

TỔNG QUAN MỘT SỐ VẤN ĐỀ LÝ LUẬN VỀ PHÁT TRIỂN SẢN XUẤT LÚA GIẢM PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH

Trần Duy Tùng¹, Nguyễn Thị Dương Nga^{2*}

¹*Ban Khoa học và Công nghệ, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

²*Khoa Kinh tế và Quản lý, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

*Tác giả liên hệ: ngantd@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 20.05.2026

Ngày chấp nhận đăng: 30.07.2026

TÓM TẮT

Sản xuất lúa giữ vai trò quan trọng trong bảo đảm an ninh lương thực, tuy nhiên sản xuất lúa là nguồn phát thải khí nhà kính đáng kể trong nông nghiệp, chủ yếu gồm các khí CH₄, N₂O và CO₂. Bài báo tập trung làm rõ hơn khung lý thuyết về phát triển sản xuất lúa giảm phát thải trên cơ sở tổng quan từ các nghiên cứu có liên quan. Kết quả cho thấy phát triển sản xuất lúa giảm phát thải là quá trình phát triển mang tính đa mục tiêu, tích hợp giữa yêu cầu duy trì năng suất, nâng cao hiệu quả kinh tế, bảo vệ môi trường và thích ứng với biến đổi khí hậu. Các biện pháp chủ yếu gồm quản lý nước hợp lý; đổi mới phương thức canh tác; quản lý phân bón và rơm rạ theo hướng bền vững; tiết kiệm năng lượng và tăng cường tổ chức sản xuất gắn với tiêu chuẩn canh tác bền vững. Bài báo cũng chỉ ra rằng phát triển sản xuất lúa giảm phát thải phụ thuộc vào nhiều yếu tố như điều kiện sinh thái, trình độ kỹ thuật, nguồn lực nông hộ, hạ tầng thủy lợi, thị trường, chính sách và nhận thức của người sản xuất.

Từ khóa: Phát triển sản xuất, lúa, giảm phát thải, khí nhà kính, biến đổi khí hậu.

Low Greenhouse Gas Emission Rice Production: A Theoretical Review

ABSTRACT

Rice production plays an important role in ensuring food security; however, it is also a significant source of greenhouse gas emissions in agriculture, mainly CH₄, N₂O, and CO₂. This article focuses on clarifying several theoretical issues concerning the development of low-emission rice production, including its concept, characteristics, roles, major measures, and influencing factors. The review findings indicate that the development of low-emission rice production is a multi-objective development process that integrates the requirements of maintaining productivity, improving economic efficiency, protecting the environment, and adapting to climate change. The major measures include appropriate water management; innovation in cultivation practices; sustainable management of fertilizers and rice straw; energy conservation; and strengthening production organization in association with sustainable farming standards. The article also points out that low-emission rice production depends on various factors, such as ecological conditions, technical capacity, household resources, irrigation infrastructure, markets, policies, and producers' awareness.

Keywords: Rice production, emission reduction, greenhouse gases, sustainable development, climate change.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu đang làm gia tăng các hiện tượng thời tiết cực đoan và những thảm họa chưa từng ghi nhận trước đây trên phạm vi toàn cầu. Tại Hội nghị COP26, Việt Nam cam kết đạt phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050, cam kết này đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với quá trình

chuyển đổi mô hình tăng trưởng trong các ngành kinh tế, trong đó có nông nghiệp (UNFCCC, 2022). Hoạt động nông nghiệp là nguồn phát thải lớn nhất đối với các khí không phải carbon dioxid (non-CO₂) trên phạm vi toàn cầu, chiếm khoảng 84% lượng phát thải nitơ oxit (N₂O) và 47% lượng phát thải metan (CH₄), đóng góp khoảng 10%-17% tổng lượng phát thải

khí nhà kính do con người gây ra (Paustian & cs., 2016; Wang & cs., 2023).

Lúa là lương thực chủ yếu cho hơn một nửa dân số thế giới và khoảng 160 triệu hecta diện tích đất nông nghiệp trên toàn cầu được sử dụng để trồng lúa (Ali & cs., 2020). Tuy nhiên, canh tác lúa truyền thống đã gây ra những lo ngại lớn về môi trường, đặc biệt là việc phát thải khí nhà kính (GHGs), chủ yếu là khí CH_4 (Anju & cs., 2025; Vũ Duy Hoàng & cs., 2025). Phát thải CH_4 từ canh tác lúa nước chiếm 48% tổng phát thải GHGs của đất canh tác toàn cầu (Carlson & cs., 2016). Bên cạnh đó, hoạt động đốt rơm rạ, xử lý phụ phẩm không hợp lý cũng làm gia tăng phát thải GHGs trong sản xuất lúa (Linguist & cs., 2012; Nabuurs & cs., 2022). Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, ngành lúa gạo cần bảo đảm sản lượng đáp ứng nhu cầu lương thực, đồng thời giảm tác động tiêu cực đến môi trường trong quá trình sản xuất (Kumar & Ladha, 2011; Rao & cs., 2017). Ở Việt Nam, sản xuất lúa giảm phát thải đã và đang nhận được nhiều quan tâm từ Chính phủ, các Bộ ngành liên quan, nhiều mô hình và giải pháp canh tác lúa giảm phát thải đã được triển khai như “1 phải 5 giảm”, “3 giảm 3 tăng”, tưới ngập khô xen kẽ (AWD), gieo sạ trực tiếp, lúa hiếu khí, quản lý phân bón hợp lý, quản lý rơm rạ và áp dụng các bộ tiêu chuẩn canh tác bền vững. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào khía cạnh kỹ thuật hoặc đánh giá thực tiễn triển khai. Hussain & cs. (2015) đã tổng quan, đánh giá các phương án kỹ thuật khả thi khác nhau trong sản xuất lúa giảm GHGs cho thấy việc điều chỉnh các phương thức canh tác và mô hình tưới tiêu, quản lý nguồn bổ sung hữu cơ và phân bón, lựa chọn giống cây trồng phù hợp, cũng như chế độ canh tác giúp giảm phát thải GHGs. Tương tự, một nghiên cứu tổng quan khác của Chirinda & cs. (2018) cũng tập trung vào các lựa chọn quản lý và công nghệ trong sản xuất lúa giảm phát thải GHGs, ví dụ như phương pháp gieo trồng, làm đất, tưới tiêu, quản lý tàn dư cây trồng được áp dụng tại khu vực châu Mỹ La tinh và Caribbean. Ngoài ra, nghiên cứu tổng quan của Anju & cs. (2025), Zhou & cs. (2013) cũng tập trung vào quá trình

hình thành hoặc sinh CH_4 trong sản xuất lúa, các con đường phát thải, cũng như các chiến lược, công nghệ có thể áp dụng trong canh tác lúa nước. Vấn đề lý luận về phát triển sản xuất lúa giảm phát thải vẫn chưa được hệ thống hóa đầy đủ và thống nhất.

Bài viết này nhằm mục tiêu tổng quan và xây dựng khung lý thuyết cho phát triển sản xuất lúa giảm phát thải, giới hạn trong khâu canh tác lúa. Bài báo sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu dựa trên nguồn dữ liệu thứ cấp từ các bài báo khoa học trong cơ sở dữ liệu Google Scholar, ResearchGate, Web of Science. Quy trình nghiên cứu được thực hiện thông qua việc tìm kiếm bằng các từ khóa “lúa giảm phát thải”, “phát thải trong sản xuất lúa”, và “emissions from rice production”, “emission mitigation in rice production” trong giai đoạn 2011-2026. Kết quả có 41 tài liệu đáp ứng các tiêu chí lựa chọn về nội dung và phạm vi thời gian trong các cơ sở dữ liệu. Phương pháp phân tích chủ yếu dựa trên phương pháp phân tích nội dung và phân tích theo chủ đề.

2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ LÝ LUẬN VỀ PHÁT TRIỂN SẢN XUẤT LÚA GIẢM PHÁT THẢI

2.1. Khái niệm về phát triển sản xuất lúa giảm phát thải

Khái niệm phát thải và giảm phát thải trong sản xuất lúa

Phát thải trong sản xuất lúa là lượng GHGs phát sinh trực tiếp và gián tiếp từ các hoạt động của hệ thống sản xuất lúa, bao gồm phát thải từ đồng ruộng, đất canh tác, sử dụng nước, phân bón, sử dụng thuốc bảo vệ thực vật, quản lý phụ phẩm và các hoạt động dịch vụ sản xuất nông nghiệp (Boateng & cs., 2017; Jimmy & cs., 2017). Ruộng lúa là một trong những nguồn phát thải nhân sinh quan trọng của CH_4 và N_2O ; trong đó, khí CH_4 chiếm tỷ trọng lớn trong điều kiện canh tác lúa nước truyền thống, còn N_2O gắn chặt với quản lý đạm và trạng thái oxy hóa - khử của đất (Linguist & cs., 2012; Yagi & cs., 2019; Dahlgreen & Parr, 2024).

Canh tác lúa giảm phát thải được hiểu là quá trình áp dụng các biện pháp kỹ thuật, quản

lý và tổ chức sản xuất nhằm cắt giảm lượng GHGs phát sinh trong toàn bộ chu trình canh tác lúa, đặc biệt là khí CH_4 từ ruộng ngập nước, khí N_2O từ quản lý phân bón và đất, cùng với khí carbonic (CO_2) liên quan đến sử dụng năng lượng và xử lý phụ phẩm (Trần Thu Hà & Đỗ Kim Chung, 2014). Nội hàm của giảm phát thải trong sản xuất lúa không dừng ở việc giảm một loại khí riêng lẻ mà là giảm tổng phát thải hoặc giảm cường độ phát thải trên một đơn vị diện tích và một đơn vị sản phẩm, đồng thời vẫn duy trì năng suất, hiệu quả kinh tế và tính bền vững của hệ thống canh tác (Linguist & cs., 2012; Rao & cs., 2017; Yagi & cs., 2019).

Phát triển sản xuất lúa giảm phát thải (LERP)

Phát triển sản xuất lúa giảm phát thải là sự mở rộng quy mô diện tích, hình thành các chuỗi giá trị lúa hoạt động một cách hiệu quả để nâng cao giá trị gia tăng, thu nhập cho các tác nhân, cũng như góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững. Trong quá trình này, người sản xuất áp dụng các thực hành bền vững nhằm nâng cao hiệu quả canh tác và giảm thiểu phát thải GHGs, đặc biệt là CH_4 và N_2O . Đây là một yếu tố quan trọng trong việc đáp ứng nhu cầu lương thực toàn cầu trong khi vẫn bảo vệ môi trường và hạn chế tác động tiêu cực của sản xuất nông nghiệp đối với khí hậu (Rao & cs., 2017).

LERP không chỉ liên quan đến cải tiến kỹ thuật canh tác mà còn bao gồm các yếu tố như quản lý nước, sử dụng phân bón hợp lý và áp dụng phương pháp canh tác bền vững. Những biện pháp này góp phần giảm phát thải GHGs và nâng cao hiệu quả sản xuất, bảo vệ tài nguyên đất và nước (FAO, 2013; Smith & cs., 2014).

2.2. Đặc điểm của phát triển sản xuất lúa giảm phát thải

LERP là hướng phát triển nông nghiệp vừa mang tính kinh tế, vừa mang tính môi trường và xã hội. Khác với cách tiếp cận tăng sản lượng đơn thuần, quá trình này hướng tới mở rộng quy mô hoặc nâng cao năng suất, đồng thời yêu cầu giảm phát sinh GHGs, sử dụng tài nguyên hiệu quả hơn và bảo đảm sinh kế cho người sản xuất.

Tính đa mục tiêu

LERP cần đáp ứng mục tiêu kinh tế, nhằm tối các mục tiêu đảm bảo an ninh lương thực, thích ứng với biến đổi khí hậu, mục tiêu xã hội, và mục tiêu môi trường. Với các thách thức về môi trường và biến đổi khí hậu, việc đảm bảo an ninh lương thực cho dân số gia tăng là một trong các vấn đề cốt lõi và cần chính sách hỗ trợ của các chính phủ (Baite & cs., 2025; Adhi & cs., 2024, Thai & cs., 2026). Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu đã gây ra những rủi ro ngày càng gia tăng đối với sản xuất lúa gạo thông qua sự gia tăng nhiệt độ, tình trạng khan hiếm nước, xâm nhập mặn và sự xuất hiện thường xuyên hơn của các hiện tượng thời tiết cực đoan. Do đó, việc phát triển các hệ thống sản xuất lúa có khả năng thích ứng với khí hậu và phát thải thấp là điều thiết yếu nhằm duy trì năng suất và củng cố an ninh lương thực toàn cầu (Baite & cs., 2025; Ali & cs., 2019; Li & cs., 2024). Để sản xuất lúa giảm phát thải một cách bền vững, nông dân cần đạt được lợi ích kinh tế để duy trì sinh kế và tái đầu tư cho sản xuất (Zhang & cs., 2024; Yang & cs., 2019; An & cs., 2015). Vì vậy, đây là một mô hình phát triển có tính đa mục tiêu. Các yêu cầu về năng suất, lợi nhuận, thích ứng khí hậu và bảo vệ môi trường phải được xem xét đồng thời chứ không tách rời nhau (Nabuurs & cs., 2022; SRP, 2024).

Tính hệ thống và tích hợp cao

Phát thải trong sản xuất lúa không phát sinh từ một khâu riêng lẻ mà hình thành trong toàn bộ chu trình sản xuất, từ quản lý nước, phân bón, đất, phụ phẩm sau thu hoạch cho đến cơ giới hóa, bơm nước tưới và vận chuyển. Bên cạnh đó, tính bền vững của sản xuất còn phụ thuộc vào tiêu thụ và thị trường. Vì vậy, LERP không thể chỉ dựa vào một hoặc một tập hợp biện pháp kỹ thuật đơn lẻ mà phải là sự kết hợp đồng bộ và hệ thống trong tất cả các công đoạn trong sản xuất và tiêu thụ sản phẩm: đổi mới kỹ thuật canh tác, quản lý đầu vào, tổ chức sản xuất và liên kết thị trường nhằm nâng cao năng suất, hiệu quả kinh tế và bảo đảm bền vững môi trường (Smith & cs., 2014; Hussain & cs., 2015; SRP, 2020). Cách tiếp cận này phù hợp với quan

điểm của nhiều nghiên cứu khi xem hệ thống lúa phát thải thấp là một hệ thống canh tác cần được tối ưu hóa trên toàn bộ cấu phần chứ không chỉ ở riêng phát thải CH_4 hay N_2O (Linguist & cs., 2012; Rao & cs., 2017; SRP, 2024). Nói cách khác, đây là quá trình chuyển đổi sản xuất lúa từ mô hình thâm canh truyền thống sang mô hình canh tác lúa bền vững, phát thải thấp, thích ứng tốt hơn với biến đổi khí hậu và thân thiện hơn với tài nguyên đất, nước và hệ sinh thái nông nghiệp.

Tính thích ứng vùng miền

Sản xuất lúa diễn ra trong nhiều môi trường rất khác nhau, từ ôn đới, cận nhiệt đới đến nhiệt đới; từ vùng đất thấp có nước tưới, vùng phụ thuộc nước mưa đến các vùng nước sâu. Điều kiện đất, nước, khí hậu khác nhau dẫn tới khả năng áp dụng và hiệu quả của các biện pháp giảm phát thải cũng khác nhau giữa các địa phương (Anju & cs., 2025). Cùng với đó, trình độ thâm canh của nông dân và cơ sở hạ tầng khác nhau dẫn tới sự khác biệt trong áp dụng các biện pháp kỹ thuật cũng như hiệu quả của các biện pháp này trong sản xuất lúa giảm phát thải (Vo Hong & cs., 2026). Vì vậy, LERP không mang tính đồng loạt, mà phải được thiết kế theo hướng linh hoạt, phù hợp với từng hệ sinh thái sản xuất và từng bối cảnh địa phương (Rao & cs., 2017; Yagi & cs., 2019; Nabuurs & cs., 2022).

Phụ thuộc quy mô sản xuất

Một đặc điểm khác là tính phụ thuộc lớn vào quy mô nông hộ nhỏ và sự phối hợp của nhiều tác nhân. Phần lớn các nước châu Á và châu Phi cận Sahara, lúa chủ yếu được sản xuất trên các nông hộ nhỏ, thường chỉ từ dưới 1ha đến vài ha. Điều này có nghĩa LERP không chỉ là vấn đề kỹ thuật, mà còn gắn chặt với năng lực tiếp cận thông tin, vốn, dịch vụ khuyến nông, tổ chức nông dân và liên kết chuỗi giá trị. Các tiêu chuẩn và khung hướng dẫn gần đây về lúa bền vững đều nhấn mạnh rằng quá trình chuyển đổi sang canh tác lúa phát thải thấp phải đặc biệt chú ý đến tính khả thi, tính bao trùm và lợi ích của nông hộ nhỏ (Rao & cs., 2017; SRP, 2024).

Tính đa chiều

LERP còn mang tính đánh đổi và cần tối ưu hóa đa chiều. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng một số biện pháp giảm CH_4 , như thay đổi chế độ tưới hoặc tháo khô giữa vụ, có thể đồng thời làm gia tăng N_2O trong những điều kiện nhất định. Tương tự, một số giải pháp có thể làm giảm phát thải nhưng lại đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu cao hơn hoặc yêu cầu kỹ năng quản lý tốt hơn. Vì vậy, bản chất của LERP không phải là giảm một loại khí riêng lẻ bằng mọi giá, mà là tìm kiếm điểm cân bằng tối ưu giữa giảm phát thải, duy trì năng suất, bảo đảm hiệu quả kinh tế và hạn chế các đánh đổi môi trường (Linguist & cs., 2012; Nabuurs & cs., 2022; Dahlgreen & Parr, 2024).

Ngoài ra, LERP cần một quá trình có tính chuyển đổi từng bước và dài hạn. Các bộ tiêu chuẩn quốc tế về lúa bền vững đều cho rằng nâng cao tính bền vững và giảm phát thải trong sản xuất lúa là một quá trình cải thiện liên tục, không thể hoàn thành trong thời gian ngắn. Người sản xuất thường phải trải qua nhiều giai đoạn, từ thay đổi nhận thức, điều chỉnh kỹ thuật canh tác, ghi chép dữ liệu sản xuất đến tham gia các hình thức quản lý nhóm hoặc chuỗi liên kết. Điều đó cho thấy LERP không chỉ là kết quả của một vụ mùa, mà là quá trình tái cấu trúc hệ thống sản xuất theo hướng phát thải thấp và bền vững hơn trong trung và dài hạn (Nabuurs & cs., 2022).

3. VAI TRÒ CỦA PHÁT TRIỂN SẢN XUẤT LÚA GIẢM PHÁT THẢI

Trong bối cảnh sản xuất lúa vừa là nền tảng của an ninh lương thực, vừa là một nguồn phát thải GHGs đáng kể trong nông nghiệp, định hướng phát triển lúa theo hướng phát thải thấp mang ý nghĩa kép: vừa duy trì sản lượng, thu nhập và sinh kế cho nông dân, vừa góp phần giảm áp lực môi trường và thực hiện các cam kết khí hậu (Rao & cs., 2017; Nabuurs & cs., 2022; SRP, 2024).

Góp phần bảo đảm an ninh lương thực gắn với phát triển bền vững

Ở cấp quốc gia và toàn cầu, LERP hướng tới nâng cao hiệu quả sử dụng nước, phân bón,

năng lượng và đất đai, qua đó giúp duy trì năng suất trong điều kiện tài nguyên ngày càng khan hiếm và biến đổi khí hậu ngày càng rõ rệt (Rao & cs., 2017; Yagi & cs., 2019). Điều này đặc biệt có ý nghĩa đối với các quốc gia sản xuất lúa quy mô lớn, nơi áp lực phải bảo đảm lương thực luôn song hành với yêu cầu giảm phát thải và bảo vệ tài nguyên.

Theo FAO (2014), ngành lúa ở châu Á không thể tiếp tục phát triển chủ yếu bằng mở rộng quy mô, mà cần chuyển sang thâm canh bền vững trên cơ sở kết hợp tiến bộ về giống, kỹ thuật nông học, cơ giới hóa và cách tiếp cận hệ sinh thái để vừa nâng cao năng suất, lợi nhuận và hiệu quả sử dụng tài nguyên, vừa bảo vệ môi trường. Cách tiếp cận này phù hợp với sản xuất lúa giảm phát thải vì không đặt mục tiêu giảm phát thải đối lập với sản lượng, mà hướng tới tổ chức lại quá trình sản xuất theo hướng duy trì hoặc nâng cao sản lượng trong khi giảm cường độ phát thải và hạn chế sức ép lên tài nguyên đất, nước và hệ sinh thái nông nghiệp. Smith & cs. (2014) cho rằng duy trì tăng trưởng nông nghiệp song song với giảm thiểu tác động của các cú sốc khí hậu là điều kiện cần để hình thành hệ thống lương thực có khả năng chống chịu và đáp ứng mục tiêu phát triển bền vững (Pörtner & & cs., 2022; FAO, 2014; Nabuurs & cs., 2022).

Góp phần giảm phát thải khí nhà kính và bảo vệ môi trường

Vai trò trực tiếp và nổi bật nhất của LERP là làm giảm lượng khí nhà kính phát sinh từ hệ thống canh tác lúa, nhất là CH_4 từ ruộng ngập nước, N_2O từ quản lý phân bón và CO_2 từ sử dụng năng lượng, đốt rơm rạ và các hoạt động sau thu hoạch. Các biện pháp như tưới ngập khô xen kẽ, quản lý dinh dưỡng hợp lý, quản lý phụ phẩm và tổ chức canh tác hợp lý đều có khả năng làm giảm đáng kể cường độ phát thải của ngành lúa gạo (Linguist & cs., 2012; Gupta & cs., 2021; SRP, 2024).

LERP còn góp phần hạn chế suy thoái đất, ô nhiễm nước, lãng phí phân bón, ô nhiễm không khí và phát thải từ nhiên liệu hóa thạch thúc đẩy canh tác lúa theo hướng sạch hơn, tiết kiệm tài nguyên và thân thiện với hệ sinh thái nông nghiệp, nâng cao khả năng thích ứng của hệ thống canh tác lúa (SRP, 2020; Nabuurs & cs.,

2022; SRP, 2024). Việc tối ưu hóa quản lý chất hữu cơ, nước và đạm là những hướng hứa hẹn nhất để giảm phát thải khí nhà kính từ ruộng lúa mà vẫn duy trì năng suất (Qian & cs., 2023).

Góp phần thực hiện mục tiêu chuyển đổi nông nghiệp xanh

Lúa gạo là ngành hàng có quy mô lớn, sử dụng nhiều tài nguyên và có tỷ trọng phát thải đáng kể trong nông nghiệp, nên nếu khu vực này chuyển đổi thành công, tác động lan tỏa tới chiến lược tăng trưởng xanh và giảm phát thải quốc gia sẽ rất lớn. Theo Smith & cs. (2014), khu vực nông nghiệp, lâm nghiệp và sử dụng đất là một trong những hợp phần then chốt của chiến lược giảm nhẹ khí hậu toàn cầu; do đó, giảm phát thải trong sản xuất lúa có thể xem là một bộ phận cụ thể nhưng rất quan trọng trong thực hiện các mục tiêu khí hậu ở cấp quốc gia và quốc tế (Pörtner & cs., 2022).

Nâng cao hiệu quả kinh tế và khả năng cạnh tranh của sản xuất lúa

Ở cấp ngành và hộ sản xuất, việc giảm lượng nước tưới không cần thiết, bón phân cân đối, hạn chế thất thoát đầu vào và tổ chức cơ giới hóa hợp lý có thể làm giảm chi phí sản xuất trong khi năng suất vẫn được duy trì ở mức ổn định. Điều này giúp cải thiện thu nhập ròng và tăng khả năng chống chịu của nông hộ trước biến động giá vật tư đầu vào (Chu, 2023).

Bên cạnh đó, LERP còn góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành lúa gạo, đây là cơ sở để hình thành các chuỗi giá trị lúa gạo bền vững, đáp ứng yêu cầu của thị trường trong nước và quốc tế, đồng thời mở ra khả năng tham gia các cơ chế tài chính xanh, chứng nhận bền vững hoặc tín chỉ carbon trong tương lai (Nabuurs & cs., 2022; SRP, 2024).

Cải thiện sinh kế nông hộ và thúc đẩy chuyển đổi xã hội ở nông thôn

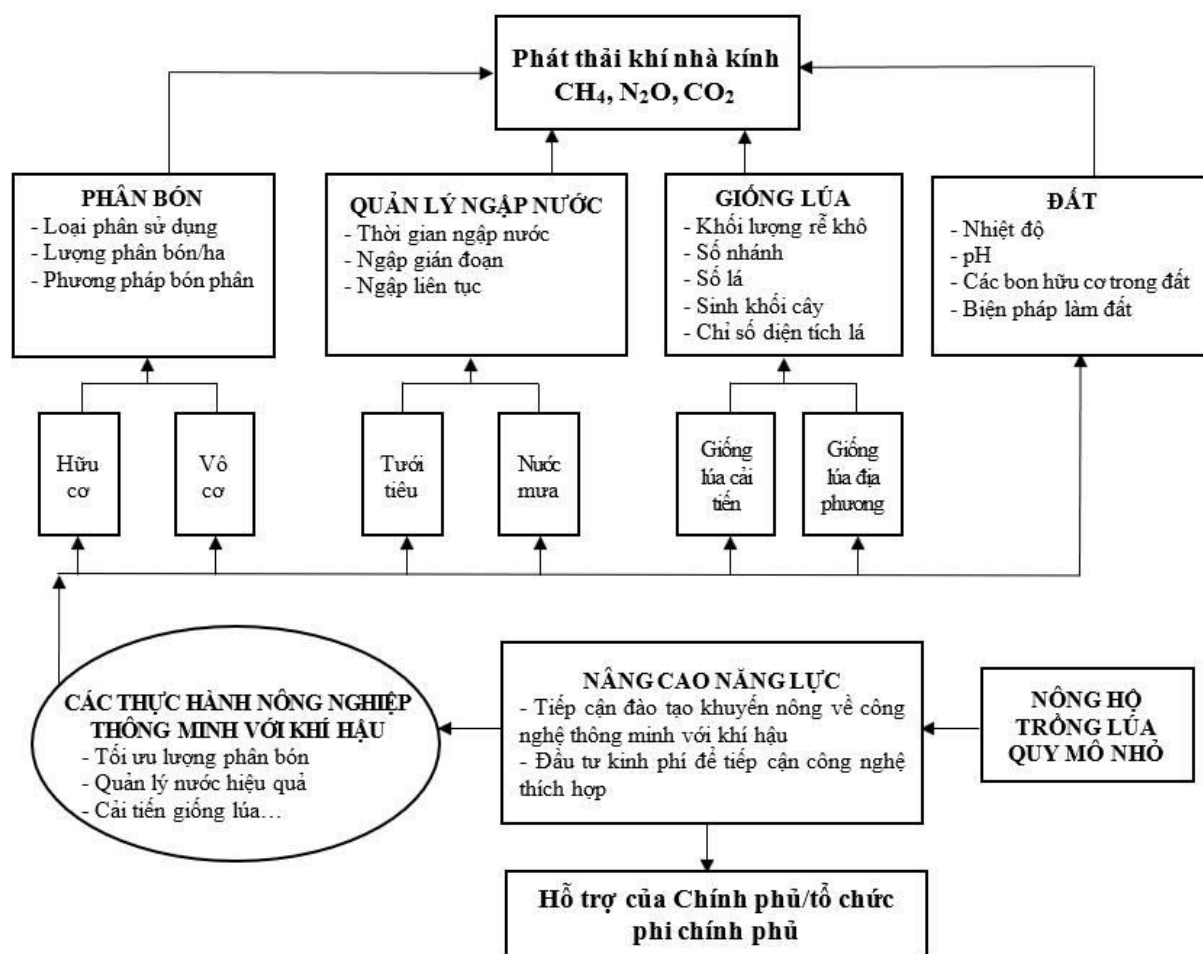
Khi được triển khai hiệu quả, LERP có thể giúp nông hộ giảm chi phí đầu vào, nâng cao hiệu quả lao động, giảm phụ thuộc vào nước và phân bón hóa học, từ đó góp phần ổn định sinh kế và tăng khả năng chống chịu trước rủi ro sản xuất. Trong điều kiện nông hộ nhỏ chiếm ưu thế ở nhiều vùng trồng lúa, các mô hình giảm phát thải còn thúc đẩy hợp tác giữa nông dân thông

qua tổ hợp tác, hợp tác xã, nhóm quản lý nước hoặc các chuỗi liên kết sản xuất - tiêu thụ (Rao & cs., 2017; SRP, 2024). Việc áp dụng sản xuất lúa giảm phát thải đòi hỏi sự thay đổi về nhận thức, kỹ năng và hành vi sản xuất của người nông dân, từ đó thúc đẩy học tập kỹ thuật, tăng cường quản lý đồng ruộng theo dữ liệu, nâng cao trách nhiệm môi trường và từng bước hiện đại hóa sản xuất nông nghiệp ở nông thôn.

Theo Bộ công cụ của SRP, cùng với các chỉ tiêu môi trường, hệ thống chỉ báo còn đặt lợi nhuận ròng từ lúa, năng suất, hiệu quả sử dụng nước, hiệu quả sử dụng đạm và các chỉ tiêu xã hội vào cùng một khung đánh giá. Nói cách khác, theo cách tiếp cận quốc tế hiện nay, sản xuất lúa bền vững và giảm phát thải chỉ thực sự có ý nghĩa khi nó đồng thời cải thiện kết quả kinh tế và xã hội ở cấp nông hộ và chuỗi giá trị (SRP, 2020).

4. BIỆN PHÁP KỸ THUẬT CHỦ YẾU TRONG SẢN XUẤT LÚA GIẢM PHÁT THẢI

Sản xuất lúa giảm phát thải không được thực hiện bằng một giải pháp đơn lẻ, mà là quá trình áp dụng đồng bộ các phương thức canh tác và biện pháp quản lý theo hướng làm giảm phát sinh GHGs, nhất là CH_4 và N_2O . Nhóm biện pháp có tác động rõ nhất thường tập trung vào quản lý nước, phân bón, phụ phẩm, đổi mới phương thức canh tác và kiểm soát phát thải gắn với năng lượng đầu vào (Linguist & cs., 2012; Boateng & cs., 2017; Yagi & cs., 2019). Khung phân tích gồm bốn yếu tố chính quyết định mức phát thải GHGs đối với nông hộ canh tác lúa, bao gồm việc bón phân, quản lý nước, đặc tính đất và loại giống lúa được canh tác (Boateng & cs., 2017).



Nguồn: Boateng & cs. (2017).

Hình 1. Khung phân tích phát thải trong sản xuất lúa

Đổi mới phương thức quản lý nước trong ruộng lúa

Quản lý nước là nhóm biện pháp trung tâm trong sản xuất lúa giảm phát thải, bởi phát thải CH_4 trong ruộng lúa chủ yếu hình thành dưới điều kiện ngập nước liên tục và yếm khí. Đây là lý do vì sao canh tác lúa nước truyền thống thường có cường độ phát thải CH_4 cao hơn so với nhiều hệ thống cây trồng khác (Linguist & cs., 2012; Vo & cs., 2017; Dahlgreen & Parr, 2024). Vì vậy, các phương thức tưới làm gián đoạn trạng thái ngập thường xuyên được xem là giải pháp có hiệu quả cao nhất trong giảm phát thải CH_4 , trong đó, AWD là biện pháp được nhắc đến nhiều nhất. Nghiên cứu của Yagi (2019) cho thấy AWD làm giảm đáng kể phát thải CH_4 ở các nước Đông Nam Á, còn Dahlgreen & Parr (2024) khẳng định đây là một trong những thực hành có bằng chứng rõ ràng nhất về khả năng giảm phát thải trong canh tác lúa (Yagi & cs., 2019; Dahlgreen & Parr, 2024). Tiêu chuẩn SRP cũng coi AWD là một thực hành quản lý nước cốt lõi trong sản xuất lúa bền vững và phát thải thấp. Nghiên cứu của Li & cs. (2024) cũng cho thấy thử nghiệm AWD và các nguyên tắc khác của hệ thống thâm canh lúa cải tiến tại đồng bằng sông Hồng làm tăng năng suất đáng kể (tới 50%) trong khi giảm hoặc không gia tăng lượng CH_4 . Ngoài AWD, các hình thức tháo khô giữa vụ, quản lý mực nước hợp lý theo giai đoạn sinh trưởng và làm khô đất trong thời kỳ bỏ hóa cũng có vai trò cắt giảm CH_4 nhờ rút ngắn thời gian yếm khí của đất. Tuy nhiên, vì một số biện pháp quản lý nước có thể làm tăng N_2O trong những điều kiện nhất định, việc áp dụng phải gắn với quản lý phân bón và đặc điểm đất đai của từng vùng (Linguist & cs., 2012; Yagi & cs., 2019; Gupta & cs., 2021). Haonan & cs. (2022) cũng chỉ ra rằng trong khi áp dụng AWD có thể tăng năng suất song cũng tăng phát thải N_2O tới gần 70%.

Điều chỉnh phương thức canh tác

Gieo sạ trực tiếp (DSR) và lúa hiếu khí là những lựa chọn có tiềm năng giảm phát thải vì hạn chế thời gian ngập nước, giảm lao động và giảm nhu cầu năng lượng cho làm đất, cấy và

bơm tưới so với phương thức cấy lúa truyền thống (Rao & cs., 2017). Bista (2018) cũng cho thấy DSR có thể giúp giảm 50% nước sử dụng, giảm 60% chi phí lao động và tăng năng suất từ 5-10%. Bên cạnh đó, hệ thống thâm canh lúa cải tiến (SRI) cũng được xem là một phương thức quan trọng trong sản xuất lúa giảm phát thải. Theo Dahlgreen & Parr (2024), SRI kết hợp quản lý nước theo hướng không ngập liên tục tăng thông thoáng đất, khuyến khích cải thiện sức khỏe đất và giảm phụ thuộc vào phân đạm tổng hợp; so với canh tác lúa truyền thống, SRI làm giảm phát thải đến 74% CO_2 tương đương trên mỗi hecta ($\text{CO}_2\text{e/ha}$), 88% $\text{CO}_2\text{e/kg}$ lúa.

Quản lý phân bón theo hướng nâng cao hiệu quả sử dụng đạm

Sử dụng phân bón, đặc biệt là phân đạm, là nguồn phát thải N_2O quan trọng trong sản xuất lúa. Quá trình nitrat hóa và phản ứng nitrat hóa trong đất, dưới tác động của chế độ nước, loại đất và phương thức bón phân, làm phát sinh N_2O . Vì vậy, quản lý phân bón hợp lý là nhóm biện pháp thiết yếu trong sản xuất lúa giảm phát thải. Nhiều biện pháp phân bón có thể tác động rõ rệt tới phát thải CH_4 và N_2O , trong đó đáng chú ý là bón đạm đúng liều lượng, đúng thời điểm, bón sâu, sử dụng phân bón hiệu quả cao, cũng như kết hợp hợp lý giữa phân hữu cơ và phân vô cơ (Linguist & cs., 2012; Gupta & cs., 2021; Pan & cs., 2022). Một số nghiên cứu chỉ ra rằng bón đạm quá mức không những làm tăng phát thải N_2O mà còn làm giảm hiệu quả sử dụng phân bón và tăng chi phí sản xuất. Ngược lại, các biện pháp như giảm lượng đạm tổng hợp, bón theo nhu cầu cây trồng, sử dụng phân có chứa sulfate, hoặc bón than sinh học có thể góp phần giảm phát thải khí nhà kính trong ruộng lúa (Linguist & cs., 2012; Yagi & cs., 2019).

Quản lý rơm rạ và phụ phẩm theo hướng bền vững

Rơm rạ và phụ phẩm sau thu hoạch là hợp phần có ảnh hưởng đáng kể đến phát thải của hệ thống trồng lúa. Việc đốt rơm rạ ngoài đồng làm phát sinh CO_2 và các khí ô nhiễm khác, đồng thời gây thất thoát chất hữu cơ của hệ thống canh tác. Vì vậy, trong sản xuất lúa giảm

phát thải, nguyên tắc quan trọng là hạn chế hoặc loại bỏ đốt rơm rạ, thay thế bằng các biện pháp như thu gom, ủ compost, sử dụng làm thức ăn chăn nuôi, trồng nấm, phân hữu cơ, hoặc chuyển hóa thành biochar (Yagi & cs., 2019; SRP, 2024).

Yagi & cs. (2019) cho rằng loại bỏ rơm rạ của vụ trước, ủ rơm cùng phân chuồng, và bón than sinh học là những lựa chọn kỹ thuật triển vọng trong giảm phát thải khí nhà kính từ ruộng lúa. Tuy nhiên, việc quản lý phụ phẩm phải được thực hiện phù hợp với điều kiện sản xuất thực tế, bởi vùi rơm tươi trong điều kiện ngập nước có thể làm gia tăng CH_4 nếu không đi kèm với điều tiết nước thích hợp (Linguist & cs., 2012; Gupta & cs., 2021).

Tổ chức sản xuất theo tiêu chuẩn canh tác bền vững

Giảm phát thải trong sản xuất lúa không chỉ là vấn đề kỹ thuật đồng ruộng mà còn là vấn đề tổ chức sản xuất. Trong điều kiện nông hộ nhỏ phổ biến ở châu Á, việc áp dụng các biện pháp giảm phát thải có hiệu quả cao hơn khi gắn với quản lý nhóm nông dân, điều hành tưới chung, thực hành đồng bộ theo vùng, ghi chép sản xuất và áp dụng bộ tiêu chuẩn canh tác bền vững. Khung tiêu chuẩn của SRP (2024) cho thấy sản xuất lúa phát thải thấp cần được đặt trong một hệ thống quản lý tổng hợp, bao gồm giống tốt, nước tưới, phân bón, thuốc bảo vệ thực vật, rơm rạ, thu hoạch và sau thu hoạch (SRP, 2024).

5. YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN PHÁT TRIỂN SẢN XUẤT LÚA GIẢM PHÁT THẢI

LERP chịu tác động đồng thời của nhiều nhóm yếu tố tự nhiên, kỹ thuật, kinh tế, xã hội và thể chế. Do phát thải GHGs trong sản xuất lúa hình thành từ sự tương tác phức tạp giữa điều kiện sinh thái, phương thức canh tác và tổ chức sản xuất, nên khả năng chuyển đổi sang mô hình lúa phát thải thấp không chỉ phụ thuộc vào giải pháp kỹ thuật, mà còn phụ thuộc vào bối cảnh sản xuất cụ thể của từng địa phương, từng vùng sinh thái và từng nhóm nông hộ (Gupta & cs., 2021).

Điều kiện tự nhiên, sinh thái và tài nguyên sản xuất

Điều kiện khí hậu, đất đai, nguồn nước và địa hình là nhóm yếu tố nền tảng quyết định khả năng phát triển sản xuất lúa giảm phát thải. Sự khác biệt này làm cho mức độ phát thải và khả năng áp dụng các biện pháp giảm phát thải cũng khác nhau giữa các vùng (Rao & cs., 2017). Chẳng hạn, ở những vùng có khả năng điều tiết nước tốt, các biện pháp như tưới ngập khô xen kẽ AWD có thể được thực hiện tương đối thuận lợi; ngược lại, ở những vùng phụ thuộc mưa hoặc có điều kiện thủy lợi kém, hiệu quả và tính khả thi của biện pháp này có thể bị hạn chế (Yagi & cs., 2019; SRP, 2024).

Bên cạnh đó, đặc tính đất và trạng thái oxy hóa - khử của đất có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình hình thành CH_4 và N_2O trong ruộng lúa. Những vùng đất ngập nước kéo dài, giàu chất hữu cơ và khó thoát nước thường có nguy cơ phát thải CH_4 cao hơn. Ngược lại, những thay đổi trong điều kiện ẩm - khô của đất có thể làm thay đổi cán cân giữa CH_4 và N_2O . Vì vậy, điều kiện tự nhiên không chỉ là bối cảnh sản xuất mà còn là yếu tố quyết định hiệu quả của từng giải pháp giảm phát thải (Linguist & cs., 2012; Gupta & cs., 2021).

Trình độ ứng dụng kỹ thuật của người sản xuất

Nhóm yếu tố thứ hai có ảnh hưởng lớn là trình độ áp dụng tiến bộ kỹ thuật của người sản xuất. Các nghiên cứu đều cho thấy phát thải trong sản xuất lúa phụ thuộc rất mạnh vào cách quản lý nước, phân bón, phụ phẩm, giống và phương pháp thiết lập ruộng lúa. Tuy nhiên, hiệu quả của các biện pháp này phụ thuộc rất lớn vào trình độ kỹ thuật, khả năng tiếp cận thông tin và năng lực quản lý đồng ruộng của nông dân. Trong điều kiện nông hộ nhỏ, nếu người sản xuất không nắm rõ nguyên tắc vận hành của các biện pháp như AWD hay quản lý phân bón theo nhu cầu cây trồng, thì nguy cơ giảm năng suất hoặc làm phát sinh các đánh đổi ngoài mong muốn là hoàn toàn có thể xảy ra. Do đó, trình độ kỹ thuật và chất lượng dịch vụ khuyến nông là yếu tố rất quan trọng đối với sự phát triển của sản xuất lúa giảm phát thải (Hussain & cs., 2015; SRP, 2024).

Quy mô sản xuất, nguồn lực nông hộ và khả năng đầu tư

Quy mô đất canh tác và nguồn lực của nông hộ ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng áp dụng các mô hình lúa giảm phát thải. Quy mô nhỏ khiến chi phí chuyển đổi công nghệ trên một đơn vị diện tích có thể cao hơn, đồng thời hạn chế khả năng đầu tư thiết bị, cải tạo đồng ruộng, ứng dụng cơ giới hóa đồng bộ hoặc tham gia các quy trình sản xuất có kiểm soát nghiêm ngặt (Rao & cs., 2017)

Bên cạnh đó, các yếu tố như vốn, lao động, trình độ học vấn, khả năng tiếp cận tín dụng và mức độ sẵn sàng chấp nhận rủi ro cũng ảnh hưởng đến quyết định áp dụng các giải pháp giảm phát thải. Một số biện pháp dù có hiệu quả về môi trường nhưng đòi hỏi đầu tư ban đầu cao hơn hoặc cần thay đổi tập quán canh tác lâu đời, nên thường khó được áp dụng rộng rãi nếu nông dân không có hỗ trợ thích hợp về kỹ thuật và tài chính (Nabuurs & cs., 2022; SRP, 2024).

Hệ thống thủy lợi, cơ sở hạ tầng

Hệ thống thủy lợi và cơ sở hạ tầng nông nghiệp có vai trò đặc biệt quan trọng đối với LERP. Các biện pháp quản lý nước như AWD, tháo khô giữa vụ hay điều tiết ngập nông chỉ có thể triển khai hiệu quả khi có khả năng chủ động cấp, thoát nước. Do đó, chất lượng công trình thủy lợi nội đồng, năng lực điều hành tưới tiêu và khả năng phối hợp giữa các hộ trong cùng hệ thống thủy nông là những điều kiện tiên quyết để phát triển lúa phát thải thấp (Yagi & cs., 2019).

Thị trường, chuỗi giá trị và động lực kinh tế

Các động lực thị trường có ảnh hưởng rõ rệt đến việc phát triển sản xuất lúa giảm phát thải. Trong thực tế, nông dân thường quyết định áp dụng một biện pháp mới không chỉ dựa vào lợi ích môi trường mà còn dựa vào hiệu quả kinh tế, mức độ ổn định đầu ra và khả năng giảm chi phí đầu vào. Nếu các mô hình lúa giảm phát thải giúp tiết kiệm nước, phân bón, lao động và nâng cao chất lượng sản phẩm, thì khả năng được chấp nhận sẽ cao hơn. Ngược lại, nếu việc chuyển đổi làm tăng chi phí, tăng rủi ro thị trường hoặc không tạo ra chênh lệch giá bán, thì mức độ lan tỏa sẽ bị hạn chế (SRP, 2024).

Sự phát triển của chuỗi giá trị lúa gạo bền vững, các cơ chế chứng nhận, truy xuất nguồn gốc, thị trường tín chỉ carbon hoặc các hình thức chi trả cho dịch vụ hệ sinh thái có thể tạo ra động lực kinh tế quan trọng cho quá trình chuyển đổi sang sản xuất lúa giảm phát thải. Do đó, sự liên kết giữa sản xuất - chế biến - tiêu thụ là một điều kiện quan trọng để nâng cao tính bền vững của mô hình này (Nabuurs & cs., 2022; SRP, 2024).

Chính sách, thể chế và dịch vụ hỗ trợ

Khung chính sách và thể chế là một trong những yếu tố quyết định tốc độ và quy mô LERP. Những chính sách về thủy lợi, đất đai, tín dụng, khuyến nông, hỗ trợ đổi mới công nghệ, quản lý phụ phẩm, giảm sử dụng vật tư nông nghiệp và phát triển nông nghiệp bền vững đều có ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng triển khai các biện pháp giảm phát thải trong thực tế. Nếu thể chế hỗ trợ rõ ràng, ổn định và có tính khuyến khích, quá trình chuyển đổi sẽ diễn ra thuận lợi hơn; ngược lại, nếu thiếu đồng bộ giữa chính sách môi trường và chính sách nông nghiệp thì việc áp dụng sẽ gặp nhiều rào cản (Nabuurs & cs., 2022).

Ngoài ra, sự hiện diện của các tổ chức hỗ trợ như hệ thống khuyến nông, hợp tác xã, doanh nghiệp liên kết và các chương trình phát triển lúa bền vững cũng có ý nghĩa rất lớn. Các tổ chức này giúp chuyển giao kỹ thuật, giảm chi phí giao dịch, tăng khả năng phối hợp sản xuất và nâng cao năng lực thực hành của nông dân, từ đó làm tăng xác suất thành công của các mô hình lúa giảm phát thải (Hussain & cs., 2015; SRP, 2024).

Nhận thức và hành vi của người sản xuất

Một yếu tố rất quan trọng nhưng thường khó lượng hóa là nhận thức và hành vi của người sản xuất. LERP đòi hỏi người sản xuất phải thay đổi cách nhìn từ mục tiêu tối đa hóa sản lượng ngắn hạn sang mục tiêu tối ưu hóa đồng thời hiệu quả kinh tế, sử dụng tài nguyên và tác động môi trường. Mức độ hiểu biết về biến đổi khí hậu, về phát thải GHGs, về lợi ích dài hạn của các biện pháp canh tác bền vững và mức độ tin tưởng vào hiệu quả của các kỹ thuật

mới đều ảnh hưởng mạnh đến quyết định áp dụng của nông hộ (SRP, 2024).

Trong bối cảnh đó, hoạt động tập huấn, trình diễn mô hình, hỗ trợ kỹ thuật tại chỗ và chia sẻ kinh nghiệm giữa nông dân với nhau có vai trò rất quan trọng trong thay đổi hành vi sản xuất. Có thể nói, nhiều giải pháp kỹ thuật chỉ thật sự phát huy hiệu quả khi được đặt trong một quá trình thay đổi nhận thức và hành vi sản xuất của cộng đồng nông dân.

6. KẾT LUẬN

Phát triển sản xuất lúa giảm phát thải là một yêu cầu tất yếu trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, tài nguyên đất, nước và lao động cho nông nghiệp ngày càng thu hẹp, trong khi nhu cầu bảo đảm an ninh lương thực vẫn không ngừng tăng lên. Phát thải trong sản xuất lúa chủ yếu bắt nguồn từ CH_4 phát sinh ở ruộng ngập nước, N_2O từ quản lý phân bón và đất, cùng với CO_2 từ xử lý phụ phẩm, sử dụng năng lượng cho cơ giới hóa và vận chuyển. Giảm phát thải chỉ thực sự có ý nghĩa khi được đặt trong mối quan hệ hữu cơ với mục tiêu duy trì năng suất, nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, tăng lợi nhuận và bảo vệ nền tảng sinh thái của sản xuất lúa. Phát triển sản xuất lúa giảm phát thải chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố như điều kiện tự nhiên, trình độ kỹ thuật, nguồn lực nông hộ, hạ tầng thủy lợi, thị trường, thể chế và nhận thức của người sản xuất.

Các phương thức và biện pháp chủ yếu để thúc đẩy sản xuất lúa giảm phát thải bao gồm đổi mới quản lý nước, nhất là tưới ngập khô xen kẽ; điều chỉnh phương thức canh tác; quản lý phân bón hợp lý; quản lý rơm rạ; tiết kiệm năng lượng trong cơ giới hóa; cùng với việc tăng cường tổ chức sản xuất và áp dụng các tiêu chuẩn canh tác bền vững. Với quy mô sản xuất phổ biến là nông hộ nhỏ, khả năng áp dụng và duy trì các thực hành, các bộ tiêu chuẩn, chỉ báo về giảm phát thải phụ thuộc lớn vào vai trò của hợp tác xã, hệ thống khuyến nông, hạ tầng thủy lợi, tín dụng, năng lực của người sản xuất và liên kết chuỗi giá trị. Điều đó cho thấy phát triển lúa

giảm phát thải không chỉ là đổi mới kỹ thuật đồng ruộng, mà còn là quá trình xây dựng hệ sinh thái thể chế - tổ chức - thị trường nhằm hỗ trợ chuyển đổi ở quy mô lớn và lâu dài. Trong đó, chủ đề thị trường và chuỗi giá trị lúa gạo giảm phát thải - yếu tố mang tính quyết định tối hiệu quả kinh tế và phát triển sản xuất lúa giảm phát thải- đã chưa được khai thác một cách cụ thể. Nghiên cứu về sản xuất lúa giảm phát thải có thể mở rộng về chủ đề thị trường và chuỗi giá trị để bù đắp khoảng trống này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Adhi Andriyono, Aryanto Glaniz & Kusumaningrum Nurul (2024). Policy pathway to resilience: Shifting to high-yielding rice seeds to reduce emissions and strengthen rice production in Indonesia. BIO Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411901002>.
- Ali Muhammad, Inubushi Kazuyuki, Kim Pil & Amin Sitara. (2019). Management of Paddy Soil towards Low Greenhouse Gas Emissions and Sustainable Rice Production in the Changing Climatic Conditions. 10.5772/intechopen.83548.
- Ali W., Mao K., Zhang H., Junaid M., Xu N., Rasool A., Feng X. & Yang Z. (2020). Comprehensive review of the basic chemical behaviours, sources, processes, and endpoints of trace element contamination in paddy soil-rice systems in rice-growing countries. J Hazard Mater. 397: 122720.
- An N., Fan M., Zhang F., Christie P., Yang J., Huang J., Guo S., Shi X., Tang Q., Peng J., Zhong X., Sun Y., Lv S., Jiang R. & Dobermann A. (2015). Exploiting Co-Benefits of Increased Rice Production and Reduced Greenhouse Gas Emission through Optimized Crop and Soil Management. PLOS ONE 10(10): e0140023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140023>.
- Anju T.M., Deepa T. & Sreelatha A.K. (2025). Strategies for controlling greenhouse gas emission from lowland rice fields: A review. Plant Science Today. 10.14719/pst.9031.
- Boateng K., Obeng G. & Mensah E. (2017). Rice Cultivation and Greenhouse Gas Emissions: A Review and Conceptual Framework with Reference to Ghana. Agriculture. 7(1): 7.
- Baite N., Yosung Lenmem, Manna Toko, Yadav Nitin & Dadarwal Basant (2025). Advances in Climate-Resilient and Low-Emission Rice Agronomy: Stress-Tolerant Varieties, Water-Smart Practices, and Direct-Seeded Systems. Journal of Biology and Nature. 17. 836-846. 10.56557/joban/2025/v17i210027.

- Bista Bishal (2018). Direct Seeded Rice: A New Technology for Enhanced Resource-Use Efficiency. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. 6. 181-198. 10.3126/ijasbt.v6i3.21174.
- Carlson K.M., Gerber J.S., Mueller N.D., Herrero M., Macdonald G.K., Brauman K.A., Havlik P., O'connell C.S., Johnson J.A., Saatchi S. & West P.C. (2016). Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nature Climate Change*. 7(1): 63-68.
- Chirinda N., Arenas L., Katto M., Loaiza S., Correa F., Isthitani M., Loboguerrero A.M., Martínez-Barón D., Graterol E., Jaramillo S., Torres C.F., Arango M., Guzmán M., Avila I., Hube S., Kurtz D.B., Zorrilla G., Terra J., Irisarri P., Tarlera S., LaHue G., Scivittaro W.B., Noguera A. & Bayer C. (2018). Sustainable and Low Greenhouse Gas Emitting Rice Production in Latin America and the Caribbean: A Review on the Transition from Ideality to Reality. *Sustainability*, 10(3), 671. <https://doi.org/10.3390/su10030671>
- Chu L. (2023). The economics of emissions in rice production: a survey-data-driven approach in Vietnam. *Fulbright Review of Economics and Policy*. 3(2): 111-127.
- Dahlgreen J. & Parr A. (2024). Exploring the Impact of Alternate Wetting and Drying and the System of Rice Intensification on Greenhouse Gas Emissions: A Review of Rice Cultivation Practices. *Agronomy*. 14(2): 378.
- FAO (2013). Climate-smart agriculture. source book. Retrieved from <https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf> on May 12, 2026.
- FAO (2014). A regional rice strategy for sustainable food security in Asia and the Pacific. Retrieved from <https://www.fao.org/4/i3643e/i3643e.pdf> on May 12, 2026.
- Gupta K., Kumar R., Baruah K.K., Hazarika S., Karmakar S. & Bordoloi N. (2021). Greenhouse gas emission from rice fields: a review from Indian context. *Environ Sci Pollut Res Int*. 28(24): 30551-30572.
- Hussain S., Peng S., Fahad S., Khaliq A., Huang J., Cui K. & Nie L. (2015). Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 22(5): 3342-60.
- Haonan Qiu, Yang Shihong, Jiang Zewei, Xu Yi & Jiao Xiyun (2022). Effect of Irrigation and Fertilizer Management on Rice Yield and Nitrogen Loss: A Meta-Analysis. *Plants*. 11: 1690. doi.10.3390/plants11131690.
- Jimmy A.N., Khan N.A., Hossain M.N. & Sujauddin M. (2017). Evaluation of the environmental impacts of rice paddy production using life cycle assessment: case study in Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment*. 3(4): 1691-1705.
- Kumar V. & Ladha J.K. (2011). Direct Seeding of Rice. 111: 297-413.
- Linguist B.A., Adviento-Borbe M.A., Pittelkow C.M., Van Kessel C. & Van Groenigen K.J. (2012). Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: A quantitative review and analysis. *Field Crops Research*. 135: 10-21.
- Li T., McDermid S.S., Valdivia R.O. & Sundaram P. (2024). Climate change mitigation and adaptation for rice-based farming systems in the Red River Delta, Vietnam. *CABI Agric Biosci*. 5: 109. <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00308-0>
- Nabuurs G.-J., Mrabet R., Abu Hatab A., Bustamante M., Clark H., Havlík P., House J., Mbow C., Ninan K.N., Popp A., Roe S., Sohngen B. & Towprayoon S. (2022). Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). Trong: *In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. pp. 747-860.
- Pan S.-Y., He K.-H., Lin K.-T., Fan C. & Chang C.-T. (2022). Addressing nitrogenous gases from croplands toward low-emission agriculture. *npj Climate and Atmospheric Science*. 5(1).
- Paustian K., Lehmann J., Ogle S., Reay D., Robertson G.P. & Smith P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*. 532(7597): 49-57.
- Pörtner H.-O.D.C.R., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S.V.M., Okem A. & B. Rama (Eds.) (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. doi:10.1017/9781009325844: 3056 pp.
- Qian H., Zhu X., Huang S., Linguist B., Kuzyakov Y., Wassmann R., Minamikawa K., Martinez-Eixarch M., Yan X., Zhou F., Sander B. O., Zhang W., Shang Z., Zou J., Zheng X., Li G., Liu Z., Wang S., Ding Y., Van Groenigen K. J. & Jiang Y. (2023). Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*. 4(10): 716-732.
- Rao A.N., Wani S.P., Ramesha M.S. & Ladha J.K. (2017). Rice Production Systems. *ResearchGate*. 10.1007/978-3-319-47516-5_8: 185-205.

- Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong H., Elsiddig E.A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N.H., Rice C.W., Robledo Abad C., Romanovskaya A. & Sperling F. A.F.T. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- SRP (2020). The SRP Standard for Sustainable Rice Cultivation (Version 2.1). Retrieved from [https://sustainableiceplatform.github.io/assets/docs/SRP%20Standard%20for%20Sustainable%20Rice%20Cultivation%20\(Versions%202.1\).pdf](https://sustainableiceplatform.github.io/assets/docs/SRP%20Standard%20for%20Sustainable%20Rice%20Cultivation%20(Versions%202.1).pdf) on May 12, 2026.
- SRP (2024). Sustainable Rice Platform Standard for Sustainable Rice Cultivation version 3.0. Retrieved from <https://sustainableice.org/wp-content/uploads/2025/05/SRP-Standard-for-Rice-Cultivation-V3.0-2nd-Public-Consultation.pdf> on May 12, 2026.
- Trần Thu Hà & Đỗ Kim Chung (2014). Một số vấn đề lý luận và thực tiễn để chuyển giao kỹ thuật canh tác lúa giảm phát thải khí nhà kính ở một số tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học và Phát triển. 12(6): 935-945.
- Thai V.T., Checchio, J., Mitchell, J., Garba I.I., Akber Md. Ali & Aziz A.A. (2026) Producing more rice with fewer emissions: a global meta-analysis. npj Sustain. Agric. 4: 27. <https://doi.org/10.1038/s44264-026-00136-x>.
- UNFCCC (2022). Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its third session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. <https://unfccc.int/documents/460950> on May 12, 2026.
- Vo T.B.T., Wassmann R., Tirol-Padre A., Cao V.P., Macdonald B., Espaldon M.V.O. & Sander B.O. (2017). Methane emission from rice cultivation in different agro-ecological zones of the Mekong river delta: seasonal patterns and emission factors for baseline water management. Soil Science and Plant Nutrition. 64(1): 47-58.
- Vo Hong Tu & Nguyen Thuy Trang. (2026). Modeling Factors Influencing the Adoption of Low-Emission Practices in Rice Farming in the Vietnamese Mekong Delta. Research on World Agricultural Economy. pp. 222-239. 10.36956/rwae.v7i2.2684.
- Vũ Duy Hoàng, Phan Thị Thủy, Trần Văn Quang & Trần Thị Thiêm (2025). Tổng quan về vai trò của kỹ thuật tưới ướt khô xen kẽ trong giảm phát thải mê-tan và thúc đẩy canh tác lúa bền vững. Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam. 23(6): 836-845.
- Wang X., Chang X., Ma L., Bai J., Liang M. & Yan S. (2023). Global and regional trends in greenhouse gas emissions from rice production, trade, and consumption. Environmental Impact Assessment Review. 101: 107141.
- Yagi K., Sriphirom P., Cha-Un N., Fusuwanakaya K., Chidthaisong A., Damen B. & Towprayoon S. (2019). Potential and promisingness of technical options for mitigating greenhouse gas emissions from rice cultivation in Southeast Asian countries. Soil Science and Plant Nutrition. 66(1): 37-49.
- Yang Bo, Yuchun Ma, Chunxue Zhang, Yufei Jia, Bo Li & Xiangqun Zheng (2019). Cleaner Production Technologies Increased Economic Benefits and Greenhouse Gas Intensity in an Eco-Rice System in China. Sustainability. 11(24): 7090. <https://doi.org/10.3390/su11247090>
- Zhou Sheng, Song Xiangfu & Yan Xiaoyuan (2013). Progress in research on low carbon rice production technology. Chinese journal of rice science. 27(2): 213-222.
- Zhang Xianxian, Junguo Bi, Weikang Wang, Donglai Sun, Huifeng Sun, Qingyu Bi, Cong Wang, Jining Zhang, Sheng Zhou & Lijun Luo (2024). Ecological and Economic Benefits of Greenhouse Gas Emission Reduction Strategies in Rice Production: A Case Study of the Southern Rice Propagation Base in Hainan Province. Agronomy. 14(1): 222. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010222>.