Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, Tập 24, Số đặc biệt 2, 2026: 239-250 https://doi.org/10.31817/tckhnnvn.2026.24.SP02.11
vie.vjas.vn

TỔNG QUAN VỀ GIẢM THIỂU KHÍ NHÀ KÍNH TRONG LĨNH VỰC CHĂN NUÔI VÀ HÀM Ý CHO VIỆT NAM

Phạm Thanh Lan, Lê Phương Nam*, Nguyễn Mạnh Hiếu, Đỗ Thị Diệp

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

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

Ngày nhận bài: 16.05.2026 Ngày chấp nhận đăng: 20.10.2026

TÓM TẮT

Mục tiêu của bài viết là hệ thống hóa các biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong lĩnh vực chăn nuôi và đưa ra một số đề xuất nhằm thúc đẩy ứng dụng các biện pháp này ở Việt Nam. Bài viết sử dụng thông tin và số liệu thứ cấp được tổng hợp từ các công trình nghiên cứu trong nước và quốc tế. Các biện pháp giảm phát thải khí nhà kính trong chăn nuôi bao gồm: (i) quản lý dinh dưỡng đối với động vật nhai lại; (ii) quản lý chất thải bằng hầm biogas, ủ phân, đệm lót sinh học và công nghệ tách phân; (iii) quản lý đồng cỏ bền vững; (iv) ứng dụng công nghệ tiết kiệm năng lượng và sử dụng năng lượng tái tạo. Đề xuất thúc đẩy ứng dụng biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi ở Việt Nam như sau: Chuẩn hóa tài liệu hướng dẫn kỹ thuật và tăng cường tuyên truyền, tập huấn; Hỗ trợ tài chính và tạo động lực kinh tế cho người chăn nuôi phát thải thấp; Thúc đẩy chuyển đổi năng lượng xanh và chuyển dịch sang mô hình tuần hoàn.

Từ khóa: Giảm nhẹ, giảm phát thải, phát thải ròng bằng 0.

Greenhouse Gas Reduction in the Livestock Sector and Implications for Vietnam - a Review

ABSTRACT

The objective of this paper was to systematize greenhouse gas reduction measures in the livestock sector and offer some suggestions to promote the application of these measures in Vietnam. The study used secondary information and data compiled from domestic and international research studies. Measures to reduce greenhouse gas emissions in livestock included: (i) nutritional management for ruminants; (ii) waste management using biogas digesters, composting, biological bedding, and manure separation technology; (iii) sustainable pasture management; and (iv) application of energy-saving technologies and the use of renewable energy. Proposals to promote the application of greenhouse gas reduction measures in the livestock sector for Vietnam are: standardizing technical guidance documents, raising awareness and boosting technical training; providing financial support and creating economic incentives for low-emission livestock farmers; promoting green energy transition and shift towards a circular model.

Keywords: Mitigation, emission reduction, net zero emission.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Hội nghị lần thứ 26 các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu, Việt Nam đã đưa ra cam kết đạt phát thải ròng bằng 0 (Net Zero) vào năm 2050, thể hiện quyết tâm trong ứng phó với biến đổi khí hậu và phát triển kinh tế xanh và bền vững. Để thực hiện mục tiêu đó, Việt Nam đang triển khai nhiều chính sách giảm phát thải, thúc đẩy năng lượng tái tạo và chuyển đổi mô hình sản xuất. Nông nghiệp là một trong những lĩnh vực vừa chịu tác động lớn của biến đổi khí hậu, vừa là nguồn phát thải khí nhà kính (KNK), đặc biệt là từ trồng lúa và chăn nuôi. Ngành nông nghiệp, lâm nghiệp và sử dụng đất phát thải 98,7 triệu tấn CO_2 quy đổi, tương ứng với 26% tổng lượng phát thải quốc gia. Tuy vậy, diện tích đất rừng góp phần hấp thụ khoảng 54,6 triệu tấn CO_2 quy đổi. Như vậy, phát thải ròng của

lĩnh vực nông lâm nghiệp là 44 triệu tấn CO_2 quy đổi, là ngành phát thải lớn thứ ba sau năng lượng và công nghiệp (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020), tạo ra áp lực không nhỏ đối với mục tiêu Net Zero.

Trong lĩnh vực chăn nuôi ở Việt Nam, hiện nay quy mô đàn gia cầm khoảng 584 triệu con, đàn lợn khoảng 26,5 triệu con, đàn bò 6,2 triệu con và đàn trâu khoảng 2 triệu con (Cục Thống kê, 2025). Phát thải KNK từ chăn nuôi gồm hai nguồn chính là khí CH_4 từ dạ cỏ của động vật nhai lại và khí CH_4, N_2O từ chất thải động vật (Iurii & cs., 2014). Lượng KNK phát thải từ dạ cỏ của động vật nhai lại chiếm tỷ trọng cao nhất (tương đương 12,42 triệu tấn CO_2), tiếp đến là phát thải từ phân động vật bao gồm 11.000 tấn khí N_2O (tương đương 2,97 triệu tấn CO_2) và 112.000 tấn khí CH_4 (tương đương 3,13 triệu tấn CO_2). Tổng lượng phát thải từ chăn nuôi đang có xu hướng tăng dần (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020).

Giảm thiểu khí nhà kính nói chung và trong chăn nuôi nói riêng sẽ góp phần làm chậm quá trình nóng lên toàn cầu, hạn chế các tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu, bảo vệ môi trường và sức khỏe của cộng đồng, đáp ứng các tiêu chuẩn về phát thải của thị trường quốc tế, thực hiện cam kết của Việt Nam để hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng 0. Việc tổng quan về thực trạng phát thải trong chăn nuôi, các biện pháp giảm thiểu KNK, kinh nghiệm trong nước và quốc tế về ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK sẽ là cơ sở khoa học quan trọng và cung cấp căn cứ thực tiễn hữu ích góp phần nâng cao nhận thức cho các chủ thể chăn nuôi, đưa ra những gợi ý cho các nhà quản lý, hoạch định chính sách trong việc xây dựng lộ trình giảm phát thải KNK ngành chăn nuôi, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 của Việt Nam.

Bài viết sử dụng thông tin và số liệu thứ cấp được tổng hợp từ các công trình nghiên cứu đã công bố của các tác giả trong nước và quốc tế. Nhóm tác giả tìm kiếm tài liệu với các từ khóa "khí nhà kính" (greenhouse gas), "giảm nhẹ" (mitigation), "giảm thiểu" (reduction), "chăn nuôi" (livestock) từ ba cơ sở dữ liệu Google Scholar, ScienceDirect và ProQuest. Các tài liệu được phân nhóm và phân tích theo các chủ đề tương ứng với các tiểu mục của bài tổng quan.

Nội dung của bài viết như sau: tổng hợp các khái niệm liên quan đến phát thải khí nhà kính, tóm tắt thực trạng phát thải KNK trong chăn nuôi, hệ thống hóa các biện pháp giảm thiểu KNK trong lĩnh vực chăn nuôi, tổng hợp kinh nghiệm về ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK trong chăn nuôi, đồng thời đưa ra một số đề xuất nhằm thúc đẩy ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK trong chăn nuôi ở Việt Nam.

2. PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH VÀ GIẢM THIỂU PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH TRONG CHĂN NUÔI

2.1. Khí nhà kính và ảnh hưởng của khí nhà kính đến biến đổi khí hậu

Khí nhà kính là những thành phần khí trong khí quyển có khả năng hấp thụ và phát xạ bức xạ hồng ngoại, giữ lại một phần nhiệt lượng và làm ấm bề mặt Trái đất. Đây là hiện tượng tự nhiên cần thiết để duy trì nhiệt độ thích hợp cho sự sống. Tuy nhiên, sự gia tăng nồng độ KNK do hoạt động của con người đã làm tăng hiệu ứng nhà kính, gây nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu (IPCC, 1996; William & cs., 2019). Theo Luật Bảo vệ môi trường Việt Nam (2022), KNK là các khí trong khí quyển gây hiệu ứng nhà kính - hiện tượng năng lượng bức xạ mặt trời bị hấp thụ và chuyển hóa thành nhiệt lượng làm tăng nhiệt độ toàn cầu.

Các KNK phổ biến bao gồm carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) và các khí tổng hợp fluorinated (ví dụ HFCs, PFCs, SF_6) với tiềm năng gây hiệu ứng nhà kính khác nhau (Li & cs., 2024). Nguồn phát thải KNK chủ yếu bao gồm: CO_2 từ đốt nhiên liệu hóa thạch; CH_4 từ tiêu hóa của động vật nhai lại, ruộng lúa và xử lý chất thải hữu cơ; N_2O từ bón phân và phân hủy chất hữu cơ; cùng các khí tổng hợp. Mặc dù CH_4 và N_2O có nồng độ thấp hơn CO_2, nhưng chúng có tiềm năng làm nóng toàn cầu cao gấp nhiều lần: CH_4 cao gấp 28-34 lần và N_2O cao gấp 265-273 lần so với CO_2 trong chu kỳ 100 năm (Myhre & cs., 2013; Forster & cs., 2021)). Báo cáo AR6 của

IPCC khẳng định sự gia tăng KNK từ thời kỳ tiền công nghiệp là nguyên nhân chủ yếu gây biến đổi khí hậu hiện nay (IPCC, 2023).

Trong chăn nuôi, phát thải KNK phát sinh từ nhiều nguồn trực tiếp và gián tiếp. Nguồn lớn nhất là quá trình lên men đường ruột ở động vật nhai lại, tạo ra CH_4 từ hoạt động phân giải thức ăn trong dạ cỏ (Eska & cs., 2024). Bên cạnh đó, quản lý phân và chất thải chăn nuôi trong điều kiện kỵ khí cũng phát sinh CH_4 và N_2O. Ngoài ra, sản xuất thức ăn chăn nuôi, sử dụng phân bón, vận chuyển nguyên liệu và tiêu thụ năng lượng trong sản xuất đều góp phần làm gia tăng phát thải CO_2 và N_2O (Li & cs., 2024). Việc mở rộng quy mô đàn vật nuôi nhằm đáp ứng nhu cầu thực phẩm cũng làm gia tăng áp lực phát thải KNK (Eric & cs., 2019).

Sự gia tăng nồng độ KNK dẫn đến mất cân bằng bức xạ, làm tăng nhiệt độ trung bình toàn cầu và kéo theo nhiều hệ quả như biến đổi lượng mưa, gia tăng thiên tai, nước biển dâng và suy giảm năng suất nông nghiệp. Biến đổi khí hậu đồng thời tác động ngược trở lại hoạt động chăn nuôi thông qua thay đổi môi trường nuôi, dịch bệnh và khả năng sinh trưởng của vật nuôi. Nhiều nghiên cứu cũng cho thấy phát thải KNK có mối quan hệ chặt chẽ với tăng trưởng kinh tế, tiêu thụ năng lượng và đầu tư, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển (Abdallah & cs., 2023; William & cs., 2019). Trong bối cảnh đó, chuyển đổi xanh và các biện pháp quản lý phát thải được xem là giải pháp quan trọng nhằm giảm tác động môi trường và hướng tới phát triển bền vững (Najabat & cs., 2022).

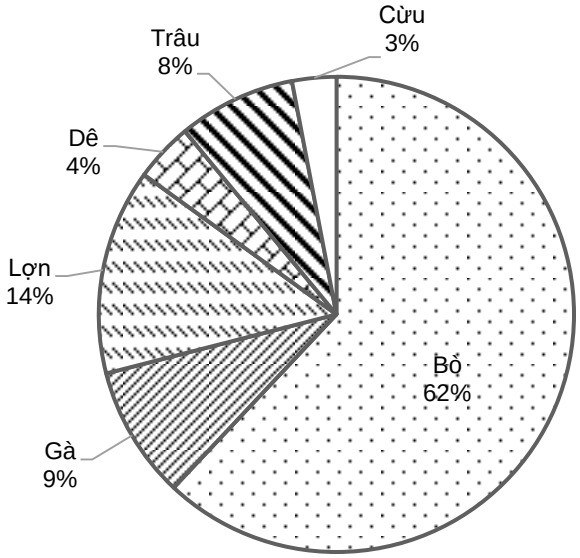
2.2. Thực trạng phát thải khí nhà kính trong chăn nuôi

Ngành chăn nuôi toàn cầu hiện đứng trước thách thức lớn với lượng phát thải ước tính khoảng 6,2 tỷ tấn CO_2 tương đương mỗi năm, chiếm từ 12% đến 14,5% tổng lượng phát thải KNK do con người gây ra. Trong hệ thống nông lương toàn cầu, hoạt động chăn nuôi chiếm tới 40% tổng lượng phát thải, phản ánh vai trò trung tâm của lĩnh vực này trong mục tiêu về khí hậu. Nguồn phát thải chính trong ngành chăn nuôi chủ yếu đến từ quá trình lên men tiêu hóa (39%-44%), sản xuất và chế biến thức ăn chăn nuôi (khoảng 45%) và quản lý phân bón (10%-25%) (FAO, 2023).

Mức độ đóng góp vào phát thải có sự khác biệt rõ rệt giữa các loài gia súc và loại sản phẩm. Bò (bao gồm cả bò thịt và bò sữa) là nguồn phát thải lớn nhất, đóng góp khoảng 62% tổng lượng phát thải của ngành, tương đương khoảng 3,8 đến 4,6 tỷ tấn CO_2 tương đương. Các loài khác như lợn chiếm khoảng 14%, gà (thịt và trứng) chiếm 9%, trâu chiếm 8% và động vật nhai lại nhỏ như cừu, dê chiếm khoảng 7% (Hình 1). Cường độ phát thải của thịt bò là cao nhất, thường vượt quá 300kg CO_2 tương đương trên mỗi kg protein được sản xuất, trong khi các sản phẩm từ gà và trứng có cường độ thấp nhất, dưới 50kg CO_2 tương đương/kg protein. Sự chênh lệch này chủ yếu do hiệu suất chuyển hóa thức ăn và đặc điểm sinh lý tiêu hóa của động vật nhai lại (FAO, 2013).

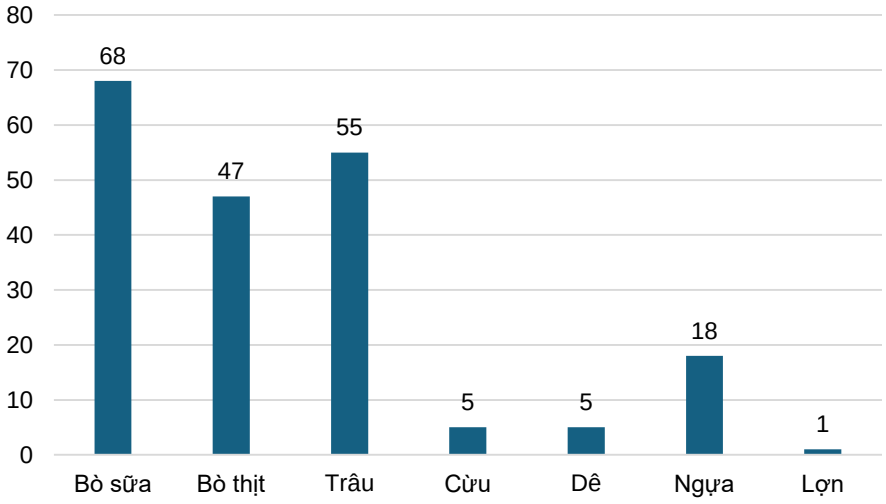
Về mặt địa lý, bản đồ phát thải đang có sự dịch chuyển mạnh mẽ từ các nước phát triển sang các nước đang phát triển do nhu cầu tiêu thụ và quy mô đàn gia súc tăng nhanh. Hiện nay, khoảng 71% lượng phát thải từ sữa và 77% lượng phát thải từ thịt bò trên toàn cầu có nguồn gốc từ các quốc gia không thuộc OECD (FAO, 2013). Châu Á là khu vực có lượng phát thải lớn nhất, đặc biệt là tại Ấn Độ và Trung Quốc, trong khi khu vực Mỹ Latinh và Caribbean đứng thứ hai, chủ yếu do sản xuất thịt bò và các hoạt động thay đổi mục đích sử dụng đất như phá rừng làm đồng cỏ. Châu Phi được ghi nhận là khu vực có tốc độ tăng trưởng phát thải nhanh nhất thế giới, tăng gần gấp đôi kể từ năm 1990 (IPCC, 2013).

Dự báo trong tương lai, lượng phát thải từ chăn nuôi toàn cầu có thể chạm mức 9,1 tỷ tấn CO_2 tương đương vào năm 2050 nếu không có các biện pháp can thiệp quyết liệt và cải thiện năng suất, trong bối cảnh nhu cầu về thực phẩm nguồn gốc động vật dự kiến tăng 20% (Symeon & cs., 2025). Tuy nhiên, các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng việc áp dụng các biện pháp thực hành tốt nhất trong quản lý đàn và thức ăn chăn nuôi có khả năng giảm thiểu tới 30% lượng phát thải mà không cần cắt giảm quy mô sản xuất (FAO, 2020).



Nguồn: FAO (2023).

Hình 1. Nguồn phát thải khí nhà kính từ các loài vật nuôi



Nguồn: Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020).

Hình 2. Lượng phát thải khí nhà kính của một số vật nuôi (Kg CH_4/con/năm)

Ở Việt Nam, ngành chăn nuôi đang chuyển dịch mạnh mẽ từ quy mô nhỏ lẻ sang sản xuất công nghiệp và tập trung. Điều này kéo theo gia tăng phát thải KNK. Lĩnh vực nông nghiệp đóng góp khoảng 20% tổng phát thải KNK quốc gia, trong đó chăn nuôi và sản xuất lúa là hai nguồn phát thải lớn nhất. Năm 2016, phát thải KNK từ ngành chăn nuôi là 18,5 triệu tấn CO_2 tương đương, tăng lên 22,2 triệu tấn CO_2 vào năm 2018 và năm 2020, con số phát thải là hơn 30,84 triệu tấn CO_2. Xét theo loài, bò sữa có hệ số phát thải CH_4 từ dạ cỏ cao nhất, khoảng 68kg CH_4/con/năm (Hình 2). Tiếp theo là bò thịt và trâu, với hệ số phát thải khoảng 47-55kg CH_4/con/năm; ngựa phát thải khoảng 18kg CH_4/con/năm; dê và cừu chỉ khoảng 5kg CH_4/con/năm. Mặc dù bò thịt và trâu có hệ số phát thải thấp hơn bò sữa, nhưng do số lượng

nuôi lớn nên tổng lượng phát thải từ bò thịt ước đạt khoảng 245 nghìn tấn CH_4/năm, trâu khoảng 138 nghìn tấn và bò sữa khoảng 19 nghìn tấn (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020).

2.3. Các biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi

2.3.1. Các biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi trên thế giới

Các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra biện pháp giảm phát thải KNK trong lĩnh vực chăn nuôi, có thể chia thành bốn nhóm chính:

(i) Điều chỉnh khẩu phần ăn và dinh dưỡng: Thay đổi khẩu phần ăn của gia súc là biện pháp tiềm năng nhằm giảm phát thải CH_4 từ quá trình tiêu hóa. Bodas & cs. (2012) chỉ ra rằng các chất chuyển hóa thứ cấp của thực vật như tannin có thể giảm tới 50% lượng CH_4, trong khi saponin thường giúp giảm từ 10-25% lượng CH_4 sinh ra. Tuy nhiên, chi phí phụ gia có thể cao, gây khó khăn cho các trang trại nhỏ khi muốn áp dụng lâu dài.

(ii) Quản lý chất thải chăn nuôi: Các biện pháp như ủ phân hiếu khí và sản xuất khí sinh học (biogas) giúp giảm đáng kể phát thải CH_4 và N_2O. Nghiên cứu của Risse & cs. (2006) cho thấy ủ phân có thể giảm phát thải lượng KNK, giúp ổn định chất hữu cơ và tăng tích lũy carbon trong đất. Montes & cs. (2013) nhấn mạnh quản lý phân hiệu quả còn làm giảm chi phí đầu tư cho xử lý khí thải. Dù vậy, chi phí đầu tư ban đầu vào hạ tầng xử lý phân và biogas tương đối cao, hạn chế khả năng áp dụng ở các trang trại nhỏ (Montes & cs., 2013).

(iii) Quản lý đồng cỏ bền vững: Quản lý đồng cỏ theo hướng chăn thả hợp lý và luân canh có thể góp phần tăng tích lũy carbon hữu cơ trong đất và giảm phát thải KNK trong hệ thống chăn nuôi động vật nhai lại. Soussana & cs. (2010) cho rằng các biện pháp như giảm cường độ chăn thả quá mức, kéo dài thời gian phục hồi đồng cỏ và duy trì thảm thực vật lâu năm có thể nâng cao khả năng hấp thụ carbon của đất đồng cỏ. Ngoài ra, các mô hình chăn thả luân phiên và quản lý đồng cỏ thích hợp còn góp phần cải thiện năng suất thức ăn và giảm áp lực môi trường từ hoạt động chăn nuôi. Tuy nhiên, việc áp dụng các biện pháp này đòi hỏi kiến thức kỹ thuật và khả năng quản lý phù hợp với điều kiện sinh thái của từng vùng.

(iv) Chọn giống và mô hình sản xuất tích hợp: Chọn lọc giống gia súc dựa trên các tính trạng liên quan như hiệu quả sử dụng thức ăn hoặc năng suất có thể giảm phát thải đáng kể. Các chương trình chọn giống cổ điển được dự báo có thể giảm từ 11% đến 26% lượng CH_4 trong 10 năm (De Haas & cs., 2011). Wall & cs. (2010) khẳng định cải thiện di truyền là biện pháp hiệu quả về chi phí, giúp tăng lợi nhuận cho nông dân thông qua việc cải thiện hiệu suất đàn và giảm thiểu các tổn thất không đáng có, đồng thời góp phần giảm đáng kể cường độ phát thải KNK trên mỗi đơn vị sản phẩm.

2.3.2. Biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi ở Việt Nam

Tại Việt Nam, các nghiên cứu chủ yếu tập trung làm rõ đặc điểm phát thải KNK trong chăn nuôi, đặc biệt là CH_4 và N_2O, đồng thời đề xuất biện pháp giảm thiểu phù hợp, bao gồm: cải thiện khẩu phần ăn và dinh dưỡng cho vật nuôi, quản lý chất thải chăn nuôi và cải tiến hệ thống năng lượng sử dụng cho chăn nuôi (Nguyễn Thị Hồng Sâm, 2023; Nguyễn Thị Thanh Thuận & cs., 2017).

(i) Biện pháp cải thiện khẩu phần ăn và dinh dưỡng áp dụng cho động vật nhai lại thường dùng là sử dụng thức ăn ủ chua, bổ sung vi sinh, nguyên tố vi lượng giúp tăng hiệu quả tiêu hóa, kết hợp với cây họ đậu, sử dụng thức ăn thô có hàm lượng tannin cao, các chế phẩm hạn chế tổng hợp hoặc hấp thụ khí mê tan (3-NOP, than hoạt tính, Zeolite) vừa giúp tăng năng suất chăn nuôi vừa giảm lượng phát thải CH_4 (Bộ NN&PTNT, 2023). Ngô Kim Chi & cs. (2012) đã chỉ ra rằng tăng mức thức ăn tinh trong khẩu phần ăn của bò có thể làm tăng khối lượng từ 50 đến 83% và giảm từ 24 đến 31% tiềm năng gây hiệu ứng nhà kính trên một đơn vị khối lượng tăng thêm. Trần Hiệp & cs. (2016) chứng minh rằng việc bổ sung dầu bông vào khẩu phần bò sữa không chỉ giúp tăng năng suất từ 5,4-12,2% mà còn giảm cường độ phát thải CH_4 từ 18,8-37,9%.



Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả (2026).

Hình 3. Biện pháp giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi

(ii) Đối với biện pháp quản lý chất thải chăn nuôi, sử dụng đệm lót sinh học có thể chuyển phần lớn phát thải sang CO_2 (chiếm trên 97%), là loại khí có tiềm năng gây hiệu ứng nhà kính thấp hơn so với CH_4 và N_2O (Nguyễn Thị Hiền & cs., 2024). Nguyễn Thị Thanh Thuận & cs. (2017) cho rằng việc xử lý phân lợn bằng hầm biogas có thể giảm tới 87% lượng phát thải so với phương thức xả thải trực tiếp; kết quả này cũng được củng cố bởi các nghiên cứu khác (Lê Thị Thoa & cs., 2021; Ngô Kim Chi & cs., 2012; Nguyễn Thanh Sơn & Trần Thị Tâm, 2023). Ứng dụng công nghệ vi sinh trong ủ phân compost giúp hạn chế ô nhiễm môi trường và tận dụng nguồn chất thải cho các hoạt động trồng trọt. Các phương pháp ủ chính là ủ nóng, ủ nguội và ủ hỗn hợp nóng trước nguội sau (SIPA, 2023). Công nghệ tách phân và nước tiểu giúp giảm thiểu mùi và rất hiệu quả trong việc giảm thiểu khí CH_4 (Nguyễn Thị Bích Hà & cs., 2019). *(iii) Nhóm các biện pháp cải thiện hệ thống năng lượng* sử dụng trong chăn nuôi hướng tới việc giảm thiểu sử dụng năng lượng hóa thạch, thúc đẩy sử dụng năng lượng tái tạo (điện gió, điện mặt trời); ứng dụng công nghệ để tiết kiệm năng lượng, giám sát và tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng (đèn led, cảm biến nhiệt, công nghệ tự động hóa...), hay ứng dụng các mô hình chăn nuôi theo hướng kinh tế tuần hoàn có khả năng chuyển hóa phụ phẩm thành sản phẩm có giá trị, qua đó giảm thiểu chất thải và tác động môi trường (Nguyễn Thị Hồng Sâm, 2023).

3. KINH NGHIỆM VỀ GIẢM THIỂU KHÍ NHÀ KÍNH TRONG CHĂN NUÔI

3.1. Kinh nghiệm về giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi ở một số nước trên thế giới

3.1.1. Kinh nghiệm về sử dụng hầm biogas tại Mỹ

Trong chăn nuôi, ngoài CH_4 từ quá trình tiêu hóa, một nguồn phát thải quan trọng khác là CH_4 và N_2O phát sinh từ quá trình phân hủy phân và nước tiểu. Các biện pháp quản lý chất thải nhằm kiểm soát, thu hồi hoặc tiêu hủy các khí này đóng vai trò quan trọng trong giảm phát thải KNK. Một biện pháp phổ biến là hệ

thống hầm biogas, nơi chất thải chăn nuôi được ủ kỵ khí để sinh khí metan. Khí này sau đó được thu hồi để đốt trực tiếp cho sinh hoạt hoặc phát điện. Theo phân tích của Scott & Blanchard (2021), áp dụng hầm biogas có thể giảm đáng kể lượng CH_4 phát thải từ trang trại bò sữa, đồng thời tạo ra nguồn năng lượng tái tạo, góp phần giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Ở Mỹ, chương trình AgSTAR của EPA cũng ghi nhận hiệu quả cao khi áp dụng hầm biogas cho các trang trại lợn và bò sữa, với tiềm năng giảm hàng triệu tấn CO_2 mỗi năm (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Chianese & cs. (2009) đã ước tính rằng sử dụng hầm chứa phân kín kết hợp thu hồi và đốt khí biogas bằng đuốc đốt (flare) có thể giảm khoảng 32% lượng CH_4 từ chất thải và khoảng 24% tổng phát thải KNK ròng của trang trại bò sữa 100 con tại Pennsylvania. Điều này khẳng định vai trò quan trọng của công nghệ biogas và che phủ hầm chứa trong việc giảm phát thải từ chất thải chăn nuôi.

Tuy nhiên, khi áp dụng trong thực tiễn, nhiều hạn chế kinh tế - xã hội đã được ghi nhận. Chi phí đầu tư ban đầu lớn, cùng với yêu cầu kĩ năng, kỹ thuật và bảo dưỡng thường xuyên, khiến nông hộ nhỏ lẻ khó tiếp cận (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Scott & Blanchard (2021) nhấn mạnh rằng tính khả thi về kinh tế còn phụ thuộc vào quy mô, chính sách hỗ trợ và giá trị thị trường của năng lượng tái tạo từ biogas. Bên cạnh đó, một số dự án biogas quy mô lớn từng gặp phản đối của cộng đồng do lo ngại về mùi, chất lượng không khí và an toàn môi trường (Associated Press, 2024). Vì vậy, để biện pháp này phát huy hiệu quả, cần có sự hỗ trợ về tín dụng, trợ giá và khung pháp lý rõ ràng, khuyến khích nông dân đầu tư và vận hành lâu dài.

3.1.2. Kinh nghiệm về giảm CH_4 trong hệ tiêu hóa của vật nuôi tại Úc và Scotland

Tảo đỏ Asparagopsis: Một trong những hướng đi nổi bật để giảm CH_4 trong hệ tiêu hóa là sử dụng tảo đỏ thuộc chi *Asparagopsis*. Các loài tảo này chứa hợp chất bromoform, có khả năng ức chế enzyme methyl-coenzyme M reductase - enzyme quan trọng trong con đường tạo CH_4 của vi sinh vật trong dạ cỏ. Nghiên cứu trên bò sữa tại Mỹ cho kết quả giảm phát thải đáng kể, trong khi năng suất sữa gần như không thay đổi (Stefenoni & cs., 2021). Kết quả này cho thấy tảo đỏ là giải pháp tiềm năng để ứng dụng trong thực tiễn chăn nuôi, mặc dù vẫn còn cần nghiên cứu thêm về an toàn thực phẩm và chuỗi cung ứng bền vững.

Bổ sung chất béo và tinh dầu: Một cách tiếp cận khác là thay đổi thành phần khẩu phần bằng cách bổ sung chất béo hoặc các hợp chất có nguồn gốc thực vật. Việc tăng tỷ lệ chất béo trong khẩu phần (dầu hạt, dầu thực vật) giúp làm thay đổi quá trình lên men, giảm sinh hydro và từ đó hạn chế CH_4. Các phân tích tổng hợp ghi nhận bổ sung chất béo ở mức 2-4% vật chất khô có thể giảm 10-20% lượng CH_4 phát thải ở bò nhai lại, tuy nhiên cần cân nhắc để tránh ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng tiêu hóa xơ (Eugène & cs., 2008). Ngoài ra, một số tinh dầu (ví dụ như hỗn hợp thương mại Agolin Ruminant) cũng cho thấy khả năng giảm phát thải CH_4 ở mức vừa phải trong điều kiện thực nghiệm (Miller & cs., 2023). Các biện pháp này được đánh giá có tính khả thi cao hơn về mặt thương mại so với tảo đỏ, vì nguồn cung dầu và tinh dầu phong phú hơn, song hiệu quả giảm CH_4 thường thấp hơn.

Việc sử dụng tảo đỏ hiện còn hạn chế do chi phí và chuỗi cung ứng. Sản xuất tảo đỏ ở quy mô công nghiệp chưa phổ biến, giá thành cao và cần đầu tư cơ sở nuôi trồng - chế biến, điều này có thể làm tăng giá thành sản phẩm chăn nuôi nếu không có hỗ trợ chính sách (Kinley & cs., 2020). Ngoài ra, vẫn tồn tại những lo ngại về an toàn thực phẩm do tảo chứa bromoform, đòi hỏi các khung pháp lý rõ ràng trước khi thương mại hóa (FAO, 2021). Đối với chất béo và tinh dầu, hiệu quả giảm phát thải thường thấp hơn tảo đỏ, và nếu bổ sung quá mức có thể ảnh hưởng tiêu hóa hoặc làm tăng chi phí khẩu phần (Patra, 2014). Cuối cùng, hiệu quả kinh tế của các biện pháp này phụ thuộc nhiều vào giá thị trường nguyên liệu và sự tồn tại của cơ chế định giá carbon; nếu không có chính sách khuyến khích, nông hộ khó có động lực áp dụng.

3.1.3. Kinh nghiệm sử dụng phụ gia 3-nitrooxypropanol nhằm ức chế sinh khí CH_4 tại Đan Mạch

3-nitrooxypropanol (3-NOP) là phụ gia thức ăn được phát triển nhằm giảm khí CH_4 sinh ra trong quá trình tiêu hóa ở động vật nhai lại. Cơ chế chính của 3-NOP là ức chế enzym methyl-coenzyme M reductase trong vi khuẩn methanogen, làm giảm quá trình tạo CH_4 mà không ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả tiêu hóa. Đây được xem là một trong những công nghệ giảm phát thải KNK có tính khả thi cao nhất hiện nay trong chăn nuôi bò sữa và bò thịt.

Một nghiên cứu thực nghiệm tại Đan Mạch trên 72 bò sữa Holstein cho thấy, bổ sung 3-NOP ở mức 60 mg/kg vật chất khô giúp giảm 31-34% lượng khí CH_4 phát thải mà không ảnh hưởng đến lượng thức ăn thu nhận và sản lượng sữa. Ngược lại, liều 80 mg/kg dù tiếp tục giảm CH_4 ở mức tương tự nhưng lại làm giảm 9% lượng ăn vào và 5% sản lượng sữa (Maigaard & cs., 2025). Kết quả này khẳng định việc lựa chọn liều hợp lý của 3-NOP có thể giảm phát thải KNK đáng kể mà vẫn đảm bảo hiệu quả kinh tế cho nông hộ, đồng thời mở ra cơ hội tích hợp phụ gia này vào chuỗi giá trị sữa và thịt bò như một giải pháp nâng cao tính bền vững và tiếp cận các cơ chế tài chính carbon.

Tuy nhiên hạn chế quan trọng là chi phí sản xuất và phân phối 3-NOP vẫn còn cao, đặc biệt với các hộ chăn nuôi nhỏ lẻ ở các nước đang phát triển (Frances & cs., 2023). Ngoài ra, việc thương mại hóa cần đi kèm khung pháp lý rõ ràng về an toàn thực phẩm, chứng nhận và cơ chế hỗ trợ tài chính (Global Methane Hub, 2024). Ở ngành chăn nuôi lợn, bằng chứng khoa học chưa đầy đủ khiến cho việc triển khai còn nhiều rủi ro: nếu hiệu quả không rõ ràng thì chi phí bổ sung sẽ trở thành gánh nặng mà không mang lại lợi ích kinh tế trực tiếp. Cuối cùng, sự thành công của 3-NOP về mặt kinh tế phụ thuộc nhiều vào việc có cơ chế định giá các-bon và thị trường tiêu thụ sản phẩm phát thải thấp; nếu không thì động lực áp dụng của nông dân sẽ không cao (FAO, 2013).

3.2. Kinh nghiệm về giảm thiểu khí nhà kính trong chăn nuôi ở Việt Nam

3.2.1. Kinh nghiệm quản lý chuồng trại bằng đệm lót sinh học

Việc sử dụng đệm lót sinh học từ phụ phẩm nông nghiệp được xem là một trong những biện pháp cải thiện môi trường chuồng nuôi và giảm phát thải KNK. Nghiên cứu của Nguyễn Thị Hiền & cs. (2024) cho thấy đệm lót làm từ rơm và vỏ cây keo trong chăn nuôi bò thịt ban đầu phát thải chủ yếu CO_2 do phân hủy hiếu khí, trong khi CH_4 phát sinh rất thấp (0,6-151 g/tấn đệm khô/ngày). Tuy nhiên, sau khoảng 42 ngày, điều kiện yếm khí hình thành khiến phát thải CH_4 tăng đột biến, đạt 2,28 kg/tấn/ngày ở ngày thứ 54. Ngược lại, N_2O đạt cực đại ở ngày thứ 32 rồi giảm mạnh về sau.

Từ kết quả này, tác giả khuyến nghị cần thay thế hoặc đảo trộn đệm lót sau 42 ngày sử dụng để hạn chế nguy cơ bùng phát CH_4. Ngoài ra, các chỉ tiêu khí độc khác như H_2S, NH_3, SO_2 đều thấp hơn quy chuẩn (QCVN 01-79:2011/BNNPTNT), chứng minh rằng đệm lót sinh học giúp cải thiện môi trường không khí trong chuồng nuôi. Đây là minh chứng cho thấy việc kết hợp tận dụng phụ phẩm nông nghiệp và quản lý chuồng trại hợp lý có thể mang lại lợi ích kép về giảm phát thải và nâng cao phúc lợi vật nuôi.

Bên cạnh ưu điểm, hạn chế lớn nhất của đệm lót là vấn đề sinh nhiệt do quá trình lên men của vi sinh vật, khiến chuồng nuôi nóng, đặc biệt vào mùa hè. Bên cạnh đó, mô hình không thích hợp ở những vùng hay bị mưa lũ, ngập nước chuồng trại và tốn diện tích, chi phí ban đầu lớn, khó áp dụng cho chăn nuôi công nghiệp mật độ cao. Nếu bảo trì kém, mầm bệnh có thể tồn tại trong đệm lót qua nhiều lứa nuôi, gây ô nhiễm và dịch bệnh (Người chăn nuôi, 2015).

3.2.2. Kinh nghiệm tách rắn - lỏng và cải tiến quản lý chất thải

Nghiên cứu của Nguyễn Thị Bích Hà & cs. (2019) tại Hưng Yên cho thấy hầu hết các trang trại nuôi lợn đều sử dụng biogas, nhưng nước thải sau xử lý vẫn vượt chuẩn từ 2,9-52,7 lần, gây ô nhiễm kênh mương. Khi mô phỏng các

phương án quản lý chất thải, tác giả chỉ ra rằng tách rắn - lỏng và lưu giữ phân riêng giúp giảm tới 142,3 tấn CH_4/năm, hiệu quả vượt xa các biện pháp khác như bán phân tươi (giảm 20 tấn/năm) hay xây thêm hầm biogas (giảm 2 tấn/năm).

Điều này chứng minh biogas chỉ là một phần của giải pháp. Việc bổ sung công nghệ tách rắn - lỏng kết hợp ủ compost sẽ nâng cao hiệu quả giảm phát thải, đồng thời hạn chế ô nhiễm nước mặt. Đây là kinh nghiệm quan trọng đối với các địa phương có mật độ chăn nuôi lợn cao. Tuy nhiên, việc đầu tư công nghệ tách rắn - lỏng đòi hỏi chi phí ban đầu, vận hành và bảo trì - một rào cản lớn với chăn nuôi nông hộ và trang trại nhỏ.

3.2.3. Kinh nghiệm sử dụng hợp chất tannin đối với động vật nhai lại

Tannin - nhóm hợp chất polyphenol có nhiều trong thức ăn xanh (cây bụi, cây họ đậu) - có ảnh hưởng đến quá trình tiêu hóa và phát thải khí CH_4 ở động vật nhai lại. Tác dụng của tannin phụ thuộc vào nồng độ, loại tannin, loài vật nuôi, trạng thái sinh lý của vật nuôi và thành phần khẩu phần. Ở nồng độ thấp, tannin giúp bảo vệ protein khỏi bị phân giải bởi vi sinh vật dạ cỏ, tăng lượng protein không bị phân giải xuống ruột non, đồng thời ức chế hoạt động của vi khuẩn sinh CH_4 và động vật nguyên sinh (protozoa) trong dạ cỏ. Cơ chế giảm CH_4 gồm tác động trực tiếp lên vi khuẩn sinh CH_4 và gián tiếp qua việc giảm lượng hydro tự do dùng để tạo CH_4.

Có thể tổng hợp một số ứng dụng thực nghiệm tiêu biểu sử dụng chất tannin như sau: bổ sung 0,5% tannin từ bột chè xanh vào khẩu phần bò sữa giúp giảm đến 22,77% lượng phát thải CH_4 và tăng năng suất sữa; bổ sung 20% bột lá keo dậu (tương đương 0,3% tannin) vào khẩu phần chất khô cho bò lai Sind giúp giảm CH_4 và tăng khối lượng. Tuy nhiên, ở nồng độ cao (trên 0,7-1%), tannin lại làm giảm khả năng tiêu hóa vật chất khô, chất hữu cơ và lượng thức ăn ăn vào. Do vậy, việc lựa chọn đúng nguồn và liều lượng tannin bổ sung vào khẩu phần là chiến lược dinh dưỡng khả thi để vừa giảm phát thải CH_4 vừa duy trì hiệu quả tiêu hóa của gia súc nhai lại (Nguyễn Văn Quang, 2023).

4. HÀM Ý CHO VIỆT NAM TRONG VIỆC THÚC ĐẨY ỨNG DỤNG CÁC BIỆN PHÁP GIẢM THIỂU KHÍ NHÀ KÍNH TRONG CHĂN NUÔI

Một số đề xuất nhằm thúc đẩy việc ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK trong chăn nuôi bao gồm:

Chuẩn hóa tài liệu hướng dẫn kỹ thuật và tăng cường tuyên truyền, tập huấn. Cơ quan khuyến nông ở các địa phương nghiên cứu ban hành tài liệu hướng dẫn kỹ thuật các biện pháp giảm thải KNK bao gồm sử dụng đệm lót sinh học, hầm biogas, khuyến nghị khẩu phần ăn cải thiện dinh dưỡng và giảm phát thải. Bên cạnh đó, nâng cao nhận thức của chủ thể chăn nuôi và cán bộ quản lý về mục tiêu, vai trò và trách nhiệm giảm thiểu KNK trong lĩnh vực chăn nuôi. Phổ biến và tập huấn kỹ thuật ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK đến các chủ thể chăn nuôi.

Hỗ trợ tài chính và tạo động lực kinh tế cho người chăn nuôi phát thải thấp. Rào cản lớn nhất khi triển khai các công nghệ giảm phát thải (như máy tách phân, hầm biogas tiên tiến, hay phụ gia thức ăn chất lượng cao) là chi phí đầu tư ban đầu lớn và yêu cầu kỹ thuật cao, khiến các hộ chăn nuôi nhỏ lẻ khó tiếp cận. Chính phủ cần ban hành các chính sách tín dụng xanh, hỗ trợ vốn vay ưu đãi hoặc hỗ trợ ban đầu cho người chăn nuôi khi lắp đặt thiết bị giảm phát thải. Song song với đó, tiếp tục hoàn thiện và thúc đẩy việc vận hành của thị trường tín chỉ carbon, tạo thêm động lực tài chính để các chủ thể chăn nuôi giảm thiểu KNK khi có cơ hội trao đổi, mua bán tín chỉ các-bon trên thị trường.

Thúc đẩy chuyển đổi năng lượng xanh và chuyển dịch sang mô hình tuần hoàn. Bên cạnh phát thải trực tiếp từ vật nuôi, hoạt động chăn nuôi còn gây phát thải CO_2 và N_2O gián tiếp thông qua việc tiêu thụ năng lượng hóa thạch trong vận hành trang trại, vận chuyển và sản xuất thức ăn. Do vậy, cần có chính sách hỗ trợ các trang trại chuyển đổi sang sử dụng năng lượng tái tạo như điện mặt trời

mái chuồng, điện gió; ứng dụng các công nghệ tiết kiệm năng lượng; kết hợp với xây dựng các mô hình kinh tế tuần hoàn nhằm tận dụng triệt để các phụ phẩm nông nghiệp làm thức ăn hoặc chất lót chuồng, giảm thiểu KNK gián tiếp của toàn bộ quy trình sản xuất.

5. KẾT LUẬN

Tổng hợp từ các nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy các biện pháp giảm phát thải KNK được các chủ thể chăn nuôi ứng dụng có thể được phân thành bốn nhóm chính. Thứ nhất, quản lý dinh dưỡng đối với động vật nhai lại thông qua điều chỉnh khẩu phần, bổ sung phụ gia ức chế sinh CH_4, bổ sung vi sinh và vi chất. Thứ hai, quản lý chất thải bằng các biện pháp như hầm biogas, ủ phân, đệm lót sinh học và công nghệ tách phân. Thứ ba, quản lý đồng cỏ bền vững để tăng lưu trữ CO_2 trong đất, giúp giảm thiểu KNK cho các hoạt động chăn thả vật nuôi. Thứ tư, ứng dụng công nghệ tiết kiệm năng lượng và sử dụng năng lượng tái tạo. Để thúc đẩy ứng dụng các biện pháp giảm thiểu KNK trong chăn nuôi cần thực hiện đồng bộ các giải pháp từ chuẩn hóa tài liệu hướng dẫn kỹ thuật và tăng cường tuyên truyền nâng cao nhận thức và tập huấn cho người chăn nuôi; hỗ trợ tài chính và tạo động lực kinh tế cho người chăn nuôi phát thải thấp; thúc đẩy chuyển đổi năng lượng xanh và chuyển dịch sang mô hình nông nghiệp tuần hoàn.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo dựa trên kết quả nghiên cứu của đề tài *"Đánh giá thực trạng và đề xuất giải pháp giảm thiểu khí nhà kính trong lĩnh vực chăn nuôi tại tỉnh Hải Dương"*, mã số NN.07.HVNN.25-26 do UBND tỉnh Hải Dương (nay là UBND thành phố Hải Phòng) là cơ quan chủ quản, Học viện Nông nghiệp Việt Nam chủ trì thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Abdallah Abdul-Mumuni, John Kwaku Amoh & Barbara Deladem Mensah (2023). Does foreign direct investment asymmetrically influence carbon emissions in sub-Saharan Africa? Evidence from nonlinear panel ARDL approach. Environmental Science and Pollution Research. 30(5): 11861-11872. doi.org/10.1007/s11356-022-22909-w.

Associated Press (2024). Converting cow manure to fuel is growing climate solution, but critics say communities put at risk. Retrieved from https://apnews.com/article/dairies-digesters-methane-c4c39b3519fce4219d76d17332e4aa8a, on May 15, 2026.

Bộ NN&PTNT (2023). Kế hoạch giảm nhẹ phát thải khí nhà kính (bao gồm kế hoạch giảm phát thải khí mê-tan) ngành Nông nghiệp và Phát triển nông thôn đến năm 2030, định hướng đến năm 2050 (1693/QĐ-BNN-KHCN). Truy cập từ https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyet-dinh-1693-QD-BNN-KHCN-2023-giam-nhe-phat-thai-nha-kinh-nganh-Nong-nghiep-den-2030-585663.aspx, ngày 15/05/2026

Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). Vietnam Report on National GHG Inventory for 2016. Truy cập từ https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Viet%20Nam_NIR2016.pdf, ngày 05/05/2026.

Bodas R., Prieto N., García-González R., Andrés S., Giráldez F.J. & López S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. Animal Feed Science and Technology. 176(1): 78-93. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010.

Chianese S.D., Rotz C.A. & Richard L.T. (2009). Simulation of Methane Emissions from Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies. Transactions of the ASABE. 52(4): 1313-1323. https://doi.org/10.13031/2013.27781.

Cục Thống kê (2025). Niên giám thống kê Việt Nam năm 2024. Nhà xuất bản Thống kê.

De Haas Y., Windig J.J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A. & Veerkamp R.F. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. Journal of Dairy Science. 94(12): 6122-6134. https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4439.

Eric Abokyi, Paul Appiah-Konadu, Francis Abokyi & Eric Fosu Oteng-Abayie (2019). Industrial growth and emissions of CO2 in Ghana: The role of financial development and fossil fuel consumption. Energy Reports. 5: 1339-1353. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.002,

Eska Nugrahaeningtyas, Jong-Sik Lee & Kyu-Hyun Park (2024). Greenhouse gas emissions from livestock: sources, estimation, and mitigation. Journal of Animal Science and Technology. 66(6): 1083-1083. doi.org/10.5187/JAST.2024.E86.

Eugène M., Massé D., Chiquette J. & Benchaar C. (2008). Meta-analysis on the effects of lipid supplementation on methane production in

lactating dairy cows. Canadian Journal of Animal Science. 88(2): 331-337. https://doi.org/10.4141/CJAS07112.

FAO (2013). Tackling Climate Change through Livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Retrieved from https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf on Apr 24, 2026.

FAO (2020). Livestock and environment statistics: Manure and greenhouse gas emissions - Global, regional and country trends, 1990-2018. Retrieved from https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f0cebfdd-725e-4d7a-8e14-3ba8fb1486a7/content on Apr 25, 2026.

FAO (2021). Seaweed cultivation for climate change mitigation and carbon credit markets. Retrieved from https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7281en on Apr 25, 2026.

FAO (2023). Pathways towards lower emissions - A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. https://doi.org/10.4060/cc9029en.

Forster P., Storelvmo T., Armour K., Collins W., Dufresne J.-L., Frame D., Lunt D.J., Mauritsen T., Palmer M.D., Watanabe M., Wild M. & Zhang H. (2021). The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. *In*: Climate Change 2021: The Physical Science Basis (IPCC AR6, WG I). Cambridge University Press. pp. 923-1054. https://doi.org/10.1017/9781009157896.009.

Frances Cowley, Joe P McMeniman, Alex Karagiannis, Nicola Walker, Luis F M Tamassia, Joseph J McGrath & Roger S Hegarty (2023). Effect of 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions of feedlot cattle fed with a tempered barley-based diet with canola oil. Journal of Animal Science. https://doi.org/10.1093/jas/skad237.

Global Methane Hub (2024). State of Science Report: 3-NOP. Retrieved from https://www.globalmethanehub.org/wp-content/uploads/2024/09/State-of-Science-3NOP.pdf on Apr 24, 2026.

IPCC (1996). Climate Change: The IPCC Science of Climate Change, The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf on May 25, 2026

IPCC. (2013). Global and Regional Assessments of GHG Emissions and Mitigation Potential in Livestock Supply Chains. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/ pdfiles/1407_Sofia/36_MOTTET-FAO-IPCC%20Sofia.pdf, on Apr 26, 2026.

IPCC. (2023). Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

Iurii Shcherbak, Neville Millar & G. Philip Robertson. (2014). Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N_2O) emissions to fertilizer nitrogen. https://doi.org/10.1073/PNAS.1322434111.

Kinley Robert D., Martinez-Fernandez Gonzalo, Matthews Melissa K., de Nys Rocky, Magnusson Marie & Tomkins Nigel W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. Journal of Cleaner Production. 259: 120836. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836.

Lê Thị Thoa, Đỗ Thu Nga & Đinh Đức Trường (2021). Phân tích tiềm năng và rào cản trong phát triển công nghệ khí sinh học xử lý chất thải chăn nuôi lợn tại Việt Nam. Truy cập từ https://sti.vista.gov.vn/publication/view/1e6673453193c928184591993c043887-eeedca4febf3e6e9ecdacd30994bb9ab-316154.html, ngày 26/4/2026.

Li Lidong, Awada Tala, Shi Yeyin, Jin Virginia L. & Kaiser Michael (2024). Global Greenhouse Gas Emissions From Agriculture: Pathways to Sustainable Reductions. Global Change Biology. 31(1): e70015-e70015. https://doi.org/10.1111/GCB.70015.

Maigaard M., Weisbjerg M.R., Ohlsson C., Walker N. & Lund P. (2025). Effects of different doses of 3-nitrooxypropanol combined with varying forage composition on feed intake, methane emission, and milk production in dairy cows. J Dairy Sci. 108(3): 2489-2502. doi.org/10.3168/jds.2024-25343.

Miller Gemma A., Bowen Jenna M., Dewhurst Richard J., Zweifel Beatrice, Spengler Katrin & Duthie Carol-Anne. (2023). Enteric Methane Emissions from Dairy-Beef Steers Supplemented with the Essential Oil Blend Agolin Ruminant. Animals. 13(11): 1826. https://doi.org/10.3390/ani13111826.

Montes F., Rotz C.A. & Chaoui H. (2013). Process modeling of ammonia volatilization from ammonium solution and manure surfaces: A review with recommended models. Transactions of the ASABE. 53(1): 255-270. https://doi.org/10.13031/2013.29133.

Myhre G. Shindell D., Bréon F.-M., Collins W., Fuglestvedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J.-F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T. & Zhang H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis (IPCC AR5, WG I). Cambridge University Press. pp. 659-740. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.018.

Najabat Ali, Khamphe Phoungthong, Kuaanan Techato, Waheed Ali, Shah Abbas, Joshuva Arockia Dhanraj & Khan, Anwar (2022). FDI, Green Innovation and Environmental Quality Nexus:

New Insights from BRICS Economies. https://doi.org/10.3390/SU14042181.

Ngô Kim Chi, Đặng Ngọc Phượng & Nguyễn Xuân Dũng (2012). Giảm phát thải khí mê tan trong thay đổi phương thức quản lý phân và xử lý dịch thải sau biogas. Tạp chí Khoa học và Công nghệ. 50(1): 91-98.

Người chăn nuôi (2015). Hạn chế trong việc sử dụng đệm lót sinh học trong chăn nuôi. Truy cập từ https://nguoichannuoi.vn/kien-thuc/han-che-trong-viec-su-dung-dem-lot-sinh-hoc-trong-chan-nuoi/, ngày 22/08/2026.

Nguyễn Thanh Sơn & Trần Thị Tâm (2023). Đánh giá phát thải khí nhà kính từ chăn nuôi lợn tập trung tại huyện Cam Lâm tỉnh Khánh Hòa. Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang. https://doi.org/10.53818/jfst.03.2023.183.

Nguyễn Thị Bích Hà, Thân Thị Hà, Võ Hữu Công & Nguyễn Thanh Lâm (2019). Bước đầu nghiên cứu tính toán lượng phát thải khí CH_4 từ chất thải chăn nuôi lợn ở các quy mô khác nhau trên địa bàn huyện Văn Giang, tỉnh Hưng Yên. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. 14: 75-84.

Nguyễn Thị Hiền, Nguyễn Đức Lương & Hoàng Hiệp (2024). Nghiên cứu mức độ phát thải khí nhà kính từ đệm lót sinh học được làm từ rơm và vỏ cây keo trong chăn nuôi bò thịt. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 16: 29-42.

Nguyễn Thị Hồng Sâm (2023). Kinh tế tuần hoàn trong chăn nuôi ở Việt Nam. Kinh tế Châu Á - Thái Bình Dương (Tháng 4): 19-21. Truy cập từ https://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/bitstream/DLU123456789/197424/1/CVv168S6322023019.pdf, ngày 4/5/2026.

Nguyễn Thị Thanh Thuận, Cao Thúy Anh, Nguyễn Thị Bảo Dung & Lê Quang Huy (2017). Đánh giá phát thải khí nhà kính từ chăn nuôi lợn tập trung tại Lâm Đồng. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ. https://doi.org/10.32508/stdjsee.v1iM2.439.

Nguyễn Văn Quang (2023). Tannin trong thức ăn xanh ảnh hưởng đến tiêu hóa của gia súc nhai lại. Tạp chí Khoa học Công nghệ Chăn nuôi - Viện Chăn nuôi. Truy cập từ https://tapchivcn.vn/khcn/article/view/142, ngày 22/8/2026.

Patra Amlan Kumar (2014). A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. Livestock Science. 162: 97-103. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007.

Risse L.M., Cabrera M.L., Franzluebbers A.J., Gaskin J.W., Gilley J.E., Killorn R. & Zhang H. (2006). Land Application of Manure for Beneficial Reuse, *In* Animal Agriculture and the Environment: National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers. J. M. Rice, D. F. Caldwell, F. J. Humenik, St. Joseph, Michigan: ASABE, 283-316

Scott Alun & Blanchard Richard (2021). The Role of Anaerobic Digestion in Reducing Dairy Farm Greenhouse Gas Emissions. Sustainability. 13(5). https://doi.org/10.3390/su13052612.

SIPA (2023). Hướng dẫn kỹ thuật cải thiện chế độ ăn truyền thống và quản lý chất thải chăn nuôi bò thịt sử dụng phụ phẩm rơm lúa và cây trồng khác nhằm giảm phát thải khí nhà kính, và phát triển kinh tế tuần hoàn. Truy cập từ https://www.climatechange.vn/wp-content/ uploads/ 2025/01/Guidelines_-20Jul2023-VN_final-clean. pdf, ngày 28/4/2026.

Soussana J.F., Tallec T. & Blanfor V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. Animal. 4(3): 334-350. https://doi.org/10.1017/S1751731109990784

Stefenoni H.A., Räisänen S.E., Cueva S.F., Wasson D.E., Lage C.F.A., Melgar A., Fetter M.E., Smith P., Hennessy M., Vecchiarelli B., Bender J., Pitta D., Cantrell C.L., Yarish C. & Hristov A.N. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. Journal of Dairy Science. 104(4): 4157-4173. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19686.

Symeon G.K., Akamati K., Dotas V., Karatosidi D., Bizelis I. & Laliotis G.P. (2025). Manure Management as a Potential Mitigation Tool to Eliminate Greenhouse Gas Emissions in Livestock Systems. Sustainability. 17(2): 586. https://doi.org/10.3390/su17020586.

Trần Hiệp, Phạm Kim Đăng & Chu Mạnh Thắng (2016). Ảnh hưởng của việc bổ sung dầu bông đến khả năng sản xuất và phát thải khí mêtan từ dạ cỏ của bò sữa. Truy cập từ https://vie.vjas.vn/index.php/vjasvn/article/view/255, ngày 28/4/2026.

U.S. Environmental Protection Agency (2025). AgSTAR: Anaerobic Digestion on Swine and Dairy Farms. Retrieved from https://www.epa.gov/agstar on Apr 20, 2026.

Wall E., Simm G. & Moran D. (2010). Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. Animal. 4(3): 366-376. https://doi.org/10.1017/S175173110999070X.

William Adzawla, Mamma Sawaneh & Abdulmalik M. Yusuf (2019). Greenhouse gasses emission and economic growth nexus of sub-Saharan Africa. Science Direct. https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2019.E00065.