

THIẾT KẾ ĐỒNG CỎ CHĂN THẢ ĐA DẠNG THỰC VẬT ĐỂ CẢI THIỆN SẢN XUẤT VÀ PHÚC LỢI CỦA ĐỘNG VẬT ĐỒNG THỜI GIẢM TÁC ĐỘNG ĐẾN MÔI TRƯỜNG

Nguyễn Văn Quang

Viện Chăn nuôi

Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Quang. Tel: 0989637328. Email: quangvcn@gmail.com

TÓM TẮT

Hệ thống sản xuất dựa trên đồng cỏ là một nhà cung cấp bền vững và đáng kể các loại thực phẩm nguồn gốc động vật trên toàn thế giới. Đối với các hệ thống như vậy, các bằng chứng gắn kết làm nổi bật tầm quan trọng của sự đa dạng thực vật đối với hoạt động thích hợp của đất, thực vật và động vật. Sự đa dạng của các loại thức ăn gia súc với liều lượng và trình tự ăn uống thích hợp, có thể mang lại lợi ích cho động vật và môi trường của chúng lớn hơn so với chỉ có một loại thức ăn đơn lẻ. Ở đây, chúng ta xem xét tầm quan trọng của đa dạng thực vật đối với dinh dưỡng, phúc lợi, sức khỏe và tác động môi trường của đồng vật đồng thời đưa ra một số ý tưởng mới về thiết kế và quản lý đồng cỏ dựa trên sự phức tạp hóa sinh của các nguồn thức ăn thô xanh truyền thống và phi truyền thống. Những nỗ lực như vậy sẽ đòi hỏi sự tích hợp và tổng hợp về hình thái, sinh lý sinh thái và hóa sinh của các loài thức ăn gia súc truyền thống và phi truyền thống, cũng như về hành vi kiếm ăn của gia súc ăn cỏ trên các đồng cỏ đa dạng thực vật. Do đó, thách thức đặt ra là đòi hỏi phải lựa chọn tổ hợp loài “phù hợp”, tập hợp không gian, phân phối và quản lý nguồn thức ăn thô xanh sao cho năng suất và sự ổn định của các cộng đồng thực vật và các dịch vụ sinh thái do chăn thả cung cấp được nâng cao. Từ đó đưa ra kết luận rằng có sự hỗ trợ thực nghiệm mạnh mẽ cho việc thay thế các đồng cỏ nông nghiệp truyền thống đơn giản làm giảm đa dạng hóa thực vật bằng nhiều loài thức ăn thô xanh bổ sung cho phép động vật nhai lại lựa chọn chế độ ăn có lợi cho dinh dưỡng, sức khỏe và phúc lợi của chúng, đồng thời giảm các tác động tiêu cực đến môi trường do hệ thống sản xuất chăn nuôi.

Từ khóa: *đồng cỏ đa dạng, động vật nhai lại, tác động môi trường, dinh dưỡng động vật, sức khỏe động vật, phúc lợi động vật, chăn nuôi*

GIỚI THIỆU

Nhiều nghiên cứu hiện tại nhấn mạnh tầm quan trọng của sự đa dạng thực vật đối với hoạt động thích hợp của đất, thực vật và động vật ăn cỏ (Eisenhauer và cs., 2018; Hautier và cs., 2018; Schaub và cs., 2020). Điều này là do sự đa dạng của thực vật ảnh hưởng đến các thuộc tính vật lý, hóa học và sinh học của đất, cả gián tiếp thông qua việc thúc đẩy sản xuất sinh khối và trực tiếp thông qua các loài thực vật, đến các thuộc tính và chức năng của đất (Coleman và cs., 2017). Thực vật phát triển quần thể sinh vật trong đất thông qua bộ rễ và các chất hữu cơ trong đất, được tăng lên nhờ sự đa dạng của thực vật (Zak và cs., 2003). Ngoài ra, các loài thực vật khác nhau về cấu trúc và các chất hóa học tiết ra của bộ rễ dưới mặt đất, ảnh hưởng đến hệ sinh vật đất và liên quan trực tiếp đến dinh dưỡng của đất (Eisenhauer và cs., 2017). Các kết quả gần đây đã chứng minh tầm quan trọng của đa dạng sinh học đất đối với dinh dưỡng của đất và trên toàn bộ quần xã sinh vật (Delgado-Baquerizo và cs., 2020).

Liên quan đến năng suất, nhiều nghiên cứu và phân tích tổng hợp đã chỉ ra rằng đa dạng thực vật làm tăng năng suất và sự ổn định của các cộng đồng thực vật (Isbell và cs., 2015, 2017; Prieto và cs., 2015). Ba cơ chế cơ bản để giải thích mối quan hệ tích cực giữa đa dạng thực vật và năng suất thực vật là sự khác biệt trong việc tương tác tích cực và tác động chọn lọc (Hector và cs., 2002). Sự phân hóa theo kiểu này nảy sinh do sự khác biệt giữa các loài về các đặc điểm hình thái và sinh lý, cho phép sử dụng khác nhau các nguồn tài nguyên theo không gian và thời gian, do đó làm tăng năng suất khi trồng hỗn hợp. Tương tác tích cực là kết quả của sự tạo điều kiện thuận lợi giữa các loài [liên kết cố định nitơ từ cây họ đậu sang cỏ (Kakraliya và cs., 2018)], trong khi tác động chọn lọc là kết quả của việc tăng xác suất xuất

hiện của các loài hoạt động tốt nhất trong một môi trường phát triển nhất định (Valencia và cs., 2018).

Sự đa dạng hóa thực vật vốn có trong các quần xã thực vật, rất quan trọng về mặt sinh học đối với động vật nhai lại vì một số lý do. Sự pha trộn chế độ ăn uống được cho là có lợi cho động vật ăn cỏ bằng cách cho phép hấp thụ cân bằng hơn các chất dinh dưỡng (Provenza và cs., 2003) hoặc làm pha loãng chất độc ăn vào (Marsh và cs., 2006). Sự đa dạng hóa thực vật cũng có thể giúp chống lại độc tính do các chất chuyển hóa thứ cấp của thực vật đơn lẻ gây ra, bởi vì các chất dinh dưỡng làm giảm tác động tiêu cực sau khi ăn của một số chất độc nhất định thông qua việc tăng cường con đường giải độc và thải trừ (Illius và Jessop, 1995). Ngoài ra, việc tiêu thụ đa dạng thực vật, với liều lượng thích hợp, có thể mang lại lợi ích về mặt y học (Cozier và cs., 2006), cải thiện chất lượng sản phẩm (Vasta và cs., 2019), và giảm các tác động tiêu cực đến môi trường từ động vật nhai. Cuối cùng, các cá thể khác nhau về nhu cầu chất dinh dưỡng và khả năng chống chịu với chất độc do sự khác biệt về hình thái và sinh lý vốn có (Provenza và cs., 2007).

Mặc dù có nhiều bằng chứng thực nghiệm về tầm quan trọng của sự đa dạng thực vật đối với đất, thực vật và động vật nhai lại và đối với lợi nhuận của nông dân nhưng các hệ thống đồng cỏ hiện nay thường bao gồm một hoặc một vài loài thực vật được biết đến rộng rãi (Schaub và cs., 2020). Cần thiết kể các hệ thống đồng cỏ đa dạng, để thay thế các hệ thống đồng cỏ truyền thống hạn chế về tính đa dạng. Tuy nhiên, việc tạo ra các hệ thống chăn thả dựa trên đồng cỏ đa dạng để cải thiện sản xuất và phúc lợi của động vật nhai lại, đồng thời giảm tác động đến môi trường, là một thách thức lớn. Nó đòi hỏi một tập hợp rộng lớn các công việc phân tích, tích hợp và tổng hợp kiến thức về hình thái, sinh lý và hóa sinh ở các loài thực vật và cấp độ sinh hóa, và về sự tương tác giữa các loài thực vật/kiểu gen/dinh dưỡng trong điều kiện chăn thả. Từ sự phức tạp này, có thể tạo ra hỗn hợp đồng cỏ mà một mặt nâng cao năng suất thông qua các tương tác bổ sung tích cực giữa các loài, mặt khác, tăng cường sức khỏe vật nuôi, phúc lợi và hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng của động vật nhai lại.

Chế độ ăn đa dạng thực vật ở loài nhai lại

Sự đa dạng về chế độ ăn uống là phổ biến ở các loài động vật ăn cỏ nói chung và động vật có vú nói riêng. Khi được phép lựa chọn trong số các loại thức ăn thay thế có nhiều loại và hàm lượng chất dinh dưỡng và chất chuyển hóa thứ cấp khác nhau, động vật nhai lại học cách lựa chọn chế độ ăn đa dạng đáp ứng yêu cầu dinh dưỡng của chúng và tránh được độc tính và rối loạn dinh dưỡng (Villalba và cs., 2002, 2004). Hạn chế dinh dưỡng và hạn chế giải độc đã được đề xuất như là cơ sở sinh học thay thế của các chế độ ăn khác nhau. Giả thuyết “hạn chế chất dinh dưỡng” hoặc “bổ sung chất dinh dưỡng” cho rằng không một loài thực vật nào có thể cung cấp tất cả các chất dinh dưỡng theo tỷ lệ cần thiết cho động vật ăn cỏ và do đó việc phối trộn khẩu phần cho phép lượng dinh dưỡng cân bằng hơn (Rapport, 1980). “Giả thuyết giới hạn giải độc” lập luận rằng hệ thống giải độc của động vật không có khả năng chuyển hóa lượng chất chuyển hóa thứ cấp cao có trong một loài thực vật đơn lẻ, và do đó, chất chuyển hóa thứ cấp ăn vào dưới dạng hỗn hợp ít độc hơn vì chúng ít cô đặc hơn và có khả năng giải độc bằng các con đường khác nhau (Freeland và Janzen, 1974). Những giả thuyết này không loại trừ lẫn nhau và cả hai đều giả định về một cơ chế hành vi và sinh lý cơ bản.

Sự chán thức ăn thoáng qua cũng đã được đề xuất như một giải pháp thay thế không loại trừ lẫn nhau cho việc cân bằng dinh dưỡng và pha loãng độc tố để giải thích sự ưa thích một phần và chế độ ăn đa dạng ở động vật nhai lại (Provenza, 1996). Cơ chế cơ bản của việc chán thức ăn là mối liên hệ giữa các thụ thể cảm quan (phản ứng với mùi vị, kết cấu, khía cạnh thị giác

của thực phẩm) và các thụ thể nội tạng (phản ứng với các kích thích hóa học và vật lý), cho phép động vật ăn cỏ học hỏi thông qua các hậu quả sau khi ăn (Provenza, 1995). Dị ứng thực phẩm tạm thời phát triển khi cùng một loại thực phẩm được tiêu thụ quá thường xuyên hoặc dư thừa, khi thực phẩm đó bị mất cân bằng dinh dưỡng, bị hạn chế về hàm lượng chất dinh dưỡng hoặc khi nó có độc tố (Provenza, 1996). Thông qua cơ chế này, động vật cố gắng đáp ứng các yêu cầu trao đổi chất của chúng và đạt được cân bằng nội môi (Villalba và Provenza, 2009). Lưu ý rằng, động vật có thể phát triển sự chán tạm thời ngay cả đối với chế độ ăn cân bằng dinh dưỡng, vì động vật sẽ no khi ăn nhiều lần hoặc thừa cùng một loại thức ăn (Provenza, 1996).

Tóm lại, giả thuyết chán thức ăn thoáng qua cho thấy rằng sự đa dạng trong chế độ ăn uống dựa trên các rối loạn dinh dưỡng và độc tố do động vật nhai lại tiêu thụ thức ăn không cân bằng dinh dưỡng hoặc có khả năng gây độc hại. Những rối loạn như vậy (Ví dụ: nhiễm toan, tăng urê huyết, đầy hơi, nhiễm độc) thường xảy ra khi động vật ăn cỏ phải đối mặt với thức ăn đơn lẻ. Nếu có sẵn thức ăn bổ sung thay thế, động vật có thể vượt qua hạn chế này thông qua việc lựa chọn chế độ ăn của chúng.

Tầm quan trọng của đồng cỏ đa dạng thực vật đối với động vật nhai lại

Chất dinh dưỡng, chất chuyển hóa thứ cấp và hương vị trong chế độ ăn đa dạng thực vật

Động vật nhai lại ăn cỏ có nhiều loại thành phần hóa học khác nhau phải đối mặt với nhiệm vụ phức tạp là xây dựng một chế độ ăn uống với tỷ lệ và nồng độ chất dinh dưỡng thích hợp để đáp ứng nhu cầu cá nhân của chúng, đồng thời cân bằng việc tiêu thụ các chất chuyển hóa thứ cấp có khả năng gây độc (Villalba và cs., 2017). Trong quá trình này, động vật tiếp xúc với nhiều loại hương vị khác nhau ảnh hưởng đến hành vi lựa chọn thức ăn của chúng khi chăn thả (Villalba và cs., 2011). Phần này xem xét ảnh hưởng của các chất dinh dưỡng, chất chuyển hóa thứ cấp và hương vị trong quá trình chăn thả trên một số khía cạnh chính của dinh dưỡng động vật, sức khỏe, phúc lợi và tác động môi trường.

Lượng chất dinh dưỡng của chế độ ăn đa dạng thực vật

Sự đa dạng của thức ăn gia súc và các chất sinh hóa có sẵn trong đồng cỏ có thể nâng cao lợi ích dinh dưỡng mà thức ăn chăn nuôi mang lại cho động vật nhai lại vì mối quan hệ bổ sung giữa nhiều nguồn thức ăn trong tự nhiên giúp cải thiện thể chất của động vật (Tilman, 1982). Điều này là do chế độ ăn đa dạng thực vật cung cấp cho động vật nhai lại nhiều loại hóa chất sinh học (chất dinh dưỡng và chất chuyển hóa thứ cấp) cho phép tạo ra các hiệu ứng liên kết và hỗ trợ với khả năng nâng cao hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng so với các loài thức ăn thô xanh trong nuôi đơn thực vật (Waghorn và McNabb, 2003). Đa dạng sinh học trong các đồng cỏ có thể dẫn đến các tác động tích cực liên kết giữa các loại thức ăn gia súc, giúp cải thiện dinh dưỡng (Ví dụ, giữ nitơ, khả năng tiêu hóa trong khẩu phần ăn) và phúc lợi của vật nuôi (tức là giảm căng thẳng do thức ăn đơn lẻ có thành phần dinh dưỡng không cân bằng và hương vị đơn điệu).

Động vật nhai lại kết hợp các loại thức ăn thay thế dẫn đến một chế độ ăn uống cân bằng với lượng hấp thụ lớn hơn so với các loài đơn lẻ (Villalba và cs., 2015). Ví dụ, cừu và dê ăn chế độ ăn hỗn hợp trong đồng cỏ hiển thị lượng chất khô hàng ngày lớn hơn hai lần hoặc nhiều hơn giá trị tiêu thụ tham chiếu thu được ở động vật được cho ăn thức ăn thô có giá trị dinh dưỡng tương tự (Meuret và Provenza, 2015). Việc tiêu thụ các loại đậu khác nhau có thành phần hóa học tương phản và sự hiện diện của chất chuyển hóa thứ cấp dẫn đến các hiệu ứng liên quan, như khả năng phân hủy protein trong dạ cỏ thấp hơn mức trung bình của từng loại

thức ăn gia súc. Điều này làm giảm sự hình thành amoniac đồng thời tăng lượng protein trong khẩu phần ăn đến ruột non (Waghorn, 2008).

Gia súc được cho ăn các thành phần của tổng khẩu phần hỗn hợp trong một thử nghiệm lựa chọn tự do có thể chọn khẩu phần phù hợp để đáp ứng nhu cầu cá nhân của chúng, mà không ảnh hưởng đến tăng khối lượng (kg/ngày) và hiệu quả chuyển hóa thức ăn so với khẩu phần hỗn hợp ngăn cản động vật lựa chọn thành phần riêng lẻ (Moya và cs., 2011). Hơn nữa, các cá thể động vật khác nhau đáng kể về tỷ lệ protein/năng lượng ưa thích của chúng, dẫn đến chi phí thức ăn/ngày và chi phí/kg tăng khối lượng thấp hơn so với các động vật được cho ăn khẩu phần hỗn hợp toàn phần (Atwood và cs., 2001). Trong một nghiên cứu của Lagrange và Villalba (2019) về cừu đưa ra sự lựa chọn tự do về ba loài cây họ đậu, khác nhau về hàm lượng chất dinh dưỡng và chất chuyển hóa thứ cấp, cho thấy lượng ăn vào và khả năng tiêu hóa chế độ ăn được tăng cường so với ăn các loài thực vật đơn lẻ. Dê được cho ăn tự do 5 loài cây bụi đã chọn chế độ ăn hỗn hợp có khả năng tiêu hóa cao hơn so với đối chứng được cho ăn các loài cây bụi đơn lẻ (Egea và cs., 2016).

Tác động đến môi trường của chế độ ăn đa dạng thực vật

Thức ăn gia súc kết hợp với sự đa dạng của các thành phần sinh hóa có thể góp phần làm giảm lượng carbon và nitơ ở động vật nhai lại, một thuộc tính tích cực làm tăng giá trị cho các sản phẩm chăn nuôi ngoài chất lượng dinh dưỡng của chúng (Patra và Saxena, 2010). Người ta thừa nhận rằng một sản phẩm phụ tiêu cực của hệ thống sản xuất động vật nhai lại dẫn đến tác động tiêu cực đến môi trường (de Vries và cs., 2015). Nguồn phát thải khí nhà kính (KNK) lớn nhất từ chăn nuôi bò thịt là metan trong ruột (CH_4), chiếm từ 56% (Rotz và cs., 2019) đến 63% (Beauchemin và cs., 2010) của tất cả các khí nhà kính từ ngành chăn nuôi bò thịt và 39% tổng lượng phát thải KNK từ ngành chăn nuôi. Metan là một sản phẩm phụ của quá trình lên men vi sinh vật thức ăn trong dạ cỏ, biểu hiện sự hao hụt năng lượng cho động vật nằm trong khoảng từ 2 đến 12% tổng năng lượng tiêu thụ trong khẩu phần ăn (Johnson và Johnson, 1995). Thức ăn gia súc có hàm lượng cacbohydrat không dạng sợi cao, được lên men dễ dàng trong dạ cỏ (tức là cacbohydrat hòa tan cộng với pectin) và tỷ lệ cacbohydrat cấu trúc thấp (xenluloza và hemixenluloza), nâng cao hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng của gia súc, tăng khối lượng vật nuôi có thể so sánh với việc cho ăn khẩu phần ngũ cốc cao (Chail và cs., 2017; MacAdam, 2019). Những chất hóa học này làm tăng tỷ lệ vi khuẩn có khả năng tạo propionat và giảm sản xuất hydro, dẫn đến giảm phát thải CH_4 so với thức ăn chăn nuôi có hàm lượng carbohydrate không sợi thấp hơn (Stewart và cs., 2019).

Việc kết hợp các loài giàu chất chuyển hóa thứ cấp hoạt tính sinh học trong các đồng cỏ đa dạng cũng làm giảm sản xuất CH_4 trong dạ cỏ. Ví dụ, các loài cây họ đậu có chứa các hợp chất phenolic (tannin ngưng tụ) như cây sainfoin đã được chứng minh là làm giảm phát thải khí metan (Wang và cs., 2015).

Phát thải khí nhà kính từ các hệ thống chăn nuôi cũng liên quan đến việc sản xuất oxit nitơ KNK mạnh (N_2O) (Rotz và cs., 2019). Mức độ cao của amoniac trong nước tiểu “điểm nóng” là nguồn của khí này được tạo ra trong quá trình nitrat hóa và khử nitơ của vi sinh vật (Huang và cs., 2015). Các chiến lược để giảm thiểu vấn đề dư thừa nitơ, đồng thời duy trì mức năng suất cao của vật nuôi, đòi hỏi phải cung cấp nhiều đường và thức ăn gia súc chứa hoạt tính sinh học làm tăng khả năng giữ nitơ hoặc giảm tỷ lệ thất thoát nitơ qua đường tiểu. Sự thay đổi trong con đường bài tiết nitơ từ nước tiểu sang phân có nghĩa là các phần nitơ ổn định hơn trong phân vì nitơ chủ yếu liên kết với các hợp chất hữu cơ như chất tẩy rửa trung tính và chất

tẩy rửa axit nitơ không hòa tan, làm giảm tỷ lệ thất thoát nitơ ra môi trường (Grosse Brinkhaus và cs., 2016; Stewart và cs., 2019).

Lượng chất trao đổi chất thứ cấp và các tác động độc hại trong chế độ ăn đa dạng thực vật

Các loài động vật nhai lại gặm cỏ trong các đồng cỏ đa dạng thường gặp các loài thực vật, ngoài chất dinh dưỡng, còn chứa các chất trao đổi chất thứ cấp có khả năng độc hại. Động vật ăn cỏ có vú có thể ăn chất độc lên đến ngưỡng được xác định bởi khả năng giải độc tiềm năng của chúng (Diding và cs., 2005). Việc đạt được tiềm năng này phụ thuộc vào sự sẵn có của chất dinh dưỡng, vì các chất dinh dưỡng (carbohydrate, protein) là cần thiết để cung cấp năng lượng cho các cơ chế giải độc (Villalba và Provenza, 2005). Hơn nữa, bởi vì các chất độc khác nhau có thể được chuyển hóa thông qua các cơ chế giải độc đặc biệt, lượng thức ăn sẽ ít bị ảnh hưởng hơn nếu tiêu thụ nhiều loại chất trao đổi chất thứ cấp để không có con đường giải độc đơn lẻ nào bị bão hòa trong quá trình này (Freeland và Janzen, 1974). Tương tự như vậy, các chất trao đổi chất thứ cấp có thể liên kết với nhau tạo thành các liên kết phân tử ổn định trong đường tiêu hóa (ví dụ, tannin ngưng tụ trong alkaloid hoặc alkaloid-saponin) không được hấp thu và sau đó được thải ra ngoài qua phân, giúp vô hiệu hóa các tác động tiêu cực sau tiêu hóa của chúng. Những con cừu được cho ăn thức ăn có các alkaloid khác nhau và tannin hoặc saponin cô đặc, ăn nhiều thức ăn hơn so với khi chỉ cho ăn thức ăn có alkaloid (Lyman và cs., 2008). Tương tự như vậy, khi gia súc và cừu chăn thả trước tiên thức ăn thô xanh có nhiều tannin hoặc saponin, sau đó chúng tăng thời gian chăn thả trên cỏ có chứa alkaloid (Owens và cs., 2012). Sự tạo phức của tannin ngưng tụ với alkaloid đã được xác nhận trong các nghiên cứu *in vitro* (Clemensen và cs., 2018).

Sự hấp thụ chất chuyển hóa thứ cấp và tác dụng của thuốc ở chế độ ăn đa dạng thực vật

Trong các hệ thống chăn nuôi thâm canh hiện nay, việc cho ăn hầu như chỉ dựa vào các chất chuyển hóa cơ bản của thực vật (chủ yếu là carbohydrate và protein). Các loài và khẩu phần thức ăn thô xanh được cải thiện có nồng độ thấp và cấu trúc của chất trao đổi chất thứ cấp do tác động độc hại tiềm ẩn của chúng (xem phần trước). Tuy nhiên, chất trao đổi chất thứ cấp ở liều lượng thích hợp có thể mang lại lợi ích về mặt y học (Moreno và cs., 2010). Ngoài ra, có bằng chứng cho thấy động vật ăn cỏ cảm nhận được về những lợi ích này và có khả năng tự tìm và sử dụng chúng (Hutchings và cs., 2003).

Nhiễm ký sinh trùng đại diện cho một trong những vật trung gian chính thách thức sức khỏe của động vật nhai lại (Hoste và cs., 2006, 2015), buộc phải đánh đổi giữa dinh dưỡng và ký sinh trong các quyết định kiếm ăn (Hutchings và cs., 2000). Để chống lại các tác động tiêu cực của động vật ăn cỏ ký sinh cũng đã phát triển các cơ chế hành vi để tự lựa chọn thực phẩm làm thuốc với liều lượng hiệu quả của chất trao đổi chất thứ cấp (ví dụ: alkaloid, tecten, phenol) để giảm thiểu độc tính (Villalba và cs., 2017). Cơ chế như vậy liên quan đến mối liên hệ giữa hương vị thực phẩm với tác dụng chữa bệnh sau khi ăn của nó (tức là tự dùng thuốc dự phòng; (Juhnke và cs., 2012), hoặc việc tiêu thụ thường xuyên liều lượng nhỏ thuốc chất trao đổi chất thứ cấp hàng ngày với chế độ ăn của động vật (tức là, một cơ chế “nuôi dưỡng chuyển tiếp” phòng ngừa hoặc dự phòng (Villalba và cs., 2014).

Theo cùng một logic được mô tả đối với các chất dinh dưỡng, sự đa dạng của các chất trao đổi chất thứ cấp được phân từ một loạt các thức ăn chăn nuôi khác nhau với các cơ chế tác động chống ký sinh trùng khác nhau, có thể làm tăng hiệu quả của chúng so với các chất trao đổi chất thứ cấp đơn lẻ (Hoste và cs., 2006). Hơn nữa, vì số lượng lớn chất trao đổi chất thứ cấp được yêu cầu để đạt được liều lượng chống ký sinh trùng có ý nghĩa ở động vật nhai lại (Waghorn và McNabb, 2003), một chế độ ăn đa dạng với nhiều chất trao đổi chất thứ cấp có thể cho phép động

vật thu hoạch số lượng và tỷ lệ chất dinh dưỡng thích hợp trong khi tiêu thụ các chất trao đổi thứ cấp chống ký sinh trùng đa dạng với ít đơn tác dụng phụ có hại cho động vật. Do đó, sự bổ sung giữa nhiều phân tử hoạt tính sinh học có khả năng tăng cường tác dụng y học so với các hóa chất đơn lẻ (Spelman và cs., 2006). Do đó, bản chất của mối quan hệ giữa các chất trao đổi thứ cấp cần phải được xem xét trên cơ sở từng trường hợp, để có được thông tin đáng tin cậy về việc liệu sự kết hợp của các hợp chất trong một chế độ ăn uống đa dạng có mang lại tác dụng hỗ trợ, đối kháng hay độc lập với thuốc hay không.

Thay đổi hương vị và phúc lợi động vật ở chế độ ăn đa dạng thực vật

Động vật ăn cỏ đã tiến hóa chọn một chế độ ăn đa dạng với các kinh nghiệm và khả năng khác nhau (Villalba và cs., 2015). Người ta cũng lập luận rằng đa dạng chế độ ăn uống làm giảm căng thẳng oxy hóa và sinh lý, đồng thời cải thiện tình trạng dinh dưỡng và phúc lợi của động vật (Beck và Gregorini, 2020). Thức ăn đa dạng cung cấp cho động vật những trải nghiệm cảm quan và sau khi ăn đa dạng để tăng tính thèm ăn (Villalba và cs., 2010). Những con cừu được cho ăn cùng một khẩu phần nhưng với sự lựa chọn các hương vị khác nhau tiêu thụ nhiều chất khô hơn và có xu hướng tăng khối lượng hơn so với những con cừu được cho ăn cùng một khẩu phần nhưng chứa các hương vị đơn lẻ (Villalba và cs., 2011). Đối với chất độc hoặc chất dinh dưỡng, động vật ăn cỏ chặn thả các loài thực vật đơn lẻ hoặc khẩu phần đơn điệu sẽ có cảm giác no đặc trưng do sự khác biệt thức ăn nhất thời gây ra bởi hương vị được tiêu thụ quá thường xuyên hoặc quá mức, và cảm giác no có thể gây căng thẳng (Provenza, 1996). Tuy nhiên, nếu có sẵn các tùy chọn đa dạng, động vật tiếp tục đáp ứng với các mức khác nhau. Phản ứng này một phần được cho là do đặc tính cảm quan của thực phẩm, bởi vì một con vật ngừng ăn một loại thực phẩm có hương vị thường sẽ ăn một loại thực phẩm khác hoặc cùng một loại thực phẩm được trình bày với một hương vị khác (Atwood và cs., 2001). Cho ăn để no làm giảm phản ứng của tế bào thần kinh vùng dưới đồi đối với thị giác và/hoặc mùi vị của thức ăn mà con vật đã no, nhưng khiến phản ứng của những tế bào thần kinh tương tự đối với thức ăn khác mà con vật không được no tương đối không thay đổi (Rolls và cs., 1986).

Sự đa dạng về hương vị góp phần nâng cao phúc lợi động vật bởi vì các loài động vật ăn cỏ nói chung tiếp xúc với các loại thức ăn đa dạng ít có khả năng gặp phải các tình huống căng thẳng, chẳng hạn như thất vọng do thiếu thức ăn thay thế để xây dựng một chế độ ăn uống cân bằng (Villalba và Manteca, 2019) hoặc cảm giác no do tiếp xúc nhiều lần hoặc quá mức với các nguồn cấp dữ liệu đơn lẻ giống nhau (Catanese và cs., 2012). Phù hợp với quan điểm này, sự đa dạng của các loại thức ăn được cung cấp cho cừu trong giai đoạn đầu đời làm giảm nồng độ cortisol trong huyết tương (một loại hormone liên quan đến phản ứng căng thẳng của động vật có vú), số lượng tế bào lympho (Catanese và cs., 2013) và tăng thân nhiệt do căng thẳng trong các thử nghiệm ngoài trời (Villalba và cs., 2012) liên quan đến động vật được cho ăn khẩu phần đơn điệu lúc đầu đời.

Một số khoảng trống kiến thức hiện nay

Bất chấp những phát hiện mới được mô tả ở trên, vẫn còn thiếu thông tin chính liên quan đến các đặc điểm hóa học của các thành phần thức ăn thô xanh khác nhau có thể góp phần vào các tác động cụ thể của thức ăn thô xanh đối với môi trường bên trong động vật và các tương tác hóa học tiềm ẩn khi ăn nhiều loại thức ăn gia súc. Người ta vẫn chưa biết liệu một số thành phần ít được khám phá của thức ăn gia súc như chất xơ hòa tan trong chất tẩy rửa trung tính và các carbohydrate không cấu trúc hoặc không phải chất xơ khác có khác nhau về nồng độ hoặc thành phần để phản ứng với các sinh vật khác nhau hay không. hoặc các yếu tố phi sinh

học, hoặc về cách các carbohydrate này tương tác với các hóa chất khác như chất trao đổi thứ cấp (Hall và cs., 1999). Các chương trình nhân giống cây thức ăn hoặc các can thiệp quản lý đồng cỏ (tức là tần suất rụng lá), hoặc các điều kiện sinh thái (ví dụ: khí hậu, độ cao), có thể ảnh hưởng đến nồng độ hoặc thành phần của các hợp chất này. Đòi lại, một số thay đổi này có thể góp phần tăng cường liên kết hóa học giữa các loại thức ăn và do đó tác động đến một số biến số chính như hiệu quả sử dụng nitơ của động vật nhai lại. Điều tương tự cũng có thể nói về nồng độ, thành phần và ái lực hóa học của một số chất trao đổi thứ cấp như các hợp chất phenolic (Mueller-Harvey và cs., 2019), thông tin sẽ là chìa khóa để thúc đẩy các đặc điểm của thức ăn gia súc giúp tăng cường hiệp lực giữa các loài. Cuối cùng, cần có một cơ sở dữ liệu rộng hơn liên quan đến thức ăn thô xanh và bổ sung hóa chất như những gì được Lagrange và cs. (2020) mô tả về tác dụng kết hợp của hai cây họ đậu lá kim trong việc giảm bài tiết nitơ qua nước tiểu. Cơ sở kiến thức rộng hơn này có thể được áp dụng ở các vùng sinh thái khác nhau trong các điều kiện môi trường khác nhau và có khả năng tác động cộng hưởng lớn hơn khi các loài khác nhau hoặc một số lượng lớn các tổ hợp được thử nghiệm.

Sản xuất động vật nhai lại và đa dạng hóa thực vật

Đồng cỏ đa dạng giàu chất hóa thực vật thường cung cấp một chế độ ăn uống giàu dinh dưỡng hơn so với việc nuôi đơn, dẫn đến tăng cường lượng thức ăn thô xanh và dinh dưỡng cho động vật. Các tác giả cho rằng sự khác biệt về phương pháp là do cải thiện dinh dưỡng và tăng lượng thức ăn cho bò ăn cỏ trên các đồng cỏ khác nhau. Một cách giải thích khác có thể xảy ra đối với năng suất thay đổi của động vật nhai lại khi phản ứng với hỗn hợp thức ăn thô xanh phức tạp là nhận dạng loài, hoặc đặc điểm nhận dạng hóa học của chất chuyển hóa thứ cấp, quan trọng hơn mức độ phức tạp của hỗn hợp (Deak và cs., 2007). Hơn nữa, ngay cả trong một loài thức ăn thô xanh, sự đa dạng về kiểu gen có thể ảnh hưởng mạnh mẽ đến năng suất của động vật ăn cỏ (Kotowska và cs., 2010). Nồng độ chất chuyển hóa thứ cấp của thực vật cũng có thể khác nhau giữa các kiểu gen, vì các giống có hàm lượng tanin cao và thấp đã được xác định trong các loài cây họ đậu khác nhau có khả năng tác động đến sự bổ sung và hỗ trợ giữa các loại thức ăn gia súc (Donnelly và cs., 1971).

Cuối cùng, điều kiện khí hậu cũng ảnh hưởng đến nồng độ của các chất sinh hóa trong thức ăn chăn nuôi, điều này cũng có thể ảnh hưởng đến sự hỗ trợ và bổ sung giữa các thức ăn chăn nuôi. Thiếu nước ức chế hoạt động quang hợp trong các mô thực vật, do sự mất cân bằng giữa thu nhận và sử dụng ánh sáng (Reddy và cs., 2004), một rối loạn chức năng dẫn đến việc tạo ra các loại oxy phản ứng. Đòi lại, thực vật có cơ chế giải độc các loại oxy phản ứng, với một số cơ chế liên quan đến flavonoid và các hợp chất phenolic như tannin, là chất chống oxy hóa (Gourlay và Constabel, 2019). Do đó, ít nhất một số hợp chất phenolic trong thực vật được kỳ vọng sẽ làm tăng sự phát triển của chúng trong điều kiện thiếu nước (Popović và cs., 2016). Nhiệt độ có ảnh hưởng mạnh mẽ đến sinh trưởng, phát triển và thành phần hóa học của thực vật (Buxton, 1996). Hoạt động của enzym tổng hợp lignin tăng lên trong thực vật để đáp ứng với sự gia tăng nhiệt độ (Buxton và Fales, 1994), trong khi tỷ lệ cao của cacbohydrat phi cấu trúc được chuyển hóa thành cacbohydrat có cấu trúc (Deinum và Knoppers, 1979).

Nói chung, cơ sở kiến thức rộng hơn về sự tương tác giữa nhiều loại thức ăn gia súc và hóa chất từ nghiên cứu *in vitro* đến nghiên cứu *in vivo* - sẽ cho phép đưa ra dự đoán chính xác hơn về khả năng hợp lực để tạo ra một đồng cỏ nông nghiệp đa dạng. Cần có những nghiên cứu để có được sự hiểu biết tốt hơn về tác động của các yếu tố môi trường đối với hóa học thực vật

và tác động của chúng đối với sự tương tác giữa các loại thức ăn gia súc được tiêu thụ trong các chế độ ăn đa dạng.

Thiết kế đồng cỏ đa dạng thực vật

Đa dạng thực vật có tiềm năng tăng cường các dịch vụ sinh thái trên đồng cỏ như dinh dưỡng, sức khỏe và phúc lợi động vật, đồng thời giảm tác động đến môi trường. Tuy nhiên, sự đa dạng đồng cỏ không chỉ đơn giản là trộn và gieo càng nhiều loài thức ăn gia súc càng tốt (Sanderson và cs., 2007). Các loại và số lượng thức ăn chăn nuôi khác nhau cùng với việc bố trí không gian và sử dụng chúng đúng lúc là những biến số chính cần được xem xét khi thiết kế các đồng cỏ đa dạng và đa chức năng. Bước đầu tiên trong việc thực hiện nỗ lực này đòi hỏi phải lựa chọn các loài và số lượng thức ăn gia súc đáp ứng các mục tiêu cụ thể của hệ thống (Sanderson và cs., 2007). Sau đó, các nhà quản lý nên đặt ra câu hỏi (1) liệu loài được chọn có thể chịu đựng được các điều kiện môi trường mong đợi (ví dụ: đặc điểm đất, khí hậu, sự cạnh tranh giữa thực vật và thực vật), (2) nếu loài được chọn trồng hỗn hợp hoặc theo khối (ví dụ: không gian sắp xếp, kiến trúc của cảnh quan hoặc cảnh quan hóa học), và cuối cùng họ phải (3) phát triển một kế hoạch quản lý thích ứng (ví dụ, thông qua quản lý chăn thả) kết hợp giám sát dài hạn. Trong phần tiếp theo, chúng tôi đưa ra một số ý tưởng liên quan đến việc thiết kế thể của các đồng cỏ đa chức năng trong bối cảnh của các câu hỏi và nhiệm vụ đã đề cập ở trên, với mục đích kích thích nghiên cứu mới về những lỗ hổng kiến thức được xác định trong quá trình này.

Nhận dạng loài

Với kiến thức hiện tại, có thể lập luận rằng nhận dạng loài (phân loại ở cấp độ loài/giống cây trồng) để thiết kế các hệ thống đồng cỏ nông nghiệp đa dạng là rất quan trọng đối với năng suất và sự ổn định của đồng cỏ cũng như đối với năng suất động vật và tác động môi trường. Lợi ích của đa dạng thực vật đối với năng suất và sự ổn định đã được ghi nhận đầy đủ đối với các cộng đồng tự nhiên (Isbell và cs., 2009); tuy nhiên, nó là tương đương với các hệ thống đồng cỏ nông nghiệp (Jing và cs., 2017). Việc lựa chọn đầy đủ các loài là một thách thức lớn trong việc thiết kế các đồng cỏ đa dạng (Tracy và cs., 2018). Điều này là do hầu hết các cộng đồng đa dạng trên đồng cỏ có xu hướng bị thống trị bởi một hoặc hai loài theo thời gian (Skinner và Dell, 2016). Việc lựa chọn loài thích hợp cũng rất quan trọng khi đối mặt với biến đổi khí hậu, vì cần xem xét việc sử dụng các hỗn hợp đa dạng có tiềm năng tạo ra năng suất trong các tình huống khí hậu khó khăn hơn như dự đoán tăng nhiệt độ môi trường xung quanh, hạn hán và nồng độ CO₂ trong khí quyển tăng cao. Đồng cỏ đa dạng, thích nghi tốt hơn với những thay đổi của điều kiện môi trường, sẽ là những đồng cỏ bao gồm các loài khác nhau về khả năng chống chịu, và do đó phản ứng với những thay đổi của các thông số khí hậu khác nhau. Các quần xã thực vật đa dạng về chức năng thường thể hiện năng suất ổn định theo thời gian hơn so với các cộng đồng thực vật gồm ít nhóm chức năng hơn (Yachi và Loreau, 1999). Việc xác định các hỗn hợp cỏ-họ đậu đa dạng vừa phải, đặc trưng cho từng địa điểm và sử dụng nhiều hơn các loài thức ăn thô bổ sung như cỏ C₃ và C₄ để kéo dài mùa chăn thả và tạo vùng đệm chống lại sự biến đổi thời tiết cũng đã được đề xuất như các chiến lược để cải thiện khả năng phục hồi của đồng cỏ phải đối mặt với những thay đổi của khí hậu (Tracy và cs., 2018).

Bên cạnh năng suất và sự ổn định trong sản xuất, việc lựa chọn danh tính loài cần phải xem xét việc cải thiện năng suất vật nuôi đồng thời giảm tác động đến môi trường. Việc thực hiện mục tiêu này đòi hỏi phải khai thác đầy đủ sự đa dạng hóa thực vật của cả chất chuyển hóa sơ cấp và thứ cấp. Giống như phản ứng của sản xuất thực vật đối với các hỗn hợp thức ăn thô

xanh đa dạng, năng suất của động vật đối với các hỗn hợp phức tạp cũng tương đương nhau, điều này được giải thích thông qua các mức độ bổ sung khác nhau giữa các loài. Do đó, việc lựa chọn đầy đủ danh tính loài từ phía động vật đòi hỏi phải có kiến thức sâu sắc về đặc điểm hóa học của từng loài thức ăn thô xanh và sự tương tác giữa các yếu tố của chúng, vì lợi ích của dinh dưỡng động vật, phúc lợi, sức khỏe, năng suất và tác động môi trường.

Phương pháp tiếp cận mô hình hóa

Theo lý thuyết sinh thái học, việc lựa chọn các loài thức ăn thô xanh để tạo ra các đồng cỏ đa dạng chủ yếu dựa trên năng suất của các loài trong môi trường địa phương cũng như sự phân hóa, tương tác tích cực và khả năng chống chịu với xáo trộn và căng thẳng giữa các loài. Theo đó, việc lựa chọn các loài thích hợp để thiết kế các đồng cỏ đa dạng là một quá trình đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về cấu trúc và chức năng của các loài thức ăn gia súc và mối tương tác giữa chúng. Do sự phức tạp của các đồng cỏ đa dạng, mô hình chức năng-cấu trúc cây trồng đại diện cho một công cụ quan trọng để tổng hợp và tích hợp kiến thức cũng như nhận ra các vấn đề nghiên cứu (Evers và cs., 2019). Cách tiếp cận này xuất hiện từ các loài đơn lẻ hoặc các dạng tăng trưởng, tiếp tục với các mô hình dự đoán hành vi của các hỗn hợp đơn giản xem xét từng loài riêng biệt, thể hiện sự phức tạp lớn của đầu vào và đầu ra cho các đồng cỏ đa dạng (Moore và cs., 1997). Gần đây hơn, các nỗ lực mô hình hóa đã tập trung vào các phương pháp tiếp cận chức năng-cấu trúc với giả định rằng chức năng đồng cỏ đa dạng có thể được giải thích bằng giá trị trung bình của các thuộc tính sinh học (tức là các đặc điểm chức năng) của các nhóm thức ăn gia súc cấu thành của nó (Jouven và cs., 2006). Các đặc điểm chức năng có thể liên quan đến động lực sản xuất (Craine và cs., 2002), điều kiện môi trường (Diaz và cs., 1998) và phản ứng với sự rụng lá (Louault và cs., 2005). Các mô hình trong tương lai nên kết hợp các đặc điểm chức năng bổ sung liên quan đến đặc điểm hóa học của loài, chẳng hạn như loại và nồng độ chất chuyển hóa thứ cấp, carbohydrate hòa tan trong nước hoặc protein phân hủy trong dạ cỏ, tích hợp kiến thức có sẵn về các thuộc tính sinh học với kích thước hóa học để có được các kịch bản phát triển hơn về những lợi ích tổng hợp của các đồng cỏ đa dạng.

Ngoài các phương pháp tiếp cận chức năng-cấu trúc, các phương pháp dự đoán tính toán đã xuất hiện trong lĩnh vực khám phá thuốc mới như là cách hiệu quả về thời gian và chi phí để khám phá các kết hợp hóa học tiềm năng thành công trong điều trị bệnh (Preuer và cs., 2018). Sự kết hợp thuốc được nghiên cứu trên các lĩnh vực y tế khác nhau, chẳng hạn như ung thư, bệnh do vi rút, nhiễm nấm và vi khuẩn bằng cách sử dụng các phương pháp dự đoán lựa chọn các kết hợp thuốc hiệp đồng mới từ bộ dữ liệu đào tạo với thông tin sẵn có về các kết hợp điều tra (Bulusu và cs., 2016; Preuer và cs., 2018). Một cách tiếp cận tương tự có thể được thực hiện đối với thiết kế đồng cỏ dựa trên các liên kết hóa học, với các bộ dữ liệu đào tạo từ các tương tác dinh dưỡng được thu thập trong nhiều nghiên cứu, nhằm khám phá các tương tác hiệp đồng mới giữa các loài thức ăn gia súc khác nhau.

Phương pháp tiếp cận nghiên cứu in vitro

Theo truyền thống, các nghiên cứu *in vitro* đã được sử dụng để sàng lọc khả năng phân hủy tiềm ẩn và các tác động môi trường (thông qua việc sản xuất CH₄ và CO₂) của các loài thức ăn thô xanh (Roca-Fernández và cs., 2020) và tác dụng y học của thực vật chứa hoạt tính sinh học (Githiori và cs., 2006) với chi phí thấp, quay vòng nhanh và kết quả có thể lặp lại. Sau khi đánh giá cẩn thận các kết quả thu được, các nghiệm thức ứng viên có triển vọng nhất được thử nghiệm *in vivo*. Các kỹ thuật sản xuất khí liên quan đến thời gian đã được sử dụng rộng rãi để định lượng động học của quá trình lên men thức ăn cho gia súc nhai lại (Groot và cs.,

1996). Sản lượng khí (CH₄ và CO₂) có thể được định lượng và biến này có tương quan thuận với tỷ lệ tiêu hóa cao hơn, hàm lượng năng lượng lớn hơn của thức ăn thô xanh và hiệu ứng lấp đầy có khả năng giảm (Blümmel và cs., 2005). Kỹ thuật này cũng cho phép ước tính sự biến mất chất hữu cơ và hiệu quả lên men (Blümmel và cs., 1997). Nhiều nghiên cứu gần đây khám phá các phương pháp tiếp cận sản xuất khí trong nghiên cứu *in vitro* bằng cách sử dụng kết hợp hỗn hợp thức ăn thô xanh so với các chất nền đơn lẻ. Aufrère và cs. (2005) đã chỉ ra trong một nghiên cứu *in vitro* rằng trộn cây đậu sainfoin với cỏ linh lăng có thể là một cách hiệu quả để giảm độ hòa tan N của cỏ linh lăng nguyên chất, kết quả sau đó đã được khám phá qua nghiên cứu *in vivo* với kết quả khả quan (Aufrère và cs., 2013). Tương tự như vậy, Niderkorn và cs. (2011) đã thử nghiệm hỗn hợp cỏ-cây họ đậu trong nghiên cứu *in vitro*, cho thấy cây sainfoin có thể tương tác với các loại cỏ khác nhau để giảm sự phân hủy protein và sản sinh CH₄ với những tác động tiêu cực nhất thời đối với sự tiêu hóa chất xơ. Cuối cùng, nhưng không kém phần quan trọng, là trong loại nghiên cứu này, sự thích nghi của chế độ ăn uống có thể ảnh hưởng đến quá trình tiêu hóa chất nền; do đó, nó cần được kiểm soát để tránh kết luận sai (Gordon và cs., 2002).

Phương pháp tiếp cận từ dưới lên

Đối với việc phát hiện ra các loại thuốc mới thông qua việc quan sát động vật ăn cỏ hoang dã bị bệnh tự chọn cây trong tự nhiên (Huffman, 2003), có thể tìm hiểu thêm về cách phối hợp thức ăn tổng hợp bằng cách quan sát cách động vật nhai lại lựa chọn chế độ ăn của chúng từ các đồng cỏ đa dạng. Cách tiếp cận này đã được áp dụng trong việc thiết kế hỗn hợp cỏ-cây họ đậu với khả năng sinh khối phản ánh tỷ lệ được động vật ưu tiên lựa chọn trong các tình huống lựa chọn tự do (Chapman và cs., 2007). Cừu và gia súc chăn thả cỏ lúa mạch đen lâu năm – đồng cỏ cỏ ba lá trắng, luôn thích cỏ ba lá hơn cỏ lúa mạch đen theo tỷ lệ 70:30 (Rutter, 2006). Do đó, sự sẵn có của các loài thực vật được lập kế hoạch dựa trên tỷ lệ thu được từ sự ưa thích của động vật (Chapman và cs., 2007).

Trong một nghiên cứu gần đây, cừu con được cung cấp tất cả các lựa chọn có thể có 2 loại và 3 loại giữa cây đậu sainfoin, chân chim và cỏ linh lăng. Các loài động vật đã chọn các cây họ đậu này theo tỷ lệ 70:30 và 50:35:15 cho các kết hợp nhị phân và tam phân, tương ứng (Lagrange và Villalba, 2019). Các con cừu tỏ ra ưa thích cỏ linh lăng cao nhất, trung gian là cây sainfoin và thấp nhất đối với cỏ chân chim. Sau đó, khả năng phân hủy trong nghiên cứu *in vitro* và động học sản xuất khí của các hỗn hợp khác nhau của cùng một loại cây họ đậu đã được đánh giá bằng cách sử dụng kỹ thuật sản xuất khí. Tỷ lệ trong các hỗn hợp được thể hiện: (1) những hỗn hợp được lựa chọn bởi cừu con trong nghiên cứu lựa chọn tự do được mô tả trước đây (Lagrange và Villalba, 2019); (2) tỷ lệ bằng nhau (tỷ lệ 50:50 hoặc 33:33:33 đối với hỗn hợp nhị phân hoặc tam phân, tương ứng); và, (3) cây họ đậu. Tỷ lệ được lựa chọn bởi cừu non thể hiện tỷ lệ sản xuất khí lớn hơn so với hỗn hợp các phần bằng nhau (tức là lựa chọn không quan tâm), và tương tự như cỏ linh lăng, thức ăn thô xanh thể hiện tỷ lệ sản xuất khí lớn nhất (Lagrange và cs., 2019). Do đó, cừu con đã xây dựng các chế độ ăn đa dạng để duy trì giá trị lên men cao như cỏ linh lăng nguyên chất trong khi ăn một chế độ ăn đa dạng với một số hoạt chất sinh học (ví dụ: tannin cô đặc) có lợi cho môi trường bên trong và bên ngoài như giảm sự hình thành amoniac, cũng như mô tả lợi thế liên quan đến đa dạng chế độ ăn uống và cải thiện cảm giác no cụ thể. Nhiều nghiên cứu như thế này có thể góp phần tạo ra cơ sở kiến thức cho phép xây dựng các đồng cỏ đa dạng và có chức năng hóa học nhằm nâng cao năng suất và phúc lợi của động vật đồng thời giảm tác động đến môi trường.

Sắp xếp không gian loài

Các loài cây thức ăn gia súc trong các đồng cỏ đa dạng có thể được bố trí trong các hỗn hợp tổng hợp theo không gian hoặc các quần thể đơn tính liên kề rời rạc. Cả hai cách sắp xếp đều có ưu điểm và nhược điểm. Hỗn hợp có thể cho phép biểu hiện sự khác biệt trong tương tác tích cực của thực vật (Clemensen và cs., 2017), nhưng cản trở việc duy trì thành phần đồng cỏ ổn định (Sanderson và cs., 2007) và việc áp dụng quản lý theo loài cụ thể như bón phân và kiểm soát cỏ dại. Vì sở thích thức ăn ở động vật ăn cỏ không phải ngẫu nhiên, nên thời gian bị mất đi trong khi động vật tìm kiếm và xử lý các loại thức ăn ưa thích trong hỗn hợp các loài thức ăn thô xanh đã được nghiền mịn. Những hoạt động này chắc chắn làm giảm hiệu quả thu hoạch do lượng thức ăn thô xanh giảm và thời gian chăn thả gia tăng (Chapman và cs., 2007). Những lợi thế và bất lợi tiềm ẩn của hỗn hợp trở thành những bất lợi và lợi thế tiềm ẩn, tương ứng, trong các nền văn hóa độc lập tách biệt về mặt không gian và liên kề. Những khác biệt này có thể liên quan đến thời gian kiếm ăn khi xử lý và tìm kiếm các loài đồng cỏ ưa thích trong hỗn hợp (Thornley và cs., 1994). Sẽ thuận lợi cho động vật nhai lại kiếm ăn trên các khoảng khi thảm thực vật ưa thích được tập hợp vì các hoạt động xử lý và tìm kiếm thấp hơn so với khi thực vật được trồng xen kẽ trong một hỗn hợp (Dumont và cs., 2002).

Sự đánh đổi giữa các hỗn hợp tổng hợp theo không gian hoặc các giống đơn canh tách biệt và liên kề trong tương tác giữa các loài thực vật và tương tác giữa động thực vật có thể được kiểm soát ở một mức độ nào đó bằng cách điều chỉnh sự phân cách không gian giữa các giống đơn canh, từ dải hẹp đến dải rộng hơn (Sharp và cs., 2014). Các dải hẹp có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành các loài thức ăn thô xanh và cho phép biểu hiện sự bổ sung của thực vật và các tương tác tích cực của cây trồng, đồng thời giảm thời gian tìm kiếm thức ăn và duy trì lượng thức ăn thô xanh hàng ngày cao. Quy mô tương đối cho "hẹp" hoặc "rộng" phụ thuộc vào kích thước của động vật nhai lại. Ví dụ, các chiến lược kiếm ăn theo không gian của cừu và gia súc khác nhau, với những con gia súc có kích thước lớn hơn thể hiện việc sử dụng nhiều loại hạt thô hơn đối với cảnh quan đa dạng và mức độ chọn lọc của các mảng nhỏ hơn 10m² (Laca và cs., 2010).

Là một phần của sự sắp xếp không gian đồng cỏ đa dạng, có thể có lợi khi thiết lập các dải độc canh của các loài thực vật có chứa các hợp chất hoạt tính sinh học cụ thể. Các loài thân thảo và cây bụi có chứa chất chuyển hóa thứ cấp với các đặc tính khác nhau đối với sức khỏe và đời sống của động vật nhai lại và tác động tích cực đến môi trường (Vercoe và cs., 2009; Monjardino và cs., 2010). Ngoài ra, cây bụi góp phần kéo dài mùa chăn thả và chịu được việc chăn thả trong thời gian khô hạn kéo dài và ở vùng đất rìa, vì chúng cung cấp nguyên liệu thực vật xanh và có hoạt tính sinh học ở những nơi có thể tồn tại 'khoảng trống thức ăn' (Emms và cs., 2013). Các loài thân gỗ cũng có thể được đưa vào các hệ thống đồng cỏ đa dạng làm hàng rào sống, được sử dụng trong nông lâm kết hợp để bảo tồn đa dạng sinh học vì chúng cung cấp môi trường sống cho các loài bản địa và tăng tính kết nối trong cảnh quan (Pulido-Santacruz và Renjifo, 2011). Cuối cùng, cây bụi đóng góp vào sự đa dạng về cấu trúc của thảm thực vật, điều này có ý nghĩa quan trọng đối với việc duy trì môi trường sống cho các loài động vật hoang dã trên cạn trong cảnh quan nông nghiệp (Sullivan và Sullivan, 2006). Với sự huấn luyện thích hợp, động vật nhai lại có thể học cách sử dụng các loài có các hợp chất hoạt tính sinh học gây ra hậu quả tích cực sau khi ăn (Wallis và cs., 2014).

Quản lý chăn thả

Trên thực tế, quản lý chăn thả và điều kiện khí hậu là những yếu tố chính ảnh hưởng mạnh mẽ hơn đến năng suất của hệ thống chăn thả (Tracy và cs., 2018). Việc chăn thả có chọn lọc liên

tục đã được cho là nguyên nhân chính làm giảm sự phong phú hoặc biến mất của các loài ưa thích trong đồng cỏ (Parsons và cs., 1991).

Ngược lại với việc thả gia súc liên tục, việc quản lý chăn thả luân phiên một cách thích ứng, thông qua việc giảm sự rụng lá có chọn lọc của các loài ưa thích nhất, có thể góp phần ổn định thành phần thực vật của các đồng cỏ đa dạng. Trong hình thức quản lý chăn thả này, có sự kiểm soát chặt chẽ về mật độ thả, thời gian chăn thả và thời gian nghỉ ngơi trong mỗi khu vực chăn thả, góp phần vào sự tồn tại của các loài khác nhau trong cộng đồng thực vật (Teague và cs., 2011). Các biện pháp kiểm soát này nhằm mục đích rút ngắn thời gian chăn thả để cho các loài thức ăn gia súc có thời gian nghỉ ngơi đầy đủ để phục hồi sinh lý hoàn toàn. Ngoài ra, việc luân chuyển động vật có mục tiêu giữa các loại thức ăn chăn nuôi khác nhau có thể cho phép sự hỗ trợ giữa các loài vì trình tự tiêu hóa thức ăn gia súc ảnh hưởng đến lượng ăn vào và tương tác giữa các chất dinh dưỡng và chất chuyển hóa thứ cấp có ý nghĩa đối với sức khỏe và năng suất của động vật (Mote và cs., 2008; Lyman và cs., 2011).

KẾT LUẬN

Bài viết này góp phần cung cấp những hiểu biết mới về hệ thống sản xuất động vật nhai lại trên đồng cỏ thông qua việc mở rộng quan niệm về vai trò của đa dạng thực vật và hóa thực vật đối với chức năng động vật và tác động môi trường. Điều nổi lên là sự cân nhắc quan trọng trong việc tạo ra các đồng cỏ đa dạng hóa thực vật cho chức năng động vật thích hợp và chăm sóc môi trường là sự kết hợp của các kiểu gen với các chất chuyển hóa có hoạt tính sinh học sơ cấp và thứ cấp mà tự chúng hoặc thông qua các tương tác của chúng cải thiện dinh dưỡng, phúc lợi và sức khỏe của động vật nhai lại, đồng thời giảm tiêu cực tác động môi trường.

Sự đa dạng của thực vật và sự đa dạng về hóa thực vật vốn có thể hiện nhu cầu sinh học cơ bản về hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng, năng suất động vật, phúc lợi và sức khỏe. Do đó, mục tiêu cuối cùng của các đồng cỏ có chức năng đa dạng là thiết kế các cộng đồng thực vật ổn định và năng suất hơn với các loài thích hợp nhằm thúc đẩy sự hỗ trợ và bổ sung giữa các loài thức ăn gia súc để tăng cường các dịch vụ này. Các nỗ lực quản lý trong việc thiết kế các đồng cỏ đa dạng cho đến thời điểm hiện tại chỉ giới hạn ở sự kết hợp của các loại cỏ, cây họ đậu và các loại cây thân gỗ từ các loài “truyền thống” mà trong lịch sử đã từng được sử dụng trong các hệ thống chăn thả. Các thách thức phía trước đòi hỏi thiết kế của đồng cỏ đa dạng bằng cách chọn loài bản sắc từ một mảng rộng các lựa chọn thức ăn gia súc, thức ăn gia súc khám phá loài “phi truyền thống” ngay cả khi những loài này chỉ chiếm một phần nhỏ trong khẩu phần ăn, thì việc cung cấp các hoạt chất sinh học thực vật hoặc các chất dinh dưỡng khác (như vitamin, khoáng chất, hương liệu) cho môi trường bên trong có thể đóng góp đáng kể vào dinh dưỡng, phúc lợi và sức khỏe của động vật.

Cần có một cơ sở kiến thức rộng hơn liên quan đến tương tác dinh dưỡng-dinh dưỡng để xây dựng câu hỏi về lựa chọn loài được chăn thả không chỉ trong không gian mà còn ở quy mô thời gian, hiểu được sự hỗ trợ và bổ sung tiềm năng. Khái niệm phát triển chuỗi thức ăn thô xanh có thể được áp dụng cho việc thiết kế các đồng cỏ đa chức năng mới. Chuỗi thức ăn gia súc cung cấp thức ăn thô xanh ở mức cao nhất về sản lượng và giá trị dinh dưỡng cho vật nuôi trong một thời gian dài để tận dụng sự khác biệt về phân bố tăng trưởng tự nhiên giữa các loài và giống thức ăn thô xanh. Cần nhấn mạnh không chỉ đến sản xuất và chất lượng sinh khối mà còn về sự hiện diện của chất chuyển hóa thứ cấp, hương vị và chất dinh dưỡng bổ sung hiệu quả cho chu kỳ chăn thả luân phiên giữa các loại thức ăn chăn nuôi ở quy mô thời gian ngắn hơn ngày hoặc mùa. Cơ sở kiến thức về sự tương tác giữa các loài truyền thống và phi

truyền thống nên được thực hiện bằng cách mở rộng quy mô từ các thử nghiệm *in vitro* đến các phương pháp dự đoán tính toán và mô hình hóa, đến các thử nghiệm cho ăn có kiểm soát và sau đó là thử nghiệm quy mô nhỏ và sau đó là thử nghiệm trên thực địa quy mô lớn. Ngoài đặc điểm nhận dạng loài, tỷ lệ và sự sắp xếp không gian của các loài cần được lập kế hoạch dựa trên kiến thức sẵn có về hình thái, sinh thái học, sinh hóa và sự ưa thích của các loài thức ăn gia súc trong điều kiện chăn thả, cũng như về sinh trắc học của các loài động vật sẽ chăn thả hỗn hợp thức ăn gia súc. Cuối cùng, tất cả các nguyên tắc này sẽ cho phép thiết kế các đồng cỏ đa dạng về chức năng và ổn định. Cuối cùng, nhưng không kém phần quan trọng, quản lý thích ứng nguồn thức ăn thô xanh thông qua chăn thả và giám sát có kiểm soát sẽ góp phần vào sự bền bỉ và năng suất của các đồng cỏ đa dạng mới được thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Atwood, S. B., Provenza, F. D., Wiedmeier, R. D. and Banner, R. E. 2001. Changes in preferences of pregnant heifers fed untreated or silage straw in different flavors. *J. Animation. Science.* 79, pp. 3027–3033. doi: 10.2527 / 2001.79123027x
- Aufrère, J., Dudilieu, M., Andueza, D., Poncet, C. and Baumont, R. 2013. Mix sainfoin and alfalfa to improve the feed value of legumes fed by the concentrated tannins. *Animals* 7, 82–92. doi: 10.1017 / S1751731112001097
- Aufrère, J., Dudilieu, M., Poncet, C. and Baumont, R. 2005. “Effect of tannin concentrates in sainfoin on Lucerne's *in vitro* protein solubility,” in *Grasslands – a global resource*, published FP O'Mara, RJ Wilkins, L. t Mannetje, DK Lovett, PAM Rogers and TM Boland (Dublin: University College Dublin), 248.
- Beauchemin, K. A., Henry Janzen, H., Little, S. M., McAllister, T. A. and McGinn, S. M. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: a case study. *Agriculture. Syst.* 103, pp. 371–379. doi: 10.1016 / j.agsy.2010.03.008
- Blümmel, M., Cone, J. W., Van Gelder, A. H., Nshalai, I., Umunna, N. N. and Makkar. 2005. Forage prediction using *in vitro* gas production : comparison of multiphase fermentation kinetics measured in an automated gas test and combination of gas volumetric and digestibility measurements background in manual syringe system. *Cartoon. Science Feed. Technol.* 123, pp. 517–526. doi: 10.1016 / j.anifeedsci.2005.04.040
- Blümmel, M., Steingass, H., and Becker, K. 1997. Relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* bacterial biomass yield and 15 N combined and its implications for predictions of roughage voluntary feed intake. *Br. J. Nutr.* 77, pp. 911–921. doi: 10.1079 / BJN19970089
- Bulusu, K. C., Guha, R., Mason, D. J., Lewis, R. P., Muratov, E., and Motamedi. 2016. Modeling of compound effects and applications of efficacy and toxicity: modernity, challenges and perspectives. *Medicine plate. Today* 21, pp. 225–238. doi: 10.1016 / j.drudis.2015.09.003
- Buxton, D. R. 1996. The characteristics related to forage quality are influenced by plant environment and agronomic factors. *Cartoon. Science Feed. Skill.* 59, pp. 37–49. doi: 10.1016 / 0377-8401 (95) 00885-3
- Buxton, D. R. and Fales, S. L. 1994. “Plant quality and environment”, in *Forage Quality, Evaluation and Use*, GC Fahey Jr. (Madison, WI: American Society of Agronomy), pp. 155–199. doi: 10.2134 / 1994.foragequality.c4
- Catanese, F., Distel, R. A., Provenza, F.D. and Villalba, J. J. 2012. Early experience with a variety of feeds increases feed intake and unfamiliar flavors in sheep. *J. Animation. Science.* 90, pp. 2763–2773. doi: 10.2527 / jas.2011-4703
- Catanese, F., Obelar, M., Villalba, J. J. and Distel, R. A. 2013. Importance of dietary choices on the stress-related response of lambs. *Appl. Cartoon. Behav. Science.* 148, pp. 37–45. doi: 10.1016 / j.applanim.2013.07.005
- Chail, A., Legako, J. F., Pitcher, L. R., Ward, R. E., Martini, S. and MacAdam, J. W. 2017. Consumer sensory evaluation and chemical composition of beef steak gluteus medius and triceps Brachii from cattle processed forage or forage. *J. Animation. Science.* 95, pp. 1553–1564. doi: 10.2527 / jas.2016.1150

- Clemensen, A. K., Provenza, F. D., Lee, S. T., Gardner, D. R., Rottinghaus, G. E. and Villalba, J. J. 2017. The secondary metabolites in alfalfa, pine needles, reed grass, and tall grass were not affected by the two different nitrogen sources. *Scientific cutting*. 57, pp. 964–970. doi: 10.2135 / cropci2016.08.0680
- Clemensen, A. K., Rottinghaus, G. E., Lee, S. T., Provenza, F. D. and Villalba, J. J. 2018. Plant configuration to influence how the secondary metabolites of plants and total N in high grass (*Festuca arundinacea* Schreb.), Grass alfalfa (*Medicago sativa* L.) and tree bird foot (*Lotus corniculatus* L.): implications for grazing management. *Grass Forage Science*. 73, pp. 94–100. doi: 10.1111 / gfs.12298
- Coleman, D. C., Callahan, M. A. Jr. and Crossley, D. A. Jr. 2017. *Fundamentals of Soil Ecosystems*, 3rd edition, Edn . San Diego, CA: Academic Journalism.
- Cozier, A., Clifford, M. N., and Ashihara, H. 2006. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*. Oxford: Blackwell Press. doi: 10.1002 / 9780470988558
- Craine, J. M., Tilman, D. G., Wedin, D. A., Reich, P., Tjoelker, M., and Knops, J. 2002. Functional traits, yield and effects on nitrogen cycling of 33 grassland species. *Funct. Ecol.* 16, pp. 563–574. doi: 10.1046 / j.1365-2435.2002.00660.x
- de Vries, M., van Middelaar, C. E., and de Boer, I. J. M. 2015. Comparative environmental impact of beef production systems: a life cycle assessment review. *Investment. Science*. 178, pp. 279–288. doi: 10.1016 / j.livsci.2015.06.020
- Deak, A., Hall, M. H., Sanderson, M. A. and Archibald, D. D. 2007. Yield and nutritional value of grazed simple and complex forage mixes. *Agron. J.* 99, pp. 814–821. doi: 10.2134 / agronj2006.0166
- Diding, M. D., Foley, W. J. and McLean, S. 2005. Effects of plant secondary metabolites on the nutritional ecology of herbivorous terrestrial vertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36, pp. 169–189. doi: 10.1146 / annurev.ecolsys.36.102003.152617
- Deinum, B., and Knoppers, J. 1979. Growth of maize in the cool temperate climate of the Netherlands: effects of full grain on dry matter production, chemical composition and nutritional value. *NJAS-Wagen. J. Life Sciences*. 27, pp. 116–130. doi: 10.18174 / njas.v27i2.17059
- Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J. and Abades, S. 2020. Many elements of soil biodiversity promote ecosystem functions across biomes. *Nat. Ecol. Evol.* 4, pp. 210–220. doi: 10.1038 / s41559-019-1084-y
- Diaz, S., Cabido, M. and Casanoves, F. 1998. Plant functional characteristics and environmental filters at the regional scale. *J. Vegetarian. Science*. 9, 113–122. doi: 10.2307 / 3237229
- Donnelly, E. D., Anthony, W. B., and Langford, J. W. 1971. Nutritional relationship in *Sericea lespedeza* with low and high tannin content at grazing. *Agron. J.* 63, pp. 749–751. doi: 10.2134 / agronj1971,00021962006300050027x
- Dumont, B., Carrère, P., and D'Hour, P. 2002. Foraging on patchy grasslands: dietary choices of sheep and cattle are influenced by the abundance and spatial distribution of preferred species. *Cartoon. Res.* 51, pp. 367–381. doi: 10.1051 / animation: 2002033
- Egea, A. V., Allegretti, L. I., Lama, S. P., Grilli, D. and Fucili, M. 2016. The dietary blend and concentrated tannins help explain the foraging preferences of Creole goats in the face of the physical and chemical diversity of native woody plants in the heart of the Monte Desert (Argentina). *Cartoon. Science Feed. Skill.* 215, pp. 47–57. doi: 10.1016 / j.anifeedsci.2016.02.021
- Eisenhauer, N., Hines, J., Isbell, F., van der Plas, F., Hobbie, S. E. and Kazanski, C. E. 2018. Plant diversity sustains many soil functions in future environments. *Elife* 7: e41228. doi: 10.7554 / eLife.41228.020
- Eisenhauer, N., Lanoue, A., Strecker, T., Scheu, S., Steinauer, K. and Thakur, M. P. 2017. Root biomass and exudates link plant diversity to bacterial and fungal biomass in the soil. *Science*. Version 7: 44641. doi: 10.1038 / srep44641
- Emms, J. E., Vercoe, P. E., Hughes, S., Jessop, P., Norman, H. C., Kilminster, T. (two thousand and thirteen). “Making Decisions to Identify Forage Shrub Species for Multigrazing Systems,” in *Proceedings of the 22nd*

- International Grassland Congress , DL Michalk, GD Millar, WB Badgery and KM Broadfoot (Sydney: International Grassland Organisation), 1372–1373.
- Evers, J. B., van der Werf, W., Stomph, T. J., Bastiaans, L. and Antennas, N. P. R. 2019. Understanding and optimizing species mix using J. Exp. Robot. 70, pp. 2381–2388. doi: 10.1093 / jxb / ery288
- Freeland, W. J. and Janzen, D. H. 1974. Strategies in mammalian herbivores: the role of plant secondary compounds. To be. Nat. 108, pp. 269–289. doi: 10.1086 / 282907
- Githiori, J. B., Athanasiadou, S., and Thamsborg, S. M. 2006. Using plants in novel approaches to gastrointestinal helminth control in livestock with a focus on small ruminants. Veterinarian. Parasitol. 139, pp. 308–320. doi: 10.1016 / j.vetpar.2006.04.021
- Gordon, I. J., Pérez-Barbería, F. J., and Cuartas, P. 2002. Influence of the adaptation of the rumen flora of the digestive process in vitro of different feed of sheep and deer reed. May. J. Zool. 80, pp. 1930–1937. doi: 10.1139 / z02-179
- Gourlay, G. and Constabel, C. P. 2019. Concentrated tannins are antioxidants that induce and protect hybrid poplars against oxidative stress. Physiol tree. 39, pp. 345–355. doi: 10.1093 / treephys / tpy143
- Groot, J. C. J., Cone, J. W., Williams, B. A., Debersaques, F. M. A. and Lantinga, E. A. 1996. Gas production kinetic multiphase analysis for in vitro fermentation of ruminant feed. Cartoon. Science Feed. Technol. 64, pp. 77–89. doi: 10.1016 / S0377-8401 (96) 01012-7
- Grosse Brinkhaus, A., Bee, G., Silacci, P., Kreuzer, M., and Dohme-Meier, F. 2016. Effect of exchange of *Onobrychis upsifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on fermentation in ruminants and nitrogen turnover in dairy cows. J. Dairy Science. 99, pp. 4384–4397. doi: 10.3168 / jds.2015-9911
- Hall, M. B., Hoover, W. H., Jennings, J. P. and Webster, T. K. 1999. A method for partitioning soluble carbohydrates in neutral detergents. J. Science. Agricultural products and foodstuffs. 79, pp. 2079–2086. doi: 10.1002 / (SICI) 1097-0010 (199912) 79:15 <2079 :: AID-JSFA502> 3.0.CO; 2-Z
- Hautier, Y., Isbell, F., Borer, E. T., Seabloom, E. W., Harpole, W. S., Lind, E. M. 2018. The local loss and spatial homogeneity of plant diversity reduce the multifunctionality of the ecosystem. Nat. Ecol. Evol. 2, pp. 50–56. doi: 10.1038 / s41559-017-0395-0
- Hector, A., Bazeley-White, E., Loreau, M., Otway, S. and Schmidt, B. 2002. Overyield in grassland communities: testing the sampling effect hypothesis with replicated biodiversity experiments. Ecol. Lett. 5, pp. 502–511. doi: 10.1046 / j.1461-0248.2002.00337.x
- Hoste, H., Jackson, F., Athanasiadou, S., Thamsborg, S. M. and Hoskin, S. O. 2006. Effect of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminant cattle. Parasitol Trend. 22, pp. 253–261. doi: 10.1016 / j.pt.2006.04.004
- Hoste, H., Torres-Acosta, J. F., Sandoval-Castro, C. A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H. 2015. Legumes contain tannins as a role model for nutrients against gastrointestinal parasites in livestock. Veterinarian. Parasitol. 212, pp. 5–17. doi: 10.1016 / j.vetpar.2015.06.026
- Huang, T., Gao, B., Hu, X. K. , Lu, X., Well, R. and Christie, P. 2015. Ammonia-oxidation as an engine for nitrous oxide generation in a strictly managed lime-rich aquatic soil. Science. Version 4: 3950. doi: 10.1038 / srep03950
- Huffman, M. A. 2003. Autonomous medicine for animals and ethnopharmaceuticals: exploration and exploitation of the medicinal properties of plants. Proc. Nutr. Soc. 62, 371–381. doi: 10.1079 / PNS2003257
- Hutchings, M. R., Athanasiadou, S., Kyriazakis, I. and Gordon, I. J. 2003. Can animals use foraging to fight parasites? Proc. Nutr. Soc. 62, pp. 361–370. doi: 10.1079 / PNS2003243
- Hutchings, M. R., Kyriazakis, I., Papachristou, T. G., Gordon, I. J. and Jackson, F. 2000. Herbivores' dilemma: trade-offs between nutrition and parasitism in foraging decisions. Oecologia 124, pp. 242–251. doi: 10.1007 / s004420000367
- Illius, A. W. and Jessop, N. S. 1995. Modeling the metabolic costs of allele digestion by herbivores' feeding. J. Chem. Ecol. 21, pp. 693–719. doi: 10.1007 / BF02033456

- Isbell, F., Adler, P. R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K. and Kremen, C. 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agricultural systems. *J. Ecol.* 105, pp. 871–879. doi: 10.1111 / 1365-2745.12789
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B. and Beierkuhnlein, C. 2015. Biodiversity increases the resilience of ecosystem productivity to extreme climates. *Nature* 526, pp. 574–577. doi: 10.1038 / nature15374
- Isbell, F. I., Polley, H. W. and Wilsey, B. J. 2009. Biodiversity, productivity, and time stability of productivity: Models and processes. *Ecol. Lett.* 12, pp. 443–451. doi: 10.1111 / j.1461-0248.2009.01299.x
- Jing, J., Søgaard, K., Cong, WF and Eriksen, J. 2017. Species diversity affects yield, persistence and quality of multi-species in a 4-year experiment. *PLoS ONE* 12: e0169208. doi: 10.1371 / journal.pone.0169208
- Johnson, K. A. and Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from livestock. *J. Animation. Science.* 73, pp. 2483–2492. doi: 10.2527 / 1995.7382483x
- Jonker, A., Farrell, L., Scobie, D., Dynes, R., Edwards, G. and Hague, H. 2019. Methane and carbon dioxide emissions from lactating dairy cows grazing mature rye/white clover grass or varied pastures including rye grass, legumes and herbs. *Cartoon. Product. Science.* 59, pp. 1063–1069. doi: 10.1071 / AN18019
- Jouven, M., Carrère, P., and Baumont, R. 2006. Model predicts biomass dynamics, structure and digestibility of litter in managed long-term grassland. 1. Model description. *Grass Forage Science.* 61, pp. 112–124. doi: 10.1111 / j.1365-2494.2006.00515.x
- Juhnke, J., Miller, J., Hall, J. O., Provenza, F. D. and Villalba, J. J. 2012. Preference for sheep's tannin concentrates to fight *Haemonchus contortus* bacterial infection. *Veterinarian. Parasitol.* 188, pp. 104–114. doi: 10.1016 / j.vetpar.2012.02.015
- Kakraliya, S. K., Singh, U., Bohra, A., Choudhary, K. K., Kumar, S. and Meena, R. S. 2018. “Nitrogen and legumes: a meta-analysis,” in *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*, published RS Meena, A. Das, GS Yadav and R. Lal (Singapore: Springer), pp. 277– 314. doi: 10.1007 / 978-981-13-0253-4_9
- Kotowska, A. M., Cahill, J. F. and Keddie, B. A. 2010. Plant genetic diversity increases crop yield and herbivore performance. *J. Ecol.* 98, pp. 237–245. doi: 10.1111 / j.1365-2745.2009.01606.x
- Laca, E. A., Sokolow, S., Galli, J. R. and Cangiano, C. A. 2010. Spatial shape and scale feeding in mammalian herbivores. *Ecol. Lett.* 13, pp. 311–320. doi: 10.1111 / j.1461-0248.2009.01423.x
- Lagrange, S., Lobón, S. and Villalba, J. J. 2019. Gas production kinetics and in vitro degradation of tannin-containing legumes, alfalfa and their mixtures. *Cartoon. Science Feed. Skill.* 253, pp. 56–64. doi: 10.1016 / j.anifeeds.2019.05.008
- Lagrange, S. and Villalba, J. J. 2019. Tannin-containing legumes and forage diversity influence feeding behavior, dietary digestibility and nitrogen excretion of lambs. *J. Animation. Science.* 97, 3994–4009. doi: 10.1093 / jas / skz246
- Louault, F., Pillar, V. D., Aufre're, J., Garnier, E., and Soussana, J. F. 2005. Plant characteristics and functional patterns to minimize disturbance in semi-natural grasslands. *J. Vegetarian. Science.* 16, pp. 151–160. doi: 10.1111 / j.1654-1103.2005.tb02350.x
- Lyman, T. D., Provenza, F. D. and Villalba, J. J. 2008. Sheep feeding behavior in response to interactions between alkaloids, tannins and saponins. *J. Science. Agricultural products and foodstuffs.* 88, pp. 824–831. doi: 10.1002 / jsfa.3158
- Lyman, T. D., Provenza, F. D., Villalba, J. J. and Wiedmeier, R. D. 2011. Cattle preferences varied when endophyte-infested tall horsetail, crow's foot, and alfalfa were grazed in different sequences. *J. Animation. Science.* 89, pp. 1131–1137. doi: 10.2527 / jas.2009-2741
- MacAdam, J. W. 2019. “Elevated Carbohydrate Concentrations of High Altitude Perennial Legumes,” in *Summary of Annual Meetings. ASA, CSSA and SSSA (Madison, WI).* Available online at: <https://scisoc.confex.com/scisoc/2019am/meetingapp.cgi/Paper/119690> (accessed August 10, 2020).
- Marsh, K. J., Wallis, I. R., Andrew, R. L. and Foley, W. J. 2006. The withdrawal limit hypothesis: where does it come from and where does it go? *J. Chem. Ecol.* 32, pp. 1247–1266. doi: 10.1007 / s10886-006-9082-3

- Meuret, M. and Provenza, F. 2015. How French shepherds create meal chains to stimulate feed intake and optimize forage use across the rangeland. *Cartoon. Product. Science.* 55, pp. 309–318. doi: 10.1071 / AN14415
- Monjardino, M., Revell, D., and Pannell, D. J. 2010. Potential contribution of forage shrubs to economic returns and environmental management in Australian dryland agricultural systems. *Ag. Syst.* 103, pp. 187–197. doi: 10.1016 / j.agsy.2009.12.007
- Moore, A. D., Donnelly, J. R., and Freer, M. 1997. GRAZPLAN: decision support system for Australian cattle businesses. III. Sub-models of grassland growth and soil moisture, and GrassGro DSS. *Ag. Syst.* 54, pp. 535–582. doi: 10.1016 / S0308-521X (97) 00023-1
- Moreno, F. C., Gordon, I. J., Wright, A. D., Benvenuti, M. A. and Saumell, C. A. 2010. In vitro deworming effect of plant extracts against invasive larvae of gastrointestinal roundworm parasites in ruminants. *Roof. Med. Veterinarian.* 42, pp. 155–163. doi: 10.4067 / S0301-732X2010000300006
- Mote, T. E., Villalba, J. J. and Provenza, F. D. 2008. The order of presentation affects the amount of food containing tannins and terpenes. *Appl. Cartoon. Behav. Science.* 113, pp. 57–68. doi: 10.1016 / j.applanim.2007.10.003
- Moya, D., Mazzenga, A., Holtshausen, L., Cozzi, G., González, L. A. and Calsamiglia. 2011. Feeding behavior and acidosis status in beef cattle given the total mixed diet or individual diet components. *J. Animation. Science.* 89, pp. 520–530. doi: 10.2527 / jas.2010-3045
- Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M. and Kölliker, R. 2019. Benefits of concentrated tannins in legumes as ruminant: the importance of structure, concentration and diet composition. *Scientific cutting.* 59, pp. 861–885. doi: 10.2135 / cropci2017.06.0369
- Niderkorn, V., Baumont, R., Le Morvan, A., and Macheboeuf, D. 2011. The appearance of the effect link between grass and legumes in binary mixture of the characteristics of fermentation in the rumen in vitro. *J. Animation. Science.* 89, pp. 1138–1145. doi: 10.2527 / jas.2010-2819
- Owens, J., Provenza, F. D., Wiedmeier, R. D. and Villalba, J. J. 2012. Supplementing fescue or endophyte-infected reeds with alfalfa or crow's feet increased forage intake and digestibility of sheep. *J. Science. Food Agr.* 92, pp. 987–992. doi: 10.1002 / jsfa.4681
- Parsons, A. J., Harvey, A., and Johnson, I. R. 1991. Plant/animal interactions in continuous grazing mixes: 2. The role of differences in the physiology of leaf expansion and of selective grazing on yield and stability of plants species in a mixture. *J. Appl. Ecol.* 28, pp. 635–658. doi: 10.2307 / 2404573
- Patra, A. K. and Saxena, J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Chemical Plant* 71, 1198-1222. doi: 10.1016 / j.phytochem.2010.5.01010
- Popović, B. M., Štajner, D., Ždero-Pavlović, R., Tumbas-Šaponjac, V., Canadanović-Brunet, J., and Orlović, S. 2016. Water stress induces changes in polyphenol profile and antioxidant capacity in poplar (*Populus* spp.). *Physiol Plants. Biochemistry.* 105, pp. 242–250. doi: 10.1016 / j.plaphy.2016.04.036
- Preuer, K., Lewis, R. P., Hochreiter, S., Bender, A., Bulusu, K. C. and Klambauer, G. 2018. DeepSynergy: predicting anticancer drug synergy with Deep Learning. *Bioinformatics* 34, pp. 1538–1546. doi: 10.1093 / bioinformatics / btx806
- Prieto, I., Violle, C., Barre, P., Durand, JL, Ghesquiere, M. and Litrico, I. 2015. Complementary effects of species and genetic diversity on yield and stability of seeded grasslands. *Nat. Plants* 1: 15033. length: 10.1038 / nplants.2015.33
- Provenza, F. D., Villalba, J. J., Dziba, L. E., Atwood, S. B. and Banner, R. E. 2003. Linking the experiences of herbivores, diverse diets, and plant biochemical diversity. *Small Rumin. Res.* 49, pp. 257–274. doi: 10.1016 / S0921-4488 (03) 00143-3
- Provenza, F. D. 1995. Posting feedback as a fundamental determinant of food preference and intake in ruminants. *Rangeland Ecol. Manage.* 48, pp. 2–17. doi: 10.2307 / 4002498
- Provenza, F. D. 1996. Hostility is the basis for the varied diets of pasture-fed ruminants. *J. Animation. Science.* 74, pp. 2010–2020. doi: 10.2527 / 1996.7482010x

- Provenza, F. D., Villalba, J. J., Haskell, J., MacAdam, J. W., Griggs, T. C. and Wiedmeier, R. D. 2007. The value to herbivores of the physical and chemical diversity of plants over time and space. *Scientific cutting*, 47, pp. 382–398. length: 10.2135 / cropci2006.02.0083
- Pulido-Santacruz, P. and Renjifo, L. M. 2011. Living fences as tools for biodiversity conservation: a case study with birds and plants. *Agroforestry combination. Syst.* 81, pp. 15–30. doi: 10.1007 / s10457-010-9331-x
- Rapport, D. J. 1980. Optimal feeding for additional sources. *To be. Nat.* 116, 324–346. doi: 10.1086 / 283631
- Reddy, A., Chaitanya, K., and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Botanical Physiol.* 161, pp. 1189–1202. doi: 10.1016 / j.jplph.2004.01.013
- Roca-Fernández, A. I., Dillard, S. L. and Soder, K. J. 2020. Vaginal fermentation and intestinal methane production of legumes containing concentrated tannins grown in continuous culture. *J. Dairy Science.* 103, pp. 7028–7038. doi: 10.3168 / jds.2019-17627
- Rolls, E. T., Murzi, E., Yaxley, S., Thorpe, S. J. and Simpson, S. J. 1986. Characteristic satiety: decreased anterior ventricular neuronal response after feeding in monkeys. *Brain Res.* 368, pp. 79–86. doi: 10.1016 / 0006-8993 (86) 91044-9
- Rotz, C. A., Asem-Hiablíe, S., Place, S. and Thoma, G. 2019. Environmental footprint of beef cattle production in the United States. *Ag. Syst.* 169, pp. 1–13. doi: 10.1016 / j.agsy.2018.11.005
- Rutter, S. M. 2006. Preferred diets for grasses and legumes in sheep and free-range cattle: current theory and future applications. *Appl. Cartoon. Behav. Science.* 97, pp. 17–35. doi: 10.1016 / j.applanim.2005.11.016
- Sanderson, M. A., Goslee, S. C., Soder, K. J., Skinner, R. H., Tracy, B. F. and Deak, A. 2007. Plant species diversity, ecosystem function and grassland management: a perspective. *May. J. Plant Sci.* 87, pp. 479-487. doi: 10.4141 / P06-135
- Schaub, S., Finger, R., Leiber, F., Probst, S., Kreuzer, M., and Weigelt, A. In 2020. Plant diversity affects forage quality, yield and turnover of semi-natural pastures. *Nat. Commun.* 11:768. doi: 10.1038 / s41467-020-14541-4
- Sharp, J. M., Edwards, G. R. and Jeger, M. J. 2014. A spatially unambiguous population model of the effect of spatial scale heterogeneity in clover grazing systems. *J. Agr. Science Fiction.* 152, pp. 394–407. doi: 10.1017 / S0021859613000154
- Skinner, R. H. and Dell, C. J. 2016. Yield and soil carbon sequestration on grazing pastures seeded with two or five forage species. *Scientific cutting.* 56, pp. 2035–2044. length: 10.2135 / cropci2015.11.0711
- Spelman, K., Duke, J. A., and Bogenschutz-Godwin, M. J. 2006. “Principle of synergy at work with plants, pathogens, insects, herbivores, and humans,” in *Natural Plant Products*, EDS PB Kaufman, LJ Cseke, S Warber, JA Duke, and HL Briellmann (Boca Raton, FL: CRC Press), pp. 475–501. doi: 10.1201 / 9781420004472.ch13
- Stewart, E. K., Beauchemin, K. A., Dai, X., MacAdam, J. W., Christensen, R. G. and Villalba, J. J. 2019. Effect of tannin-containing hay on intestinal methane clearance and nitrogen partitioning in beef cattle. *J. Animation. Science.* 97, pp. 3286–3299. doi: 10.1093 / jas / skz206
- Sullivan, T. P. and Sullivan, D. S. 2006. Small mammal and plant diversity in orchards compared to non-crop habitats. *Ag. Ecosyst. Environment.* 116, pp. 235–243. doi: 10.1016 / j.agee.2006.02.010
- Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S., Haile, N., DeLaune, P. B. and Conover, D. M. 2011. Grazing management affects vegetation, soil biota, and the chemical, physical and hydrological properties of the high grassland soil. *Agriculture. Ecosyst. Environment.* 141, 310–322. doi: 10.1016 / j.agee.2011.03.009
- Thornley, J. H. M., Parsons, A. J., Newman, J. A. and Penning, P. D. 1994. A cost-benefit model of grazing and dietary choices in a two-species temperate grassland. *Funct. Ecol.* 8, pp. 5–16. doi: 10.2307 / 2390105
- Tilman, D. 1982. *Competition for resources and community structure*. Princeton, NJ: Princeton University Press. doi: 10.1515/9780691209654
- Valencia, E., Gross, N., Quero, J. L., Carmona, C. P., Ochoa, V., and Gozalo, B. 2018. Stratification effects from vegetation to soil microorganisms explain how plant species richness and simulated climate change affect soil multifunctionality. *Biol changes globally.* 24, pp. 5642–5654. doi: 10.1111 / gcb.14440

- Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A. and Viti, C. 2019. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion and methane emissions: experimental evidence and methodological approaches. *J. Dairy Science*. 102, pp. 3781–3804. doi: 10.3168/jds.2018-14985
- Vercoe, P. E., Durmic, Z. and Revell, D. K. 2009. “Rumen microbial ecology: helping to change the landscape”, in *Feeding and Nutrition Ecosystems of Sheep and Goats*, published TG Papachristou, ZM Parissi, H. Ben Salem and P. Morand-Fehr (Zaragoza) : CIHEAM / FAO / NAGREF), pp. 225–236.
- Villalba, J. J., Bach, A., and Ipharraguerre, I. R. 2011. Feeding behavior and performance of lambs are influenced by flavor diversity. *J. Animation. Science*. 89, pp. 2571–2581. doi: 10.2527/jas.2010-3435
- Villalba, J. J., Catanese, F., Provenza, F. D. and Distel, R. A. 2012. Relationship between initial experience with dietary diversity, acceptance of novel flavors and field behavior in sheep. *Physiol. Behav.* 105, pp. 181–187. doi: 10.1016/j.physbeh.2011.08.031
- Villalba, J. J., Costes-Thiré, M. and Ginane, C. 2017. Phytochemicals in animal health: dietary choices and cost-benefit trade-offs. *Proc. Nutr. Soc.* 76, pp. 113–121. doi: 10.1017/S0029665116000719
- Villalba, J. J. and Manteca, X. 2019. A case of herbivorous feeding. *Previous. Veterinarian. Science*. 6: 303. doi: 10.3389/fvets.2019.00303
- Villalba, J. J., Miller, J., Ungar, E. D., Landau, S. Y. and Glendinning, J. 2014. Autonomous ruminant drugs against gastrointestinal roundworms: evidence, mechanisms and origins. *Parasite* 21:31. doi: 10.1051/parasite/2014032
- Villalba, J. J. and Provenza, F. D. 2005. Foraging in chemically diverse environments: Energy and protein concentrations, and feed alternatives affect the digestion of plant secondary metabolites by lambs. *J. Chem. Ecol.* 31, pp. 123–138. doi: 10.1007/s10886-005-0979-z
- Villalba, J. J. and Provenza, F. D. 2009. Learning and dietary choices in herbivores. *Rangeland Ecol. Manag.* 62, pp. 399–406. doi: 10.2111/08-076.1
- Villalba, J. J., Provenza, F. D. and Bryant, J. P. 2002. Consequences of interactions between nutrients and plant secondary metabolites on herbivore selectivity: beneficial or harmful to plants? *Oikos* 97, pp. 282–292. doi: 10.1034/j.1600-0706.2002.970214.x
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., Catanese, F. and Distel, R. A. 2015. Understand and apply diet selection in herbivores. *Cartoon. Product. Science*. 55, pp. 261–271. doi: 10.1071/AN14449
- Villalba, J. J., Provenza, F. D. and Manteca, X. 2010. Association between ruminant food preferences and their welfare. *Animals* 4, pp. 1240–1247. doi: 10.1017/S1751731110000467
- Waghorn, G. 2008. Beneficial and harmful effects of dietary tannin concentrates on sustainable sheep and goat production - Progress and challenges. *Cartoon. Science Feed. Skill*. 147, pp. 116–139. doi: 10.1016/j.anifeeds.2007.09.013
- Waghorn, G. C. and McNabb, W. C. 2003. Consequences of plant phenolic compounds on ruminant performance and health. *Proc. Nutr. Soc.* 62, pp. 383–392. doi: 10.1079/PNS2003245
- Wallis, R. H., Thomas, D. T., Speijers, E. J., Vercoe, P. E. and Revell, D. K. 2014. Short periods of prior exposure may increase sheep uptake of a woody forage shrub, *Rhagodia preissii*. *Small Rumin. Res.* 121, pp. 280–288. doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.08.006
- Wang, Y., McAllister, T. A., and Acharya, S. 2015. Tannin condensate in sainfoin: composition, concentration, and effects on nutritional value and palatability of sainfoin forage. *Scientific cutting*. 55, pp. 13–22. doi: 10.2135/cropsci2014.07.0489
- Yachi, S. and Loreau, M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in volatile environments: an insurance hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Science. United States* 96, pp. 1463–1468. doi: 10.1073/pnas.96.4.1463
- Zak, D. R., Holmes, W. E., White, D. C., Peacock, A. D. and Tilman, D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities and ecosystem function: are there links? *Ecosystem* 84, pp. 2042–2050. doi: 10.1890/02-0433

ABSTRACT

Design vegetatively diverse grasslands to improve animal production and welfare while reducing environmental impact

The pasture-based production system is a significant sustainable supplier of animal-based foods worldwide. For such systems, mounting evidence highlights the importance of plant diversity for the proper functioning of soils, plants and animals. A variety of feeds, with appropriate doses and feeding sequences, can provide greater benefits to animals and their environment than single feed alone. Here, we examine the importance of plant diversity for animal nutrition, welfare, health and environmental impact, and offer some new ideas for pasture design and management based on the biochemical complexity of traditional and non-traditional forage sources. Such efforts will require the integration and synthesis of the morphology, ecological physiology and biochemistry of traditional and non-traditional forage species, as well as of the foraging behavior of foraging animals. grass on grasslands with diverse flora. Therefore, the challenge ahead requires selecting the “right” species combination, spatial aggregation, distribution and forage management such that the productivity and stability of plant communities and The ecological services provided by grazing are enhanced. From this it is concluded that there is strong empirical support for the replacement of traditional agricultural grasslands that simply reduce plant diversification with additional forage species that allow ruminants choose diets that benefit their nutrition, health and wellbeing, while reducing the negative environmental impacts of livestock production systems.

Keywords: *grassland diversity, ruminant animals, environmental impact, animal nutrition, animal health, animal welfare, animal husbandry*

Ngày nhận bài: 06/01/2022

Ngày chấp nhận đăng: 19/01/2022