vietnam Government. (2022). *Nghị quyết số 120/NQ-CP về phát triển bền vững đồng bằng sông Cửu Long.*