



Sử dụng các chất có nguồn gốc thực vật tự nhiên để giảm bài tiết nitrogen và phát thải N₂O từ động vật nhai lại

Nguyễn Văn Quang

Viện Chăn nuôi

TÓM TẮT

Động vật nhai lại đóng vai trò quan trọng trong hệ thống thực phẩm của chúng ta bằng cách chuyển đổi sinh khối thực vật mà con người không thể hoặc không chọn tiêu thụ thành thực phẩm chất lượng cao có thể ăn được. Tuy nhiên, chất thải của động vật nhai lại là nguồn nitơ oxit (N₂O) đáng kể, một loại khí nhà kính mạnh có khả năng gây nóng lên toàn cầu trong thời gian dài gấp 298 lần so với carbon dioxide. Các loại hóa chất thực vật tự nhiên hoặc thức ăn chăn nuôi có chứa hóa chất thực vật đã cho thấy tiềm năng cải thiện hiệu quả sử dụng nitơ (N) và giảm lượng khí thải N₂O từ chất thải của động vật nhai lại. Việc bổ sung tannin vào chế độ ăn có thể chuyển nhiều N bài tiết hơn vào phân, thay đổi thành phần N trong nước tiểu và do đó làm giảm lượng khí thải N₂O từ chất thải. Tinh dầu hoặc saponin có thể ức chế sản xuất amoniac dạ cỏ và làm giảm lượng N bài tiết qua nước tiểu. Ở những đồng cỏ chăn thả, một lượng lớn glucosinolate hoặc aucubin có thể được đưa vào đất đồng cỏ khi động vật tiêu thụ thực vật giàu các hợp chất này và sau đó bài tiết chúng hoặc các chất chuyển hóa của chúng qua nước tiểu hoặc phân. Nếu các hợp chất ức chế được bài tiết qua nước tiểu, chúng sẽ được áp dụng trực tiếp vào mảng nước tiểu để giảm quá trình nitrat hóa và phát thải N₂O sau đó. Vai trò của hóa chất thực vật trong sản xuất bền vững ở động vật nhai lại là không thể phủ nhận, nhưng vẫn còn nhiều điều không chắc chắn. Sự không nhất quán, tác dụng tạm thời và tác dụng phụ hạn chế hiệu quả của các hóa chất thực vật này trong việc giảm mất N. Trong bài viết này, chúng tôi sẽ xác định một số hóa chất thực vật hiện tại có trong thức ăn có khả năng điều chỉnh bài tiết N ở động vật nhai lại hoặc giảm sản xuất N₂O và cân nhắc những thách thức và cơ hội liên quan đến việc sử dụng hóa chất thực vật hoặc thức ăn giàu hóa chất thực vật như các chiến lược chế độ ăn uống để giảm bài tiết N và phát thải N₂O có nguồn gốc từ chất thải.

Từ khóa: Chuyển hóa nitơ, oxit nitơ, hợp chất hoạt tính sinh học thực vật, động vật nhai lại, nước tiểu

Giới thiệu

Động vật nhai lại cực kỳ quan trọng không chỉ vì sản xuất ra lượng sữa và thịt cao nhất như những thành phần thiết yếu trong chế độ ăn của con người, mà còn vì khả năng ăn thức ăn nhiều xơ mà con người không thể sử dụng (Eisler và cs., 2014). Tuy nhiên, 75%–90% nitơ (N) tiêu thụ được bài tiết qua nước tiểu và phân (de Klein và cs., 2001). Khi lượng N bài tiết vượt quá nhu cầu của cây, nó có thể dẫn đến mất N đáng kể thông qua quá trình rửa trôi nitrat (NO₃⁻), bay hơi amoniac (NH₃) và sản xuất nitơ oxit (N₂O)

(de Klein và cs., 2001). N₂O là một loại khí nhà kính (GHG) mạnh, ước tính mạnh hơn carbon dioxide (CO₂) gấp 298 lần về sức nóng trong hơn 20 năm (IPCC, 2022). Bằng cách oxy hóa thành oxit nitơ trong tầng bình lưu, N₂O đóng vai trò quan trọng trong việc làm suy giảm tầng ôzôn tầng bình lưu (Ravishankara và cs., 2009). Lượng khí thải N₂O do con người tạo ra (2,7 ± 1,6 GtCO₂-eq) cao hơn 133% vào năm 2019 so với năm 1990 (IPCC, 2022). Khoảng 81% lượng khí thải N₂O do con người tạo ra là do ngành nông nghiệp (IPCC, 2022) và lượng khí thải N₂O từ chất thải của động vật nhai

lại chiếm 46% lượng khí thải N_2O trong nông nghiệp (Smith và cs., 2007).

Sản lượng động vật nhai lại được dự đoán sẽ tiếp tục tăng trong vài thập kỷ tới, do dân số tăng nhanh, thu nhập tăng và sở thích ăn uống theo chế độ ăn (Pulina và cs., 2016). Với những lo ngại ngày càng tăng về tác động môi trường của chăn nuôi động vật nhai lại, có động lực để giảm đáng kể lượng khí thải N_2O có nguồn gốc từ động vật nhai lại. Trong những năm qua, một số chiến lược giảm thiểu N và N_2O từ phân, bao gồm các phương pháp quản lý chế độ ăn hoặc phân ở cấp độ đàn gia súc cùng với các phương pháp có mục tiêu hơn, chẳng hạn như giảm lượng protein trong chế độ ăn (Zhou và cs., 2019), bổ sung natri clorua (Liu và Zhou, 2014), thay đổi các nguồn protein không phân hủy trong dạ cỏ (Coelho và cs., 2022), thức ăn thay thế (Bao và cs., 2018, Lombardi và cs., 2021) và chất ức chế quá trình nitrat hóa (de Klein và cs., 2014, Mazzetto và cs., 2015) đã được nghiên cứu rộng rãi. Nhu cầu của người tiêu dùng hiện đại hướng đến việc sử dụng ‘các sản phẩm tự nhiên’ để thay đổi quá trình chuyển hóa N của động vật nhai lại và phát thải N_2O có nguồn gốc từ chất bài tiết.

Một mặt, việc điều chỉnh quá trình chuyển hóa N của động vật nhai lại bằng các chiến lược dinh dưỡng có thể làm giảm bài tiết N và do đó, giảm phát thải N_2O . Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng việc bổ sung các hóa chất thực vật tự nhiên (tannin, saponin và tinh dầu) có thể làm giảm nồng độ NH_3 trong dạ cỏ và thay đổi sự phân chia N bài tiết, giúp giảm bài tiết N qua nước tiểu và phát thải N_2O vào khí quyển (Santoso và cs., 2007, Stewart và cs., 2019, Wu và cs., 2018). Mặt khác, các hóa chất thực vật có thể làm giảm mất N_2O khi chúng được lắng đọng trong nước tiểu, dưới dạng thuốc lợi tiểu để giảm tỷ lệ tải N trên đồng cỏ hoặc là chất ức chế nitrat hóa tự nhiên do hoạt tính kháng khuẩn của chúng (Dietz và cs., 2013, Totty và cs., 2013). Các chất ức chế có trong thức ăn thô có thể được hòa trực tiếp vào các mảng nước tiểu sau khi gia súc nhai lại tiêu thụ. Ví dụ, Plantago aucubin và Brassica isothiocyanates đã được chứng minh là có tác

dụng ức chế một bước quan trọng trong quá trình tạo ra N_2O từ các mảng nước tiểu ở động vật nhai lại được cho ăn những loại thức ăn thô này (Luo và cs., 2015, Luo và cs., 2018, Simon và cs., 2019).

Tuy nhiên, vai trò và hiệu quả của hóa chất thực vật trong việc giảm phát thải N_2O từ chất thải của gia súc nhai lại vẫn còn gây tranh cãi. Có nhiều lý do gây tranh cãi, chủ yếu bao gồm tác động thay đổi của việc giảm phát thải N_2O , các phương pháp đánh giá phát thải N_2O khác nhau, nguồn hóa chất thực vật, số lượng hóa chất thực vật được hấp thụ, chi phí cho thức ăn bổ sung và các tác dụng phụ có thể xảy ra về mặt hiệu suất và sức khỏe. Trong bài đánh giá này, tiềm năng, cơ chế và các vấn đề chưa được giải quyết của việc giảm phát thải N_2O từ gia súc nhai lại thông qua việc cho ăn hóa chất thực vật cũng được thảo luận. Mục đích của chúng tôi là cung cấp những hiểu biết sâu sắc hơn về việc sử dụng hóa chất thực vật để điều chỉnh bài tiết N và giảm phát thải N_2O từ gia súc nhai lại.

N_2O từ phân động vật nhai lại

N_2O chủ yếu được tạo ra thông qua hai con đường sinh học chính, tức là nitrat hóa và khử nitrat (Saggar, 2010), nhưng cũng có thể được tạo ra bởi các quá trình khác như nitrat hóa-khử nitrat hoặc đồng nitrat hóa (Carter, 2007). Sau khi lắng đọng chất thải, phần lớn N hữu cơ hoặc urê N trong phân được khoáng hóa hoặc thủy phân thành amoni (NH_4^+) và sau đó được chuyển thành NO_3^- thông qua hoạt động của vi khuẩn nitrat hóa trong điều kiện sục khí một phần. NO_3^- được tạo ra sau đó có thể được chuyển đổi thành đinitơ (N_2) bằng vi khuẩn khử nitrat trong điều kiện thiếu oxy. Trong quá trình nitrat hóa NH_4^+ và khử nitrat NO_3^- , khí N_2O có thể thoát ra khí quyển như một sản phẩm phụ. Tỷ lệ N được giải phóng dưới dạng N_2O từ chất thải của động vật nhai lại bị ảnh hưởng đáng kể bởi chế độ cho ăn, hoàn cảnh môi trường, hệ thống trang trại và các hoạt động quản lý phân (Dijkstra và cs., 2013). Chúng ta có thể chia các yếu tố ảnh hưởng này thành hai khía cạnh (tức là động vật và các yếu tố môi

trường) theo chu trình N giữa động vật nhai lại và môi trường.

Trong bài đánh giá mới nhất, Mancina và *cs.* (2022) đã thảo luận về các yếu tố phân tách các yếu tố phát thải N₂O (EF), chẳng hạn như loại chất thải, chế độ ăn của động vật, sự thay đổi theo mùa và sự thay đổi theo không gian. Xem xét mối liên hệ giữa thành phần chất thải của động vật nhai lại và các chiến lược giảm thiểu chế độ ăn uống, bài đánh giá này tập trung vào việc phân tách theo loại chất thải. Trong hướng dẫn của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) năm 2006, các giá trị mặc định của EF lần lượt là 2% và 1% đối với gia súc và cừu, không có sự phân biệt giữa nước tiểu và phân (Eggleston và *cs.*, 2006). Các giá trị IPCC gần đây hơn của N₂O EF đã được cập nhật và N₂O-EF dựa trên nước tiểu và phân đối với gia súc lần lượt là 0,77% và 0,13% trong điều kiện khí hậu ẩm ướt (IPCC, 2019). Hầu hết các nghiên cứu đều báo cáo rằng N₂O-EF của nước tiểu lớn hơn N₂O-EF từ phân (Bell và *cs.*, 2015, Chadwick và *cs.*, 2018, Hoeft và *cs.*, 2012, Luo và *cs.*, 2019, Thomas và *cs.*, 2017), ngoại trừ kết quả được mô tả bởi Wachendorf và *cs.* (2008) và Ma và *cs.* (2010).

So với thời gian khoáng hóa N trong phân dài hơn, nước tiểu có thể nhanh chóng cung cấp NH₄⁺ có sẵn cho quá trình nitrat hóa và khử nitrat bằng cách thủy phân urê, góp phần làm tăng lượng N₂O bị mất (Wecking và *cs.*, 2020). Ngoài ra, hàm lượng vật chất khô (DM) cao trong phân cũng làm giảm khả năng N trong phân thấm vào đất, hạn chế tương tác với cộng đồng vi sinh vật đất (van der Weerden và *cs.*, 2011). Sự khác biệt này ngụ ý rằng tỷ lệ N trong phân so với N bài tiết trong nước tiểu cũng có thể ảnh hưởng đến lượng phát thải N₂O. Lợi ích của việc phân tách khí thải thành phân và nước tiểu là có thể tính đến tác động của việc điều chỉnh chế độ ăn đối với sự phân chia N và do đó là lượng phát thải N₂O. Do đó, việc phân tách theo loại chất thải mang lại cơ hội tốt hơn để điều chỉnh lượng phát thải N₂O thông qua các chất hóa học thực vật trong chế độ ăn.

Tiềm năng của các hợp chất thực vật tự nhiên trong việc giảm bài tiết N và phát thải N₂O

Chế độ ăn có ảnh hưởng sâu sắc đến thành phần hóa học và sự phân bố của N bài tiết, do đó có thể ảnh hưởng gián tiếp đến quá trình phát thải N₂O từ các mảng chất thải (Lombardi và *cs.*, 2022). Một số hóa chất thực vật (tannin, tinh dầu, saponin và glucosinolate) có trong thức ăn thô và chiết xuất thực vật đã được xác định là chất ức chế mêtan (CH₄) có thể có trong dạ cỏ (Brice và *cs.*, 2022, Cieslak và *cs.*, 2012, Shilwant và *cs.*, 2022, Sun, 2020). Tuy nhiên, có rất nhiều cơ hội để đồng thời giảm chất thải N và sản xuất CH₄ ở động vật nhai lại (Stewart và *cs.*, 2019). Trong phần này, những tiến bộ gần đây sử dụng hóa chất thực vật trong chế độ ăn uống làm chiến lược bài tiết N và giảm thiểu phát thải N₂O được mô tả ở đây.

Chất Tanin

Tanin cô đặc

Theo thông lệ, tannin thường được phân loại thành hai nhóm: tannin cô đặc (CT) và tannin thủy phân (HT). CT hoặc proanthocyanidin được hình thành thông qua các liên kết interflavonoid C₄-C₈ và C₄-C₆ giữa chatequin, leucoanthocyanidin và các dẫn xuất của chúng; CT không bị phân hủy nhanh chóng trong đường tiêu hóa (Hagerman và *cs.*, 1992). CT có thể tương tác với protein thực vật thông qua liên kết hydro trong phạm vi pH gần trung tính để tạo thành phức hợp tannin-protein không hòa tan, sau đó được phân tách trong dạ múi khế để giải phóng protein. CT có thể cản trở sự phát triển của vi khuẩn phân giải protein, do đó ức chế quá trình phân giải protein (Jones và *cs.*, 1993). Do đó, sự hình thành phức hợp tannin-protein và ức chế hoạt động phân giải protein của vi khuẩn có thể làm giảm khả năng phân hủy dạ cỏ và tăng lưu lượng protein vào ruột (Patra và Saxena, 2011).

Nhiều nghiên cứu đã báo cáo rằng việc bổ sung CT vào chế độ ăn uống làm giảm lượng N thải ra qua nước tiểu và tăng lượng N thải ra qua phân ở bò sữa (Gerlach và *cs.*, 2018), bò thịt (Koenig và *cs.*, 2018), cừu (Deville và

cs., 2010), cừ non (Pathak và cs., 2017) và dê (Silveira Pimentel và cs., 2021). Sự thay đổi trong lượng N thải ra từ urê trong nước tiểu sang dạng N ổn định hơn trong phân có thể làm tăng nồng độ N hữu cơ trong đất và giảm lượng N₂O phát thải (Mueller-Harvey và cs., 2019). Một nghiên cứu thực địa đã chứng minh rằng việc cho bò đực thịt ăn một loại cây họ đậu giàu tanin (*sericea lespedeza* hay) làm giảm hiệu quả lượng N₂O, CH₄ và CO₂ phát thải từ đất trong 32 ngày sau khi bón phân (van Cleef và cs., 2022). Tuy nhiên, Hao và cs. (2011) báo cáo rằng việc bổ sung CT vào chế độ ăn của gia súc thịt không ảnh hưởng đến lượng khí thải N₂O từ phân ủ. Hiệu ứng ngược lại đã được de Souza và cs. (2021) thu được, họ quan sát thấy chiết xuất tannin *Acacia mearnsii* làm tăng lượng khí thải N₂O từ các mảng phân trên đồng ruộng; tuy nhiên, kết quả bất ngờ này không thể giải thích rõ ràng. Những phát hiện này cho thấy rằng tác động của CT đối với việc sử dụng N của động vật nhai lại và lượng khí thải N₂O có thể rất đa dạng tùy thuộc vào nguồn gốc, nồng độ, cấu trúc phân tử và liều lượng tannin.

Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trong những thập kỷ qua điều tra tác động của CT trong chế độ ăn đối với bài tiết N đều được tiến hành với gia súc nhai lại bị nhốt trong hệ thống chăn thả thâm canh. Chỉ có một số ít bài báo được công bố về tác động của thức ăn tươi giàu tanin đối với tổn thất khí N có nguồn gốc từ chất thải khi chăn thả quanh năm. Lá cây keo *cyanophylla* chứa 3% CT cho cừu ăn tới 200 g/ngày đã làm giảm bài tiết N qua nước tiểu và tăng NUE (Maamouri và cs., 2011). Lagrange và cs. (2020) phát hiện ra rằng sự kết hợp của các loại đậu chứa tanin (cây ba lá chân chim và cây sainfoin) đã dẫn đến việc giảm nồng độ N trong nước tiểu và urê-N trong nước tiểu lớn hơn mức giảm được quan sát thấy đối với từng loài tanin riêng lẻ. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều tranh cãi về việc liệu tanin có thể duy trì hoạt động sinh học của chúng trong quá trình làm cỏ khô hay không (Heckendorn và cs., 2006). Stewart và cs. (2019) đã báo cáo rằng việc cho bò cái tơ Angus hoặc bò thịt ăn cỏ khô có chứa CT (cỏ ba lá chân chim (CT 0,6%) hoặc cỏ linh

lăng (CT 2,5%) hoặc cỏ khô có chứa HT (cỏ burnet nhỏ (HT 4,5%) cũng làm giảm bài tiết urê N qua nước tiểu và chuyển sự phân chia N từ nước tiểu sang phân, so với việc cho ăn cỏ khô truyền thống từ cây họ đậu và cỏ. Kết quả của Stewart và cs. (2019) cho thấy rằng tannin vẫn giữ nguyên khả năng sinh học của chúng (tức là ảnh hưởng đến quá trình chuyển hóa N) bất kể những thay đổi trong giai đoạn làm cỏ khô. Hơn nữa, Deaville và cs. (2010) cũng đã nghiên cứu tiềm năng của việc thêm tannin hạt dẻ và mimosa vào cỏ khi ủ chua để cải thiện khả năng sử dụng N ở cừu, họ phát hiện ra rằng so với thức ăn ủ chua đối chứng, cả hai loại tannin đều làm giảm bài tiết N qua nước tiểu và tăng sản lượng N qua phân.

Bằng cách trộn CT vào thức ăn của gia súc nhai lại bị nhốt, có thể đạt được lượng CT hấp thụ đủ; tuy nhiên, khi gia súc và cừu đang gặm cỏ, có thể khó đạt được mức tiêu thụ đầy đủ và nhất quán của chất bổ sung thức ăn có chứa CT. Kronberg và Liebig (Kronberg và Liebig, 2011) đã chỉ ra rằng việc bổ sung tannin vào nước ngọt của cừu đang gặm cỏ làm giảm lượng urê trong nước tiểu lắng đọng trên đồng cỏ và việc đánh giá tính khả thi của việc thêm CT vào nước uống để giảm thiểu lượng khí thải N₂O từ các mảng nước tiểu trên đồng cỏ là cần thiết. Tanin đã được nghiên cứu rộng rãi trong việc giảm lượng khí thải N hoặc N₂O ở gia súc bị nhốt được nuôi ở vùng khí hậu ôn đới. Tuy nhiên, việc sử dụng tannin có thể được mở rộng sang các hệ thống sản xuất khác bằng cách xem xét đặc điểm sinh học cơ bản của chúng.

Ngoài việc giảm lượng khí thải N₂O từ nước tiểu thông qua việc giảm bài tiết urê qua nước tiểu, CT có trong phân có thể cung cấp một chiến lược khả thi để giảm lượng khí thải N₂O bằng cách bón phân chuồng (kết hợp phân chuồng và nước tiểu) vào đất nông nghiệp. Hơn 50% CT vẫn chưa được tiêu hóa trong đường tiêu hóa của động vật nhai lại (PerezMaldonado và Norton. 1996, Terrill và cs., 1994). Theo quan điểm này, không có gì ngạc nhiên khi động vật nhai lại được cho ăn chế độ ăn nhiều CT sẽ bài tiết phân giàu CT. Tanin từ cỏ ba lá chân chim đã được chứng minh là có mặt và có khả năng hoạt động

trong phân của bò sữa, như Misselbrook và cs. (2005) đã chỉ ra. Khi bê sữa được cho ăn CT trong chế độ ăn, lượng khí thải NH_3 từ bùn trên sàn chuồng (Misselbrook và cs., 2005) và bùn được bón vào đất (Misselbrook và cs., 2005, Powell và cs., 2011) đều giảm. Powell và cs. (2011) quan sát thấy hoạt động của urease trong phân và lượng khí thải NH_3 từ phân đều giảm khi bò sữa được cho ăn chiết xuất tannin từ hạt dẻ hoặc sàn chuồng mô phỏng được bón tannin. Các nghiên cứu gần đây đã xác nhận rằng lượng khí thải N_2O giảm từ phân chuồng giàu tannin (Ingold và cs., 2021, Min và cs., 2020).

Ngoài ra, do quá trình khoáng hóa phức hợp bị ức chế, các phức hợp tannin-protein trong phân có khả năng chống phân hủy trong đất tốt hơn và phân hủy chậm hơn phân không có CT (Fox và cs., 1990, Palm và Sanchez, 1991). Fagundes và cs. (2021) đã báo cáo rằng việc cho gia súc ăn chiết xuất tannin *Acacia mimosa* làm tăng lượng N đầu ra trong phân, làm chậm quá trình phân hủy chất hữu cơ và thay đổi động lực vi sinh vật đất sau khi bón phân. Tuy nhiên, các nhà nghiên cứu này đã không định lượng được lượng khí thải N_2O từ phân của gia súc nhai lại được cho ăn CT. Cần có các nghiên cứu quy mô lớn hơn để xác định hiệu quả của chiết xuất tannin trong chế độ ăn uống trong việc giảm thiểu lượng N_2O bị mất từ sàn chuồng của gia súc nhai lại và chất thải bón trên đất.

Tannin thủy phân (HT)

So với CT, HT có ái lực yếu hơn với protein và do đó dễ được hấp thụ hơn qua đường tiêu hóa, làm tăng độc tính tiềm tàng đối với động vật (Hagerman và cs., 1992, Mueller-Harvey, 2006). Vì lý do này, các nghiên cứu trước đây về việc sử dụng tannin trong gia súc nhai lại tập trung vào CT thay vì HT. Tuy nhiên, một cuộc điều tra nghiên cứu trong ống nghiệm cho thấy không có sự khác biệt giữa các nguồn tannin trong việc ngăn ngừa sự phân hủy protein (Getachew và cs., 2008). Do đó, HT cũng có thể liên kết với vi khuẩn, làm thay đổi hoạt động của chúng và với protein, làm giảm sự phân hủy của chúng trong dạ cỏ và do đó làm thay đổi đầu ra N. Bổ sung HT chiết xuất từ

hạt dẻ ở mức 1%–3% DM ở cừu (Liu và cs., 2011) hoặc kết hợp với chiết xuất CT (có nguồn gốc từ quebracho) ở mức 1,5% DM ở bò đực thiếu (Aboagye và cs., 2018) làm giảm nồng độ NH_3 trong dạ cỏ. Tanin hạt dẻ, là một HT tiêu biểu, đã được chứng minh là có khả năng giảm thiểu tác động môi trường của động vật nhai lại thông qua việc chuyển N từ nước tiểu sang phân (Deaville và cs., 2010; Wischer và cs., 2014).

Axit tannic là một HT điển hình khác. Yang và cs. (2016) đã báo cáo rằng việc bổ sung axit tannic vào chế độ ăn của gia súc thịt bò làm giảm tỷ lệ N trong nước tiểu so với N trong phân và làm thay đổi nồng độ các hợp chất nitơ trong nước tiểu. Axit gallic có nguồn gốc từ quá trình thủy phân của HT cụ thể (Reed, 1995). Cho gia súc thịt bò ăn axit gallic đã làm thay đổi mô hình bài tiết N bằng cách tăng tỷ lệ N trong phân so với N trong nước tiểu và giảm tỷ lệ N trong nước tiểu so với N trong nước tiểu (Wei và cs., 2016). Sau đó, các thử nghiệm ủ trong phòng thí nghiệm đã chứng minh rằng việc bổ sung axit gallic hoặc axit tannic vào chế độ ăn của bò đực tơ làm giảm dòng N_2O sau khi bón nước tiểu vào đất (Zhou và cs., 2019, Bao và cs., 2018).

Ngược lại với CT, người ta tin rằng HT có thể phân hủy trong dạ cỏ (Makkar, 2003). Bổ sung axit gallic vào chế độ ăn làm giảm lượng khí thải N_2O qua nước tiểu từ gia súc thịt bò, trong khi bài tiết N qua nước tiểu hoặc bài tiết urê không bị ảnh hưởng (Bao và cs., 2018). Bao và cs. (2018) chủ yếu cho rằng điều này là do bài tiết các chất chuyển hóa của axit gallic, chẳng hạn như pyrogallol và resorcinol, có thể ức chế quá trình sản xuất N_2O . Tuy nhiên, hiện tại không có bằng chứng trực tiếp nào cho cơ chế được đề xuất này. Ngoài ra, lượng axit hippuric bài tiết qua nước tiểu lớn hơn đã được quan sát thấy ở gia súc thịt bò được cho ăn axit tannic (Zhou và cs., 2019; Yang và cs., 2016). Bài tiết axit hippuric có tương quan với lượng polyphenol tiêu thụ vì polyphenol là thành phần tiền chất của axit hippuric hình thành trong quá trình lên men dạ cỏ (Martin, 1982). Hợp chất kháng khuẩn axit hippuric đã được xem xét

vì khả năng làm giảm phát thải N_2O . Các nhà nghiên cứu đã phát hiện ra rằng việc tăng tỷ lệ axit hippuric trong nước tiểu đã làm giảm 50%–54% luồng N_2O từ nước tiểu bò (Kool và *cs.*, 2006; Willem van groenigen và *cs.*, 2006), rất có thể là do ức chế quá trình khử nitrat hoặc giảm tỷ lệ N_2O so với N_2 (Kool và *cs.*, 2006). Bertram và *cs.* (2009) đã báo cáo rằng axit hippuric cũng ức chế một phần quá trình nitrat hóa đất. Những quan sát này cho thấy rằng việc tăng bài tiết axit hippuric trong nước tiểu để đáp ứng với việc tiêu thụ polyphenol phân hủy sinh học (HT) có thể là một chiến lược giảm thiểu N_2O khả thi. Tuy nhiên, những phát hiện mâu thuẫn đã được tìm thấy trong các thử nghiệm thực địa hạn chế được thực hiện cho đến nay, không có tác dụng ức chế nào của axit hippuric đối với dòng N_2O trong nước tiểu (Clough và *cs.*, 2009; Krol và *cs.*, 2015). Cần nghiên cứu thêm để xác định liệu việc bổ sung HT để tăng sự hình thành các chất chuyển hóa HT trong nước tiểu có làm giảm lượng phát thải N_2O tiếp theo hay không.

Nói tóm lại, mặc dù tannin đã cho thấy tiềm năng tốt trong việc giảm N và N_2O trong nước tiểu từ chất thải của động vật nhai lại, nhưng điều đó không có nghĩa là chúng có thể được thúc đẩy trong sản xuất chăn nuôi. Tiềm năng dinh dưỡng và bền vững về mặt môi trường của tannin sẽ chỉ được nhận ra khi thành phần, cấu trúc và chức năng sinh học của tannin trong chiết xuất thực vật hoặc thức ăn chăn nuôi được xác định rõ hơn. Các xét nghiệm hóa học nên được bổ sung bằng các phép đo khả năng liên kết với protein thực vật và tác động đến hoạt động của enzyme hoặc tiêu hóa trong ống nghiệm, vì mối quan hệ giữa cấu trúc hóa học và độ nghiêm ngặt vẫn chưa được xác định rõ. Các nỗ lực phân tích và thử nghiệm sẽ tiết lộ các tannin hiệu quả nhất để biểu hiện các loại đậu ôn đới bằng kỹ thuật di truyền hoặc chọn lọc thông thường như một phần của các dự án lai tạo thực vật hoặc để giảm thiểu N_2O từ chất thải của động vật nhai lại bằng cách sử dụng thức ăn chăn nuôi hiện có.

Glycosid

Glucosinolate

Glucosinolate (GLS) là một nhóm lớn các chất chuyển hóa thứ cấp của thực vật có tác dụng dinh dưỡng và các hợp chất hoạt tính sinh học. Phân tử GLS bao gồm một đơn vị β -thioglucose, một đơn vị oxime sulfonat và một chuỗi bên có nguồn gốc từ một axit amin thay đổi (Fahey và *cs.*, 2001). Có ít nhất 120 cấu trúc riêng biệt của GLS, được tìm thấy trong 16 họ thực vật hai lá mầm (Fahey và *cs.*, 2001). Cây cải là cây hàng năm theo truyền thống được sử dụng để bù đắp sự thiếu hụt thức ăn trong hệ thống chăn thả gia súc nhai lại ôn đới (Barry, 2013). Có năm sản phẩm phân hủy chính của GLS, trong đó isothiocyanate là quan trọng nhất, tiếp theo là thiocyanate, nitrile, epithionitrile và oxazolidine-2-thione (Prieto và *cs.*, 2019).

Tiềm năng của các sản phẩm thủy phân GLS hoạt động như chất ức chế nitrat hóa sinh học đã được nghiên cứu. Các nghiên cứu báo cáo rằng việc áp dụng các mô Brassicaceae và sau đó tạo ra nhiều sản phẩm thủy phân GLS khác nhau (isothiocyanate, thiocyanate và nitrile) có thể làm suy yếu hoạt động của vi khuẩn nitrat hóa (Bending và Lincoln, 2000) và ức chế quá trình nitrat hóa (Brown và Morra, 2009). Các sản phẩm thủy phân GLS đã được chứng minh là ức chế các quá trình nitrat hóa trong đất ủ với bột hạt cải có chứa GLS (Reardon và *cs.*, 2013).

GLS và các chất chuyển hóa phân hủy của chúng đã được phát hiện trong nước tiểu của động vật được cho ăn cải bắp (Estell, 2010). Nước tiểu từ cây cải dầu thức ăn chăn nuôi cừu (*Brassica napus* L.) có N_2O -EF thấp hơn nước tiểu từ cỏ lúa mạch đen lâu năm được cho ăn cừu (*Lolium perenne* L.) khi bón vào đất đồng cỏ thoát nước tự do vào đầu mùa xuân (lần lượt là 0,11% so với 0,27%) (Luo và *cs.*, 2015). Theo Hoogendoorn và *cs.* (2016), nước tiểu từ cỏ lúa mạch đen được cho ăn cừu (*Lolium perenne* L./ *Trifolium repens*) có N_2O EF cao hơn cây cải dầu thức ăn chăn nuôi cừu (*Brassica napus* L.). Sự suy giảm này có thể được giải thích bởi thực tế là các sản phẩm thủy phân GLS có nguồn gốc từ cải bắp đã được chuyển từ nước

tiểu vào đất (Munday và *cs.*, 2008; Ye và *cs.*, 2002), ức chế quá trình nitrat hóa trong mảng nước tiểu (Balvert và *cs.*, 2017). Những phát hiện đầy hứa hẹn của các thí nghiệm này chỉ ra rằng isothiocyanate và các chất chuyển hóa thứ cấp khác trong nước tiểu có thể hoạt động như chất ức chế quá trình nitrat hóa. Trong một nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, Balvert và *cs.* (2017) đã chứng minh rằng một số sản phẩm thủy phân GLS (isothiocyanate và nitrile) ức chế quá trình nitrat hóa và làm giảm dòng N_2O từ urê niệu được bón vào đất. Tuy nhiên, trong một thí nghiệm thực địa, việc bón các sản phẩm thủy phân GLS vào các mảng nước tiểu nhân tạo không dẫn đến bất kỳ sự khác biệt đáng kể nào về lượng khí thải N_2O (Balvert và *cs.*, 2017).

Hơn nữa, một số thí nghiệm cũng đã kiểm tra phản ứng của sản xuất N_2O đối với chất chuyển hóa thiocyanate. Snyder và *cs.* (2010) quan sát thấy rằng 2-propenyl isothiocyanate và thiocyanate được giải phóng từ bột hạt Brassica juncea và Sinapis alba cản trở quá trình chuyển hóa của vi khuẩn và việc giải phóng thiocyanate là nguyên nhân gây ức chế quá trình nitrat hóa trong quá trình xử lý Sinapis alba. Thiocyanate cũng được phát hiện trong dịch dạ cỏ và nước tiểu của gia súc được cho ăn bột hạt cải (Gao và *cs.*, 2022a, Gao và *cs.*, 2021, Subuh và *cs.*, 1995), trong khi isothiocyanate và oxazolidine-2-thione vẫn không được phát hiện trong dịch dạ cỏ. Do đó, thiocyanate có thể là sản phẩm chính của quá trình thủy phân GLS trong dạ cỏ và con đường chuyển hóa GLS ở dạ cỏ có thể khác biệt với con đường do myrosinase thúc đẩy (Gao và *cs.*, 2021). Trái ngược với kỳ vọng, trong một nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, Gao và *cs.* (2022a) phát hiện ra rằng lượng khí thải N_2O trong nước tiểu và N_2O -EF tăng lên ở những con bò đực được cho ăn chế độ ăn có chứa nhiều bánh hạt cải GLS. Người ta tìm thấy mối tương quan đáng kể giữa hàm lượng thiocyanate trong nước tiểu và dòng N_2O trong nước tiểu (Gao và *cs.*, 2022a). Quá trình ủ trong phòng thí nghiệm bổ sung đã xác nhận rằng thiocyanate làm tăng quá trình khử nitrat của vi khuẩn nitrat hóa đất, điều này có thể dẫn đến tăng lượng khí thải N_2O

(Gao và *cs.*, 2022b). Những kết quả gây tranh cãi này cho thấy các sản phẩm thủy phân GLS có tác động khác nhau đến quá trình chuyển đổi N. Do đó, cần đánh giá thêm các sản phẩm thủy phân GLS được bài tiết trong nước tiểu của động vật nhai lại để biết tác động riêng lẻ hoặc kết hợp của chúng đối với quá trình sản xuất N_2O từ nước tiểu.

Ngoại trừ ấn phẩm của Gao và *cs.* (2022a), không có nghiên cứu nào tìm hiểu về tiềm năng của thức ăn có chứa GLS và tác động tiếp theo của nước tiểu thải ra trong việc giảm quá trình nitrat hóa đất và phát thải N_2O . Trước khi có thể coi việc hấp thụ thức ăn giàu GLS hoặc các hợp chất thủy phân của chúng là một chiến lược để giảm phát thải N_2O , cần phải xác định thành phần và nồng độ các sản phẩm thủy phân GLS trong nước tiểu. Cần phải nghiên cứu thêm về cơ chế sản xuất N_2O trong đất được xử lý bằng nước tiểu từ cây cải bắp được gia súc nhai lại ăn trong các điều kiện môi trường khác nhau. Cần lưu ý rằng tác dụng của GLS phụ thuộc vào hoạt động của chúng trong việc bón phân cho đất bằng chất thải (chủ yếu là nước tiểu). Tuy nhiên, hoạt động của nó thường bị ảnh hưởng bởi môi trường và đầy rẫy những điều không chắc chắn. Đồng thời, GLS là một trong những yếu tố kháng dinh dưỡng phổ biến trong thức ăn của gia súc nhai lại. Do đó, việc nhắm mục tiêu GLS như một chất ức chế để giảm phát thải N_2O có thể khó khăn.

Aucubin

Aucubin, một glycoside iridoid có trong cây mã đề (Plantago), thể hiện các đặc tính ức chế tương tự như GLS và các chất chuyển hóa của chúng. Aucubin được biết là phân hủy hoàn toàn thành aglycone không ổn định của nó, aucubigenin, trong vòng 4 giờ khi có sự hiện diện của β -glucosidase (Kim và *cs.*, 2000), và β -glucosidase được biết là có trong đất (Busto và Perez-Mateos, 2000). Aucubigenin có thể được chuyển đổi thành một aldehyde không bão hòa liên kết vĩnh viễn với các chuỗi của axit nucleic và protein, do đặc tính ô xy hóa mạnh của nó (Marak và *cs.*, 2002). Nhiều thí nghiệm cho thấy bò sữa ăn chuối (Plantago

lanceolata L.) hoặc đồng cỏ hỗn hợp có chứa chuối có nồng độ N thấp hơn trong nước tiểu lấy mẫu tại chỗ (Totty và cs., 2013, Box và cs., 2016, Cheng và cs., 2017, Minnée và cs., 2020, Cheng và cs., 2017) và các nhà nghiên cứu này đưa ra giả thuyết rằng tổng lượng N thải ra trong nước tiểu cũng có thể giảm xuống. Điều này có thể mang đến cơ hội sử dụng chuối để giảm thiểu lượng N bị mất ở động vật nhai lại đang ăn cỏ. Tỷ lệ N không phân hủy tăng lên là một trong những nguyên nhân tiềm ẩn khiến hàm lượng N trong nước tiểu thấp hơn ở những con bò được cho ăn chuối. Hàm lượng N không phân hủy lớn hơn cho phép nhiều N hơn đi qua dạ cỏ để được tiêu hóa ở ruột non, tại đây nhiều N hơn được phân chia thành sữa và phân, và ít N hơn được bài tiết vào nước tiểu. Minnée và cs. (2020) cho thấy việc cho bò sữa ăn chế độ ăn có chứa 45% DM từ cây chuối làm giảm lượng N trong nước tiểu đồng thời tăng lượng N phân bố vào sữa và phân lên 14%.

Cơ chế thứ hai có thể có để làm giảm nồng độ N trong nước tiểu và tăng thể tích nước tiểu là tác dụng lợi tiểu của aucubin. O'Connell và cs. (2016) đã xác nhận tác dụng này bằng cách quan sát thấy cừu bị nhốt ăn chuối tiêu thải ra nhiều nước tiểu hơn những con được ăn cỏ lúa mạch đen. Ngoài ra, Navarrete và cs. (2016) phát hiện ra rằng aucubin làm giảm sản xuất NH_3 trong ống nghiệm và có khả năng bị phân hủy thành aglycone hoạt động của nó là aucubigenin trong dạ cỏ. Do đó, cơ chế thứ ba có thể có về ảnh hưởng của chuối tiêu chẵn thả đến lượng nước tiểu đầu ra có thể một phần là do aucubin làm giảm lượng NH_3 bị mất trong dạ cỏ và làm giảm sản xuất urê trong gan (2022). Ví dụ, aucubin có tác dụng kháng khuẩn do aglycone aucubin (aucubigenin), liên kết với các axit amin tự do, khiến chúng không có sẵn (Kim và cs., 2000). Sự thoát ra khỏi dạ cỏ của các phức hợp aucubigenin-axit amin này cũng có thể làm thay đổi sự phân chia N từ nước tiểu sang phân bằng cách chuyển các phân N có thể tiêu hóa được vào ruột. Do đó, aucubin và/hoặc aucubigenin trong cây mã đề có khả năng làm thay đổi sự phân bố N ở động vật nhai lại.

Hơn nữa, đất dưới cây mã đề cho thấy nồng độ NO_3^- thấp hơn đáng kể (Massaccesi và cs., 2015), tốc độ khoáng hóa và nitrat hóa (Massaccesi và cs., 2015), lượng vi khuẩn oxy hóa amoniac thấp hơn (Carlton và cs., 2019) và luồng N_2O thấp hơn (Pijlman và cs., 2019) so với các loài thực vật khác. Có khả năng, các hóa chất giải phóng từ rễ cây mã đề (aucubin) có khả năng ức chế nitrat hóa sinh học đã góp phần một phần vào luồng N_2O giảm được quan sát thấy khi có cây mã đề. Luo và cs. (2018) đã quan sát thấy rằng khi so sánh lượng khí thải N_2O từ nước tiểu gia súc bón cho cây mã đề và cỏ lúa mạch đen lâu năm, cây mã đề có lượng khí thải thấp hơn vào mùa đông nhưng không phải vào các mùa khác. Kết quả này có thể là do sự khác biệt về nồng độ aucubin hoặc các chất chuyển hóa thứ cấp khác vì chúng có thể bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ hoặc các biến số môi trường khác (Pankoke và Müller, 2013). Ngoài ra, tác dụng kháng khuẩn phổ rộng đã được quan sát thấy với aucubin, và aucubigenin đã được chứng minh là ức chế cytochrome P-450, có thể liên quan đến khả năng hạn chế quá trình oxy hóa amoniac bằng cách ức chế hoạt động của enzyme đất amoniac monooxygenase (Bartholomaeus và Ahokas, 1995, Davini và cs., 1986). Do đó, aucubin và dẫn xuất của nó là aucubigenin là chất ức chế nitrat hóa sinh học tiềm năng.

Không rõ dạng hoặc nồng độ aucubin nào được tạo ra trong nước tiểu của động vật nhai lại vì Navarrete và cs. (2016) đã không định lượng thời gian lưu trú của aucubin và/hoặc aucubigenin trong quá trình lên men dạ cỏ hoặc xác định số phận của nó sau quá trình chuyển hóa dạ cỏ. Ngoài ra, cây mã đề là loài thực vật duy nhất được thử nghiệm (tổng cộng 550 loài) có hoạt tính kháng khuẩn có thể phát hiện được trong nước tiểu thỏ sau 8–16 giờ sau khi cho ăn (Stewart, 1996). Mặc dù thỏ không phải là động vật nhai lại, nhưng vẫn có thể thu được kết quả tương tự với nước tiểu của động vật nhai lại. Judson và cs. (2019) đã phát hiện ra hàm lượng NH_4^+ trong đất cao hơn sau khi bón nước tiểu từ những con bò sữa được cho ăn 100% cây mã đề so với nước tiểu của những con bò được cho

ăn cỏ lúa mạch đen-cỏ ba lá trắng. Tuy nhiên, hai nguồn nước tiểu có hàm lượng N tổng số tương đương nhau, điều này cho thấy nước tiểu từ những con bò chăn thả được cho ăn cây mã đề có thể ức chế quá trình nitrat hóa. Tương tự như vậy, Simon và cs. (2019) quan sát thấy rằng việc tăng tiêu thụ chuối cho bò ăn cỏ làm giảm tỷ lệ tải lượng N trong nước tiểu và lượng khí thải N_2O trong nước tiểu. Do đó, một con đường tiềm năng khác để aucubin trong chuối đi vào đất là thông qua nước tiểu của động vật nhai lại ăn cỏ trên đồng cỏ có chuối.

Trong một thời gian ngắn sau khi bón vào đất, aucubin có thể hoạt động như một chất ức chế nitrat hóa; tuy nhiên, tác dụng ức chế của nó dường như không đủ để tạo ra sự giảm đáng kể tổng lượng N_2O trong nước tiểu (Gardiner và cs., 2019). Một thử nghiệm mới nhất cho thấy rằng bò sữa chăn thả trên đồng cỏ chuối không làm giảm lượng N_2O trong nước tiểu so với nước tiểu cỏ lúa mạch đen-cỏ ba lá trắng khi được xử lý ở cùng tỷ lệ N trong nước tiểu (Rodriguez và cs., 2023). Người ta đưa ra giả thuyết rằng aucubin phân hủy nhanh chóng trong đất và tác dụng ức chế của các chất chuyển hóa phân hủy của nó, đặc biệt là aucubigenin, tồn tại trong đất không quá vài ngày (Gardiner và cs., 2019). Các nghiên cứu sâu hơn nên xác định các con đường chuyển hóa của aucubin trong đất, định lượng tỷ lệ aucubin đi tiểu và nghiên cứu tác động của tỷ lệ bài tiết aucubin đối với động lực học N vô cơ và lượng khí thải N_2O của các mảng nước tiểu.

Saponin

Saponin là một họ lớn của glycoside lưỡng tính của steroid và triterpen. Saponin được biết đến rộng rãi vì khả năng làm giảm sản xuất CH_4 trong dạ cỏ bằng cách giảm cả số lượng và hoạt động của vi sinh vật sinh metan (Zúñiga Serrano và cs., 2022). Một tác dụng quan trọng khác của saponin trong dạ cỏ dường như là ức chế động vật nguyên sinh (làm mất động vật nguyên sinh) bằng cách ảnh hưởng đến tính toàn vẹn của màng tế bào (Patra và Saxena, 2009). Nồng độ NH_3 trong dạ cỏ giảm khi sự phát triển của động vật nguyên sinh bị ức chế,

có thể là do sự phân hủy protein thức ăn trong dạ cỏ bị ức chế hoặc sự luân chuyển protein của vi khuẩn (Santoso và cs., 2007). Nồng độ NH_3 cũng sẽ thay đổi do NH_3 liên kết với các hợp chất như saponin, như Cheeke (2000) đã lưu ý. Jouany (1996) cũng cho rằng N niệu luôn giảm khi mất đạm, do cả nồng độ NH_3 , giảm trong dịch dạ cỏ và tăng hấp thu N urê để tổng hợp protein vi khuẩn. Hu và cs. (2005) đã chỉ ra rằng việc bổ sung 40 g/kg saponin trà dẫn đến nồng độ NH_3 -N dạ cỏ thấp nhất và hàm lượng protein vi khuẩn tối đa trong ống nghiệm. Nhìn chung, có vẻ như thực vật hoặc chiết xuất của chúng có nồng độ saponin cao có thể hoạt động như chất điều khiển dạ cỏ tự nhiên, có thể làm tăng hiệu quả tổng hợp protein vi khuẩn và tăng cường dòng protein đến ruột bằng cách giảm sự luân chuyển protein vi khuẩn.

Trong một bài đánh giá của Wina và cs. (2005), 14 trong số 51 ấn phẩm chỉ ra rằng saponin không ảnh hưởng đến hàm lượng NH_3 -N trong dạ cỏ, trong khi 17 ấn phẩm chỉ ra tác dụng ức chế. Bổ sung chiết xuất nước Biophytum, lên đến 26 mg/kg BW saponin, làm giảm NH_3 -N trong dạ cỏ và lượng N thải ra qua nước tiểu, do đó làm tăng nguồn cung cấp N của vi khuẩn và giữ lại N dưới dạng tỷ lệ N được tiêu hóa ở dê (Santoso và cs., 2007). Ramírez-Restrepo và cs. (2016) báo cáo rằng việc bổ sung saponin hạt trà làm giảm nồng độ urê trong máu ở bò Brahman nhiệt đới. Liu và cs. (2019) quan sát thấy rằng việc bổ sung saponin trà vào chế độ ăn làm giảm NH_3 -N trong dạ cỏ, N trong phân và bài tiết N qua nước tiểu, dẫn đến tăng đáng kể lượng N giữ lại và NUE ở cừu lai Dorper. Những kết quả này chỉ ra rằng saponin có thể góp phần làm giảm bài tiết N và phát thải N_2O từ động vật nhai lại. Tuy nhiên, người ta đã chỉ ra rằng saponin trà không làm thay đổi sự cân bằng N hoặc bài tiết N của bò đang cho con bú (Guyader và cs., 2017) hoặc bò không cho con bú (Guyader và cs., 2015). Những sự khác biệt này có thể là do sự thay đổi trong chế độ ăn thử nghiệm và liều lượng saponin.

Để kiểm tra tác dụng của chiết xuất saponin hoặc thức ăn giàu saponin đối với khí thải N_2O từ chất thải trong điều kiện chăn thả, vẫn

cần thêm các nghiên cứu trên động vật và thí nghiệm thực địa. Để đạt được tác dụng có lợi lâu dài của saponin trong chế độ ăn, cần phải tiến hành nghiên cứu sâu rộng về tương tác giữa cấu trúc hóa học saponin, thành phần dinh dưỡng trong chế độ ăn và ảnh hưởng của chúng đến hệ sinh thái vi khuẩn dạ cỏ. Điều cần thiết là phải xác định các saponin có hoạt tính sinh học cao nhất có tác dụng ức chế hoạt động và sự phong phú của động vật nguyên sinh đồng thời có thể kích thích vi khuẩn và nấm có lợi. Một số loại saponin nhất định có thể có tác dụng độc hại đối với cơ thể và phải được kiểm tra in vivo trong các nghiên cứu dài hạn. Nếu có thể phân lập và xác định được nhiều saponin hoạt động hơn từ thực vật hoặc nếu có thể sử dụng các kỹ thuật công nghệ sinh học thực vật để sản xuất các thành phần saponin mục tiêu, thì tác dụng có lợi của saponin có thể được khai thác rộng rãi trong nhiều hệ thống thức ăn khác nhau, với giả định rằng trong tương lai có thể chứng minh được rằng saponin trong động vật nhai lại có hiệu quả trong việc giảm bài tiết N ở động vật và khí thải N₂O có nguồn gốc từ chất thải.

Tinh dầu

Cây thơm có thể sản xuất tinh dầu, là sự kết hợp phức tạp của các chất hữu cơ dễ bay hơi. Tinh dầu có thể chứa tới 60 chất hóa học, chẳng hạn như rượu, anđehit, hydrocacbon, xeton, este và ete (Ramírez-Restrepo và cs., 2016). Tinh dầu đã được chứng minh là có khả năng ảnh hưởng đến quá trình phân hủy protein dạ cỏ và hấp thụ axit amin ở ruột non của gia súc nhai lại. Nhiều nghiên cứu đã báo cáo rằng việc bổ sung tinh dầu làm giảm nồng độ NH₃-N trong dạ cỏ trong ống nghiệm (Golbotteh và cs., 2022; Patra và Yu, 2014; Pawar và cs., 2014) hoặc trong cơ thể sống (Lin và cs., 2013; Toseti và cs., 2020; Wu và cs., 2018)). Carrasco và cs. (2020) cũng phát hiện ra rằng việc cho ăn tinh dầu làm giảm lượng khí thải N₂O và NH₃ qua đường ruột ở bò sữa giữa thời kỳ cho con bú. Tinh dầu có thể làm giảm nồng độ amoniac, có thể là do ức chế trực tiếp vi khuẩn dạ cỏ phân giải protein và sản xuất amoniac (Patra và Yu, 2014). Các đặc tính kháng khuẩn của chúng được giải thích

bằng nhiều cơ chế khác nhau, bao gồm cấu trúc hóa học và tính chất vật lý (Dorman và Deans, 2000). Tinh dầu kỵ nước, phân chia qua màng tế bào lipid, phá vỡ tính toàn vẹn và độ ổn định của chúng, và dẫn đến rò rỉ nội dung tế bào (Burt, 2004). Nhóm hydroxyl và vị trí tương đối của chúng trong các cấu trúc phenolic (trong trường hợp của thymol và eugenol) được cho là những thuộc tính quan trọng ảnh hưởng đến tính chất kháng khuẩn của tinh dầu (Dorman và Deans, 2000).

Giảm mất NH₃ ở dạ cỏ và di chuyển nhiều protein vi khuẩn hơn đến ruột non có thể làm tăng khả năng giữ N ở mô, giảm bài tiết N qua nước tiểu và khả năng phát thải N₂O từ việc bón phân. Wanapat và cs. (2008) quan sát thấy rằng cho ăn bột tỏi có chứa tinh dầu ở mức 80 g/ngày với rom rạ được xử lý bằng urê làm giảm bài tiết N qua nước tiểu và cải thiện khả năng giữ N ở bò đực. Ribeiro và cs. (2019) cho thấy việc bổ sung tinh dầu cỏ xạ hương làm tăng khả năng giữ N và giảm bài tiết N qua nước tiểu so với monensin. Cụ thể, phân tích tổng hợp mới nhất về hiệu quả của tinh dầu cho thấy khả năng giữ N cao hơn ở gia súc thịt được cho ăn tinh dầu (Orzuna-Orzuna và cs., 2022). Tuy nhiên, cần thận trọng khi diễn giải những kết quả này vì số lượng nghiên cứu báo cáo các biến phản ứng này còn ít (Orzuna-Orzuna và cs., 2022).

Các thử nghiệm khác sử dụng bò sữa đang cho con bú cũng chỉ ra rằng tinh dầu đơn lẻ hoặc kết hợp có chứa thymol, eugenol và/hoặc carvacrol không có tác dụng đối với việc sử dụng N (Ramírez-Restrepo và cs., 2016, Tekippe và cs., 2013, Benchaar, 2021). Muñoz-Cuautle và cs. (2022) phát hiện ra rằng việc đưa tinh dầu oregano vào chế độ ăn không làm thay đổi N trong nước tiểu, N trong phân hoặc khả năng giữ N ở cừu thịt. Ngược lại, Tekippe và cs. (2013) báo cáo rằng việc bổ sung 525 mg/ngày các sản phẩm tinh dầu có chứa eugenol và cinnamaldehyde làm tăng bài tiết N qua nước tiểu ở bò sữa. Một số thông số, chẳng hạn như thời gian thử nghiệm, thành phần hóa học của tinh dầu và liều lượng, có thể giải thích cho sự khác biệt về kết quả giữa các thử nghiệm in vivo. Các kết quả trái ngược nhau cũng có thể

là do sự khác biệt về loại và lượng protein trong chế độ ăn uống tiêu thụ. Một số phát hiện chỉ ra rằng tinh dầu có thể ức chế quá trình xâm chiếm và/hoặc sự phân hủy tiếp theo của các chất nền dễ phân hủy, chẳng hạn như tinh bột và protein, do đó ảnh hưởng đến quá trình trao đổi chất của vi khuẩn phân giải amylase và phân giải protein (Wallace và cs., 2002). Tất cả các quá trình lên men liên quan đến quá trình phân hủy protein trong chế độ ăn uống và sản xuất NH_3 trong dạ cỏ đều cần được nghiên cứu thêm. Các chỉ số sản xuất của động vật phải được định lượng và định tính tương quan với tác động của việc tăng lượng protein thoát ra khỏi dạ cỏ trong chế độ ăn uống. Nhìn chung, các loại tinh dầu có triển vọng nhất cùng nồng độ và sự kết hợp hiệu quả của chúng có thể được đánh giá thêm trong các thí nghiệm in vivo để xác định các loại tinh dầu (liều lượng và sự kết hợp) có thể được áp dụng trong các trang trại. Trước khi sử dụng chúng trong các trang trại, cần phải xác định những tác động tích cực của các loại tinh dầu thương mại đối với hiệu suất của động vật và môi trường do chúng có giá thành cao.

Những thách thức của hóa chất thực vật như chiến lược giảm thiểu N và N_2O trong phân bón

Các hợp chất thực vật rất khác nhau tùy thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm loài thực vật, môi trường sinh trưởng của thực vật (thành phần đất, nhiệt độ và độ ẩm), giai đoạn sinh trưởng của thực vật, các bộ phận của thực vật được sử dụng để chiết xuất các hợp chất thực vật và phương pháp chiết xuất hoặc phân tích các hợp chất thực vật (Cobellis và cs., 2016). Tuy nhiên, hiện tại, không có thành phần, cấu trúc và độ tinh khiết chuẩn nào của bất kỳ chiết xuất thực vật thương mại nào để sử dụng trong sản xuất chăn nuôi. Do đó, thường có sự khác biệt đáng kể giữa các kết quả nghiên cứu, khiến việc xác định các loại và liều lượng cần thiết trở nên khó khăn. Ví dụ, Cobellis và cs. (2016) đã tóm tắt tác động của nhiều loại tinh dầu đơn lẻ và hỗn hợp tinh dầu lên quá trình chuyển hóa N ở dạ cỏ trong các thí nghiệm in vivo và in vitro và phát hiện ra rằng kết quả in vitro và in vivo luôn không

nhất quán. Nhiều nghiên cứu cho thấy rằng việc cho ăn tanin làm tăng lượng N thải ra qua phân, đây là kết quả của việc tanin hạn chế sự hấp thụ N và cho thấy một phần phức hợp protein-tanin không hòa tan trong dạ múi khế, dẫn đến mất protein trong chế độ ăn (Naumann và cs., 2013). Tuy nhiên, một số nghiên cứu quan sát thấy rằng tanin chỉ làm thay đổi N trong nước tiểu. Tùy thuộc vào cấu trúc hóa học của tanin và protein, tương tác tanin-protein không phải lúc nào cũng hoạt động tối ưu và giải thích cho những thay đổi này giữa các nghiên cứu.

Nhiều nghiên cứu trong ống nghiệm đã ghi nhận tác dụng giảm thiểu NH_3 có thể có của các hợp chất hóa học thực vật trong ống nghiệm. Tuy nhiên, người ta thường chấp nhận rằng các hệ thống trong ống nghiệm, mặc dù rất tốt để sàng lọc các chất ức chế khối lượng lớn, nhưng không đại diện cho các phản ứng trong bài tiết N và N_2O có nguồn gốc từ chất bài tiết đối với động vật sống. Do đó, người ta đề xuất mạnh mẽ rằng các kết quả trong ống nghiệm nên được xác nhận trong các thí nghiệm trong cơ thể sống. Hơn nữa, các nghiên cứu trong tương lai nên nêu chi tiết nguồn gốc của các hợp chất hóa học thực vật, phương pháp chiết xuất, thành phần hóa học, độ tinh khiết và liều lượng. Các thí nghiệm và nghiên cứu trong ống nghiệm về nồng độ ức chế tối thiểu của vi khuẩn dạ cỏ hoặc đất sử dụng các hợp chất hoạt tính tinh khiết có thể làm sáng tỏ phương pháp hoạt động của chúng, tiết lộ các thành phần hoạt tính chính của chúng và hỗ trợ thiết lập liều lượng thích hợp. Cần hiểu rõ hơn về mối quan hệ cấu trúc-hoạt động để có được kết quả nhất quán từ các hợp chất hóa học thực vật trong việc giảm thiểu phát thải N và N_2O từ phân của động vật nhai lại.

Sự cân bằng giữa hiệu quả và tác dụng phụ của nó

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu sâu rộng được tiến hành trong những năm gần đây, việc sử dụng hóa chất thực vật trong chăn nuôi gia súc nhai lại vẫn còn nhiều thách thức và rất hạn chế về tác dụng phụ. Tanin trong chế độ ăn có thể mang lại lợi ích đáng kể cho gia súc nhai lại;

tuy nhiên, hàm lượng chế độ ăn cao hoặc CT với các đặc điểm thành phần ‘sai’ sẽ làm giảm quá trình tiêu hóa và sử dụng protein trong chế độ ăn và hấp thụ các axit amin quan trọng của động vật nhai lại (Makkar, 2003). Ahnert và cs. (2015) phát hiện ra rằng việc truyền dịch dạ cỏ với mức chiết xuất tannin vừa phải có thể làm thay đổi đáng kể bài tiết N từ nước tiểu sang phân, trong khi liều lượng chiết xuất tannin cao có tác động bất lợi đến khả năng tiêu hóa protein thô và chất xơ. Khả năng liên kết của tannin có khả năng làm giảm khả năng tiêu hóa chất xơ bằng cách ức chế enzyme phân giải cellulase hoặc liên kết với carbohydrate trong chế độ ăn, làm giảm tỷ lệ luân chuyển dạ cỏ và do đó giảm thiểu lượng thức ăn tiêu thụ và hiệu suất sản xuất của động vật (Aguerre và cs., 2016; Waghorn, 2008). Guyader và cs. (2017) cũng báo cáo rằng sản lượng sữa, lượng DM hấp thụ và hiệu quả thức ăn của bò sữa bị giảm khi sử dụng saponin trà (0,52% DM). Các tác động có hại chính của việc tiêu thụ GLS ở động vật là giảm độ ngon miệng, giảm tăng trưởng và sản xuất (Tripathi và Mishra, 2007). Ngoài ra, nitrile được biết là ảnh hưởng đến hoạt động của gan và thận. Thiocyanate ức chế khả năng hấp thụ iốt, trong khi oxazolidine-2-thione có thể gây ra những thay đổi về hình thái và sinh lý ở tuyến giáp (Tripathi và Mishra, 2007).

Nhìn chung, thách thức là xác định đặc điểm hóa thực vật nào có thể làm giảm sản xuất N_2O từ chất thải bằng cách cải thiện việc sử dụng N trong chế độ ăn và/hoặc phát huy hoạt động ức chế nitrat hóa sinh học trong nước tiểu, mà không gây hại cho sức khỏe, hiệu suất của động vật hoặc lợi nhuận của người nông dân. Trong suốt chu kỳ sản xuất và qua nhiều chu kỳ sản xuất (bò sữa), tác động của các chiến lược giảm thiểu N trong phân và N_2O đối với sức khỏe, phúc lợi và sinh sản của động vật phải được xem xét thông qua nghiên cứu dài hạn. Các thí nghiệm dài hạn cũng cần thiết để nghiên cứu cơ chế thích nghi của vi khuẩn đường tiêu hóa và động vật với hóa thực vật. Việc hiểu rõ hơn về cách các chiến lược giảm thiểu hóa thực vật tác động đến thành phần sản phẩm của động vật nhai lại, thời hạn sử dụng, đặc điểm cảm quan

và nhận thức của người tiêu dùng về các sản phẩm chăn nuôi cũng rất cần thiết.

Phương pháp nghiên cứu có hệ thống

Mặc dù saponin và tinh dầu có khả năng điều chỉnh quá trình trao đổi chất N của động vật nhai lại, nhưng dòng N_2O từ chất thải của động vật nhai lại sử dụng các ô đồng ruộng với phương pháp ruộng tĩnh chưa từng được nghiên cứu trước đây. Trong các hệ thống chăn thả, việc ức chế sinh học quá trình nitrat hóa thông qua việc điều chỉnh chế độ ăn uống bằng GLS hoặc accubin vẫn chưa được nghiên cứu rộng rãi. Bước tiếp theo là xác định tác động của các hóa chất thực vật trong chế độ ăn uống chặt chẽ hơn đối với lượng khí thải N_2O và chu trình N trong đất trong các thí nghiệm dài hạn, quy mô lớn hơn mô phỏng chặt chẽ hơn quá trình quản lý phân bón của các hệ thống sản xuất động vật nhai lại thương mại.

Việc ước tính chính xác lượng khí thải từ nông dân sử dụng các phương án giảm thiểu N và N_2O từ phân chuồng đòi hỏi phải có phương pháp tiếp cận hệ thống tích hợp. Đánh giá vòng đời (LCA) nên đánh giá tác động ngược dòng và xuôi dòng của các chiến lược giảm thiểu. Phân tích tổng hợp rất quan trọng để xác định hiệu quả của hóa chất thực vật như một giao thức giảm thiểu. Ngoài ra, hóa chất thực vật có khả năng làm giảm lượng khí thải CH_4 trong dạ cỏ. Tuy nhiên, ít nghiên cứu nào xem xét việc sử dụng hóa chất thực vật để giảm GHG chính (tức là CO_2 , CH_4 và N_2O) ở cấp độ đàn hoặc ở từng động vật. Mục tiêu giảm GHG bị suy yếu nếu một chiến lược làm giảm N_2O nhưng lại làm tăng GHG khác. Nếu thực hiện LCA, thì khi đó điều này mới được nắm bắt. Ngoài ra, các thao tác trong chế độ ăn uống với hóa chất thực vật nhằm vào việc giảm N hoặc N_2O bài tiết chủ yếu được nghiên cứu riêng lẻ.

Kết luận và quan điểm

Hệ thống sản xuất động vật nhai lại là những tác nhân đáng kể gây ra tình trạng mất N và phát thải N_2O trên toàn cầu. Khi nhu cầu về các sản phẩm thịt và sữa chất lượng cao tăng

lên, lượng phát thải N_2O và nhiệt độ toàn cầu sẽ tiếp tục tăng. Các chất hóa thực vật, do có hoạt tính kháng khuẩn và dễ kiếm, có thể là tác nhân đầy hứa hẹn để tăng cường NUE và giảm tác động môi trường của lượng phát thải N_2O ở động vật nhai lại. Các cơ chế đề xuất để giảm N_2O bằng cách sử dụng các chất hóa thực vật tự nhiên bao gồm ức chế sản xuất NH_3 ở dạ cỏ, tăng phân chia N thành phân so với nước tiểu, tác dụng lợi tiểu của chất hóa thực vật dẫn đến đi tiểu thường xuyên hơn và chức năng ức chế quá trình nitrat hóa sinh học của các chất chuyển hóa thứ cấp của thực vật từ dịch tiết rữa và/hoặc nước tiểu của động vật. Các kết quả hiện tại chỉ ra rằng việc bổ sung tannin vào chế độ ăn uống có thể làm giảm đáng kể lượng bài tiết N và lượng phát thải N_2O có nguồn gốc từ chất bài tiết từ phân gia súc, trong khi những tác động tiêu cực có thể xảy ra của tannin đối với lượng thức ăn tiêu thụ của động vật nhai lại và khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng là mối quan tâm. So với tannin, không có nghiên cứu nào hiện có cung cấp bằng chứng kết luận về hiệu quả và cơ chế của glycoside thực vật hoặc tinh dầu trong việc giảm bài tiết N và phát thải N_2O , và các hợp chất này cũng nên được đánh giá trong các thử nghiệm in vivo dài hạn về tác dụng của chúng đối với quá trình chuyển hóa N và sản xuất N_2O . Do đó, cần có thêm các nghiên cứu để xác định thành phần hoạt tính sinh học, liều lượng hiệu quả, cơ chế hoạt động, tác dụng đối với hiệu suất và sức khỏe của động vật, và tỷ lệ chi phí-lợi ích trước khi có thể sử dụng các chất hóa học thực vật làm chất phụ gia trong các

trang trại để giảm thiểu bài tiết N và phát thải N_2O từ chất thải của động vật nhai lại.

Một vấn đề lớn khác là khả năng chi trả; người nông dân chăn nuôi gia súc nhai lại cần nhiều thông tin hơn về chi phí của các loại hóa chất thực vật tự nhiên hoặc thức ăn chăn nuôi giàu hóa chất thực vật và tác động của chúng đến năng suất vật nuôi, đặc biệt là đối với các hoạt động chăn nuôi tập trung. Các yêu cầu phê duyệt theo quy định đối với một số thành phần thức ăn có triển vọng có thể làm chậm quá trình áp dụng chúng và việc người tiêu dùng không chấp nhận một số thành phần trong số chúng có thể ngăn cản việc sử dụng chúng để giảm thiểu N_2O . Có thể cần các biện pháp khuyến khích và chi phí thấp để khuyến khích áp dụng vì trong hầu hết các trường hợp, việc giảm bài tiết N và sản xuất N_2O không làm tăng hiệu suất của động vật nhai lại.

Ngoài ra, có thể rất khó để đánh giá tác động của các biện pháp giảm N_2O trên toàn hệ thống, mặc dù chúng có thể có lợi ở các giai đoạn cụ thể của chu kỳ sản xuất. Do đó, điều quan trọng là phải phân tích các chiến lược và quy trình giảm thiểu dựa trên các hóa chất thực vật tự nhiên hoặc thức ăn chăn nuôi giàu hóa chất thực vật trong bối cảnh toàn bộ hệ thống và LCA để đảm bảo tăng hiệu quả ở mọi cấp độ. Nói tóm lại, hóa chất thực vật chỉ có thể có một vị trí trong các kịch bản sản xuất động vật nhai lại bền vững nếu có thể xác định được các kết quả thuyết phục hơn về hiệu quả và hiệu suất của chúng trong việc giảm bài tiết N và phát thải GHG. Câu nói cũ “đừng bỏ hết trứng vào một giỏ” vẫn đúng với nghiên cứu về hóa chất thực vật.

Viết tắt

CH_4 : Mêtan
 CT: Tanin cô đặc
 DM: Vật chất khô
 GHG: Khí nhà kính
 GLS: Glucosinolate
 HT: Tanin thủy phân
 IPCC: Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu

LCA: Đánh giá vòng đời
 N: Nitơ
 N_2O : Nitơ oxit
 NH_3 : Amoniac
 NH_4^+ : Amoni
 NO_3^- : Nitrat
 NUE: Hiệu suất sử dụng nitơ

Tài liệu tham khảo

- Aboagye, I.A., Oba, M., Castillo, A.R., Koenig, K.M., Iwaasa, A.D. và Beauchemin, K.A. 2018. Tác động của tanin thủy phân có hoặc không có tanin cô đặc lên lượng khí thải mêtan, lượng nitơ sử dụng và hiệu suất của gia súc thịt được cho ăn chế độ ăn nhiều thức ăn thô. *J Anim Sci.* 96:5276–86.
- Aboagye, I.A., Oba, M., Koenig, K.M., Zhao, G.Y. và Beauchemin, K.A. 2019. Sử dụng axit gallic và tannin thủy phân để giảm phát thải khí mê-tan và bài tiết nitơ ở bò thịt được cho ăn chế độ ăn có chứa cỏ linh lăng ủ chua. *J Anim Sci.* 97:2230–44.
- Aguerre, M.J., Capozzolo, M.C., Lencioni, P., Cabral, C. và Wattiaux, M.A. 2016. Tác dụng của chiết xuất tannin quebracho-hạt dẻ ở 2 mức protein thô trong chế độ ăn đối với hiệu suất, quá trình lên men dạ cỏ và phân bổ nitơ ở bò sữa. *J Dairy Sci.* 99:4476–86.
- Al-Marashdeh, O., Cameron, K., Hodge, S., Gregorini, P. và Edwards, G. 2021. Tích hợp cây mã đề (*Plantago lanceolata* L.) và cỏ lúa mạch đen Ý (*Lolium multiflorum* Lam.) vào hệ thống chăn thả bò sữa ở New Zealand: Tác động đến năng suất trang trại, lợi nhuận và thất thoát nitơ. *Động vật (Basel)*; 11:376.
- Ahnert, S., Dickhoefer, U., Schulz, F. và Susenbeth, A. 2015. Ảnh hưởng của dịch truyền chiết xuất tanin Quebracho ở dạ cỏ lên khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng biểu kiến, cân bằng nitơ và bài tiết các dẫn xuất purin trong nước tiểu ở bò cái tơ. *Livest Sci.* 177:63–70.
- Balvert, S.F., Luo, J. và Schipper, L.A. 2017. Các sản phẩm thủy phân glucosinolate có làm giảm lượng khí thải nitơ oxit từ đất bị ảnh hưởng bởi nước tiểu không? *Sci Total Environ.* 2017;603–604:370–80.
- Bao, Y., Zhou, K. và Zhao, G.Y. 2018. Lượng khí thải nitơ oxit từ nước tiểu của gia súc thịt được điều chỉnh bởi protein thô trong chế độ ăn và axit gallic. *J Anim Sci.* 96:3699–711.
- Bartholomaeus, A. và Ahokas, J. 1995. Sự ức chế P-450 bởi aucubin: là hoạt động sinh học của aucubin do aglycone giống glutaraldehyde của nó. *Toxicol Lett.* 80:75–83.
- Barry, T.N. 2013. Giá trị thức ăn của cây cải làm thức ăn chăn nuôi cho gia súc nhai lại. *Anim Feed Sci Technol.* 181:15–25.
- Benchaar, C. 2021. Việc bổ sung dầu cỏ xạ hương và thành phần chính của nó là thymol vào chế độ ăn không làm thay đổi quá trình lên men dạ cỏ, cải thiện việc sử dụng chất dinh dưỡng hoặc tăng sản lượng sữa ở bò sữa. *Tạp chí Khoa học sữa*; 104:324–36.
- Bell, M.J., Rees, R.M., Cloy, J.M., Topp, C.F., Bagnall, A. và Chadwick, D.R. 2015. Phát thải nitơ oxit từ phân gia súc được áp dụng cho đồng cỏ Scotland: tác động của điều kiện đất đai và khí hậu và chất ức chế nitrat hóa. *Sci Total Environ.* 508:343–53.
- Bending, G.D. và Lincoln, S.D. 2000. Ức chế cộng đồng vi khuẩn nitrat hóa đất và hoạt động của chúng bằng các sản phẩm thủy phân glucosinolate. *Soil Biol Biochem.* 2000;32:1261–9.
- Bertram, J.E., Clough, T.J., Sherlock, R.R., Condon, L.M., O’Callaghan, M., Wells, N.S., *et al.* 2009. Axit hippuric và axit benzoic ức chế phát thải N₂O có nguồn gốc từ nước tiểu từ đất. *Global Change Biol.* 15:2067–77.
- Box, L.A., Edwards, G.R. và Bryant, R.H. 2016. Sản xuất sữa và bài tiết nitơ qua nước tiểu của bò sữa chăn thả trên đồng cỏ lúa mạch đen lâu năm–cỏ ba lá trắng và đồng cỏ chuỗi tây nguyên chất. *Proc NZ Soc Anim Prod.* 18–21.
- Brice, R.M., Dele, P.A., Ike, K.A., Shaw, Y.A., Olagunju, L.K., Orimaye, O.E., *et al.* 2022. Tác động của hỗn hợp tinh dầu lên vật chất khô có thể phân hủy rõ ràng và thực sự trong ống nghiệm, hiệu quả sản xuất vi sinh vật, tổng lượng axit béo chuỗi ngắn và lượng khí thải nhà kính của hai chế độ ăn của bò sữa. *Động vật.* 12:2185.
- Brown, P.D. và Morra, M.J. 2009. Mô của họ cải Brassicaceae như chất ức chế quá trình nitrat hóa trong đất. *J Agric Food Chem.* 57:7706–11.
- Burt, S. 2004. Tinh dầu: đặc tính kháng khuẩn và ứng dụng tiềm năng trong thực phẩm—một bài đánh giá. *Int J Food Microbiol.* 94:223–53.
- Busto, M.D. và Perez-Mateos, M. 2000. Đặc tính của beta-D-glucosidase được chiết xuất từ các phân đoạn đất. *European J Soil Sci.* 51:193–200.
- Carter, M.S. 2007. Đóng góp của quá trình nitrat hóa và khử nitrat vào lượng khí thải N₂O từ các mảng nước tiểu. *Soil Biol Biochem.* 39:2091–102.
- Carlton, A.J., Cameron, K.C., Di, H.J., Edwards, G.R. và Clough, T.J. 2019. Tồn thất do rửa trôi nitrat thấp hơn từ thức ăn chăn nuôi lúa mạch đen/cỏ ba lá trắng có chứa cây mã đề so với thức ăn chăn nuôi lúa mạch đen/cỏ ba lá trắng trong điều kiện tưới tiêu khác nhau. *New Zeal J Agric Res.* 62:150–72.
- Carrasco, A.V., Peterson, C.B., Zhao, Y., Pan, Y., McGlone, J.J., DePeters, E.J., *et al.* 2020. Tác động của việc bổ sung tinh dầu vào thức ăn đối với khí thải đường ruột và các thông số sản xuất từ bò sữa. *Tính bền vững.* 12:10347.
- Chadwick, D.R., Cardenas, L.M., Dhanoa, M.S., Donovan, N., Misselbrook, T., Williams, J.R., *et al.* 2018. Sự đóng góp của nước tiểu và phân gia súc vào lượng khí thải nitơ oxit: Định lượng các yếu tố phát

- thải cụ thể của từng quốc gia và ý nghĩa đối với các kho dự trữ quốc gia. *Sci Total Environ.* 635:607–17.
- Cheeke, P.R. 2000. Ứng dụng thực tế và tiềm năng của saponin *Yucca schidigera* và *Quillaja saponaria* trong dinh dưỡng của con người và động vật. Trong: Oleszek W, Marston A, biên tập viên. Saponin trong thực phẩm, thức ăn chăn nuôi và cây thuốc. Dordrecht: Springer; 45:241–54.
- Cheng, L., McCormick, J., Hussein, A.N., Logan, C., Pacheco, D., Hodge, M.C., *et al.* 2017. Tăng trọng khí sống, bài tiết nitơ qua nước tiểu và hành vi đi tiêu của bò cái sữa gặm cỏ, rau diếp xoăn và cây chuối. *J Agric Sci.* 155:669–78.
- Cheng, L., Judson, H.G., Bryant, R.H., Mowat, H., Guinot, L., Hague, H., *et al.* 2017. Tác động của việc cho ăn cỏ cắt lá chuối và cỏ lúa mạch đen lâu năm - cỏ ba lá trắng trên thức ăn và lượng nước tiêu thụ của bò cái sữa, khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng biểu kiến và bài tiết nitơ qua nước tiểu. *Anim Feed Sci Technol.* 229:43–6.
- Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M. và Yu, Z. 2016. Đánh giá quan trọng về tinh dầu như chất điều chỉnh dạ cỏ trong dinh dưỡng động vật nhai lại: Một bài tổng quan. *Sci Total Environ.* 545–546:556–68.
- Cieslak, A., Zmora, P., Pers-Kamczyc, E. và Szumacher-Strabel, M. 2012. Tác động của nguồn tannin (*Vaccinium vitis idaea* L.) lên quá trình lên men vi khuẩn dạ cỏ trong cơ thể sống. *Anim Feed Sci Technol.* 176:102–6.
- Clough, T.J., Ray, J.L., Buckthought, L.E., Calder, J., Baird, D., O'Callaghan, M., *et al.* 2009. Tiềm năng giảm thiểu của axit hippuric đối với khí thải N₂O từ các mảng nước tiểu: Xác định tại chỗ tác động của nó. *Soil Biol Biochem.* 41:2222–9.
- Coelho, L.D., Brito, L.D., Messana, J.D., Cardoso, A.D., Carvalho, G.M., Torres, R.D.S., *et al.* 2022. Tác động của các nguồn protein không phân hủy trong dạ cỏ lên lượng khí thải nitơ oxit, metan và amoniac từ phân của gia súc vỗ béo. *Sci Rep.* 12:9166.
- Davini, E., Iavarone, C., Trogolo, C., Aureli, P. và Pasolini, B. 1986. Phân lập định lượng và hoạt động kháng khuẩn của aglycone của aucubin. *Hóa thực vật.* 25:2420–2.
- da Silva Aguiar, F., Bezerra, L.R., Cordao, M.A., Cavalcante, I.T.R., de Oliveira, J.P.F., do Nascimento, R.R., và những người khác. 2023. Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng tannin tổng số lên lượng ăn vào, khả năng tiêu hóa và sự cân bằng nitơ, nước và năng lượng ở cừu lông. *Động vật (Basel).* 13:2497.
- Deaville, E.R., Givens, D.I. và Mueller-Harvey, I. 2010. Thức ăn ủ chua tannin từ hạt dẻ và cây trinh nữ: Tác động lên cừu khác nhau về khả năng tiêu hóa biểu kiến, sử dụng nitơ và mất mát. *Anim Feed Sci Technol.* 157:129–38.
- de Klein, CAM, Luo, J., Woodward, K.B., Styles, T., Wise, B., Lindsey, S., *et al.* 2014. Ảnh hưởng của nồng độ nitơ trong nước tiểu tổng hợp của gia súc đến lượng khí thải nitơ oxit. *Agric Ecosyst Môi trường.* 188:85–92.
- de Klein, CAM., Sherlock, R.R., Cameron, K.C. và van der Weerden, T.J. 2001. Phát thải nitơ oxit từ đất nông nghiệp ở New Zealand – tổng quan về kiến thức hiện tại và định hướng cho nghiên cứu trong tương lai. *J Roy Soc New Zeal.* 31:543–74.
- de Souza, M.N., Bayer, C., Lassalas, M., Michelon, G.M., Schaitz, L.H., Biasiolo, R., *et al.* 2021. Tác động của việc bổ sung chiết xuất từ ngô xay và tannin *Acacia mearnsii* lên quá trình bài tiết nitơ và phát thải nitơ oxit từ cừu. *Livest Sci.* 246:104458.
- Dietz, M., Machill, S., Hoffmann, H.C. và Schmidtke, K. 2013. Tác dụng ức chế của *Plantago lanceolata* L. đối với quá trình khoáng hóa N của đất. *Đất trồng cây.* 368:445–58.
- Dijkstra, J., Oenema, O., van Groenigen, J.W., Spek, J.W., van Vuuren, A.M. và Bannink, A. 2013. Ảnh hưởng của chế độ ăn uống đến thành phần nước tiểu của gia súc và lượng khí thải N₂O. *Động vật.* 7:292–302.
- Dorman, H.J. và Deans, S.G. 2000. Các tác nhân kháng khuẩn từ thực vật: hoạt động kháng khuẩn của tinh dầu dễ bay hơi thực vật. *J Appl Microbiol.* 88:308–16.
- Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. và Tanabe, K. 2006. Nông nghiệp, lâm nghiệp và sử dụng đất khác. Trong: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, biên tập viên. Hướng dẫn của IPCC năm 2006 về kiểm kê khí nhà kính quốc gia. Nhật Bản: IGES;
- Estell, R.E. 2010. Đối phó với các chất chuyển hóa thứ cấp của cây bụi bởi động vật nhai lại. *Small Ruminant Res.* 94:1–9.
- Eisler, M.C., Lee, M.R.F., Tarlton, J.F., Martin, G.B., Beddington, J., Dungait, J.A.J., *et al.* 2014. Nông nghiệp: Các bước để chăn nuôi bền vững. *Thiên nhiên.* 507:32–4.
- Fagundes, G.M., Benetel, G., Carriero, M.M., Sousa, R.L.M., Santos, K.C., Muir, J.P., *et al.* 2021. Tanin cô đặc trong chế độ ăn uống có trong phân bò và tác động đến động lực vi sinh vật đất: có lợi ích về mặt môi trường cho hệ thống sản xuất gia súc không? *Anim Prod Sci.* 61:690–7.
- Fox, R.H., Myers, R.J.K. và Vallis, I. 1990. Tỷ lệ khoáng hóa nitơ của các chất thải họ đậu trong đất bị ảnh

- hưởng bởi hàm lượng polyphenol, lignin và nitơ của chúng. *Đất thực vật*. 129:251–9.
- Gao, J., Sun, Y., Bao, Y., Zhou, K., Kong, D. và Zhao, G. 2021. Tác động của các mức độ khác nhau của bánh dầu hạt cải chứa nhiều glucosinolate trong khẩu phần ăn của bò đực lên quá trình lên men dạ cỏ, khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng và cộng đồng vi khuẩn dạ cỏ. *Brit J Nutr*. 125:266–74.
- Gao, J., Cheng, B., Sun, Y., Zhao, Y. và Zhao, G. 2022a. Tác động của việc bổ sung bánh dầu hạt cải có chứa nhiều glucosinolate vào chế độ ăn đối với quá trình chuyển hóa nitơ và lượng khí thải nitơ oxit trong nước tiểu ở bò đực. *Anim Nutr*. 8:204–15.
- Gao, J., Li, MM và Zhao, G. 2022b. Thiocyanate làm tăng quá trình hình thành oxit nitơ thông qua việc sửa đổi cộng đồng vi khuẩn đất. *J Sci Food Agric*. 102:2321–9.
- Gardiner, CA, Clough, TJ, Cameron, KC, Di, HJ và Edwards, GR 2019. Hiệu quả của aucubin như một chất ức chế nitrat hóa được đánh giá trong hai thử nghiệm thực địa ở Canterbury. *New Zeal J Agric Res*. 63:73–86.
- Gerlach, K., Pries, M., Tholen, E., Schmithausen, AJ, Buscher, W. và Sudekum, KH 2018. Tác động của tanin cô đặc trong khẩu phần ăn của bò sữa đang cho con bú lên các biến số sản xuất và hiệu quả sử dụng nitơ. *Động vật*. 12:1847–55.
- Getachew, G., Pittroff, W., Putnam, DH, Dandekar, A., Goyal, S., DePeters, EJ 2008. Ảnh hưởng của việc bổ sung axit gallic, axit tannic hoặc tannin quebracho vào cỏ linh lăng lên quá trình lên men dạ cỏ trong ống nghiệm và tổng hợp protein của vi khuẩn. *Anim Feed Sci Technol*. 140:444–61.
- Golbotteh, MM, Malecky, M., Aliarabi, H., Zamani, P. và Ganjkhanelou, M. 2022. Tác dụng đáp ứng liều lượng của tinh dầu và chiết xuất cây *Satureja khuzistanica* đối với đặc điểm lên men dạ cỏ, tổng hợp protein vi khuẩn và sản xuất mêtan trong ống nghiệm. *Ann Anim Sci*. 22:1001–14.
- Grainger, C., Clarke, T., Auldist, MJ, Beauchemin, KA, McGinn, SM, Waghorn, GC, *et al.* 2009. Khả năng sử dụng chất tannin cô đặc của *Acacia mearnsii* để giảm lượng khí thải mêtan và bài tiết nitơ từ bò sữa đang chăn thả. *Can J Anim Sci*. 89:241–51.
- Gunun, P., Wanapat, M., Gunun, N., Cherdthong, A., Sirilaophaisan, S. và Kaewwongsa, W. 2016. Tác động của tanin cô đặc trong bột hạt Mao (*Antidesma thwaitesianum* Muell. Arg.) lên đặc điểm lên men dạ cỏ và sử dụng nitơ ở dê. *Asian-Australas J Anim Sci*. 29:1111–9.
- Guyader, J., Eugène, M., Doreau, M., Morgavi, DP, Gérard, C., Loncke, C., *et al.* 2015. Phụ gia thức ăn nitrat nhưng không phải saponin trà làm giảm lượng khí thải mêtan trong ruột ở bò không cho con bú. *J Anim Sci*. 93:5367–77.
- Guyader, J., Eugene, M., Doreau, M., Morgavi, DP, Gerard, C. và Martin, C. 2017. Saponin trà làm giảm quá trình sinh khí mêtan trong ống nghiệm nhưng làm tăng sản lượng mêtan ở bò sữa đang cho con bú. *J Dairy Sci*. 100:1845–55.
- Hagerman, AE, Robbins, CT, Weerasuriya, Y., Wilson, TC và McArthur, C. 1992. Hóa học tanin liên quan đến tiêu hóa. *Rangel Ecol Manag*. 45:57–62.
- Hao, X., Benke, MB, Li, C., Larney, FJ, Beauchemin, KA và McAllister, TA 2011. Chuyển đổi nitơ và phát thải khí nhà kính trong quá trình ủ phân từ chế độ ăn của gia súc có chứa ngô, ngũ cốc chung cất khô với chất hòa tan và tanin cô đặc. *Anim Feed Sci Technol*. 166–167:539–49.
- Heckendorn, F., Haring, DA, Maurer, V., Zinsstag, J., Langhans, W. và Hertzberg, H. 2006. Tác dụng của sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) thức ăn ủ chua và cỏ khô đối với quần thể *Haemonchus contortus* và *Cooperia curticei* ở cừu. *Thú y Parasitol*. 142:293–300.
- Herremans, S., Decruyenaere, V., Cantalapiedra-Hijar, G., Beckers, Y., Froidmont, E. 2020. Tác động của cỏ ủ chua được xử lý bằng tanin thủy phân lên năng suất và thành phần sữa, phân bố nitơ và phân biệt đồng vị nitơ ở bò sữa đang cho con bú. *Động vật*. 2020;14:771–9.
- Hoefl, I., Steude, K., Wrage, N., Veldkamp, E. 2012. Phản ứng của khí thải oxit nitơ đối với các loài động vật ăn cỏ và thành phần loài thực vật ở đồng cỏ nông nghiệp ôn đới. *Agric Ecosyst Environ*. 151:34–43.
- Hoogendoorn, CJ, Luo, J., Lloyd-West, CM, Devantier, BP, Lindsey, SB, Sun, S., *et al.* 2016. Các yếu tố phát thải nitơ oxit đối với nước tiểu của cừu và gia súc được cho ăn cải dầu (*Brassica napus* L.) hoặc đồng cỏ lúa mạch đen/cỏ ba lá trắng lâu năm (*Lolium perenne* L./ *Trifolium repens*). *Agric Ecosyst Environ*. 227:11–23.
- Hu, WL, Liu, JX, Ye, JA, Wu, YM và Guo, YQ 2005. Tác dụng của saponin trà lên quá trình lên men dạ cỏ trong ống nghiệm. *Anim Feed Sci Technol*. 120:333–9.
- Ineichen, S., Marquardt, S., Wettstein, HR, Kreuzer, M., Reidy, B. 2019. Hồ sơ axit béo trong sữa và việc sử dụng nitơ của bò sữa được cho ăn thức ăn ủ chua từ cỏ lúa mạch đen-cỏ ba lá đỏ có chứa cây mã đề (*Plantago lanceolata* L.). *Livest Sci*. 221:123–32.
- Ingold, M., Wachendorf, C. và Buerkert, A. 2021. Khoáng hóa rỗng chất hữu cơ và phát thải khí nhà

- kính từ phân bón giàu tanin Quebracho bón cho đất chua và đất kiềm. *J Plant Nutr Soil Sci.* 184:530–42.
- IPCC. 2022. Biến đổi khí hậu 2022: Giảm thiểu biến đổi khí hậu. Đóng góp của Nhóm công tác III vào báo cáo đánh giá thứ sáu của ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu. Trong: Shukla PR, Skea J, Slade R, Al Khourdajie A, van Diemen R, McCollum D, *et al.*, biên tập viên. Cambridge và New York: Nhà xuất bản Đại học Cambridge.
- IPCC. 2019. Tập 4: nông nghiệp, lâm nghiệp và sử dụng đất khác. Trong: Calvo Buendia E, Tanabe K, Kranjc A, Baasansuren J, Fukuda M, Ngarize S, *et al.*, biên tập viên. 2019 Tinh chỉnh Hướng dẫn IPCC năm 2006 về Kiểm kê khí nhà kính quốc gia. Thụy Sĩ.
- Jones, G.A., Jakober, K.D., Bae, H.D., McAllister, T.A. và Cheng, K.J. 1993. Một số tương tác giữa tanin cô đặc của cây họ đậu thức ăn chăn nuôi. Một số tương tác giữa tanin cô đặc của cây họ đậu thức ăn chăn nuôi, albumin huyết thanh bò và nấm chùng vi khuẩn dạ cỏ phân giải protein. *Biên bản Hội nghị Thế giới về Sản xuất Động vật*, tập 36. Canada: Edmonton; tr. 68–9.
- Jouany, J.P. 1996. Tác động của động vật nguyên sinh dạ cỏ lên việc sử dụng nitơ của động vật nhai lại. *J Nutr.* 1996;126:1335S–1346S.
- Judson, H., Fraser, P. và Peterson, M. 2019. Ước chế quá trình nitrat hóa bằng nước tiểu từ gia súc ăn *Plantago lanceolata*. *J New Zeal Grasslands.* 81:111–6.
- Kapp-Bitter, A., Dickhoefer, U., Suglo, E., Baumgartner, L., Kreuzer, M. và Leiber, F. 2020. Bổ sung tannin hạt dê theo từng mức độ cho bò sữa được cho ăn đồng cỏ mùa xuân giàu protein: tác động đến các chỉ số sử dụng protein. *J Anim Feed Sci.* 29:97–104.
- Kim, D.H., Kim, B.R., Kim, J.Y., Jeong, Y.C. 2000. Cơ chế hình thành liên kết cộng hóa trị của aucubin với protein. *Toxicol Lett.* 114:181–8.
- Koenig, K.M. và Beauchemin, K.A. 2018. Ảnh hưởng của việc bổ sung tanin cô đặc vào chế độ ăn giàu protein hoàn thiện có chứa hạt ngô chung cất lên quá trình lên men dạ cỏ, khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng và đường bài tiết nitơ ở bò thịt. *J Anim Sci.* 96:4398–413.
- Koenig, K.M., Beauchemin, K.A. và McGinn, S.M. 2018. Cho ăn tanin cô đặc để giảm thiểu khí thải amoniac từ gia súc nuôi thịt bò được cho ăn chế độ ăn hoàn thiện giàu protein có chứa ngũ cốc chung cất. *J Anim Sci.* 96:4414–30.
- Kool, D., Hoffland, E., Hummelink, E. và Vangroenigen, J. 2006. Tăng hàm lượng axit hippuric trong nước tiểu có thể làm giảm dòng N₂O trong đất. *Soil Biol Biochem.* 38:1021–7.
- Axit hippuric và benzoic trong điều kiện khử nitrat không làm giảm lượng khí thải N₂O tại chỗ. *Sci Total Environ.* 511:362–8.
- Kronberg, SL và Liebig, MA 2011. Tanin cô đặc trong nước uống làm giảm tiền chất khí nhà kính urê trong nước tiểu cừu và gia súc. *Quản lý sinh thái đồng cỏ.* 64:543–7.
- Lagrange, S., Beauchemin, KA, MacAdam, J. và Villalba, JJ 2020. Chăn thả nhiều loại cây họ đậu có và không có chứa tanin: Ý nghĩa đối với hiệu suất của bò thịt và tác động môi trường. *Sci Total Environ.* 746:140788.
- Lin, B., Lu, Y., Salem, A.Z.M., Wang, J.H., Liang, Q. và Liu, J.X. 2013. Tác động của sự kết hợp tinh dầu lên quá trình lên men dạ cỏ ở cừu và khả năng tiêu hóa của chế độ ăn có fumarate. *Anim Feed Sci Technol.* 184:24–32.
- Liu, H. và Zhou, D. 2014. Giảm thiểu phát thải amoniac và nitơ oxit từ đồng cỏ được xử lý bằng nước tiểu của cừu ăn chế độ ăn bổ sung natri clorua. *Anim Feed Sci Technol.* 2014;192:39–47.
- Liu, H., Vaddella, V. và Zhou, D. 2011. Tác động của tannin hạt dê và dầu dừa lên hiệu suất tăng trưởng, phát thải khí mê-tan, quá trình lên men dạ cỏ và quần thể vi khuẩn ở cừu. *J Dairy Sci.* 94:6069–77.
- Liu, Y., Ma, T., Chen, D., Zhang, N., Si, B., Deng, K., *et al.* 2019. Tác dụng của việc bổ sung saponin trà lên khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng, quá trình sinh khí mê-tan và hệ vi khuẩn dạ cỏ ở cừu lai dorper. *Động vật (Basel).* 9:29.
- Luo, JF, Saggat, S., van der Weerden, T. và de Klein, C. 2019. Định lượng khí thải nitơ oxit và các yếu tố phát thải từ chất thải của bò thịt và bò sữa thải ra trên đất đồi chăn thả gia súc. *Agric Ecosyst Environ.* 270:103–13.
- Luo, J., Sun, XZ, Pacheco, D., Ledgard, SF, Lindsey, SB, Hoogendoorn, CJ, *et al.* 2015. Các yếu tố phát thải nitơ oxit đối với nước tiểu và phân từ cừu được cho ăn cải dầu tươi (*Brassica napus L.*) hoặc cỏ lúa mạch đen lâu năm tươi (*Lolium perenne L.*). *Động vật.* 9:534–43.
- Luo, J., Balvert, S.F., Wise, B., Welten, B., Ledgard, S.F., de Klein, C.A.M., *et al.* 2018. Sử dụng các loài thức ăn chăn nuôi thay thế để giảm phát thải khí nhà kính nitơ oxit từ nước tiểu gia súc thải ra đất. *Sci Total Environ.* 610:1271–80.
- Lombardi, B., Alvarado, P.I., Ricci, P., Guzman, S.A., Gonda, H.L. và Juliarena, M.P. 2021. Khí mê-tan và khí nitơ oxit phát thải từ các bãi phân do gia súc chăn thả bổ sung hạt ngô. *Anim Feed Sci Technol.* 279:115029.
- Lombardi, B., Alvarado, PI, Ricci, P., Buraschi, LM, Viduzzi, G., Palladino, RA, *et al.* 2022. Sự kết hợp

- giữ nước tiêu gia súc và các bãi phân làm tăng lượng khí thải nitơ oxit từ đồng cỏ ôn đới trong điều kiện ẩm ướt. *Agric Ecosyst Environ.* 340:108147.
- Fahey, JW, Zalcmann, AT và Talalay, P. 2001. Sự đa dạng hóa học và phân bố của glucosinolate và isothiocyanate trong thực vật. *Hóa học thực vật.* 2001;56:5–51.
- Mancia, A., Chadwick, DR, Waters, SM và Krol, DJ 2022. Sự không chắc chắn trong lượng khí thải N₂O trực tiếp từ chất thải của động vật nhai lại đang gặm cỏ (EF₃PRP) trong kho dự trữ khí nhà kính quốc gia. *Sci Total Environ.* 803:149935.
- Maamouri, O., Atti, N., Kraiem, K. và Mahouachi, M. 2011. Tác động của việc bổ sung thức ăn đậm đặc và lá *Acacia cyanophylla* lên sự cân bằng nitơ và sản lượng sữa của cừu cái chẵn thả. *Livest Sci.* 139:264–70.
- Makkar, HPS 2003. Tác động và số phận của tannin ở động vật nhai lại, khả năng thích nghi với tannin và các chiến lược để khắc phục tác động có hại của việc cho ăn thức ăn giàu tannin. *Small Ruminant Res.* 49:241–56.
- Marshall, CJ, Beck, MR, Garrett, K., Barrell, GK, Al Marashdeh, O. và Gregorini, P. 2021. Sự cân bằng nitơ của bò sữa khác nhau về giá trị sinh sản của nitơ urê sữa khi tiêu thụ cây chuối hoặc cỏ lúa mạch đen lâu năm. *Động vật (Basel).* 11:2464.
- Marak, HB, Biere, A. và Van Damme, JM 2002. Cảm ứng hệ thống, đặc hiệu theo kiểu gen của hai glycoside iridoid ngăn chặn động vật ăn cỏ ở *Plantago lanceolata* L. để đáp ứng với nhiễm nấm do *Diaporthe adunca* (Rob.) Niessel. *J Chem Ecol.* 28:2429–48.
- Martin, AK 1982. Nguồn gốc của các hợp chất thơm trong nước tiêu được bài tiết bởi động vật nhai lại. 2. Sự chuyển hóa của axit cinnamic phenolic thành axit benzoic. *Brit J Nutr.* 47:155–64.
- Massaccesi, L., Bardgett, RD, Agnelli, A., Ostle, N., Wilby, A. và Orwin, KH 2015. Tác động của sự đồng đều của các loài thực vật, bản sắc loài ưu thế và sự sắp xếp không gian đối với cấu trúc và chức năng của các cộng đồng vi sinh vật đất trong một mô hình đồng cỏ. *Oecologia.* 177:747–59.
- Ma, X., Wang, S., Wang, Y., Jiang, G. và Nyren, P. 2010. Tác động ngắn hạn của phân cừu lên các luồng khí carbon dioxide, nitơ oxit và metan trong đồng cỏ điển hình của Nội Mông. *New Zeal J Agric Res.* 49:285–97.
- Mazzetto, AM, Barneze, AS, Feigl, BJ, Van Groenigen, JW, Oenema, O., De Klein, CAM, *et al.* 2015. Việc sử dụng chất ức chế nitrat hóa dicyandiamide (DCD) không làm giảm lượng phát thải N₂O từ các mảng nước tiêu của bò dưới Oxisol ở Tây Bắc Brazil. *Nutr Cycl Agroecosys.* 101:83–92.
- McMurphy, CP, Sexten, AJ, Mourer, GL, Sharman, ED, Trojan, SJ, Rincker, MJ, *et al.* 2014. Tác động của việc đưa saponin (Micro-Aid®) vào lượng thức ăn tiêu thụ, quá trình lên men dạ cỏ và khả năng tiêu hóa ở bò đực được cho ăn cỏ khô thảo nguyên chất lượng thấp. *Anim Feed Sci Technol.* 190:47–58.
- Minnée, EMK, Leach, CMT và Dalley, DE 2020. Thay thế chế độ ăn dựa trên đồng cỏ bằng cây mã đề (*Plantago lanceolata*) làm giảm lượng nitơ bài tiết qua nước tiêu của bò sữa vào cuối thời kỳ cho con bú. *Livest Sci.* 239:104093.
- Min, BR, Solaiman, S., Terrill, T., Ramsay, A. và Mueller-Harvey, I. 2015. Tác động của chế độ ăn vô thông xay có chứa tannin lên quá trình tiêu hóa chất dinh dưỡng, cân bằng nitơ và giữ khoáng chất ở dê thịt. *J Anim Sci Biotechnol.* 6:25.
- Min, BR, Parker, D., Casey, K., Willis, W., Castleberry, L., Meyer, B., *et al.* 2020. Tác động của tannin thực lên khí thải mê-tan và nitơ oxit từ phân bò sữa trong điều kiện phòng thí nghiệm. *J Anim Sci.* 98:387.
- Misselbrook, TH, Powell, JM, Broderick, GA và Grabber, JH 2005. Biến đổi chế độ ăn ở bò sữa: các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm để đánh giá ảnh hưởng đến lượng khí thải amoniac. *J Dairy Sci.* 88:1765–77.
- Mueller-Harvey, I. 2006. Giải mã câu đố về tannin trong dinh dưỡng và sức khỏe động vật. *J Sci Food Agric.* 86:2010–37.
- Mueller-Harvey I, Bee G, Dohme-Meier F, Hoste H, Karonen M, Kölliker R, *et al.* Lợi ích của tannin cô đặc trong các loại đậu thức ăn chăn nuôi cho động vật nhai lại: tầm quan trọng của cấu trúc, nồng độ và thành phần chế độ ăn. *Crop Sci.* 2019;59:861–85.
- Muñoz-Cuautle, A., Ortega-Cerrilla, ME, Herrera-Haro, JG, Nava-Cuellar, C., Gutiérrez-Olvera, C., Ramírez-Bribiesca, JE, *et al.* 2022. Tác dụng của tinh dầu oregano (*Lippia graveolens*) như một chất phụ gia thức ăn thực vật đối với hiệu suất sản xuất, quá trình lên men dạ cỏ và hoạt động chống oxy hóa trong thịt cừu. *Nông nghiệp;* 12:973.
- Munday, R., Mhaweche-Fauceglia, P., Munday, CM, Paonessa, JD, Tang, L., Munday, JS, *et al.* 2008. Ức chế quá trình gây ung thư bằng quang bằng mầm bông cải xanh. *Cancer Res.* 68:1593–600.
- Naumann, H., Muir, J., Lambert, B., Tedeschi, L. và Kothmann, MM 2013. Tanin cô đặc trong môi trường động vật nhai lại: góc nhìn về hoạt động sinh học. *J Agric Sci;* 1:8–20.
- Navarrete, S., Rodriguez, M., Horne, D., Hanly, J., Hedley, M. và Kemp, P. 2022. Sự bài tiết nitơ của bò

- sữa ăn cỏ chuỗi (Plantago lanceolata) trên đồng cỏ trong mùa cho con bú. *Động vật*. 12:469.
- Navarrete, S., Kemp, PD, Pain, SJ và Back, PJ 2016. Các hợp chất hoạt tính sinh học, aucubin và acteoside, trong cây mã đề (Plantago lanceolata L.) và tác dụng của chúng lên quá trình lên men dạ cỏ trong ống nghiệm. *Anim Feed Sci Technol*. 222:158–67.
- Nkomboni, D., Bryant, RH và Edwards, GR 2021. Ảnh hưởng của việc tăng tỷ lệ chuỗi trong chế độ ăn lên sản lượng sữa và sử dụng nitơ của bò sữa chăn thả trong giai đoạn cuối thời kỳ cho con bú. *Anim Prod Sci*. 61:770–9.
- O’Connell, CA, Judson, HG và Barrell, GK. 2016. Tác dụng lợi tiểu kéo dài của cây mã đề khi được cừu ăn vào. *Proc NZ Soc Anim Prod*. 76:14–7.
- Oh, J., Harper, M. và Hristov, AN 2019. Tác động của việc giảm nguồn cung cấp protein thô riêng lẻ hoặc kết hợp với tinh dầu đối với năng suất, chức năng dạ cỏ và việc sử dụng chất dinh dưỡng ở bò sữa. *Animal*. 13:2510–8.
- Orzuna-Orzuna, JF, Dorantes Iturbide, G., Lara Bueno, A., Miranda-Romero, LA và Mendoza Martínez, GD 2022. Santiago-Figueroa I. Phân tích tổng hợp về việc sử dụng tinh dầu làm thức ăn cho gia súc: quá trình lên men dạ cỏ, chất chuyển hóa máu, chất lượng thịt, hiệu suất và tác động đến môi trường và kinh tế. *Lên men*. 8:254.
- Oliveira, LN, Pereira, MAN, Oliveira, CDS, Oliveira, CC, Silva, RB, Pereira, RAN, *et al.* 2023. Ảnh hưởng của nồng độ thấp chiết xuất tannin Acacia mearnsii trong chế độ ăn đến quá trình nhai, lên men dạ cỏ, khả năng tiêu hóa, phân bố nitơ và hiệu suất của bò sữa. *J Dairy Sci*. 106:3203–16.
- Palm, CA và Sanchez, PA 1991. Sự giải phóng nitơ từ lá của một số cây họ đậu nhiệt đới bị ảnh hưởng bởi hàm lượng lignin và polyphenol của chúng. *Soil Biol Biochem*. 23:83–8.
- Patra, AK và Saxena, J. 2011. Khai thác tannin trong chế độ ăn uống để cải thiện quá trình trao đổi chất dạ cỏ và dinh dưỡng của động vật nhai lại. *J Sci Food Agric*. 91:24–37.
- Pathak, AK, Dutta, N., Pattanaik, AK, Chaturvedi, VB và Sharma, K. 2017. Tác dụng của tanin cô đặc từ hỗn hợp bột lá Ficus infectoria và Psidium guajava lên quá trình chuyển hóa chất dinh dưỡng, phát thải khí mê-tan và hiệu suất của cừu. *Asian-Australas J Anim Sci*. 30:1702–10.
- PerezMaldonado, RA và Norton, BW 1996. Tác động của tannin cô đặc từ Desmodium intortum và Calliandra calothyrsus lên quá trình tiêu hóa protein và carbohydrate ở cừu và dê. *Brit J Nutr*. 76:515–33.
- Powell, JM, Aguerre, MJ và Wattiaux, MA 2011. Chiết xuất tanin làm giảm lượng khí thải amoniac từ sàn chuồng trại chăn nuôi bò sữa mô phỏng. *J Environ Qual*. 40:907–14.
- Prieto, MA, López, CJ và Simal-Gandara, J. 2019. Chương sáu – Glucosinolate: Cấu trúc phân tử, phân hủy, di truyền, khả dụng sinh học, tính chất và tác dụng có lợi và có hại. Trong: Ferreira ICFR, Barros L, biên tập viên. *Những tiến bộ trong nghiên cứu thực phẩm và dinh dưỡng*, tập 90. Nhà xuất bản học thuật; trang 305–50.
- Pankoke, H. và Müller, C. 2013. Tác động của việc rụng lá đến khả năng tái sinh và hồ sơ chuyển hóa chồi của Plantago lanceolata L. *Plant Physiol Biochem*. 71:325–33.
- Patra, AK và Saxena, J. 2009. Tác dụng và cơ chế hoạt động của saponin đối với quần thể vi khuẩn và quá trình lên men trong dạ cỏ và sản xuất động vật nhai lại. *Nutr Res Rev*. 22:204–19.
- Patra, AK và Yu, Z. 2014. Tác dụng của vanillin, quillaja saponin và tinh dầu lên quá trình lên men trong ống nghiệm và vi sinh vật phân hủy protein của dạ cỏ. *Appl Microbiol Biotechnol*. 98:897–905.
- Pawar, MM, Kamra, DN, Agarwal, N. và Chaudhary, LC 2014. Tác động của tinh dầu lên quá trình sinh khí metan trong ống nghiệm và quá trình lên men thức ăn với dịch dạ cỏ trâu. *Agric Res*. 3:67–74.
- Pijlman, J., Berger, SJ, Lexmond, F., Bloem, J., van Groenigen, JW, Visser, EJW, *et al.* 2019. Sự hiện diện của cây mã đề (Plantago lanceolata L.) có thể cải thiện chu trình nitơ của hệ thống đồng cỏ sữa trên đất than bùn không? *New Zeal J Agric Res*. 63:106–22.
- Pulina, G., Francesconi, AHD, Stefanon, B., Sevi, A., Calamari, L., Lacetera, N., và những người khác. 2016. Sản xuất động vật nhai lại bền vững để giúp nuôi sống hành tinh. *Ital J Hoạt hình Khoa học*. 16:140–71.
- Ramírez-Restrepo, CA, O’Neill, CJ, López-Villalobos, N., Padmanabha, J., Wang, JK và McSweeney, C. 2016. Tác dụng của việc bổ sung saponin từ hạt trà đối với những thay đổi sinh lý liên quan đến nồng độ metan trong máu ở bò Brahman nhiệt đới. *Anim Prod Sci*. 56:457–65.
- Ravishankara, AR, Daniel, JS và Portmann, RW 2009. Nitơ oxit (N₂O): chất chủ yếu làm suy giảm tầng ôzôn được thải ra trong thế kỷ 21. *Khoa học*. 326:123-5
- Reardon, CL, Strauss, SL và Mazzola, M. 2013. Những thay đổi về lượng nitơ có sẵn và sự phong phú của tuyến trùng để đáp ứng với việc bổ sung bột hạt cải Brassica vào đất vườn. *Soil Biol Biochem*. 57:22–9.

- Reed, JD 1995. Độc chất dinh dưỡng của tannin và polyphenol liên quan trong cây họ đậu làm thức ăn chăn nuôi. *J Anim Sci.* 73:1516–28.
- Ribeiro, ADB, Junior, M., Polizel, DM, Miszura, AA, Gobato, LGM, Barroso, JPR, *et al.* 2019. Tinh dầu cỏ xạ hương cho cừu: tác động đến quá trình lên men dạ cỏ, khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng, quá trình chuyển hóa nitơ và tăng trưởng. *Arq Bras Med Vet Zoo.* 71:2065–74.
- Rodriguez, MJ, Navarrete, S., Horne, DJ, Hanly, JA, Bishop, P. và Kemp, PD 2023. Các chất chuyển hóa thứ cấp của cây mã đề có thể làm giảm sự mất N từ các mảng nước tiểu không? *New Zeal J Agric Res.* 66:83–100.
- Saggar, S. 2010. Ước tính lượng khí thải nitơ oxit từ các hệ sinh thái và các công nghệ giảm thiểu. *Sci Total Environ.* 136:189–91.
- Santoso, B., Kilmaskossu, A. và Sambodo, P. 2007. Tác dụng của saponin từ *Biophytum petersianum* Klotzsch lên quá trình lên men dạ cỏ, tổng hợp protein vi khuẩn và sử dụng nitơ ở dê. *Anim Feed Sci Technol.* 2007;137:58–68.
- Shilwant, S, Hundal, JS, Singla, M. và Patra, AK 2022. Lên men dạ cỏ và sản xuất metan trong ống nghiệm, sản xuất sữa, sử dụng chất dinh dưỡng, hồ sơ máu và phản ứng miễn dịch của dê đang cho con bú được cho ăn chiết xuất thực vật giàu polyphenol và saponin. *Environ Sci Pollut Res.* 30:10901–13.
- Silveira Pimentel, PR, Barcellos de Pellegrini, C., Meira Galvão, J., Santos Brant, LM, Vaz de Mambro Ribeiro, C., Mariniello Silva, T., và những người khác. 2021. Hiệu suất, khả năng tiêu hóa, cân bằng nitơ và hành vi tiêu hóa của dê con được cho ăn khẩu phần có bổ sung tannin cô đặc từ chiết xuất *Acacia mearnsii*. *Hoạt hình Prod Sci.* 61:1534–45.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H. và Kumar P. Nông nghiệp. 2007. Trong: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA, biên tập viên. *Biến đổi khí hậu 2007: giảm thiểu.* Cambridge và New York: Nhà xuất bản Đại học Cambridge.
- Snyder, AJ, Johnson Maynard, JL và Morra, MJ 2010. Khoáng hóa nitơ trong đất ủ với bột hạt cải Brassicaceae được đánh dấu ¹⁵N. *Appl Soil Ecol.* 2010;46:73–80.
- Stewart, EK, Beauchemin, KA, Dai, X., MacAdam, JW, Christensen, RG và Villalba, JJ 2019. Tác động của cỏ khô chứa tanin đến lượng khí mê-tan thải ra trong ruột và phân bố nitơ ở bò thịt. *J Anim Sci.* 97:3286–99.
- Simon, PL, de Klein, CAM, Worth, W., Rutherford, AJ và Dieckow, J. 2019. Hiệu quả của *Plantago lanceolata* trong việc giảm thiểu khí thải nitơ oxit từ các bãi nước tiểu gia súc. *Sci Total Environ.* 691:430–41.
- Stewart, AV 1996. Cây mã đề (*Plantago lanceolata*) – một loài đồng cỏ tiềm năng. *Biên bản của Hiệp hội đồng cỏ New Zealand.* 58:77–86.
- Subuh, AMH, Rowan, TG và Lawrence, TLJ 1995. Các thành phần độc hại trong dịch tiêu hóa dạ cỏ và tá tràng và trong sữa, và tính toàn vẹn của gan ở gia súc được cho ăn chế độ ăn dựa trên bột hạt cải có hàm lượng glucosinolate khác nhau chưa qua xử lý hoặc xử lý bằng nhiệt hoặc formaldehyde. *Anim Feed Sci Technol.* 52:51–61.
- CN, X. 2020. Đánh giá được mời: glucosinolate có thể dẫn đến lượng khí thải mê-tan thấp từ động vật nhai lại được cho ăn thức ăn từ cây cải. *Front Vet Sci.* 7:588051.
- Tekippe, JA, Tacoma, R., Hristov, AN, Lee, C., Oh, J., Heyler, KS, *et al.* 2013. Tác dụng của tinh dầu đối với quá trình lên men dạ cỏ và hiệu suất tiết sữa của bò sữa. *J Dairy Sci.* ;96:7892–903.
- Terrill, TH, Waghorn, GC, Woolley, DJ, McNabb, WC và Barry, TN 1994. Đánh giá và tiêu hóa 14 tanin cô đặc được gắn nhãn C trong đường tiêu hóa của cừu. *Brit J Nutr.* 72:467–77.
- Thomas, BW, Gao, X., Beck, R. và Hao, X. 2017. Có cần các yếu tố phát thải nitơ oxit riêng biệt cho nước tiểu và phân gia súc thải ra trên đồng cỏ ở miền tây Canada không? *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017;24:26142–7.
- Toseti, LB, Goulart, RS, Gouvêa, VN, Acedo, TS, Vasconcellos, GSFM, Pires, AV, *et al.* 2020. Tác dụng của hỗn hợp tinh dầu và α -amylase ngoại sinh trong chế độ ăn có chứa các nguồn thức ăn thô khác nhau để vỗ béo gia súc thịt. *Anim Feed Sci Technol.* 269:114643.
- Totty, VK, Greenwood, SL, Bryant, RH và Edwards, GR 2013. Phân chia nitơ và sản xuất sữa của bò sữa chăn thả trên đồng cỏ đơn giản và đa dạng. *J Dairy Sci.* 96:141–9.
- Tripathi, MK và Mishra, AS 2007. Glucosinolate trong dinh dưỡng động vật: Một đánh giá. *Anim Feed Sci Technol.* 132:1–27.
- Uushona, T., Chikwanha, OC, Katiyatiya, CLF, Strydom, PE, Mapiye, C. 2023. Tác dụng thay thế cám *Triticum aestivum* của bột lá *Acacia mearnsii* đối với khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng, quá trình lên men dạ cỏ và khả năng giữ nitơ ở cừu. *Small Ruminant Res.* 221:106948.
- van Cleef, FOSV, Dubeux, JCJB, Ciriaco, FM, Henry, DD, Ruiz-Moreno, M., Jaramillo, DM, và những người khác. 2022. Việc đưa một loại đậu giàu tannin vào chế độ ăn của bò thịt giúp giảm phát thải khí

- nhà kính từ phân của chúng. Dân biểu khoa học 12:14220.
- van der Weerden, TJ, Luo, JF, de Klein, CAM, Hoogendoorn, CJ, Littlejohn, RP và Rys, GJ 2011. Phân chia các yếu tố phát thải oxit nitơ đối với nước tiểu và phân của động vật nhai lại lắng đọng trên đất mục vụ. Môi trường hệ sinh thái nông nghiệp. 141:426–36.
- Wachendorf, C., Lampe, C., Taube, F. và Dittert, K. 2008. Phát thải nitơ oxit và động lực của nitơ đất dưới 15 bãi phân và nước tiểu bò được đánh dấu N trên đất đồng cỏ cát. *J Plant Nutr Soil Sci.* 171:171–80.
- Waghorn, G. 2008. Tác động có lợi và có hại của tannin cô đặc trong chế độ ăn uống đối với sản xuất cừu và dê bền vững—Tiền triển và thách thức. *Anim Feed Sci Technol.* 2008;147:116–39.
- Wallace, RJ, McEwan, NR, McIntosh, FM, Teferedegne, B. và Newbold, CJ 2002. Các sản phẩm tự nhiên như chất điều khiển quá trình lên men dạ cỏ. *Asian Austral J Anim Sci.* 15:1458–68.
- Wanapat, M., Khejornsart, P., Pakdee, P. và Wanapat, S. 2008. Tác dụng của việc bổ sung bột tỏi vào hệ sinh thái dạ cỏ và khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng ở động vật nhai lại. *J Sci Food Agric.* 2008;88:2231–7.
- Wanapat, M., Kang, S., Khejornsart, P. và Wanapat, S. 2013. Tác dụng của việc bổ sung kết hợp thảo mộc thực vật lên quá trình lên men dạ cỏ và khả năng tiêu hóa chất dinh dưỡng ở bò thịt. *Asian Austral J Anim Sci.* 26:1127–36.
- Wecking, AR, Wall, AM, Liang, LL, Lindsey, SB, Luo, JF, Campbell, DI, *et al.* 2020. Đối chiếu lượng khí thải nitơ oxit hàng năm của đồng cỏ chăn thả gia súc thâm canh được xác định bằng phương sai dòng xoáy và các yếu tố phát thải. *Agric Ecosyst Environ.* 287:106646.
- Wei, C., Yang, K., Zhao, G., Lin, S. và Xu, Z. 2016. Tác động của việc bổ sung axit gallic vào chế độ ăn lên sự cân bằng nitơ, mô hình bài tiết nitơ và các thành phần nitơ trong nước tiểu ở bò thịt. *Arch Anim Nutr.* 70:416–23.
- Willem van groenigen, J., Palermo, V., Kool, DM và Kuikman, PJ 2006. Ước chế quá trình khử nitrat và phát thải N₂O bằng axit benzoic và hippuric có nguồn gốc từ nước tiểu. *Soil Biol Biochem.* 38:2499–502.
- Wina, E., Muetzel, S. và Becker, K. 2005. Tác động của saponin hoặc vật liệu thực vật chứa saponin đối với sản xuất động vật nhai lại: Một đánh giá. *J Agric Food Chem.* 53:8093–105.
- Wischer, G., Greiling, AM, Boguhn, J., Steingass, H., Schollenberger, M., Hartung, K., *et al.* 2014. Tác động của việc bổ sung dài hạn chiết xuất hạt dê và valonea lên quá trình giải phóng mêtan, khả năng tiêu hóa và bài tiết nitơ ở cừu. *Động vật.* 8:938–48.
- Wu, P., Liu, ZB, He, WF, Yu, SB, Gao, G. và Wang, JK 2018. Cho ăn tinh dầu cam quýt không liên tục như một chiến lược tiềm năng để giảm sản xuất mêtan bằng cách giảm sự thích nghi của vi khuẩn. *J Clean Prod.* 194:704–13.
- Yang, K., Wei, C., Zhao, G., Xu, Z. và Lin, S. 2016. Bổ sung axit tannic vào chế độ ăn uống điều chỉnh mô hình bài tiết nitơ và các thành phần nitơ trong nước tiểu của gia súc thịt. *Livest Sci.* 191:148–52.
- Ye, LX, Dinkova-Kostova, AT, Wade, KL, Zhang, YS, Shapiro, TA và Talalay, P. 2002. Xác định định lượng dithiocarbamate trong huyết tương, huyết thanh, hồng cầu và nước tiểu người: được động học của isothiocyanates mầm bông cải xanh ở người. *Lâm sàng Chim Acta.* 316:43–53.
- Zhou, K., Bao, Y., Zhao, G. 2019. Tác động của protein thô trong chế độ ăn và axit tannic lên bài tiết nitơ, thành phần nitơ trong nước tiểu và phát thải nitơ oxit trong nước tiểu ở bò thịt. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 103:1675–83.
- Zúñiga Serrano, A., Barrios García, HB, Anderson, RC, Hume, ME, Ruizalbarán, M., Bautista Martínez, Y., *et al.* 2022. Tác dụng kháng khuẩn và tiêu hóa của chiết xuất *Yucca schidigera* liên quan đến sản xuất và tác động đến môi trường của động vật nhai lại và không nhai lại: Một bản tổng quan. *Nông nghiệp.* 12:1198.
- Zhang, J., Xu, X., Cao, Z., Wang, Y., Yang, H., Azarfar, A., *et al.* 2019. Tác động của các nguồn tanin khác nhau đến lượng chất dinh dưỡng hấp thụ, khả năng tiêu hóa, hiệu suất, sử dụng nitơ và các thông số máu ở bò sữa.

ABSTRACT**Use of natural plant-derived substances to reduce Nitrogen excretion and N₂O emissions from ruminants**

Ruminants play a critical role in our food system by converting plant biomass that humans cannot or choose not to consume into edible high-quality food. However, ruminant excreta is a significant source of nitrous oxide (N₂O), a potent greenhouse gas with a long-term global warming potential 298 times that of carbon dioxide. Natural phytochemicals or forages containing phytochemicals have shown the potential to improve the efficiency of nitrogen (N) utilization and decrease N₂O emissions from the excreta of ruminants. Dietary inclusion of tannins can shift more of the excreted N to the feces, alter the urinary N composition and consequently reduce N₂O emissions from excreta. Essential oils or saponins could inhibit rumen ammonia production and decrease urinary N excretion. In grazed pastures, large amounts of glucosinolates or aucubin can be introduced into pasture soils when animals consume plants rich in these compounds and then excrete them or their metabolites in the urine or feces. If inhibitory compounds are excreted in the urine, they would be directly applied to the urine patch to reduce nitrification and subsequent N₂O emissions. The phytochemicals' role in sustainable ruminant production is undeniable, but much uncertainty remains. Inconsistency, transient effects, and adverse effects limit the effectiveness of these phytochemicals for reducing N losses. In this review, we will identify some current phytochemicals found in feed that have the potential to manipulate ruminant N excretion or mitigate N₂O production and deliberate the challenges and opportunities associated with using phytochemicals or forages rich in phytochemicals as dietary strategies for reducing N excretion and excreta-derived N₂O emissions.

Keywords: *Nitrogen metabolism, nitrous oxide, plant bioactive compounds, ruminant, urine*

Ngày nhận bài: 12/01/2025

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2025