

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

Vũ Duy Hoàng, Phan Thị Thủy*, Trần Thị Thiêm, Trần Văn Quang

Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

**Tác giả liên hệ: thuynh@vnua.edu.vn*

Ngày nhận bài: 04.11.2024

Ngày chấp nhận đăng: 18.06.2025

TÓM TẮT

Lúa (*Oryza sativa* L.) là cây trồng quan trọng cung cấp lương thực cho hơn một nửa dân số toàn cầu. Tuy vậy, canh tác lúa tiêu tốn đáng kể lượng nước tưới và phát thải nhiều khí nhà kính, đặc biệt là mê-tan (CH_4). Trước ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính, việc nghiên cứu và áp dụng công nghệ tưới tiết kiệm nước cho lúa ngày càng được quan tâm nhiều hơn. Bài báo phân tích cơ chế phát thải khí CH_4 và những lợi ích của công nghệ tưới ướt khô xen kẽ (AWD) nhằm thúc đẩy việc áp dụng công nghệ này trong sản xuất lúa bền vững. Các kết quả nghiên cứu cho thấy bên cạnh giảm lượng nước sử dụng và chi phí tưới, AWD còn mang lại nhiều lợi ích đối với sinh trưởng và năng suất lúa, chất lượng gạo, hoạt động của sinh vật đất, giảm sâu bệnh hại và thuốc bảo vệ thực vật sử dụng. Hơn nữa, AWD giảm đáng kể lượng khí CH_4 phát thải và có thể được chuyển đổi thành tín chỉ các-bon, có tiềm năng tăng thu nhập cho người sản xuất. Do đó, áp dụng AWD trong trồng lúa đóng vai trò quan trọng trong việc đáp ứng các mục tiêu về khí hậu toàn cầu, đảm bảo an ninh lương thực và thúc đẩy các hoạt động nông nghiệp bền vững.

Từ khóa: AWD, lúa nước, tưới tiết kiệm nước, khí nhà kính, tín chỉ các-bon.

The role of Alternate Wetting and Drying (AWD) Technique in Reducing Methane (CH_4) Emissions and Promoting Sustainable Rice Cultivation: A Review

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is an important crop, providing staple food for more than half of the world's population. However, conventional irrigated rice cultivation consumes large amounts of irrigation water and contributes significantly to greenhouse gas emissions, especially methane (CH_4). In view of the impact of climate change and the goal of reducing global greenhouse gas emissions, the research and application of water-saving irrigation methods for rice are becoming increasingly important. This paper presents the mechanism of CH_4 emissions in rice fields and the benefits of alternate wetting and drying (AWD) to promote the application of this technology in sustainable rice cultivation. The results show that AWD reduces water consumption and irrigation costs, while this technology stimulates rice plant growth, grain yield and quality, improves soil biological activity, and reduces pest infestation and pesticide use. In addition, AWD significantly reduces CH_4 emissions in rice fields, which can be converted into carbon credits, potentially increasing farmers' income. Therefore, the adoption of AWD in rice cultivation can play a crucial role in achieving global climate goals, ensuring food security and promoting sustainable agricultural practises.

Keywords: AWD, rice, water-saving irrigation, greenhouse gases, carbon credit.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lúa (*Oryza sativa* L.) là một trong những cây lương thực quan trọng nhất trên thế giới, cung cấp lương thực cho hơn một nửa dân số

toàn cầu, phần lớn ở khu vực châu Á. Theo FAOSTAT (2024), diện tích sản xuất lúa trên thế giới năm 2022 đạt hơn 165 triệu hecta, năng suất trung bình 4,7 tấn/ha với sản lượng 776,5 triệu tấn. Trong bối cảnh dân số thế giới dự kiến

sẽ đạt khoảng 9 tỷ người vào năm 2050, nhu cầu về lương thực, đặc biệt là lúa gạo, được dự báo sẽ tăng mạnh (Kush, 2013).

Lúa hiện được trồng ở hơn 100 quốc gia trên thế giới, ở nhiều hệ thống canh tác khác nhau. Trong đó, hệ thống lúa nước có tuổi chiếm khoảng 93 triệu hecta, đóng góp hơn 75% tổng sản lượng lúa toàn cầu (GRiSP, 2013), là hệ thống sản xuất lúa lớn nhất và quan trọng nhất. Trong hệ thống này, người nông dân thường duy trì lớp nước từ 3-10cm trong hầu hết thời gian sinh trưởng của cây (IRRI, 2024), giúp kiểm soát cỏ dại và tạo điều kiện thuận lợi cho cây phát triển (Bouman & cs., 2007). Tuy nhiên, phương pháp truyền thống này tiêu tốn rất nhiều nước, ước tính chiếm từ 34-43% tổng lượng nước tưới trong nông nghiệp (GRiSP, 2013). Đây là thách thức lớn trong bối cảnh khan hiếm nước ngày càng gia tăng ở các quốc gia do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu.

Ngoài ra, việc duy trì lớp nước ngập liên tục tạo điều kiện yếm khí trong đất, thúc đẩy vi sinh vật sản sinh CH_4 - một khí nhà kính có hiệu ứng mạnh gấp 25 lần CO_2 trong chu kỳ 100 năm. Mặc dù ruộng lúa phát thải nhiều loại khí nhà kính khác nhau, CH_4 là khí chiếm tỷ lệ lớn nhất. Nghiên cứu của Vo & cs. (2023) chỉ ra rằng CH_4 chiếm đến 98% tổng phát thải khí nhà kính quy đổi từ ruộng lúa, trong khi N_2O chỉ chiếm dưới 2%. Theo Smith & cs. (2021), phát thải CH_4 từ canh tác lúa nước ở khu vực nhiệt đới châu Á chiếm trên 90% lượng phát thải CH_4 trong sản xuất trồng trọt toàn cầu. Tổng lượng CH_4 phát thải toàn cầu năm 2017 ước tính khoảng 596 triệu tấn/năm, trong đó 364-380 triệu tấn do hoạt động con người tạo ra và riêng canh tác lúa đóng góp từ 6-11% lượng này (Nikolaisen & cs., 2023; Jackson & cs., 2020).

Ở Việt Nam, lúa là cây trồng chủ lực, không chỉ đảm bảo an ninh lương thực quốc gia mà còn đóng góp lớn vào xuất khẩu. Năm 2022, diện tích trồng lúa đạt khoảng 7,1 triệu hecta, năng suất trung bình 6,6 tấn/ha và tổng sản lượng hơn 47,1 triệu tấn (Tổng cục Thống kê, 2024). Với diện tích canh tác lúa nước lớn, Việt Nam có mức phát thải CH_4 rất đáng kể. Báo cáo kiểm kê khí nhà kính năm 2020 cho thấy, tổng phát thải

CH_4 của Việt Nam từ ba lĩnh vực chính - nông nghiệp, chất thải và năng lượng - là 98,3 triệu tấn CO_2 tương đương, trong đó, lĩnh vực nông nghiệp, lâm nghiệp và sử dụng đất chiếm 57,75%, riêng canh tác lúa đóng góp 40,44%. Nghiên cứu của Đồng Phú Hảo & cs. (2023) ước tính lượng phát thải CH_4 từ ruộng lúa ở Việt Nam là khoảng 49,7 triệu tấn CO_2 tương đương/năm. Những con số này nhấn mạnh tính cấp thiết của việc áp dụng các biện pháp canh tác tiên tiến nhằm giảm phát thải khí CH_4 trong sản xuất lúa, góp phần vào mục tiêu phát triển nông nghiệp bền vững.

Phát thải khí nhà kính trong canh tác lúa chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như quản lý nước, phân bón, xử lý tàn dư rơm rạ trên đồng ruộng, đặc tính đất, giống lúa và điều kiện khí hậu, trong đó, quản lý nước là yếu tố then chốt (Đinh Quang Hiếu & cs., 2019). Phương pháp tưới tiết kiệm nước, đặc biệt là tưới ướt khô xen kẽ (AWD) đã được chứng minh có thể làm giảm đáng kể phát thải CH_4 trong khi không làm giảm năng suất lúa. AWD tạo điều kiện hiếu khí luân phiên, làm giảm hoạt động của vi khuẩn sinh CH_4 , đồng thời tiết kiệm nước và hỗ trợ cây lúa phát triển hiệu quả hơn. Đây là biện pháp đơn giản, dễ thực hiện, giúp nông nghiệp thích ứng tốt hơn với vấn đề biến đổi khí hậu. Bài báo này tập trung phân tích cơ chế hình thành và phát thải CH_4 trong ruộng lúa, vai trò của quản lý nước và hiệu quả của công nghệ tưới AWD. Thông qua đó, đưa ra các luận cứ khoa học và thực tiễn nhằm thúc đẩy áp dụng rộng rãi kỹ thuật này trong sản xuất, hướng đến mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính và phát triển nông nghiệp bền vững.

2. CƠ CHẾ TỔNG HỢP VÀ PHÁT THẢI KHÍ MÊ-TAN

2.1. Cơ chế tổng hợp khí mê-tan trên đất canh tác lúa nước

Trong canh tác lúa truyền thống, việc duy trì mực nước liên tục trên mặt ruộng đã tạo ra điều kiện yếm khí trong đất, thúc đẩy quá trình tổng hợp CH_4 , một loại khí nhà kính có tiềm năng gây nóng lên toàn cầu cao chỉ sau

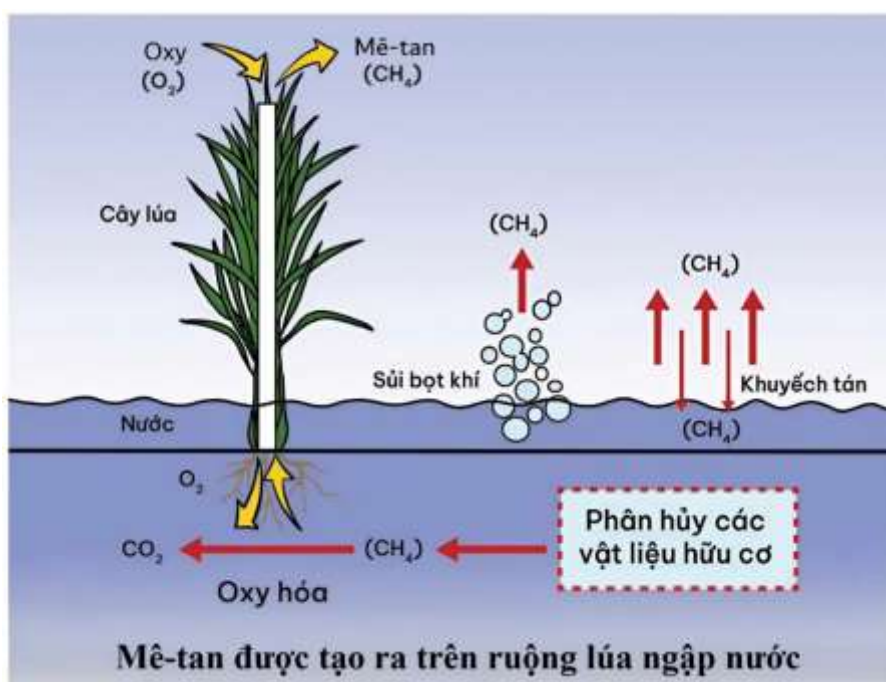
CO₂. Khi tưới ngập, oxy bị đẩy ra khỏi đất và lượng oxy hòa tan trong nước cũng nhanh chóng được sử dụng hết bởi các vi sinh vật, dẫn đến sự gia tăng nồng độ các khí như CO₂, CH₄, H₂ và các axit hữu cơ (Đồng Phú Hảo & cs., 2023). Khí CH₄ được tạo ra từ quá trình phân giải các chất hữu cơ trong đất như phân bón hữu cơ, tàn dư rơm rạ, rễ cây chết, hoặc các chất hữu cơ tiết ra từ rễ trong điều kiện thiếu oxy. Quá trình phân giải này diễn ra theo chuỗi: bắt đầu bằng sự thủy phân các đại phân tử (ví dụ polysaccharides), tiếp theo là quá trình lên men sơ cấp và thứ cấp tạo ra H₂, các hợp chất C₁ hoặc axetat. Những sản phẩm trung gian này sau đó được vi khuẩn sinh mê-tan sử dụng để tạo thành CH₄ (Conrad, 2002).

Vi sinh vật sinh khí mê-tan (methanogenic archaea) chịu trách nhiệm cho giai đoạn cuối của chuỗi phản ứng, chủ yếu sử dụng H₂ + CO₂ và axetat làm cơ chất để tổng hợp CH₄ (Takai, 1970). Toàn bộ quá trình này là phản ứng khử - oxy hóa, trong đó một phân tử hydrocarbon đơn giản bị khử thành CH₄ và phân tử còn lại bị oxy hóa thành CO₂ (Tokida & cs., 2010). Quá trình sinh CH₄ chỉ xảy ra trong điều kiện yếm khí

ngập, vì vi khuẩn sinh CH₄ là nhóm kỵ khí bắt buộc và bị ức chế mạnh bởi sự hiện diện của oxy (Zinder, 1993). Tuy nhiên, mức độ nhạy cảm với oxy có thể khác nhau giữa các loài (Kiener & Leisinger, 1983).

2.2. Con đường phát thải khí mê-tan trên đất canh tác lúa nước

Khí CH₄ hình thành trong đất được phát thải lên khí quyển chủ yếu qua mô khí của cây lúa, chiếm đến hơn 90% tổng lượng phát thải (Minamikawa & cs., 2015) và một phần nhỏ qua hiện tượng sủi bóng khí (Schütz & cs., 1989). Phát thải CH₄ qua bóng khí có thể đóng vai trò chính ở giai đoạn đầu khi cây lúa còn nhỏ (Schütz & cs., 1989) và ở giai đoạn sau trở đến chín, khi hệ thống rễ lúa bị lão hóa, làm giảm khả năng dẫn khí (Tokida & cs., 2013). Mặc dù CH₄ cũng có thể khuếch tán qua bề mặt nước, nhưng con đường này không đáng kể do độ hòa tan và khả năng khuếch tán thấp (Minamikawa & cs., 2015). Hơn nữa, phần lớn CH₄ khuếch tán qua lớp nước mặt thường bị oxy hóa bởi vi khuẩn trước khi phát tán vào khí quyển (Banker & cs., 1995).



Nguồn: GIZ (2023).

Hình 1. Mô phỏng cơ chế hình thành và phát tán khí CH₄ trên ruộng lúa

Quá trình tổng hợp và phát thải CH_4 phụ thuộc vào nhiều yếu tố như đặc tính đất, khí hậu, mùa vụ, kỹ thuật canh tác, chế độ tưới, bón phân, giống lúa, giai đoạn sinh trưởng và quản lý tàn dư thực vật (Đình Quang Hiếu & cs., 2019; Chu Sỹ Huân & cs., 2020; Minamikawa & cs., 2015). Có mối tương quan chặt chẽ giữa lượng CH_4 phát thải và các yếu tố như mực nước ruộng, nhiệt độ đất, độ dẫn điện (Ec), pH và thế oxy hóa khử (Eh). Lượng CH_4 phát thải giảm khi mực nước dưới 5cm và Eh trên 220mV và sẽ tăng lên khi pH dao động từ 6-8 (Lê Xuân Quang, 2017). Nhiều nghiên cứu cho thấy phát thải CH_4 khác nhau giữa các vụ: vụ mùa thường cho lượng phát thải cao hơn vụ xuân (Vo & cs., 2020; Lê Xuân Quang, 2017). Trong vụ xuân, phát thải CH_4 tăng từ giai đoạn bén rễ hồi xanh đến đẻ nhánh, sau đó biến động theo chế độ tưới. Trong khi đó, ở vụ mùa, phát thải đạt đỉnh ở giai đoạn đẻ nhánh - làm đồng rồi giảm dần (Chu Sỹ Huân & cs., 2020). Những thay đổi này liên quan đến mật độ và hoạt động của vi khuẩn sinh khí mê-tan và sinh khối cây (Singh & cs., 2012). Giống ngắn ngày rút ngắn thời gian cây trên đồng ruộng, làm giảm phát thải CH_4 so với giống dài ngày (Chu Sỹ Huân & Mai Văn Trịnh, 2018).

3. TƯỚI ƯỚT KHÔ XEN KÊ TRONG CANH TÁC LÚA

3.1. Kỹ thuật tưới ướt khô xen kẽ

Một trong những giải pháp quan trọng nhằm thích ứng với biến đổi khí hậu và giảm phát thải khí nhà kính trong sản xuất lúa là áp dụng các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước, trong đó nổi bật là tưới ướt khô xen kẽ - AWD. Theo van der Hoek & cs. (2001), duy trì lớp nước liên tục trong suốt mùa vụ là không cần thiết để đạt năng suất cao và nhiều biện pháp tiết kiệm nước đã được nghiên cứu, áp dụng ở các vùng trồng lúa khác nhau. AWD là một phần của hệ thống thâm canh lúa (SRI), trong đó cây mạ được cấy sớm, cấy thưa và ruộng được giữ ẩm thay vì luôn ngập nước (Satyanarayana & cs., 2006). IRRI đã phát triển đầy đủ nguyên tắc kỹ thuật AWD, theo đó nước chỉ được tưới trở lại

khi mực nước trong ruộng giảm xuống khoảng -15cm, tuy nhiên cần duy trì lớp nước 5cm một tuần trước và sau trở để đảm bảo cây không bị căng thẳng do thiếu nước (IRRI, 2024). AWD đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia châu Á như Ấn Độ, Philippines, Bangladesh và Việt Nam do kỹ thuật đơn giản, chi phí thấp và hiệu quả cao (Mallareddy & cs., 2023).

Tại Việt Nam, AWD được giới thiệu từ năm 2005-2006 trong chương trình “Ba giảm, ba tăng” do IRRI phối hợp với Cục Bảo vệ thực vật triển khai tại Đồng bằng sông Cửu Long và tiếp tục được nhân rộng thông qua chương trình “Một phải, năm giảm” từ năm 2009 (Lovell, 2019). Việc triển khai tưới AWD ở Việt Nam được đánh giá là thuận lợi bởi: (1) Các hợp tác xã được tổ chức tốt, dễ đào tạo và tập huấn kỹ thuật; (2) Mô hình cánh đồng mẫu lớn giúp canh tác đồng bộ; (3) Hệ thống tưới tiêu được đầu tư và quản lý tập trung, thuận lợi cho điều chỉnh lịch tưới tiêu (Lampayan & cs., 2015). Tuy nhiên, diện tích áp dụng AWD ở Việt Nam vẫn còn hạn chế so với tiềm năng. Gần đây, việc giảm phát thải và hướng đến tạo tín chỉ các-bon trên lúa được quan tâm nhiều hơn và một số địa phương đã thúc đẩy nhân rộng kỹ thuật này trong sản xuất.

Tuy vậy, lúa là cây trồng rất nhạy cảm với khô hạn. Việc rút nước không hợp lý có thể làm giảm khả năng hấp thụ dinh dưỡng, ảnh hưởng đến sinh trưởng và năng suất. Do đó, độ sâu và thời gian rút nước trong kỹ thuật AWD cần được điều chỉnh tùy theo điều kiện đất đai, mùa vụ và giống lúa. Các nghiên cứu cho thấy mức rút nước an toàn dao động từ 5-15cm dưới bề mặt đất (Lampayan & cs., 2015; Kumar & Rajitha, 2019) và nên áp dụng ở giai đoạn lúa đẻ nhánh, giúp kích thích sự phát triển hệ rễ, tăng khả năng đẻ nhánh, số bông và năng suất hạt (Sriphirom & cs., 2019; Adhya & cs., 2014).

3.2. Vai trò của kỹ thuật tưới ướt khô xen kẽ trong việc giảm phát thải

Trước bối cảnh biến đổi khí hậu và nguy cơ mất an ninh lương thực toàn cầu, việc áp dụng các biện pháp canh tác giảm phát thải ngày

càng trở nên cấp thiết. Bên cạnh các giải pháp như hệ thống thâm canh lúa SRI, sử dụng than sinh học và phân bón cải tiến, AWD được xem là một giải pháp hiệu quả nhằm giảm phát thải CH_4 trong sản xuất lúa, đồng thời nâng cao hiệu quả kinh tế (Islam & cs., 2020). AWD làm giảm phát thải CH_4 bằng cách tăng nồng độ oxy trong đất trong thời gian phơi khô ruộng và tạo môi trường hiếu khí. Điều này giúp ức chế các vi khuẩn kỵ khí, bao gồm vi khuẩn sinh mê-tan - tác nhân chính sản sinh CH_4 - đồng thời thúc đẩy quá trình oxy hóa CH_4 và tăng nồng độ các chất oxy hóa như sunfat và sắt, từ đó làm chậm quá trình tổng hợp CH_4 khi ruộng được tưới trở lại (Sripirom & cs., 2019).

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả giảm phát thải CH_4 đáng kể của AWD, đặc biệt vào mùa khô. Tại Myanmar, AWD giúp giảm đến 70% phát thải CH_4 trong mùa khô và 66% trong mùa mưa (Win & cs., 2021). Nghiên cứu của Islam & cs. (2022) ở Bangladesh cũng cho thấy việc áp dụng AWD làm giảm lượng khí nhà kính đến 28%. Tại Colombia, hai phương pháp xử lý AWD với mực nước trong ruộng giảm dưới 5cm và 10cm so với bề mặt đất đều làm giảm phát thải CH_4 từ 72-100% (Loaiza & cs., 2024). Trong điều kiện sản xuất tại Philippines, Sander & cs. (2020) ghi nhận AWD giúp giảm phát thải CH_4 đến 73% trong mùa khô và 21% vào mùa mưa so với tưới ngập truyền thống.



Hình 2. Ruộng lúa tưới ướt khô xen kẽ (Ảnh: Vũ Duy Hoàng)



Hình 3. Theo dõi mực nước trên ruộng tưới AWD (Ảnh: Vũ Duy Hoàng)

Ở Việt Nam, hiệu quả tương tự cũng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu. Mô hình AWD kết hợp với quản lý phân đạm bằng bảng so màu lá tại An Giang giúp giảm phát thải CH_4 từ 19-31% so với đối chứng tưới ngập liên tục, bón nhiều phân và sạ dày (Huỳnh Quang Tín & cs., 2012). Áp dụng AWD tại Tiền Giang giảm phát thải 5,9 tấn CO_2 quy đổi/ha/vụ (Huỳnh Quang Tín & cs., 2015). Việc tích hợp AWD với phân bón hợp lý và quản lý rơm rạ giúp giảm tới 10,2 tấn CO_2 quy đổi/ha/năm (Nguyễn Thị Ngọc Anh, 2019). Nghiên cứu của Vũ Duy Hoàng (2024) cho thấy mức giảm CH_4 cao hơn ở lúa cấy so với gieo sạ khi áp dụng AWD.

Tuy nhiên, AWD cũng có thể làm tăng phát thải nitơ oxit (N_2O) - một khí nhà kính có tiềm năng gây nóng lên toàn cầu cao gấp hàng trăm lần CO_2 . N_2O được sinh ra trong điều kiện đất hiếu khí do hoạt động khử nitrat của vi khuẩn (Sander & cs., 2020), đặc biệt khi đất được để khô rồi ngập trở lại (Balaine & cs., 2019). Lagomarsino & cs. (2016) chỉ ra rằng áp dụng AWD làm giảm 97% lượng phát thải CH_4 nhưng lại tăng phát thải N_2O đến năm lần. Nghiên cứu của Islam & cs. (2018) cũng cho thấy AWD làm giảm lượng phát thải CH_4 theo mùa nhưng làm tăng 23% lượng phát thải N_2O . Tuy vậy, N_2O thường chỉ chiếm dưới 5% tổng phát thải khí nhà kính từ ruộng lúa (Islam & cs., 2020) và lượng phát thải N_2O tăng có thể được bù đắp bởi mức giảm CH_4 , kết quả là chỉ số nóng lên toàn cầu vẫn giảm đáng kể 5-27% (Tran & cs., 2018; Sriphirom & cs., 2019; Win & cs., 2021; Islam & cs., 2022). Do đó, AWD vẫn được đánh giá là một biện pháp hữu hiệu trong chiến lược giảm phát thải khí nhà kính trong canh tác lúa.

3.3. Lợi ích của công nghệ tưới ướt khô xen kẽ với người sản xuất

Bên cạnh khả năng giảm đáng kể phát thải CH_4 , AWD còn mang lại nhiều lợi ích thiết thực cho người sản xuất lúa như tiết kiệm nước tưới, kích thích sinh trưởng cây trồng, giảm sâu bệnh, tăng khả năng chống đổ, nâng cao hoạt động của sinh vật đất, qua đó góp phần tăng năng suất và cải thiện chất lượng gạo. Nhiều

nghiên cứu đã chứng minh AWD làm giảm đáng kể lượng nước sử dụng trong sản xuất lúa trong khi vẫn duy trì hoặc thậm chí tăng năng suất hạt so với ngập liên tục. Nghiên cứu ở 8 quốc gia châu Á cho thấy AWD có thể giảm tới 38% lượng nước tưới mà không ảnh hưởng đến năng suất nếu áp dụng đúng kỹ thuật. Đồng thời chi phí bơm nước và tiêu thụ nhiên liệu cũng giảm, giúp tăng thu nhập của nông dân đến 38% ở Bangladesh, 32% ở Philippines và 17% ở Việt Nam (Lampayan & cs., 2015). AWD cũng đã được báo cáo làm giảm lượng nước tưới từ 15-30% so với hệ thống canh tác thông thường (Chapagain & Yamaji, 2010; Mallareddy & cs., 2023). Trong một số trường hợp, mức tiết kiệm nước có thể lên tới 70% (Lagomarsino & cs., 2016). Yang & cs. (2017) chỉ ra rằng AWD tăng năng suất từ 6,1-15,2% và giảm 23,4-42,6% lượng nước tưới, giúp tăng hiệu suất sử dụng nước từ 27-51%. Schneider & cs. (2019) cũng chứng minh AWD có thể giảm mạnh nhu cầu nước và tăng lượng nước khả dụng tới 50% trong hệ thống tưới. Tùy thuộc mùa vụ, điều kiện thời tiết, loại đất và giai đoạn áp dụng, AWD có thể giảm tổng lượng nước từ 25-70% (Ishfaq & cs., 2020a). Win & cs. (2021) cho thấy AWD tiết kiệm 10% nước vào mùa khô và 19% vào mùa mưa. AWD giảm được ba lần bơm tưới và tiết kiệm 22% lượng nước tưới vụ hè thu (Tô Lan Phương & cs., 2012). Trong bối cảnh khan hiếm nước ngọt đang ngày càng trở nên nghiêm trọng và nhiều quốc gia được dự báo sẽ thiếu nước trong tương lai (Baggio & cs., 2021), khả năng tiết kiệm nước của AWD đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo sản xuất lúa bền vững.

AWD cũng được chứng minh thúc đẩy sinh trưởng cây lúa, giảm sâu bệnh, từ đó nâng cao năng suất. Cơ chế chính là thông qua điều tiết hormone, hạn chế sinh trưởng sinh dưỡng quá mức, cải thiện cấu trúc tán, tăng sinh khối rễ và chuyển hóa các-bon vào hạt hiệu quả hơn (Yang & cs., 2017). AWD cũng làm tăng số nhánh, số bông, sinh khối và khả năng chống đổ, điều này đặc biệt hữu ích ở các vùng nhiệt đới thường gặp gió mùa và mưa giông vào giai đoạn thu hoạch (Vũ Duy Hoàng, 2024). Về kiểm soát sâu bệnh, AWD giúp hạn chế sự phát triển của sâu cuốn lá

và bệnh cháy lá non (Chapagain & Yamaji, 2010). Ishfaq & cs. (2020b) báo cáo AWD có thể giảm tới 92% sâu hại và 100% bệnh hại. Huỳnh Quang Tín & cs. (2015) cho thấy cây lúa tưới theo AWD có thân chắc khỏe hơn, ít sâu bệnh, năng suất và lợi nhuận tăng lần lượt 11% và 29%. Kết hợp AWD với bón phân đạm theo bảng so màu lá cho năng suất tăng thêm 0,6-0,9 tấn/ha. IRRI và các chuyên gia nông học cũng đánh giá cao AWD nhờ khả năng tăng số bông hữu hiệu và khả năng chống đổ, từ đó nâng cao năng suất (Đồng Phú Hảo & cs., 2023). Tuy nhiên, ảnh hưởng của AWD đến năng suất còn phụ thuộc vào mùa vụ, loại đất, giống và biện pháp quản lý nước (Sriphirom & cs., 2019; Yang & cs., 2017), do đó, cần có thêm các nghiên cứu để cải thiện hiệu quả của AWD trong các điều kiện cụ thể.

Một số nghiên cứu đã chỉ ra vai trò của AWD làm tăng chất lượng gạo, giảm độ bạc bụng của hạt (40%), tăng tỷ lệ gạo nguyên (6%) và tăng hàm lượng vi chất như Zn, Mn, Cu (Ishfaq & cs., 2020a; Wang & cs., 2014; Norton & cs., 2017). Đồng thời, AWD giúp giảm tích lũy asen và thủy ngân trong hạt gạo (Das & cs., 2016; Ishfaq & cs., 2021). Ngoài ra, AWD còn làm tăng axit amin và axit phenolic, giảm lipid và ankaloit (Song & cs., 2021), đồng thời giảm hàm lượng amylose (15%) và amylopectin (6%) (Ishfaq & cs., 2021), góp phần nâng cao giá trị dinh dưỡng và cảm quan của gạo.

Ngoài ra, AWD tạo điều kiện hiếu khí luân phiên, thúc đẩy hoạt động của sinh vật đất như giun đất, vi sinh vật và động vật không xương sống, từ đó cải thiện các chu trình dinh dưỡng và tăng độ phì của đất (Vu Duy Hoang, 2024; Sahu & cs., 2023). Cao & cs. (2022) cho biết AWD làm tăng hàm lượng oxy hòa tan trong đất, kích thích sự phát triển của vi khuẩn và enzyme chuyển hóa đạm. AWD còn làm tăng hoạt động của vi khuẩn Gram âm và nấm cũng như tỷ lệ nấm : vi khuẩn trong vùng rễ, một chỉ thị sinh học quan trọng phản ánh sức khỏe hệ sinh thái đất và khả năng hỗ trợ sinh trưởng cây trồng.

Bên cạnh những lợi ích trên, việc giảm phát thải CH₄ thông qua áp dụng AWD có thể được

chuyển đổi thành tín chỉ các-bon, một nguồn thu nhập bổ sung tiềm năng cho người sản xuất khi tham gia thị trường tín chỉ các-bon (Vu Duy Hoang, 2024; Sriphirom & Rossopa, 2023). Đây là bước đi tiềm năng góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng 0, đồng thời tạo động lực thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi kỹ thuật AWD trong canh tác lúa.

4. KẾT LUẬN

AWD là một kỹ thuật tưới đầy tiềm năng để giảm phát thải khí nhà kính và tiết kiệm nước mà không làm giảm, thậm chí cải thiện năng suất và chất lượng gạo. Tuy nhiên, hiệu quả của AWD tùy thuộc vào khí hậu, mùa vụ, đặc điểm đất và các biện pháp quản lý canh tác. Do vậy, để đạt mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính và đưa phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050, Việt Nam cần đẩy mạnh mở rộng áp dụng các kỹ thuật quản lý nước tiết kiệm như AWD, đồng thời tiếp tục triển khai các nghiên cứu thực nghiệm trên nhiều vùng sinh thái khác nhau nhằm tối ưu hoá hiệu quả kinh tế và môi trường trong sản xuất lúa, góp phần phát triển nông nghiệp bền vững. Việc giảm phát thải CH₄ và tích hợp cơ chế tín chỉ các-bon không chỉ góp phần vào nỗ lực quốc gia về khí hậu mà còn có thể tạo thêm nguồn thu nhập cho người sản xuất lúa, từ đó khuyến khích họ chủ động áp dụng công nghệ tưới tiết kiệm nước, góp phần nhân rộng diện tích áp dụng công nghệ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Adhya T., Linquist B., Searchinger T., Wasmann R. & Yan X. (2014). Wetting and drying: reducing greenhouse gas emissions and saving water from rice production. Working Paper, Installment 8 of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute.
- Baggio G., Qadir M. & Smakhtin V. (2021). Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs. *Science of The Total Environment*. 792: 148230. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148230>.
- Balaine N., Carrijo D.R., Adviento-Borbe M.A. & Linquist B. (2019). Greenhouse gases from irrigated rice systems under varying severity of alternate-

- wetting and drying irrigation. *Soil Science Society of America Journal*. 83: 1533-1541.
- Banker B.C., Kludze H.K., Alford D.P., Delaune R.D., Lindau C.W. (1995). Methane sources and sinks in paddy rice soils: Relationship to emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 53: 243-251.
- Bouman B.A.M., Humphreys E., Tuong T.P. & Barker R. (2007). Rice and water. *In: Sparks D.L. (Eds.). Advances in Agronomy*. Academic Press. pp. 187-237.
- Cao X., Zhang J., Yu Y., Ma Q., Kong Y., Pan W., Wu L. & Jin Q. (2022). Alternate wetting-drying enhances soil nitrogen availability by altering organic nitrogen partitioning in rice-microbe system. *Geoderma*. 424: 115993. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115993>.
- Chapagain T. & Yamaji E. (2010). The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and Water Environment*. 8: 81-90.
- Chu Sỹ Huân, Mai Văn Trinh, Cao Việt Hà, Bùi Thị Phương Loan, Vũ Thị Hằng, Đinh Quang Hiếu, Đào Thị Minh Trang & Bùi Thị Thu Trang (2020). Nghiên cứu phát thải khí nhà kính trên đất trồng lúa tỉnh Thái Bình. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 18(2): 113-122.
- Chu Sỹ Huân & Mai Văn Trinh (2018). Nghiên cứu khả năng giảm phát thải khí nhà kính ruộng lúa theo một số biện pháp canh tác tại Thái Bình. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*. 9(94): 83-90.
- Conrad R. (2002). Control of microbial methane production in wetland rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 64: 59-69.
- Das S., Chou M.L., Jean J.S., Liu C.C. & Yang H.J. (2016). Water management impacts on arsenic behavior and rhizosphere bacterial communities and activities in a rice agro-ecosystem. *Science of the Total Environment*. 542: 642-652.
- Đinh Quang Hiếu, Bùi Thị Phương Loan, Cao Hương Giang, Nguyễn Thị Hoài Thu, Dương Linh Phương & Phạm Thị Minh Ngọc (2019). Phát thải khí nhà kính từ mô hình canh tác lúa thông minh (CSA) thích ứng với biến đổi khí hậu trên đất canh tác một vụ lúa tại tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*. 9(106): 112-2120.
- Đồng Phú Hào, Nguyễn Thanh Bình & Lê Hoàng Anh (2023). Phát thải khí metan (CH₄) trong sản xuất lúa nước tại Việt Nam: hiện trạng và giải pháp. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*. 39: 28-41.
- FAOSTAT (2024). Crops and livestock products. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> on Sep 20, 2024.
- GRiSP (2013). Rice almanac: source book for one of the most economic activities on Earth., 4th ed. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines.
- Huỳnh Quang Tín, Nguyễn Hồng Cúc, Nguyễn Văn Sánh, Nguyễn Việt Anh, Jane Hughes, Trịnh Thị Hòa & Trần Thu Hòa (2012). Canh tác lúa ít khí thải nhà kính tỉnh An Giang vụ đông xuân 2010-2011. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 23a: 31-41.
- Huỳnh Quang Tín, Trần Thị Huyền Trang, Võ Văn Bình, Trần Kim Tính & Nguyễn Văn Sánh (2015). Ảnh hưởng của kỹ thuật tưới đến năng suất và phát thải methane (CH₄) trong sản xuất lúa tại Gò Công Tây, Tiền Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 38: 55-63.
- IRRI (2024). Saving Water with Alternate Wetting Drying (AWD). Retrieved from <http://www.knowledgebank.irri.org> on Sep 16, 2024.
- Ishfaq M., Farooq M., Zulfiqar U., Hussain S., Akbar N., Nawaz A. & Anjum S.A. (2020a). Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system. *Agricultural Water Management*. 241: 106363. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106363>.
- Ishfaq M., Akbar N., Anjum S.A. & Anwar-Ijl-Haq M. (2020b). Growth, yield and water productivity of dry direct seeded rice and transplanted aromatic rice under different irrigation management regimes. *Journal of Integrative Agriculture*. 19: 2656-2673.
- Ishfaq M., Akbar N., Zulfiqar U., Ali N., Ahmad M., Anjum S.A. & Farooq M. (2021). Influence of water management techniques on milling recovery, grain quality and mercury uptake in different rice production systems. *Agricultural Water Management*. 243: 106500. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106500>.
- Islam S.F., van Groenigen J.W., Jensen L.S., Sander B.O. & de Neergaard A. (2018). The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage. *Science of The Total Environment*. 612: 1329-1339.
- Islam S.M.M., Gaihre Y.K., Islam M.R., Akter M., Mahmud A.A., Singh U. & Sander B.O. (2020). Effects of water management on greenhouse gas emissions from farmers' rice fields in Bangladesh. *Science of The Total Environment*. 734: 139382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139382>.
- Islam S.M., Gaihre Y.K., Islam M.R., Ahmed M.N., Akter M., Singh U. & Sander B.O. (2022). Mitigating greenhouse gas emissions from irrigated rice cultivation through improved fertilizer and water management. *Journal of Environmental*

- Management. 307: 114520. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114520>.
- Jackson R.B., Saunio M., Bousquet P., Canadell J.G., Poulter B., Stavert A.R., Bergamaschi P., Niwa Y., Segers A. & Tsuruta A. (2020). Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environmental Research Letters*. 15: 071002.
- Kiener A., Leisinger T. (1983). Oxygen sensitivity of methanogenic bacteria. *Systematic and Applied Microbiology*. 4: 305-312.
- Kumar K.A. & Rajitha G. (2019). Alternate wetting and drying (AWD) irrigation - A smart water saving technology for rice: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8: 2561-2571.
- Kush G.S. (2013). Strategies for increasing the yield potential of cereals: case of rice as an example. *Plant Breeding*. 132: 433-436.
- Lagomarsino A., Agnelli A., Linquist B., Adviento-Borbe M.A.A., Agnelli A., Gavina G., Ravaglia S. & Ferrara M. (2016). Alternate wetting and drying of rice reduced CH₄ but triggered N₂O peaks in a clayey soil of central Italy. *Pedosphere*. 26: 533-548.
- Lampayan R.M., Rejesus R.M., Singleton G.R. & Bouman B.A.M. (2015). Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*. 170: 95-108.
- Lê Xuân Quang (2017). Kết quả nghiên cứu quản lý nước ruộng lúa giảm phát thải khí nhà kính (CH₄) trong vụ chiêm xuân và hè thu năm 2015 vùng ĐBSH. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi*. 38: 1-9.
- Loaiza S., Verchot L., Valencia D., Guzman P., Amezcua N., Garces G., Puentes O., Trujillo C., Chirinda N. & Pittelkow C.M. (2024). Evaluating greenhouse gas mitigation through alternate wetting and drying irrigation in Colombian rice production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 360: 108787. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108787>.
- Lovell R.J. (2019). Identifying Alternative Wetting and Drying (AWD) adoption in the Vietnamese Mekong River Delta: A change detection approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 8: 312.
- Lưu Thế Anh, Hoàng Thị Thu Duyên, Đinh Mai Vân, Đặng Thị Thanh Nga & Hoàng Quốc Nam (2020). Đánh giá lượng phát thải khí CH₄ trong canh tác lúa nước tại tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*. 62(6): 7-12.
- Mallareddy M., Thirumalaikumar R., Balasubramanian P., Naseeruddin R., Nithya N., Mariadoss A., Eazhilkrishna N., Choudhary A.K. & Deiveegan M. (2023). Maximizing water use efficiency in rice farming: A comprehensive review of innovative irrigation management technologies. *Water*. 15: 1802. <https://doi.org/10.3390/w15101802>.
- Minamikawa K., Tokid T., Sudo S., Padre A. & Yagi K. (2015). Guidelines for measuring CH₄ and N₂O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method. National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan.
- Nguyễn Thị Ngọc Anh (2019). Tiềm năng giảm phát thải khí nhà kính thông qua thay đổi nhận thức và hành vi của người nông dân về việc áp dụng các tiến bộ kỹ thuật trong trồng lúa tại ô bao thủy lợi xã Vị Thanh, huyện Vị Thủy, tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*. 55: 1-7.
- Nikolaisen M., Hillier J., Smith P. & Nayak D. (2023). Modelling CH₄ emission from rice ecosystem: A comparison between existing empirical models. *Frontiers in Agronomy*. 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.1058649>.
- Norton G.J., Shafaei M., Travis A.J., Deacon C.M., Danku J., Pond D., Cochrane N., Lockhart K., Salt D., Zhang H., Dodd I.C., Hossain M., Islam M.R. & Price A.H. (2017). Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. *Field Crops Research*. 205: 1-13.
- Sahu R., Chaurasiya A., Kumar R. & Sohane R.K. (2023). Alternate wetting and drying technology for rice production. *Indian Farming*. 73: 11-13.
- Sander B.O., Schneider P., Romasanta R., Samoy-Pascual K., Sibayan E.B., Asis C.A. & Wassmann R. (2020). Potential of alternate wetting and drying irrigation practices for the mitigation of GHG emissions from rice fields: Two cases in Central Luzon (Philippines). *Agriculture*. 10: 350. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080350>.
- Satyanarayana A., Thiagarajan T. M. & Uphoff N. (2006). Opportunities for water saving with higher yield from the system of rice intensification. *Irrigation Science*. 25: 99-115.
- Schneider P., Sander B. O., Wassmann R. & Asch F. (2019). Potential and versatility of WEAP model (Water Evaluation and Planning System) for hydrological assessments of AWD (Alternate Wetting and Drying) in irrigated rice. *Agricultural Water Management*. 224: 105559.
- Schütz H., Seiler W. & Conrad R. (1989). Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry*. 7: 33-53.
- Smith P., Reay D. & Smith J. (2021). Agricultural methane emissions and the potential for mitigation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 379: 20200451.

- Song T., Das D., Zhu F., Chen X., Chen M., Yang F. & Zhang J. (2021). Effect of Alternate Wetting and Drying irrigation on the nutritional qualities of milled rice. *Frontiers in Plant Science*. 12: 721160. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.721160>.
- Sriphirom P., Chidthaisong A. & Towprayoon S. (2019). Effect of alternate wetting and drying water management on rice cultivation with low emissions and low water used during wet and dry season. *Journal of Cleaner Production*. 223: 980-988.
- Sriphirom P. & Rossopa B. (2023). Assessment of greenhouse gas mitigation from rice cultivation using alternate wetting and drying and rice straw biochar in Thailand. *Agricultural Water Management*. 290: 108586.
- Singh A., Singh R.S., Upadhyay S.N., Joshi C.G., Tripathi A.K. & Dubey S.K. (2012). Community structure of methanogenic archaea and methane production associated with compost-treated tropical rice-field soil. *FEMS Microbiology Ecology*. 82: 118-134.
- Takai Y. (1970). The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Science and Plant Nutrition*. 16: 238-244.
- Tokida T., Cheng W., Adachi M., Matsunami T., Nakamura H., Okada M. & Hasegawa T. (2013). The contribution of entrapped gas bubbles to the soil methane pool and their role in methane emission from rice paddy soil in free-air [CO₂] enrichment and soil warming experiments. *Plant and Soil*. 364: 131-143.
- Tokida T., Fumoto T., Cheng W., Matsunami T., Adachi M., Katayanagi N., Matsushima M., Okawara Y., Nakamura H., Okada M., Sameshima R. & Hasegawa T. (2010). Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) and soil warming on CH₄ emission from a rice paddy field: impact assessment and stoichiometric evaluation. *Biogeosciences*. 7: 2639-2653.
- Tô Lan Phương, Trần Minh Hải, Nguyễn Kim Chung & Đặng Kiều Nhân (2012). Ảnh hưởng của phân biogro, phương pháp tưới tiết kiệm nước đến năng suất và phát thải khí nhà kính trên ruộng lúa. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*. 22: 8-16.
- Tổng cục Thống kê (2024). Tình hình kinh tế năm 2024. Truy cập từ <https://www.gso.gov.vn/> ngày 16/9/2024.
- Tran D.H., Hoang T.N., Tokida T., Tirol-Padre A. & Minamikawa K. (2018). Impacts of alternate wetting and drying on greenhouse gas emission from paddy field in Central Vietnam. *Soil Science and Plant Nutrition*. 64: 14-22.
- van der Hoek W., Sakthivadivel R., Renshaw M., Silver J.B., Birley M.H. & Konradsen F. (2001). Alternate wet/dry irrigation in rice cultivation: a practical way to save water and control malaria and Japanese encephalitis? International Water Management Institute.
- Vo T.B.T., Wassmann R., Mai V.T., Vu D.Q., Bui T.P.L., Vu T.H., Dinh Q.H., Yen B.T., Asch F. & Sander B.O. (2020). Methane emission factors from Vietnamese rice production: pooling data of 36 field sites for Meta-Analysis. *Climate*. 8: 74.
- Vo T.B.T., Johnson K., Wassmann R., Sander B.O. & Asch F. (2023). Varietal effects on Greenhouse Gas emissions from rice production systems under different water management in the Vietnamese Mekong Delta. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 210: e12669.
- Vũ Duy Hoàng (2024). Water-saving irrigated rice cultivation promotes rice plant growth and improves farmers' income. Tropentag, hybrid conference: Exploring opportunities ... for managing natural resources and a better life for all. September 11-13, 2024, hybrid conference. BOKU university, Vienna, Austria. 410
- Wang Y.Y., Wei Y.Y., Dong L.X., Lu L.L., Feng Y., Zhang J., Pan F.S. & Yang X.E. (2014). Improved yield and Zn accumulation for rice grain by Zn fertilization and optimized water management. *Journal of Zhejiang University-Science B*. 15: 365-374.
- Win E.P., Win K.K., Bellingrath-Kimura S.D. & Oo A.Z. (2021). Influence of rice varieties, organic manure and water management on greenhouse gas emissions from paddy rice soils. *PLoS One*. 16: e0253755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253755>.
- Yang J., Zhou Q. & Zhang J. (2017). Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *The Crop Journal*. 5: 151-158.
- Zinder S.H. (1993). Physiological ecology of methanogens. In: Ferry J.G. (Eds). *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics*. Chapman & Hall, New York. pp. 128-206.