



DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.207

MỘT SỐ BIỆN PHÁP QUẢN LÝ GIẢM THIỂU PHÁT THẢI KHÍ N₂O TRONG TRỒNG TRỌT

Trần Quang Đệ^{1*}, Nguyễn Cường Quốc¹, Nguyễn Trọng Tuân¹ và Trần Thanh Mến²

¹Bộ môn Hoá học, Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²Bộ môn Sinh học, Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Trần Quang Đệ (email: tqde@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 13/09/2022

Ngày nhận bài sửa: 30/09/2022

Ngày duyệt đăng: 17/10/2022

Title:

Management methods to alleviate N₂O greenhouse gas Emissions from crop fields

Từ khóa:

Hoạt động nông nghiệp, khí nhà kính, phát thải, phát triển bền vững, sản sinh N₂O

Keywords:

Agricultural activities, emission, green house gas, N₂O production, sustainable development

ABSTRACT

The concentration of greenhouse gases in the atmosphere has been increasing since the beginning of the industrial revolution. Nitrous oxide (N₂O) is one of the mightiest greenhouse gases, and agriculture is one of the main sources of N₂O emissions. In this report, we discussed the mechanisms triggering N₂O emissions and the role of agricultural practices in their mitigation. The amount of N₂O produced from the soil through the combined processes of nitrification and denitrification is profoundly influenced by temperature, moisture, carbon, nitrogen and oxygen contents. These factors can be manipulated to a significant extent through field management practices, influencing N₂O emission. The relationships between N₂O occurrence and factors regulating it are an important premise for devising mitigation strategies. Acting on N supply (fertilizer type, dose, time, method, etc.) is the most straightforward way to achieve significant N₂O reductions without compromising crop yields. Besides, crop management (tillage, irrigation, rotation, etc.) to principles of good agricultural practices is also advisable, as it can fetch significant N₂O abatement.

TÓM TẮT

Nồng độ khí nhà kính trong khí quyển ngày càng tăng kể từ khi bắt đầu cuộc cách mạng công nghiệp. Nitrous oxide (N₂O) là một trong những khí nhà kính mạnh nhất, và nông nghiệp là một trong những nguồn phát thải N₂O chính. Trong bài viết này, một số cơ chế gây ra phát thải N₂O và vai trò của các hoạt động nông nghiệp trong việc giảm thiểu chúng được thảo luận. Lượng N₂O được tạo ra từ đất thông qua các quá trình kết hợp của sự nitrat hóa và khử nitrat hóa do nhiều yếu tố tác động như nhiệt độ, độ ẩm, hàm lượng carbon, nitrogen và oxy. Các yếu tố này có thể được điều chỉnh ở một mức độ nào đó thông qua các hoạt động quản lý thực hành và sẽ ảnh hưởng đến phát thải N₂O. Mối quan hệ giữa sự sản sinh N₂O và các yếu tố điều chỉnh là tiền đề quan trọng để đề ra các chiến lược giảm thiểu. Dựa vào nguồn cung cấp phân đạm N (loại phân bón, liều lượng, thời gian, phương pháp,...) là cách đơn giản nhất để đạt được mức giảm N₂O đáng kể mà không ảnh hưởng đến năng suất cây trồng. Bên cạnh đó, việc điều chỉnh quản lý cây trồng (làm đất, tưới tiêu, luân canh,...) theo các nguyên tắc thực hành sản xuất nông nghiệp tốt cũng được khuyến khích, vì có thể làm giảm đáng kể sự phát thải khí N₂O.

1. GIỚI THIỆU

Lượng khí nhà kính (KNK) tập trung trong bầu khí quyển trái đất đã tăng gấp nhiều lần kể từ sau Cách mạng công nghiệp. Sự hiện diện của KNK đã tạo thành chiếc bẫy hấp thụ năng lượng mặt trời và làm nóng trái đất. Những hoạt động của con người hiện đang thải ra lượng khí đủ để làm tăng nồng độ khí lên mức cao hơn so với mức vốn được duy trì trong hàng trăm ngàn năm. Mật độ khí tăng làm thay đổi cân bằng bức xạ mặt trời vào và ra khỏi bầu khí quyển, và hệ quả là làm thay đổi thời tiết trên trái đất.

KNK trong bầu khí quyển cho phép bức xạ mặt trời có bước sóng ngắn vượt qua dễ dàng và tiếp xúc với bề mặt trái đất. Tuy vậy, một khi bức xạ bị hấp thụ bởi Trái đất và phát xạ lại với bước sóng dài hơn, KNK giữ nó lại và trở thành bẫy nhiệt trong khí quyển. Các loại KNK đã được biết đến, tính đến thời điểm hiện nay bao gồm carbonic (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) và một số hợp chất nhất định của flo như chlorofluorocarbons (CFC), hydrochlorofluorocarbons (HCFC), hydrofluorocarbons (HFC), perchlorofluorocarbons (PFC), và sulfur hexafluoride (SF_6). Những loại khí này đã tồn tại trong khí quyển từ hàng chục tới hàng ngàn năm nay và thường bị hòa lẫn vào nhau, gây hiệu ứng nóng lên ở cấp độ toàn cầu. Theo báo cáo đánh giá lần thứ sáu của Ủy ban Liên Chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC), năm 2019, lượng khí thải CO_2 là $45 \pm 5,5 \text{ GtCO}_2$, CH_4 $11 \pm 3,2 \text{ GtCO}_2\text{eq}$, N_2O $2,7 \pm 1,6 \text{ GtCO}_2\text{eq}$ và khí flo (F: HFCs, PFC, SF_6 , NF_3) $1,4 \pm 0,41 \text{ GtCO}_2\text{eq}$. So với năm 1990, mức độ và tốc độ của những sự gia tăng này khác nhau giữa các loại khí: CO_2 từ nhiên liệu hóa thạch và công nghiệp (FFI) tăng $15,0 \text{ GtCO}_2\text{eqyr}^{-1}$ (67%), CH_4 tăng $2,4 \text{ GtCO}_2\text{eqyr}^{-1}$ (29%), khí F bằng $0,97 \text{ GtCO}_2\text{eqyr}^{-1}$ (250%), N_2O bằng $0,65 \text{ GtCO}_2\text{eqyr}^{-1}$ (33%) (IPCC, 2021). Trong đó, khí N_2O chiếm một phần đáng kể trong các nguyên nhân chính gây nên sự biến đổi khí hậu.

Việt Nam là một quốc gia nông nghiệp với diện tích tự nhiên trên đất liền là 33,1 triệu ha, đứng thứ 65 trên thế giới. Đất nông nghiệp ở Việt Nam là 27,3 triệu ha, trong đó 42,2% là đất sản xuất nông nghiệp, 54,7% là đất lâm nghiệp và ~ 3% là diện tích mặt nước để nuôi trồng thủy sản (Lâm, 2020).

Việt Nam được chia thành 7 vùng sinh thái nông nghiệp từ Bắc vào Nam. Mỗi vùng sinh thái đều có lợi thế riêng và tập trung vào một số mặt hàng chủ lực như nuôi trồng thủy sản, cây ăn quả, rau, hoa, vật nuôi hoặc cây công nghiệp. Sản xuất trồng trọt đang phát triển khắp cả nước với quy mô khác nhau

giữa các vùng. Cùng với đó là nhu cầu tăng cao về phân bón và hóa chất bảo vệ thực vật.

Một nghiên cứu gần đây cho thấy ở Việt Nam có sự phát triển song song giữa sản xuất lúa gạo và việc sử dụng các hoạt chất của thuốc bảo vệ thực vật trong 30 năm qua (Nguyen, 2017). Điều này cũng được thể hiện qua việc chi phí hóa chất nông nghiệp trong sản xuất lúa gạo ngày càng tăng. Trong số 48,9% chi phí hóa chất nông nghiệp trong tổng chi phí sản xuất lúa, khoảng 40% chi cho thuốc trừ sâu và 56% chi cho phân bón.

Phân đạm tổng hợp được sử dụng rộng rãi trong nông nghiệp thông thường để tăng năng suất. Tuy nhiên, việc sản xuất và sử dụng chúng gây ra một số thiệt hại lớn đối với môi trường, thải ra carbon dioxide và methane cũng như nitrous oxide - một loại KNK thường bị bỏ qua nhưng rất mạnh, có khả năng làm nóng lên toàn cầu gấp rất nhiều lần so với carbon dioxide. Lượng phân đạm tổng hợp được sử dụng trên toàn thế giới đã tăng 800% kể từ những năm 1960, theo thông tin từ Viện Chính sách Nông nghiệp và Thương mại (Institute for Agriculture and Trade Policy [IATP], 2021). Theo ước tính của Tổ chức Nông lương Liên hợp quốc (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2009), khối lượng đó sẽ tăng thêm 50% vào năm 2050.

Tính bền vững của các hoạt động nông nghiệp liên quan đến việc hỗ trợ năng suất cây trồng trong các điều kiện tự nhiên bất lợi (Seleiman et al., 2012, 2013; Seleiman et al., 2019; Taha et al., 2020; Seleiman et al., 2020; Seleiman et al., 2020; Umair et al., 2020; Ding et al., 2021; Malyan, et al., 2021). Nhiều quốc gia trên toàn cầu đã áp dụng các biện pháp canh tác nông nghiệp thâm canh để đảm bảo an ninh lương thực trong bối cảnh dân số thế giới tăng nhanh (Tilman et al., 2002; Rasheed et al., 2020). Tuy nhiên, việc mở rộng mức độ thâm canh cây trồng có tác động tàn phá đến môi trường (Hassan et al., 2021). Nông nghiệp là yếu tố góp phần chính tạo ra KNK thải vào khí quyển và chiếm 10–12% tổng KNK được tạo ra trên toàn cầu do các hoạt động của con người (Tellez-Rio et al., 2017; Malyan et al., 2021). Các KNK này là nguồn gốc chính của sự nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu trên trái đất và gây ra mối đe dọa nghiêm trọng đối với an ninh lương thực thế giới (Sekoai & Yoro, 2016; Liu et al., 2017).

N_2O là một KNK mạnh và kéo dài, có khả năng làm nóng lên toàn cầu cao gấp 298 lần so với CO_2 và có thể góp phần làm suy giảm tầng ozone ở tầng bình lưu (Yoro & Daramola, 2020). Hơn nữa, N_2O

còn là một loại khí rất dễ phản ứng, xúc tác cho việc sản sinh ozone đối lưu, gây tác động xấu đến con người và sản xuất cây trồng (Anenberg et al., 2012; IPCC, 2014). Nông nghiệp chiếm khoảng 60% sản lượng N₂O toàn cầu, do sử dụng nhiều phân N và việc sử dụng lâu dài các cây họ đậu làm lớp phủ và cây trồng chính giải phóng N vào cuối vòng đời của chúng (Davidson, 2009; Avnery et al., 2011; Stocker et al., 2014). Trong thập kỷ qua, khoảng 80% tổng lượng khí thải N₂O trên thế giới liên quan đến các hoạt động nông nghiệp, với nồng độ trong khí quyển tăng từ 270 ppb lên 319 ppb (Haider et al., 2020). Hơn nữa, lượng phát thải N₂O dự kiến sẽ tăng 35–60% trong tương lai gần, phần lớn là do quản lý phân kém và tăng cường bón phân hóa học (Haider et al., 2020). Ngoài ra, việc sử dụng quá nhiều và thời điểm bón N không thích hợp có thể dẫn đến rửa trôi N ảnh hưởng đến chất lượng nước (Kammann et al., 2017), dẫn đến tăng phát thải N₂O từ các đường dẫn nước thải (Ding et al., 2010).

Trong đất, N₂O chủ yếu được tạo ra bằng cách chuyển hóa N phản ứng thông qua các vi sinh vật (Ding et al., 2010; Baggs, 2011; Thomson et al., 2012; Kammann et al., 2017; Tian et al., 2017). Khi N đi vào đất, từ phân hữu cơ hoặc phân khoáng vô cơ ở dạng NH₄⁺ và NO₃⁻, có những quá trình khác nhau có thể dẫn đến sự hình thành N₂O. Tuy nhiên, cơ chế chi tiết tương đối của chúng vẫn chưa được hiểu rõ tường tận (Fernandes et al., 2012; Amer et al., 2021). Ba quá trình chính bao gồm nitrát hóa, khử nitrát và khử nitrát hòa tan là những nguyên nhân chính dẫn đến phát thải N₂O (Tian et al., 2017). Sự đóng góp của mỗi quá trình vào phát thải N₂O phụ thuộc vào kết cấu đất, C hữu cơ, pH đất, các hoạt động của vi sinh vật và điều kiện môi trường, bao gồm cả lượng mưa và nhiệt độ (Baggs, 2011). Chất lượng và sự phức tạp của các con đường sản sinh N₂O, và sự thay đổi về không gian cũng như thời gian của chúng, làm cho việc giảm N₂O từ đất trở nên khá khó khăn để luận giải rõ ràng (Zhu et al., 2013). Thực hành quản lý cây trồng, bao gồm làm đất và tưới tiêu, phân bón chứa N, than sinh học, bón vôi, chất ức chế nitrát hóa, phân bón nhả chậm, giống cây trồng thích hợp, luân canh cây trồng thích hợp và quản lý dinh dưỡng tổng hợp có thể ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính của đất, trong đó lần lượt ảnh hưởng đến phát thải N₂O (Venterea et al., 2012; Seleiman & Kheir, 2018; Seleiman & Abdelaal, 2018; Seleiman & Abdel-Aal, 2018; Seleiman, et al., 2019; Seleiman & Hardan, 2021). Do đó, thông thường thì khí thải có thể được giảm thiểu bằng cách quản lý phù hợp các phương pháp vừa đề cập.

Để đánh giá tốt hơn mức độ của những tác động này, thu thập một cách toàn diện nhiều đóng góp về chủ đề này và thảo luận về các kết quả khác nhau thu được trong nhiệm vụ hạn chế phát thải N₂O, hãy bắt đầu xem xét tiềm năng của các phương án quản lý khác nhau để giảm phát thải N₂O trên cơ sở tham khảo các dữ liệu có sẵn. Nhìn chung, việc áp dụng các thực hành phù hợp có thể đóng một vai trò quan trọng trong việc hạn chế phát thải N₂O, nhưng mức độ cân bằng khí quyển và sản xuất nông nghiệp sẽ được hưởng lợi từ những nỗ lực này vẫn còn bị nghi ngờ và tranh cãi.

2. CÁC YẾU TỐ MÔI TRƯỜNG VÀ CON NGƯỜI ẢNH HƯỞNG ĐẾN PHÁT THẢI KHÍ N₂O TỪ ĐẤT NÔNG NGHIỆP

2.1. pH đất

Độ pH của đất là một trong những yếu tố chính có thể ảnh hưởng đến sự phát thải N₂O. Sự gia tăng độ pH của đất có thể làm giảm phát thải N₂O (Cuhel et al., 2010; Sun et al., 2012), mặc dù một số nguồn cho rằng tăng phát thải N₂O khi pH tăng (Baggs et al., 2010), điều này phù hợp với vi khuẩn khử nitrogen phát triển mạnh ở pH tương đối cao cho các hoạt động của chúng. Độ pH ở ngưỡng kiềm (pH > 7) được coi là nguyên nhân tăng cường tốc độ của cả quá trình NF và DNF (Groffman et al., 2006; Khan et al., 2011). Nhìn chung, pH của đất ảnh hưởng đến quần thể và hoạt động của vi sinh vật, tác động trực tiếp đến sự phát thải N₂O (Tate et al., 2007). Cụ thể hơn, đa số vi khuẩn và động vật nguyên sinh, sinh trưởng tốt nhất ở pH từ 6 đến 8 và ngừng sinh trưởng ở pH < 4 hoặc pH > 9, do các ion H⁺ và OH⁻ kìm hãm hoạt động của các enzyme trong tế bào. Số ít vi khuẩn và đa số nấm ưa môi trường axit, pH khoảng 4 đến 6, do các ion H⁺ sẽ làm bền màng sinh chất nên pH nội bào vẫn duy trì gần trung tính. Nhiều vi khuẩn ưa kiềm sinh trưởng tốt ở pH > 9, những vi khuẩn này có mặt ở các hồ và đất có tính kiềm, các loại này duy trì pH nội bào gần trung tính nhờ khả năng tích lũy các ion H⁺ từ bên ngoài.

2.2. Độ ẩm và nhiệt độ của đất

Một lượng lớn N₂O được tạo ra trong điều kiện không gian lỗ rỗng chứa đầy nước, do độ ẩm của đất kiểm soát sự phát thải N₂O thông qua sự phân hủy chất hữu cơ (OM). Độ ẩm của đất có thể tăng cường khoáng hóa carbon hữu cơ, có thể kiểm soát sự trao đổi chất và hoạt động của vi sinh vật. Do đó, carbon cao hơn kích thích các hoạt động của vi sinh vật bằng cách tăng tính sẵn có của cơ chất, do đó làm tăng phát thải N₂O. Đất ẩm tăng cường phát thải N₂O trong thời gian dài, do sự sẵn có của chất nền

carbon tăng lên cho các hoạt động của vi sinh vật. Các quần thể vi khuẩn tăng lên khi nhiệt độ tăng lên đến một khoảng nhất định (25–35°C), và các hoạt động của cả vi khuẩn nitrat hóa và khử nitrogen đều được tăng cường như nhau ở nhiệt độ đất cao hơn. Cụ thể, khi nhiệt độ của đất tăng dần từ 5°C đến 25°C gây nên sự kích thích nhanh chóng tốc độ của chu trình nitrogen cùng với sự thay đổi cân bằng của nồng độ NO_3^- và NH_4^+ (Szukics et al., 2010). Trong đất ẩm ướt, lượng NO_3^- giảm liên tục và gần như cạn kiệt ở 25°C, do trong điều kiện ẩm ướt quá trình khử nitrogen xảy ra hoàn toàn và giải phóng khí N_2 vào khí quyển (Davidson & Swank, 1986). Độ ẩm của đất là yếu tố chính quyết định lượng khí thải N_2O hoặc NO . Việc tạo ra NO chủ yếu trong đất ẩm do quá trình nitrat hóa, và N_2O trong đất ẩm do quá trình khử nitrogen, đã được đề xuất bởi Firestone and Davidson (1989). Sản xuất N_2O bởi vi khuẩn nitrat hóa là kết quả của việc khử NO_2^- khi lượng O_2 hạn chế, nhưng cơ chế và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tạo NO trong quá trình nitrat hóa vẫn chưa rõ ràng. Việc sản xuất N_2O thông qua quá trình khử nitrogen bị ảnh hưởng bởi tính khả dụng tương đối của chất cho điện tử (C từ hữu cơ) và chất nhận điện tử (các oxit của N). Bất kỳ yếu tố nào làm chậm tốc độ khử nitrogen tổng cũng có thể khiến N_2O tích tụ như một sản phẩm chính ở giai đoạn cuối cùng. Việc sản xuất NO thông qua quá trình khử nitrogen khó đánh giá hơn (Firestone & Davidson, 1989).

2.3. Sử dụng phụ phẩm cây trồng

Việc bổ sung phụ phẩm cây trồng và rom rạ cung cấp một nguồn C và N sẵn có, do đó, là một nguồn phát thải N_2O tiềm ẩn. Nitrogen khoáng hóa từ phụ phẩm cây trồng khá dễ phân giải dưới dạng N_2O . Phát thải N_2O cao từ đất mùn được quan sát thấy sau khi kết hợp rom rạ, trong khi phát thải N_2O thấp từ đất cát (Shelp et al., 2000). Do đó, các đặc điểm của phụ phẩm cây trồng kết hợp vào đất có thể là một yếu tố đáng kể trong phát thải N_2O (Shelp et al., 2000).

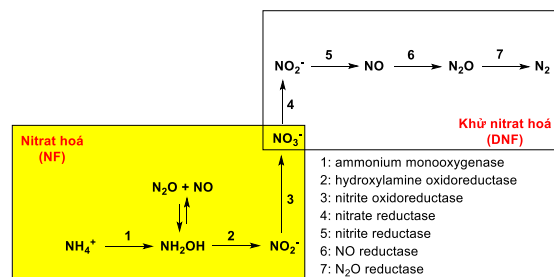
2.4. Sử dụng phân nitrogen

Trước năm 1950, ít hơn 50% lượng phát thải N_2O là do phân bón N trong lĩnh vực nông nghiệp. Tuy nhiên, phần lớn lượng khí thải N_2O có liên quan đến việc chăn nuôi động vật và các hoạt động liên quan khác (Rochette et al., 2008). Tuy nhiên, với sự gia tăng dân số và nhu cầu lương thực, việc bón phân N cũng cần thiết. Ngành nông nghiệp đóng góp vào việc phát thải phát thải N_2O hơn 60% (Davidson, 2009; Stocker et al., 2014). Phân đạm có tính linh động cao trong dung dịch đất: sau khi bón, chúng đi

vào đất, trải qua các phản ứng đa dạng dẫn đến rửa trôi N, cố định, bay hơi và DNF. Do đó, phân N có tác động đáng kể đến phát thải N_2O , dẫn đến phát thải phân biệt theo loại phân bón. Phương pháp và thời điểm sử dụng N cũng có tác động đáng kể đến sự phát thải N_2O . Thời điểm sử dụng N là rất quan trọng, và việc lựa chọn thời điểm thích hợp có thể góp phần giảm tổn thất N. Amoni (NH_4^+) và nitrat (NO_3^-) có sẵn là nguồn phát thải N_2O chính từ đất, và phân bón N, ít nhiều cung cấp trực tiếp hai dạng N, phần lớn được ngụ ý trong quá trình sản xuất và phát thải N_2O . Việc rải phân sâu đã được chứng minh là cải thiện đáng kể sự phát triển của cây trồng so với việc đặt nông và trên bề mặt. Rễ cây có xu hướng sinh sôi nảy nở xung quanh khu vực bón phân; do đó, việc đặt sâu làm tăng đáng kể mật độ rễ. Hơn nữa, ở vị trí sâu, kéo dài thời gian cư trú và tạo điều kiện cho quá trình khử N_2O thành N_2 , dẫn đến giảm đáng kể phát thải N_2O .

2.5. Vi sinh vật trong đất

Sự xuất hiện của vi sinh vật là bắt buộc để khử NO_3^- và NO_2^- thành NO , N_2O hoặc N_2 . Vi khuẩn khử nitrogen có khả năng khử NO_3^- , NO_2^- và NO trong điều kiện yếm khí của đất. Hơn nữa, một số enzyme, có liên quan đến NF, và các enzyme này làm tăng hoặc giảm phát thải N_2O bằng cách ảnh hưởng đến tốc độ của NF. Theo cách tương tự, các enzyme khác, bao gồm nitrate reductase, nitrite reductase, nitric oxide reductase và nitrous oxide reductase đều tham gia vào quá trình DNF (Hình 1) (Conrad, 2001).



Hình 1. Các quá trình nitrat hóa và khử nitrat hóa

(Ghi chú: các con số chỉ ra các phản ứng của từng enzyme)

Sự xuất hiện và số lượng của các enzyme này ảnh hưởng đáng kể đến tỷ lệ DNF và do đó, phát thải N_2O trên đất. Lượng carbon hữu cơ trong đất ảnh hưởng tích cực đến việc sản xuất và phát thải N_2O , cũng liên quan đến độ ẩm của đất. Trên thực tế, C hữu cơ trong đất cung cấp chất nền cho sự phát triển của vi sinh vật cần thiết cho cả quá trình NF và DNF.

2.6. Đặc điểm của đất

Đất có kết cấu mịn thái ra nhiều N_2O hơn, do thực tế là chúng có nhiều lỗ xốp mao dẫn hơn. Các lỗ rỗng có trong đất mịn giữ được nhiều nước hơn, dẫn đến điều kiện yếm khí, được duy trì trong thời gian dài hơn, dẫn đến tăng phát thải N_2O đáng kể. Nói chung, kết cấu của đất ảnh hưởng đến sự phát thải N_2O bằng cách xác định khả năng các điều kiện đất kỵ khí và hiếu khí chiếm ưu thế như thế nào. Hơn nữa, kết cấu đất cũng ảnh hưởng đến sự phát thải N_2O do sự khác biệt về lượng N trong đất, lượng carbon hữu cơ và quần thể vi sinh vật. Phát thải N_2O được ghi nhận tối đa ở các vùng trũng so với các vùng núi và các vùng đất dốc, do độ ẩm cao hơn ở các vùng trũng (Hefting et al., 2003; Xu et al., 2013).

2.7. Sản sinh và phát thải N_2O

Nitrous oxide được tạo ra trong quá trình nitrát hóa, bao gồm quá trình vi sinh vật chuyển đổi amoniac (NH_3) thành nitrát (NO_3^-). Nitrát hóa (NF) được coi là quá trình chính liên quan đến chu trình N toàn cầu. Phần lớn sự chuyển hóa N trong quá trình nitrát hóa được thực hiện qua trung gian của các vi sinh vật tự dưỡng. Bước đầu tiên trong quá trình nitrát hóa là quá trình oxy hóa NH_3 thành hydroxylamin (NH_2OH). Cả AOA (ammonia-oxidizing archaea) và AOB (ammonia-oxidizing bacteria) là trung gian của quá trình này.

Ngược lại với quá trình nitrát hóa, quá trình khử nitrát (DNF) là một quá trình khử liên quan đến việc chuyển đổi NO_3^- thành N_2 , qua trung gian của vi khuẩn kỵ khí (Pilegaard, 2013). Quá trình này có thể được hoàn thành dẫn đến sản sinh N_2 , nhưng nếu vẫn chưa hoàn thành thì dẫn đến giải phóng N ở dạng NO và N_2O (Moreira & Siqueira, 2006).

Các quá trình vi sinh vật của NF và DNF là nguyên nhân gây ra 70% lượng phát thải N_2O trên toàn cầu (Braker & Conrad, 2011; Syakila & Kroeze, 2011). Tuy nhiên, mô tả ở trên về hai quá trình như nguồn cung cấp N_2O là một sự đơn giản hóa, do thực tế là quy trình chính có thể cung cấp vô số các quy trình đảm bảo hình thành hoặc sử dụng N_2O . Hơn nữa, các quá trình trao đổi chất khác có thể góp phần tạo ra N_2O trong đất.

3. MỘT SỐ PHƯƠNG ÁN QUẢN LÝ ĐỂ GIẢM THIỂU PHÁT THẢI N_2O

3.1. Điều chỉnh mô hình tưới tiêu

Tưới tiêu là một yếu tố quan trọng trong phát thải N_2O . Lượng nước cung cấp và phương thức phân bố ảnh hưởng đến độ ẩm của đất theo không gian và thời gian, và tác động đáng kể đến chu trình N. Điều

này bao gồm các quá trình NF và DNF mà theo đó việc sản sinh N_2O phụ thuộc vào.

Tưới ngập (flood irrigation-FI) là phương pháp tưới phổ biến nhất ở các nước đang phát triển, thường được áp dụng cho các loại cây ưa nước hoặc chịu ngập tốt như lúa, xoài, nhãn, ổi,...) Trong FI, lượng nước cao được cung cấp cho cây trồng, dẫn đến phân bón bị pha loãng mạnh và dễ hấp thụ. Tuy nhiên, lưu lượng tưới lớn quyết định các điều kiện yếm khí có lợi cho việc sản sinh N_2O và rửa trôi nitrát. Để ngăn chặn điều này, một kỹ thuật ứng dụng tưới nước chính xác, chẳng hạn như làm ướt và làm khô xen kẽ, có thể hữu ích để tiết kiệm nước đồng thời giảm phát thải KNK.

Những thay đổi trong phương pháp tưới đóng một vai trò quan trọng trong lượng nước sử dụng và phát thải N_2O . Các mô hình thâm thấu và phân bố lại nước khác nhau dẫn đến xu hướng thời gian thay đổi của hàm lượng nước trong đất và độ sâu thấm nước; tất cả điều này có tác động lớn đến sự phát thải N_2O trong đất. Lớp bề mặt trên cánh đồng được tưới bằng tưới phun (SI) sẽ cho kết quả tương đối tốt hơn so với tưới ngập (FI). Do đó, trong những loại đất như vậy, các ion NO_3^- và NH_4^+ ít bị rửa trôi hơn và tập trung nhiều hơn ở vùng rễ, điều này làm cho rễ cây dễ hấp thụ hơn và do đó, ít bị biến thành N_2O . Tưới phun (SI) là một cách tiếp cận tiết kiệm nước cũng giống như tưới nhỏ giọt (DI).

3.2. Thực hành làm đất

Thực hành làm đất ảnh hưởng đến năng suất cây trồng cũng như phát thải KNK, vì chúng ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của đất. Xới xáo làm xáo trộn đất và làm tăng phát thải CO_2 do làm thoáng đất và phá vỡ các kết tụ của đất, giải phóng carbon hữu cơ có lợi cho các hoạt động của vi sinh vật gây phát thải KNK. Không dễ dàng để xác định một cách tập trung những phương pháp làm đất nào có thể làm giảm phát thải KNK. Theo nhiều báo cáo, N_2O giảm đáng kể trong điều kiện không làm đất so với làm đất thông thường. Cụ thể, trong ruộng lúa có sự giảm đáng kể N_2O khi làm đất so với làm đất thông thường (Liang et al, 2007; Xiao et al, 2007). Ngược lại, một phân tích tổng hợp được thực hiện trên lúa và các loại cây trồng khác (lúa mì, ngô, những loại khác) cho thấy rằng canh tác bảo tồn (canh tác để lại những tàn dư thực vật của vụ trước) làm tăng phát thải N_2O trung bình 17,8% so với làm đất thông thường (Mei et al., 2018). Một nghiên cứu phân tích tổng hợp khác được thực hiện gần đây chỉ ra lợi thế đối với không làm đất là khử N_2O và CH_4 (giảm 6,6% so với làm đất) (Feng et al., 2018).

Ngoài ra, các phế phẩm cây trồng sau thu hoạch mùa màng quay trở lại phục vụ đất trồng trọt, do những lợi ích mang lại như tăng sản lượng nông nghiệp và độ phì nhiêu của đất. Hơn nữa, các phế phẩm này trở lại cũng ảnh hưởng đến phát thải N_2O bằng cách điều chỉnh các hoạt động của vi sinh vật, và sự sẵn có của nguồn C và N.

3.3. Quản lý phân bón

- Điều chỉnh liều lượng phân bón và phù hợp lượng N cung với nhu cầu;

- Thời gian bón phân;

- Cải thiện vị trí bón phân N thích hợp;

- Lựa chọn phân bón thích hợp: Loại phân bón có thể ảnh hưởng đến sự phát thải N_2O do liên quan thời gian và lượng phân bón. Phân bón ảnh hưởng đến sự phát thải N_2O vì hàm lượng NH_4^+ , NO_3^- và chất hữu cơ C khác nhau. Nhìn chung, quản lý phân bón là lĩnh vực can thiệp hàng đầu để giảm thiểu phát thải N_2O , vì phân N cung cấp chất dinh dưỡng, và cũng là nguồn nguyên liệu phát thải N_2O từ đất nông nghiệp. Tuy nhiên, phân N là một công cụ đặc biệt để thúc đẩy sản xuất nông nghiệp và do đó, không thể thiếu đối với mọi quá trình sản xuất lương thực thế giới hiện nay. Các cách hiệu quả hơn để cung cấp chất dinh dưỡng này, tức là xác định đúng lượng, thời gian và địa điểm cung cấp, là chiến lược duy nhất để theo đuổi sự gia tăng sản lượng nông nghiệp do dân số ngày càng tăng, đồng thời hạn chế phát thải N_2O . Thời gian và địa điểm áp dụng N là những lĩnh vực ít gây tranh cãi nhất để đạt được sự ngăn chặn đáng kể phát thải N_2O mà không ảnh hưởng năng suất tiềm năng. Thông thường, mức độ bón N cao hơn làm tăng đáng kể lượng phát thải N_2O . Việc áp dụng các mức N cao hơn làm tăng đáng kể DNF, do đó, làm tăng phát thải N_2O . Hơn nữa, phân bón và loại N cũng ảnh hưởng đến NF và DNF và kết quả là phát thải N_2O .

- Sử dụng các chất ức chế nitrat hóa hoặc phân bón nhả chậm: Các chất ức chế nitrat hóa (NI) hoặc phân N giải phóng chậm có thể làm giảm cả phát thải N_2O và CH_4 . Chất ức chế nitrat hóa làm giảm phát thải N_2O một cách trực tiếp, bằng cách ức chế quá trình nitrat hóa, cũng như gián tiếp, bằng cách khử NO_3^- sẵn có cho quá trình khử nitrat hóa, mà không ảnh hưởng đến năng suất. Các hợp chất hóa học có trong chế phẩm ức chế nitrat hóa sẽ vô hiệu hóa các enzym chịu trách nhiệm cho bước đầu tiên của quá trình nitrat hóa (AMO), duy trì NH_4^+ trong thời gian dài hơn trong đất. Kết quả là chế phẩm ức chế nitrat hóa làm giảm tỷ lệ NF, do đó làm giảm phát thải N_2O từ phân bón (Zebarth et al., 2012).

Nhiệm vụ cải thiện hiệu quả sử dụng nitrogen được hướng tới việc sử dụng các loại phân bón tan chậm, nhằm giảm phát thải N_2O . Phân giải phóng chậm chủ yếu được đại diện bởi phân giải phóng có kiểm soát (CRF). CRF là loại phân bón dạng hạt, có tác dụng giải phóng chất dinh dưỡng từ từ nhằm cải thiện hiệu quả hấp thu chất dinh dưỡng, giảm thất thoát N bằng cách trì hoãn việc cung cấp N ban đầu và cung cấp dần chất dinh dưỡng cho cây trồng. Việc áp dụng CRF được khuyến nghị cho những khu vực có nguy cơ tổn thất N rất cao. Trong lúa nước, việc áp dụng CRF làm giảm đáng kể thất thoát N_2O . Việc áp dụng CRF có thể được coi là một cách tiếp cận hiệu quả để giảm thiểu thất thoát N kết hợp hoặc như một giải pháp thay thế cho urê.

- Sử dụng các chất bổ sung hữu cơ: Các chất bổ sung hữu cơ, bao gồm phụ phẩm sau thu hoạch mùa màng nông nghiệp và chất thải động vật, đã được sử dụng rộng rãi để giảm lượng phân bón N, cải thiện độ phì nhiêu của đất và giảm thiểu sự suy thoái môi trường.

4. CHÍNH SÁCH, CƠ CHẾ KHUYẾN KHÍCH GIẢM PHÁT THẢI KNK

Mật độ KNK đã tăng lên đáng kể trong thời gian gần đây, điều này đã làm gia tăng biến đổi khí hậu và sự nóng lên toàn cầu. Trên toàn cầu, các chính sách, biện pháp và chiến lược khác nhau đang được các chính phủ triển khai để hạn chế phát thải KNK. Các cách tiếp cận khác nhau, bao gồm các tiêu chuẩn, các biện pháp khuyến khích và các quyền khác nhau, được sử dụng để khuyến khích các cách tiếp cận thân thiện với môi trường nhằm hạn chế phát thải KNK. Tuy nhiên, các cách tiếp cận này có thể khác nhau ở cấp quốc gia và cấp địa phương tùy theo từng quốc gia. KNK là động lực chính của biến đổi khí hậu và các cuộc đàm phán quốc tế đa dạng đã diễn ra trong hai thập kỷ qua để hạn chế phát thải KNK và chống lại biến đổi khí hậu cùng sự nóng lên toàn cầu. Nhiều quốc gia đã tuân theo các chu kỳ phát triển khác nhau kể từ những năm 1990 để giảm phát thải KNK. Những nỗ lực ban đầu đã được thực hiện trong việc giảm phát thải KNK từ các quốc gia phát triển và công nghiệp hóa, cuối cùng đó là sự ra đời của Nghị định thư Kyoto. Tương tự, 27 quốc gia thành viên của Liên minh Châu Âu (EU-27) và Vương quốc Anh đã ký cam kết trở thành nền kinh tế trung lập carbon vào cuối năm 2050. Hơn nữa, Ủy ban Châu Âu cũng đề xuất giảm phát thải KNK 55% so với năm 1991 vào cuối năm 2030. Các chuyên gia kinh tế xã hội và nhân khẩu học kết hợp với công nghệ được thiết kế để hạn chế biến đổi khí hậu và phát thải KNK trong khuôn khổ các điều kiện thị

trường. Một thực tiễn quan trọng được áp dụng trên toàn cầu là sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo đi kèm với việc giảm sử dụng than và dầu mỏ và phát triển các phương thức sản xuất và tiêu thụ năng lượng hiệu quả.

Trong hội nghị UNFCCC năm 1997 của các bên ở Kyoto, một nghị định thư đã được thông qua và có hiệu lực vào năm 2005. Nghị định thư Kyoto này đã đưa ra các cam kết về phát thải KNK cho các quốc gia phát triển trong thời gian 5 năm (2008–2012). Nghị định thư Kyoto đã xác định bốn yếu tố giảm phát khí thải, bao gồm: (1) bằng các dự án cơ chế phát triển sạch, (2) thông qua việc thực hiện chung các dự án, (3) thông qua việc mua bán lượng khí thải được giao chưa sử dụng giữa các bên tham gia giao thức và (4) thông qua các dự án liên quan đến trồng rừng. Hơn nữa, trong năm 2012, Nghị định thư Kyoto đã được sửa đổi, và thời hạn cam kết thứ hai được xác định trong bảy năm nữa (2013–2020) để giảm phát thải KNK. Đề xuất sửa đổi nhằm mục tiêu giảm phát thải KNK 18% so với mức năm 1990.

Đối với Việt Nam, tại hội thảo tham vấn và đối thoại về đánh giá công nghệ các bon thấp tổ chức tại Hà Nội năm 2017 (Japan International Cooperation Agency [JICA], 2017). Các vấn đề liên quan đến giảm nhẹ phát thải KNK quốc gia và vai trò của khối tư nhân đã được tham vấn chặt chẽ. Trong đó, nghị định về lộ trình và phương thức giảm nhẹ khí thải đã được đề cập: Cam kết chính trị mạnh mẽ với cộng đồng quốc tế; Quy định rõ trách nhiệm của các Bộ, ngành, địa phương; Các mục tiêu giảm nhẹ phát thải KNK sẽ có căn cứ pháp luật để các Bộ, ngành, địa phương xây dựng đề án, kế hoạch, hướng dẫn thực hiện; Yêu cầu về cập nhật, theo dõi và đánh giá quốc tế sẽ có căn cứ để phân bổ trách nhiệm và nguồn lực cho các Bộ, ngành, địa phương; Các Bộ, ngành sẽ có căn cứ để xây dựng các Thông tư hướng dẫn kỹ thuật cụ thể. Đặc biệt, những điểm cần chú ý đối với khối tư nhân trong giảm nhẹ phát thải KNK cũng đã được thảo luận với những nội dung về các công việc như kiểm kê phát thải KNK, các tiềm năng giảm nhẹ trong từng lĩnh vực, đề ra các biện pháp giảm nhẹ phù hợp, đặt ra hệ thống đo đạc, báo cáo, và thẩm định (MRV) cấp dự án (lĩnh vực, tỉnh/thành phố) và cuối cùng đưa ra đề án giảm nhẹ phát thải KNK.

Ngày nay, người ta đã công nhận rằng bảo vệ môi trường là một phần thiết yếu của các hoạt động kinh doanh. Bảo vệ môi trường mang lại nhiều lợi ích, bao gồm tiết kiệm chi phí và tài nguyên, và có thể làm tăng sự hài lòng và lòng trung thành ở con người. Ủy ban Châu Âu đã phát triển Chương trình Kiểm toán và Quản lý Sinh thái (EMAS) của Liên

minh Châu Âu (EU) để các công ty và các lĩnh vực khác áp dụng các phương pháp tiếp cận thân thiện với môi trường nhằm hạn chế tác động môi trường. Các Hệ thống Quản lý Môi trường (EMS), chẳng hạn như ISO (Tổ chức Tiêu chuẩn Quốc tế) hoặc EMAS (Hệ thống Quản lý Sinh thái và Kiểm toán), cũng đã được thiết kế để đảm bảo bảo vệ môi trường cao hơn và lợi thế cạnh tranh của các tổ chức nhờ những cải tiến. Trách nhiệm xã hội của doanh nghiệp là một khái niệm quan trọng khác trong việc thực hiện các hoạt động kinh doanh mà theo đó các công ty vẫn tạo ra lợi nhuận tuân thủ nghiêm ngặt luật pháp và họ có tính đến tác động của hoạt động đối với môi trường trong các quyết định kinh doanh của mình. Việc áp dụng các cách tiếp cận này giúp cải thiện chất lượng cuộc sống và đảm bảo sự phát triển bền vững.

5. KẾT LUẬN

Sự bùng nổ dân số thế giới kéo theo nhu cầu lương thực là rất cần thiết, điều này đã làm dấy lên mối quan tâm trên toàn cầu về việc ổn định nồng độ KNK trong khí quyển để giảm thiểu biến đổi khí hậu đang diễn ra.

Việc áp dụng các thực hành được xem xét ở đây được kỳ vọng sẽ giảm thiểu phát thải N_2O mà không ảnh hưởng đáng kể năng suất mùa vụ. Vai trò của các phương án quản lý này có thể được áp dụng đơn lẻ hoặc phối hợp để thực hiện nhiệm vụ làm giảm phát thải N_2O . Ưu tiên sử dụng các loại phân bón ít phát thải N_2O và xúc tiến việc bón sâu để giảm lượng khí thải N_2O . Các hoạt động nhân giống cây trồng hướng mục đích khám phá các kiểu gen có khả năng hấp thụ N tốt hơn và cố định nitrogen, điều này có thể hữu ích để giảm phát thải N_2O . Thúc đẩy thâm canh cây trồng bền vững, có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các giống cây trồng có năng suất cao hơn, giảm sử dụng các yếu tố đầu vào bên ngoài, nâng cao hiệu quả sử dụng nitrogen, sử dụng than sinh học và áp dụng các biện pháp nông học, có thể giúp giảm thiểu tác động của hệ thống quản lý hiện tại về phát thải N_2O . Việc lựa chọn các phương pháp tưới phù hợp là một chiến lược quan trọng để tiết kiệm nước và duy trì năng suất cũng như giảm thải N_2O . Tuy nhiên, các nghiên cứu trong tương lai là cần thiết để nghiên cứu các tác động của nước tưới lên các đặc tính thủy lực của đất, ảnh hưởng đến sự phân phối nước và phát thải N_2O . Ngoài ra, các hệ thống này thường được kết hợp với việc bón phân, do đó cần phải có các nghiên cứu trong tương lai để đánh giá tác động của tỷ lệ, tần suất và loại phân N đến sự phát thải N_2O trong hệ thống tưới phun và tưới nhỏ giọt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aamer, M., Hassan, M. U., Shaaban, M., Rasul, F., Haiying, T., Qiaoying, M., Batool, M., Rasheed, A., Chuan, Z., Qitao, S., & Guoqin, H. (2021). Rice straw biochar mitigates N₂O emissions under alternate wetting and drying conditions in paddy soil. *Journal of Saudi Chemical Society*, 25(1), 101172. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.11.005>
- Anenberg, S. C., Schwartz, J., Shindell, D., Amann, M., Faluvegi, G., Klimont, Z., Janssens, -Maenhout Greet, Pozzoli, L., Van, D. R., Vignati, E., Emberson, L., Muller, N. Z., West, J. J., Williams, M., Demkine, V., Hicks, W. K., Kuylenstierna, J., Raes, F., & Ramanathan, V. (2012). Global Air Quality and Health Co-benefits of Mitigating Near-Term Climate Change through Methane and Black Carbon Emission Controls. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 831–839. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104301>
- Avnery, S., Mauzerall, D. L., Liu, J., & Horowitz, L. W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2284–2296. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.045>
- Baggs, E. M. (2011). Soil microbial sources of nitrous oxide: Recent advances in knowledge, emerging challenges and future direction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5), 321–327. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.08.011>
- Baggs, E. M., Smales, C. L., & Bateman, E. J. (2010). Changing pH shifts the microbial sources well as the magnitude of N₂O emission from soil. *Biology and Fertility of Soils*, 46(8), 793–805. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0484-6>
- Braker, G., & Conrad, R. (2011). Chapter 2— Diversity, Structure, and Size of N₂O-Producing Microbial Communities in Soils—What Matters for Their Functioning? In A. I. Laskin, S. Sariaslani, & G. M. Gadd (Eds.), *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 75, pp. 33–70). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387046-9.00002-5>
- Conrad, R. (2001). Evaluation of data on the turnover of NO and N₂O by oxidative versus reductive microbial processes in different soils. *Phyton Horn*, 41, 61-72.
- Čuhel, J., Šimek, M., Laughlin, R. J., Bru, D., Chêneby, D., Watson, C. J., & Philippot, L. (2010). Insights into the Effect of Soil pH on N₂O and N₂ Emissions and Denitrifier Community Size and Activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(6), 1870–1878. <https://doi.org/10.1128/AEM.02484-09>
- Davidson, E. A. (2009). The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. *Nature Geoscience*, 2(9), 659–662. <https://doi.org/10.1038/ngeo608>
- Davidson, E. A., & Swank, W. T. (1986). Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. *Applied and Environmental Microbiology*, 52(6), 1287-1292.
- Ding, Y., Liu, Y.-X., Wu, W.-X., Shi, D.-Z., Yang, M., & Zhong, Z.-K. (2010). Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. *Water, Air, & Soil Pollution*, 213(1), 47–55. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0366-4>
- Ding, Z., Ali, E. F., Elmahdy, A. M., Ragab, K. E., Seleiman, M. F., & Kheir, A. M. S. (2021). Modeling the combined impacts of deficit irrigation, rising temperature and compost application on wheat yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 244, 106626. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106626>
- Firestone, M. K., Davidson, E. A., & Andreae, M. O. (1989). Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*, 7-21.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *The state of food and agriculture 2009*. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/3aa4f41c-4316-5ddd-a656-22a00ef5d414/>.
- Feng, J.; Li, F.; Zhou, X.; Xu, C.; Ji, L.; Chen, Z.; Fang, F. (2018). Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH₄ and N₂O emissions from agricultural fields: A global meta-analysis. *PLoS ONE*, 13, e0196703
- Fernandes, S. O., Bonin, P. C., Michotey, V. D., Garcia, N., & LokaBharathi, P. A. (2012). Nitrogen-limited mangrove ecosystems conserve N through dissimilatory nitrate reduction to ammonium. *Scientific Reports*, 2(1), 419. <https://doi.org/10.1038/srep00419>
- Groffman, P. M., Altabet, M. A., Böhlke, J. K., Butterbach-Bahl, K., David, M. B., Firestone, M. K., Giblin, A. E., Kana, T. M., Nielsen, L. P., & Voytek, M. A. (2006). Methods for Measuring Denitrification: Diverse Approaches to a Difficult Problem. *Ecological Applications*, 16(6), 2091–2122. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2091:MFMDDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2091:MFMDDA]2.0.CO;2)

- Haider, A., Bashir, A., & Husnain, M. I. ul. (2020). Impact of agricultural land use and economic growth on nitrous oxide emissions: Evidence from developed and developing countries. *Science of The Total Environment*, 741, 140421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140421>
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Barbanti, L., Aamer, M., Iqbal, M. M., Nawaz, M., Mahmood, A., Ali, A., & Aslam, M. T. (2021). Heat stress in cultivated plants: Nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies—a review. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 155(2), 211–234. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727987>
- Hefting, M. M., Bobbink, R., & de Caluwe, H. (2003). Nitrous Oxide Emission and Denitrification in Chronically Nitrate-Loaded Riparian Buffer Zones. *Journal of Environmental Quality*, 32(4), 1194–1203. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.1194>
- Institute for Agriculture and Trade Policy. (2021). *New research shows 50 year binge on chemical fertilisers must end to address the climate crisis*. <https://www.iatp.org/new-research-chemical-fertilisers>.
- IPCC. (2014). Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*.
- IPCC. (2021). *IPCC Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2017). *Hội thảo khởi động Tham vấn Đánh giá nhu cầu Công nghệ Các bon thấp - Hỗ trợ thực hiện INDC của Việt Nam*. https://www.jica.go.jp/project/vietnamese/vietnam/036/activities/activities_01_10.html.
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., Fuentes-Mendizabal, T., Jeffery, S., Kern, J., Novak, J., Rasse, D., Saarnio, S., Schmidt, H.-P., Spokas, K., & Wrage-Mönnig, N. (2017). Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114–139. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1319375>
- Khan, S., Clough, T., Goh, K., & Sherlock, R. (2011). Influence of soil pH on NO_x and N₂O emissions from bovine urine applied to soil columns. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 54(4), 285–301. <https://doi.org/10.1080/00288233.2011.607831>
- Lâm, H. X. (2020). Thực trạng tăng trưởng xanh trong nông nghiệp của Việt Nam. *Tạp chí Tài chính Kỳ 2 - Tháng 6/2020*. <https://tapchitaichinh.vn/su-kien-noi-bat/thuc-trang-tang-truong-xanh-trong-nong-nghiep-cua-viet-nam-329774.html>
- Liang, W.; Shi, Y.; Zhang, H.; Yue, J.; Huang, G.H. (2007). Greenhouse gas emissions from northeast China rice fields in fallow season. *Pedosphere*, 17, 630–638
- Liu, J., Xu, H., Jiang, Y., Zhang, K., Hu, Y., & Zeng, Z. (2017). Methane Emissions and Microbial Communities as Influenced by Dual Cropping of Azolla along with Early Rice. *Scientific Reports*, 7(1), 40635. <https://doi.org/10.1038/srep40635>
- Malyan, S. K., Bhatia, A., Fagodiya, R. K., Kumar, S. S., Kumar, A., Gupta, D. K., Tomer, R., Harit, R. C., Kumar, V., Jain, N., & Pathak, H. (2021). Plummeting global warming potential by chemicals interventions in irrigated rice: A lab to field assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107545. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107545>
- Malyan, S. K., Bhatia, A., Tomer, R., Harit, R. C., Jain, N., Bhowmik, A., & Kaushik, R. (2021). Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions from irrigated rice through Azolla, Blue-green algae, and plant growth-promoting bacteria. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51425–51439. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14210-z>
- Mei, K.; Wang, Z.; Huang, H.; Zhang, C.; Shang, X.; Dahlgren, R.A.; Zhang, M.; Xia, F. (2018). Stimulation of N₂O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. *Soil Tillage Res.* 182, 86–93.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. (2006). *Microbiology and Soil Bio-Chemistry* (2nd ed.). Academic Press: Cambridge, MA, USA.
- Nguyen, T. H. (2017). *Tổng quan về ô nhiễm nông nghiệp ở Việt Nam: Ngành trồng trọt*. World Bank: Washington, DC, USA.
- Pilegaard, K. (2013). Processes regulating nitric oxide emissions from soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0126>
- Rasheed, A., Hassan, M. U., Aamer, M., Batool, M., Fang, S., Wu, Z., & Li, H. (2020). A critical review on the improvement of drought stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 1756–1788. <https://doi.org/10.15835/nbha48412128>
- Rochette, P., Worth, D. E., Huffman, E. C., Brierley, J. A., McConkey, B. G., Yang, J., Hutchinson, J. J., Desjardins, R. L., Lemke, R., & Gameda, S. (2008). Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. II. 1990–2005

- inventory. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(5), 655–669.
<https://doi.org/10.4141/CJSS07026>
- Taha, S., Seleiman, M. F., Alotaibi, M., Alhammad, B. A., Rady, M. M., & H. A. Mahdi, A. (2020). Exogenous Potassium Treatments Elevate Salt Tolerance and Performances of Glycine max L. by Boosting Antioxidant Defense System under Actual Saline Field Conditions. *Agronomy*, 10(11), 1741.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111741>
- Sekoai, P. T., & Yoro, K. O. (2016). Biofuel Development Initiatives in Sub-Saharan Africa: Opportunities and Challenges. *Climate*, 4(2), 33.
<https://doi.org/10.3390/cli4020033>
- Seleiman, M. F., & Abdelaal, M. S. (2018). Effect of Organic, Inorganic and Bio-fertilization on Growth, Yield and Quality Traits of Some Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Varieties. *Egyptian Journal of Agronomy*, 40(1), 105–117.
<https://doi.org/10.21608/agro.2018.2869.1093>
- Seleiman, M. F., & Abdel-Aal, M. S. M. (2018). Response of Growth, Productivity and Quality of Some Egyptian Wheat Cultivars to Different Irrigation Regimes. *Egyptian Journal of Agronomy*, 40(3), 313–330.
<https://doi.org/10.21608/agro.2018.6352.1136>
- Seleiman, M. F., Alotaibi, M. A., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M., Refay, Y., & Badawy, S. A. (2020). Effects of ZnO Nanoparticles and Biochar of Rice Straw and Cow Manure on Characteristics of Contaminated Soil and Sunflower Productivity, Oil Quality, and Heavy Metals Uptake. *Agronomy*, 10(6), 790.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10060790>
- Seleiman, M. F., & Hardan, A. N. (2021). Importance of Mycorrhizae in Crop Productivity. In H. Awaad, M. Abu-hashim, & A. Negm (Eds.), *Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt* (pp. 471–484). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2_17
- Seleiman, M. F., & Kheir, A. M. S. (2018). Maize productivity, heavy metals uptake and their availability in contaminated clay and sandy alkaline soils as affected by inorganic and organic amendments. *Chemosphere*, 204, 514–522.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.073>
- Seleiman, M. F., Kheir, A. M. S., Al-Dhumri, S., Alghamdi, A. G., Omar, E.-S. H., Aboelsoud, H. M., Abdella, K. A., & Abou El Hassan, W. H. (2019). Exploring Optimal Tillage Improved Soil Characteristics and Productivity of Wheat Irrigated with Different Water Qualities. *Agronomy*, 9(5), 233.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9050233>
- Seleiman, M. F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S., & Hafez, E. M. (2019). Integrative Effects of Rice-Straw Biochar and Silicon on Oil and Seed Quality, Yield and Physiological Traits of *Helianthus annuus* L. Grown under Water Deficit Stress. *Agronomy*, 9(10), 637.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9100637>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., Jaakkola, S., Ekholm, P., Hartikainen, H., Stoddard, F. L., & Mäkelä, P. S. A. (2013). Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with synthetic and organic fertilizers. *Biomass and Bioenergy*, 59, 477–485.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.021>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., & Mäkelä, P. S. A. (2020). Recycling sludge on cropland as fertilizer – Advantages and risks. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104647.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104647>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., Stoddard, F. L., & Mäkelä, P. (2012). Feedstock quality and growth of bioenergy crops fertilized with sewage sludge. *Chemosphere*, 89(10), 1211–1217.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.031>
- Shelp, M. L., Beauchamp, E. G., & Thurtell, G. W. (2000). Nitrous oxide emissions from soil amended with glucose, alfalfa, or corn residues. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(7–8), 877–892.
<https://doi.org/10.1080/00103620009370484>
- Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (2014). Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Sun, P., Zhuge, Y., Zhang, J., & Cai, Z. (2012). Soil pH was the main controlling factor of the denitrification rates and N₂/N₂O emission ratios in forest and grassland soils along the Northeast China Transect (NECT). *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(4), 517–525.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2012.703609>
- Syakila, A., & Kroeze, C. (2011). The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, 1(1), 17–26.
<https://doi.org/10.3763/ghgmm.2010.0007>
- Szukics, U., Abell, G. C., Hödl, V., Mitter, B., Sessitsch, A., Hackl, E., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2010). Nitrifiers and denitrifiers respond rapidly to changed moisture and

- increasing temperature in a pristine forest soil. *FEMS microbiology ecology*, 72(3), 395-406.
- Tate, K. R., Ross, D. J., Saggar, S., Hedley, C. B., Dando, J., Singh, B. K., & Lambie, S. M. (2007). Methane uptake in soils from *Pinus radiata* plantations, a reverting shrubland and adjacent pastures: Effects of land-use change, and soil texture, water and mineral nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7), 1437-1449. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.01.005>
- Tellez-Rio, A., Vallejo, A., García-Marco, S., Martín-Lammerding, D., Tenorio, J. L., Rees, R. M., & Guardia, G. (2017). Conservation Agriculture practices reduce the global warming potential of rainfed low N input semi-arid agriculture. *European Journal of Agronomy*, 84, 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.013>
- Thomson, A. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E. M., & Richardson, D. J. (2012). Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593), 1157-1168. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0415>
- Tian, L., Zhu, B., & Akiyama, H. (2017). Seasonal variations in indirect N₂O emissions from an agricultural headwater ditch. *Biology and Fertility of Soils*, 53(6), 651-662. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1207-z>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Guoqin, H. (2020). The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. *Agriculture*, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
- Venterea, R. T., Halvorson, A. D., Kitchen, N., Liebig, M. A., Cavigelli, M. A., Grosso, S. J. D., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Spokas, K. A., Singh, B. P., Stewart, C. E., Ranaivoson, A., Strock, J., & Collins, H. (2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(10), 562-570. <https://doi.org/10.1890/120062>
- Xiao, X.P.; Wu, F.L.; Huang, F.Q.; Li, Y.; Sun, G.F.; Hu, Q.; He, Y.Y.; Chen, F.; Yang, G.L. Greenhouse air emission under different pattern of rice straw returned to field in double rice area. *Res. Agric. Mod.* 2007,28, 629-632
- Xu, Y., Xu, Z., Cai, Z., & Reverchon, F. (2013). Review of denitrification in tropical and subtropical soils of terrestrial ecosystems. *Journal of Soils and Sediments*, 13(4), 699-710. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0650-1>
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). Chapter 1—CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In M. R. Rahimpour, M. Farsi, & M. A. Makarem (Eds.), *Advances in Carbon Capture* (pp. 3-28). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- Zebarth, B. J., Snowdon, E., Burton, D. L., Goyer, C., & Dowbenko, R. (2012). Controlled release fertilizer product effects on potato crop response and nitrous oxide emissions under rain-fed production on a medium-textured soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(5), 759-769. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-008>
- Zhu, X., Burger, M., Doane, T. A., & Horwath, W. R. (2013). Ammonia oxidation pathways and nitrifier denitrification are significant sources of N₂O and NO under low oxygen availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6328-6333. <https://doi.org/10.1073/pnas.1219993110>