QUẢN LÝ CHĂN THẢ GIA SÚC DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ ĐỂ SỬ DỤNG TIỀM NĂNG CỦA ĐỒNG CỎ MỘT CÁCH BỀN VỮNG

Nguyễn Văn Quang

Viện Chăn nuôi

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

TÓM TẮT

Suy thoái đồng cỏ đã được quan sát trên toàn thế giới và thường là kết quả của việc khai thác quá mức hoặc bị bỏ hoang. Cần phải quản lý chăn thả chính xác và dựa trên kiến thức để sử dụng tiềm năng của đồng cỏ một cách bền vững. Khoảng trống thông tin dẫn đến sự thiếu hiệu quả trong quản lý đất chăn thả và cung cấp dịch vụ hệ sinh thái. Những tiến bộ nhanh chóng trong cảm biến tự động và công nghệ thông tin để thu thập thông tin về tình trạng sẵn có của cỏ, kiểm soát hành vi chăn thả của động vật và thiết lập các công cụ hỗ trợ quyết định dựa trên dữ liệu có khả năng cải thiện việc quản lý chăn thả. Các cảm biến và phương pháp dựa trên công nghệ thông tin cho phép thu được động lực học không gian theo thời gian về khối lượng và chất lượng cỏ cũng như cấu trúc thảm cỏ và thành phần thực vật một cách tự động. Các phương pháp giám sát này cho phép điều chỉnh chính xác về mặt không gian và thời gian lượng thức ăn thô xanh và mật độ thả gia súc. Hàng rào ảo (VF) là một công cụ kỹ thuật số tiên tiến để tinh chỉnh việc kiểm soát không gian và thời gian của động vật chăn thả. VF cho phép nông dân điều chỉnh việc chăn thả linh hoạt và năng động bằng cách di chuyển các đường viền ảo trên giao diện người dùng di động và gửi tọa độ mới đến bộ thu GPS trên vòng cổ VF của mỗi con vật. VF hứa hẹn mang lại hiệu quả cao mà không có tác động tiêu cực rõ ràng nào đến phúc lợi động vật. Tiềm năng của VF là rất lớn, nhưng khả năng ứng dụng rộng rãi vào thực tế cần sự vào cuộc của các nhà quản lý, sự ủng hộ của các hộ chăn nuôi và việc tính toán hiệu quả về mặt kinh tế. Một hệ thống hỗ trợ quyết định tối ưu hóa việc quản lý chăn thả cũng như các kết quả nông học và sinh thái bằng cách tích hợp và phân tích nhiều dữ liệu ở độ phân giải không gian và thời gian cao có thể cung cấp đủ kiến thức và sự tự tin trong các quyết định quản lý chăn thả. Việc tích hợp các công nghệ chủ chốt vào một khái niệm tổng thể có thể đưa công tác quản lý chăn thả gia súc lên một tầm cao mới.

Từ khóa: *Công nghệ, đồng cỏ, quản lý, chăn thả, sử dụng, bền vững*

GIỚI THIỆU

Dự kiến dân số loài người sẽ tăng lên khoảng 9 tỷ người vào năm 2050 (FAO, 2018) đòi hỏi tính bền vững của các hệ thống nông nghiệp phải tăng lên (Kleijn và cs., 2019). Trong những thập kỷ qua, sự cân bằng trong sản xuất thịt đã chuyển từ hệ thống chăn nuôi chủ yếu dựa vào thức ăn thô xanh của động vật nhai lại (gia súc, cừu) sang hệ thống chăn nuôi dạ dày đơn (gia cầm, lợn), điều này đáng lo ngại vì những hệ thống này chủ yếu phụ thuộc vào thức ăn được trồng trên đất canh tác (Martens và cs., 2012). Hơn nữa, tổng sản lượng thịt trên toàn cầu dự kiến sẽ tăng hơn nữa vào cuối thập kỷ hiện tại (OECD/FAO, 2020). Ở nhiều quốc gia có thu nhập cao cũng đã có sự chuyển đổi sang các hệ thống chăn nuôi gia súc thâm canh hơn để sản xuất thịt và sữa đi kèm với giảm việc sử dụng các hệ thống chăn nuôi bền vững trên đồng cỏ (FAO, 2017).

Đồng cỏ là một trong những quần xã sinh vật quan trọng nhất trên trái đất (White và cs., 2000); chúng chứa 30% trữ lượng carbon của thế giới (Scurlock và Hall, 1998) và vai trò cô lập carbon của chúng được ước tính bù đắp khoảng 590 tỷ tấn khí thải carbon dioxide (Burney và cs., 2010). Do đó, việc quản lý và sử dụng bền vững các nguồn tài nguyên này là cần thiết để có khả năng hỗ trợ các dịch vụ hệ sinh thái, bao gồm đa dạng sinh học, cũng như có ý nghĩa kinh tế xã hội đối với cộng đồng nông thôn (Michalk và cs., 2019). Đồng cỏ cung cấp nền tảng cho hoạt động chăn nuôi dựa vào thức ăn thô có tầm quan trọng về mặt kinh tế và cung cấp cho người dân trên toàn thế giới thực phẩm chất lượng cao như sữa và thịt. Nhiều dịch vụ hệ sinh thái của chúng có liên quan đến sự đa dạng của đồng cỏ (Bengtsson và cs., 2019; Werling và cs., 2014). Sự suy thoái của các đồng cỏ đa dạng trước đây đã được

quan sát trên toàn thế giới, do đó chúng không còn cung cấp nhiều dịch vụ hệ sinh thái nữa (Manning và cs., 2018 ; Michalk và cs., 2019) và xu hướng này được dự đoán sẽ tăng lên. Suy thoái đồng cỏ dẫn đến giảm năng suất, giảm khả năng hấp thụ C của đất và phát thải khí nhà kính ròng cao hơn, rửa trôi và chảy tràn nitơ cao hơn, tiết kiệm đất, ô nhiễm nước và mất đa dạng sinh học (Bardgett và cs., 2021; Gang và cs., 2014; Kayser và cs., 2018). Vì vậy, quan điểm và mục tiêu của việc quản lý đồng cỏ trong tương lai ở tất cả các khu vực trên thế giới phải là cân bằng giữa các mục tiêu sản xuất và môi trường. Đáng chú ý, để quản lý chăn thả bền vững, việc phân bổ kịp thời, chính xác diện tích chăn thả theo nhu cầu dinh dưỡng hàng ngày của động vật và lượng cỏ sẵn có là điều cần thiết (Curran và cs., 2010). Quản lý chăn thả chính xác và bền vững có thể tối ưu hóa việc sử dụng đồng cỏ và đáp ứng các yêu cầu dinh dưỡng của bò nhằm mang lại sản lượng sữa ít nhất ở mức trung bình (Klootwijk và cs., 2019). Nghiên cứu gần đây đã nhấn mạnh rằng động vật chăn thả rất cần thiết để tăng cường sự đa dạng về cấu trúc và sinh học cũng như các dịch vụ hệ sinh thái ở đồng cỏ (Johansen và cs., 2019; Kapás và cs., 2020; Navarro và Pereira, 2015). Hơn nữa, việc chăn thả ngoài trời còn có những lợi ích phúc lợi động vật quan trọng (Burow và cs., 2013). Hệ thống chăn thả chăn nuôi cũng có tiềm năng giảm việc sử dụng thức ăn nhập khẩu và lượng khí thải nhà kính liên quan đến việc trồng trọt và vận chuyển (Weiss và Leip, 2012). Để giảm bớt sự phụ thuộc vào cây trồng và khai thác tiềm năng của đồng cỏ, cần đảm bảo đưa gia súc trở lại vùng chăn thả một cách bền vững và dựa trên tri thức.

Để chăn thả bền vững và cân bằng sự cân bằng giữa năng suất chăn nuôi và các dịch vụ hệ sinh thái khác, có những cơ hội đầy hứa hẹn cho các công nghệ canh tác chính xác để quản lý động vật chăn thả và cung cấp thông tin kịp thời và chính xác về hệ thống động thực vật phức tạp trên vùng đất chăn thả. Mặc dù các công nghệ canh tác chính xác đã được sử dụng trong canh tác trồng trọt trong nhiều năm nhưng chúng ít được sử dụng trong chăn thả gia súc (Bahlo và cs., 2019; French và cs., 2015; Schellberg và cs., 2008). Tuy nhiên, với những tiến bộ hiện nay trong việc phát triển các công nghệ nông nghiệp thông minh mới, có nhiều tiềm năng ứng dụng hơn trong chăn nuôi.

Gia tăng hệ thống chăn nuôi phụ thuộc vào thức ăn được trồng trên đất canh tác

Việc chuyển đổi sang các hệ thống chăn nuôi phụ thuộc vào cây trồng hơn được thúc đẩy bởi những thay đổi đáng kể về kinh tế xã hội phát sinh từ sự tăng trưởng dân số, công nghiệp hóa và toàn cầu hóa cũng như tiến bộ khoa học, đặc biệt kể từ Cách mạng Xanh những năm 1950 và 1960. Điều này làm tăng cường các phương thức sản xuất và củng cố sự phụ thuộc vào cây trồng từ đất trồng trọt làm thức ăn chăn nuôi (Godde và cs., 2018). Đã có sự thay đổi theo hướng sử dụng nhiều hơn các hệ thống chăn nuôi dạ dày đơn (lợn, gia cầm) để sản xuất thịt trong ba thập kỷ qua, trong đó thịt lợn có mức sản xuất toàn cầu cao nhất ở mức xấp xỉ. 173 triệu tấn thịt, tiếp theo là thịt gia cầm (128 triệu tấn) và thịt bò (73 triệu tấn) vào năm 2019 (FAO, 2021). Sản xuất thịt lợn cần khoảng 128 m^2 diện tích đất canh tác để cung cấp thức ăn chăn nuôi trên một kg protein cho chế độ ăn của con người, so với 36 m^2 đất canh tác để sản xuất lượng protein gà tương đương và 30 m^2 để sản xuất protein thịt bò. Trên toàn cầu, thức ăn thô xanh của bò thịt và bò sữa chủ yếu bao gồm thức ăn thô được trồng trên đất chăn thả. Tuy nhiên, sản xuất thịt bò và sữa bò cũng phụ thuộc đáng kể vào thức ăn được trồng trên đất canh tác (FAO, IDF, và IFCN, 2014) .

Trong nhiều hệ thống chăn nuôi bò sữa ở lục địa Châu Âu, quản lý trong nhà và không chăn thả bằng cách cho ăn tổng khẩu phần hỗn hợp bao gồm thức ăn thô xanh dự trữ (chủ yếu là cỏ và ngô ủ chua) và thức ăn tinh (Schingoethe, 2017) là phổ biến. Tuy nhiên, trong hầu hết các

hệ thống chăn nuôi bò sữa ở Ireland và Anh, cũng như ở New Zealand và Australia, chăn thả gia súc chiếm ưu thế. Đối với những hệ thống chăn thả này, lượng thức ăn ủ chua và ngũ cốc trong khẩu phần nhìn chung thấp nhưng mức độ đã tăng lên trong những năm gần đây. Quản lý bò sữa trong nhà quanh năm sẽ củng cố việc thâm canh đồng cỏ bằng cách tăng cường bón phân và cắt tỉa thường xuyên. Hệ thống cho ăn với tỷ lệ ngô và cỏ ủ chua cao cũng phụ thuộc vào bột đậu nành hoặc ngũ cốc giàu protein và năng lượng để bù đắp cho sự thiếu hụt dinh dưỡng (FAO, IDF, và IFCN, 2014) .

Suy thoái tính bền vững của hệ thống chăn thả

Trong nhiều thập kỷ, sự kết hợp giữa chăn thả quá mức và chuyển đổi đất chăn thả sang sản xuất cây trồng đã chuyển nhiều cộng đồng đồng cỏ sang các hệ sinh thái có nguy cơ tuyệt chủng cao nhất thế giới (Blair và cs., 2014). Các nghiên cứu gần đây ước tính rằng 49% tổng diện tích đồng cỏ trên thế giới đã bị suy thoái (Gibbs và Salmon, 2015).

Tuy nhiên, xu hướng chăn thả toàn cầu đang giảm là rõ ràng nhưng nó khác nhau giữa các quy mô không gian và thời gian. Ngày càng nhiều quốc gia châu Âu giảm việc sử dụng đồng cỏ bằng cách chăn thả gia súc (van den Pol-van Dasselaar và cs., 2020). Đồng cỏ châu Âu thường có đặc điểm là việc từ bỏ rộng rãi việc quản lý chăn thả gia súc rộng rãi trên đồng cỏ và vùng đất chăn nuôi bán tự nhiên, thâm canh quy mô lớn thông qua cày xới, gieo hạt một số loài có năng suất cao và bón phân để cung cấp cho cả gia súc chăn thả và không chăn thả. liên quan đến mất đa dạng sinh học và các dịch vụ hệ sinh thái khác (Leroy và cs., 2018; Wilsey, 2018).

Ở Australia và New Zealand, vùng đất chăn nuôi vẫn rất quan trọng đối với chăn nuôi. Tuy nhiên, những thay đổi về cường độ và thời gian chăn thả kết hợp với những thay đổi về các yếu tố phi sinh học đã làm suy thoái các bãi cỏ tự nhiên (Archer và cs., 2017).

Đối với Hoa Kỳ, việc mở rộng đất trồng trọt trước những năm 1990 cũng như việc gieo hạt và bón phân trên quy mô lớn cho các đồng cỏ thảo nguyên giàu loài trước đây đã gây ra sự mất mát trên diện rộng tất cả các loại đồng cỏ thảo nguyên, dẫn đến chi phí cao cho động vật hoang dã (Lark, 2020). Ngoài ra, biến đổi khí hậu và những thay đổi trong quản lý đất chăn thả cũng làm suy thoái chúng (Archer và Stokes, 2000).

Suy thoái đất chăn thả thường là kết quả của việc khai thác quá mức, do chăn thả quá mức hoặc do cải thiện việc sản xuất thức ăn ủ chua thâm canh cho gia súc không chăn thả (Hoque và cs., 2022). Tuy nhiên, quan điểm quản lý chăn thả gia súc trong tương lai trên toàn thế giới phải là giảm bớt sự đánh đổi và đưa các mục tiêu khác nhau phù hợp hơn với nhau. Hiện tại vẫn còn thiếu kiến thức về thành tựu của nó.

Khoảng trống thông tin để giảm thiểu sự đánh đổi trong quản lý chăn thả

Vì hàng trăm triệu người trên khắp thế giới dựa vào đồng cỏ để đạt được nhiều giá trị nên việc quản lý chăn thả được tích hợp vào chuỗi giá trị. Do đó, nhu cầu kinh tế xã hội và dịch vụ vì lợi ích công cộng gắn liền với chuỗi giá trị phải được xem xét. Bất chấp tầm quan trọng của chúng, hệ sinh thái đồng cỏ thường bị đánh giá thấp trong quá trình phát triển chính sách khu vực và toàn cầu (Bardgett và cs., 2021) dẫn đến lỗ hổng thông tin về quản lý chăn thả bền vững và những thay đổi kinh tế xã hội hơn nữa gây hậu quả cho mục tiêu sản xuất và phạm vi nhận thức cũng như cam kết quản lý chăn thả ở mọi cấp độ của xã hội. Tất cả những yếu tố này có thể dẫn đến sự thiếu hiệu quả trong quản lý chăn thả và cung cấp dịch vụ hệ sinh thái.

Những thay đổi về kinh tế xã hội bị thay đổi đã dẫn đến sự mất mát kiến thức trên diện rộng về bối cảnh toàn hệ thống chăn thả gia súc (Varga và cs., 2020). Hơn nữa, sự suy giảm chăn thả nói chung gây ra sự thiếu kiến thức về kỹ thuật cân bằng nhu cầu thức ăn chăn nuôi với lượng cỏ sẵn có và việc áp dụng chúng không phù hợp trong thực hành canh tác. Những kỹ thuật này bao gồm phương pháp thả giống (liên tục, luân phiên, thả giống theo dải - thời điểm luân canh) và phương thức sản xuất cỏ khi chăn thả (các loài thức ăn thô xanh và sự kết hợp của chúng trong hỗn hợp, giống và phân bón). Các biện pháp chăn thả không thích ứng tốt với tình hình địa phương có thể ảnh hưởng xấu đến việc sử dụng thức ăn, gây thất thoát thức ăn và không thể chuyển hóa năng lượng có thể chuyển hóa của cỏ thành năng suất của vật nuôi, dù là năng lượng để duy trì hay sản xuất động vật. Để tránh thất thoát cỏ đòi hỏi sự hiểu biết đúng đắn về tác động tương tác của động vật và các điều kiện bãi cỏ cụ thể tại địa điểm. Điều này cho phép điều chỉnh chính xác và tinh chỉnh việc thả gia súc chăn thả. Hơn nữa, thông tin về khối lượng cỏ và tốc độ tăng trưởng, chất lượng cỏ, tức là nồng độ chất dinh dưỡng, năng lượng và khả năng tiêu hóa của chúng, thành phần thực vật của bãi cỏ, lượng cố định đạm sinh học của cây họ đậu hoặc sự xuất hiện của bệnh thực vật (van den Pol- van Dasselaar và cs., 2020) ở độ phân giải không gian thời gian cao thường thiếu. Thông tin về tất cả các khía cạnh này là cần thiết để chăn thả chính xác, hiệu quả và bền vững.

Ngoài chăn nuôi, việc cung cấp hiệu quả các dịch vụ hệ sinh thái cực kỳ quan trọng từ chăn thả hiện chưa chắc chắn. Ngay cả khi nông dân đầu tư cam kết cao để cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái ổn định, việc đánh giá, kiểm soát, lập hồ sơ cho chính quyền và mức thù lao phù hợp hiện đang gặp nhiều thách thức. Điều này là do thiếu các công cụ giúp dễ dàng xử lý tài liệu và truy xuất nguồn gốc.

Cần phải tăng cường sự kiểm soát và sự tự tin của nông dân trong nỗ lực chăn thả ở nhiều cấp độ khác nhau. Trong những năm gần đây đã có những cải tiến công nghệ đáng kể trong việc thu thập thông tin về tình trạng sẵn có của cỏ cũng như trong việc giám sát và kiểm soát sự di chuyển của động vật để thả giống động vật chăn thả hiệu quả và bền vững hơn. Tuy nhiên, việc triển khai rộng rãi các phương pháp canh tác hiện nay và việc phát triển hơn nữa các hệ thống chăn nuôi trên đồng cỏ vẫn đang chờ xử lý.

Triển vọng cho hệ thống chăn nuôi

Những thách thức của việc chăn thả bền vững

Chăn thả gia súc ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp đến thành phần quần thể thực vật, các thông số đất và chu trình dinh dưỡng theo không gian và thời gian (Wrage và cs., 2011) bằng hành vi kiếm ăn có chọn lọc của vật ăn cỏ (Lyseng và cs., 2018), sự biến đổi không gian trong quá trình lắng đọng phân và nước tiểu (Sitters và Olde Venterink, 2021), bằng cách giẫm đạp (Pulido và cs., 2018), và phát tán hạt qua lớp lông hoặc phân của động vật (Rico và cs., 2013).

Các quá trình này ảnh hưởng đến sự khác biệt của môi trường sống quy mô nhỏ cũng như sự đa dạng và thành phần loài ở quy mô cảnh quan (Socher và cs., 2013). Đổi lại, sự không đồng nhất về không gian của các loài cỏ dẫn đến việc chăn thả ít chọn lọc hơn và cân bằng quá trình rụng lá và bổ sung chất dinh dưỡng cho cây (Dumont và cs., 2012; Pontes -Prates và cs., 2020). Để đạt được sự tương tác cân bằng tốt trên đất chăn thả động vật này đòi hỏi phải quản lý chăn thả chính xác và hiệu quả, bao gồm việc luân chuyển động vật chăn thả theo thời gian chính xác và thông tin chính xác về lượng cỏ sẵn có, cấu trúc bãi cỏ và thành phần thực vật trong không gian và thời gian. Để thả đàn gia súc chăn thả một cách chính xác và bền vững trên khắp đất nông nghiệp, người nông dân cần biết thời điểm tán cây của bãi cỏ đang ở giai đoạn tăng trưởng lý tưởng để chăn thả, còn lại bao nhiêu phần sót lại trước khi chuyển gia

súc chăn thả sang bãi khác, mất bao lâu để sử dụng tán cây cỏ cho đến chiều cao gốc phần còn lại mong muốn và mật độ thả giống thực tế cho phép cây phục hồi nhanh chóng và phân bố đồng đều để có chất lượng thức ăn thô xanh tối ưu.

Công cụ đo lượng cỏ sẵn có trên đồng cỏ

Kiến thức chính xác và đáng tin cậy về số lượng và chất lượng cỏ trên đồng cỏ là rất quan trọng để đáp ứng nhu cầu thức ăn chăn nuôi. Do đó, việc đo lường lượng cỏ sẵn có trên đồng cỏ là nhiệm vụ quan trọng nhất trong quản lý chăn thả và quyết định việc đạt được sự phân bổ bền vững tỷ lệ thả giống vật nuôi cho một khu vực đồng cỏ nhất định trong một khoảng thời gian nhất định (López-Díaz và cs., 2011). Việc đo lường thường xuyên lượng cỏ sẵn có trên toàn bộ trang trại giúp đảm bảo cung cấp đủ cỏ trong suốt mùa chăn thả và giúp xác định lượng cỏ dư thừa cũng như các bãi cỏ hoạt động kém và bị khai thác quá mức cần có các quyết định quản lý để duy trì chất lượng cỏ (Hakl và cs., 2012). Ước tính chính xác khối lượng cỏ có thể đạt được thông qua việc đánh giá khối lượng cỏ ở độ cao cắt xác định từ các ô vuông được cắt bớt, nhưng việc này tốn nhiều công sức và thời gian (López-Díaz và cs., 2011) . Để quản lý kịp thời, khối lượng cỏ có thể được đo dễ dàng bằng các kỹ thuật đơn giản như máy đo tấm tăng (RPMs) hoặc máy đo quang phổ phức tạp hơn, cung cấp dữ liệu để cải thiện quản lý chăn thả. RPMs đo chiều cao bãi cỏ bị nén của đồng cỏ (Sanderson và cs., 2001). Để có thông tin chính xác về khối lượng cỏ có sẵn tại trang trại và tốc độ phát triển của bãi cỏ, người nông dân sẽ đi qua tất cả các bãi cỏ và thực hiện tới 40 phép đo chiều cao bãi cỏ nén (CSH) trên mỗi bãi ít nhất một lần một tuần. Các ứng dụng nông nghiệp và các loại thức ăn thô xanh được coi là chuyển đổi CSH thành kg chất khô trên mỗi ha (kgDM/ha). Việc đảm bảo tính nhất quán trong việc đo lường lượng cỏ sẵn có đòi hỏi người nông dân phải có kiến thức và lao động đáng kể. Mặc dù RPM được coi là phương pháp đủ chính xác và hiệu quả để đánh giá khối lượng cỏ, nhưng nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ tin cậy, xác định sự thay đổi lớn về hàm lượng chất khô trong các biện pháp CSH (Murphy và cs., 2021; Soder và cs., 2006). Một RPM phức tạp, có bán trên thị trường với cảm biến siêu âm liên quan để đo độ che phủ cỏ chính xác là Grasshopper (TrueNorth Technologies, Shannon), được cung cấp kèm theo một Ứng dụng và một bộ tính năng lớn để quản lý việc chăn thả gia súc trong trang trại (McSweeney và cs., 2019). Tính năng GPS tích hợp cho phép nông dân lập bản đồ toàn bộ trang trại. Hơn nữa, tính năng Phân bổ cung cấp cho người nông dân, dựa trên các phép đo CSH hiện tại trên bãi nuôi và số lượng vật nuôi, hỗ trợ quyết định về vị trí đặt hàng rào dải. Thông tin chính xác về mô hình không gian và thời gian của khối lượng cỏ là một bước quan trọng hướng tới tối ưu hóa năng suất và cân bằng dinh dưỡng bền vững (Schellberg và Verbruggen, 2014). So với các phương pháp thu thập dữ liệu thông thường, các cảm biến và phương pháp dựa trên công nghệ thông tin có thể tự động thu được dữ liệu và chất lượng và khối lượng cỏ liên quan cũng như các chỉ số về tính không đồng nhất về cấu trúc và chức năng của bãi cỏ với độ phân giải không gian và thời gian cao có thể cho phép giám sát đồng cỏ chính xác và liên tục. Viễn thám là một công cụ đầy hứa hẹn để ước tính động lực học về tính sẵn có của thảm cỏ và cấu trúc môi trường sống, nhờ đó tính không đồng nhất ở quy mô nhỏ và động lực không gian-thời gian mạnh mẽ trong các hệ thống đồng cỏ thách thức các kỹ thuật viễn thám (Schmidtlein và Sassin, 2004). Các kỹ thuật viễn thám chi phí thấp và gần thời gian thực là máy đo quang phổ như GreenSeeker (Trimble Inc.), ASD FieldSpec3 (Thiết bị phân tích, quang phổ) và GeoSCOUT (Holland Scientific, Inc.). Các cảm biến phản xạ quang học tích cực này tính toán Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI) bằng cách đo độ phản xạ của tán cây giữa ánh sáng cận hồng ngoại và ánh sáng đỏ, đồng thời ước tính khối lượng cỏ (Trotter, Lamb, Donald, và Schneider, 2010). Vì các cảm biến này đã

tích hợp nguồn sáng nên cường độ phát sáng bị hạn chế và cần phải đo bằng tay hoặc gắn trên bánh xe. Máy bay không người lái (UAV) đã được sử dụng để giám sát đồng cỏ (Lopatin và cs., 2017). Máy bay không người lái có camera siêu quang trên tàu tạo ra hình ảnh quang phổ của đồng cỏ. Nghiên cứu hiện tại tập trung vào việc xác nhận ước tính khối lượng và chất lượng cỏ dựa trên UAV cho các loại đồng cỏ và chế độ quản lý khác nhau (cắt, chăn thả) bằng mô hình dự đoán. Một số nghiên cứu đã tìm ra các thuật toán dự đoán mạnh mẽ mang lại độ chính xác và độ chính xác cao nhất giữa dữ liệu phản xạ quang phổ từ camera UAV và một số thông số thực vật. Những mối tương quan này được tìm thấy đối với chiều cao tán cây đo được, sinh khối trên mặt đất (Zhang và Shao, 2021), năng suất thức ăn thô xanh (Lussem và cs., 2018), protein thô và chất xơ có tính tẩy axit (Wijesingha và cs., 2020) từ khảo sát thực địa. Những phát hiện này cho phép tạo ra các bản đồ cỏ cho biết sự thay đổi không gian về chất lượng cỏ. Hơn nữa, giám sát dựa trên viễn thám (hệ thống vệ tinh UAV, Sentinel) được trang bị cảm biến ánh sáng, quang phổ và siêu phổ, Lidar hoặc cận hồng ngoại cung cấp thông tin toàn diện để hỗ trợ các quyết định quản lý dựa trên kiến thức. Dữ liệu phổ được cung cấp về khối lượng cỏ, chất lượng cỏ và động lực của chúng cho phép đánh giá tốc độ phát triển của cỏ, hiệu suất tiềm năng của động vật về mặt sữa và thịt (Grüner và cs., 2021; Hart và cs., 2020) và tối ưu hóa thời gian và tần suất rụng lá (Taravat và cs., 2019) bằng cách điều chỉnh thả giống chăn thả gia súc.

Tuy nhiên, việc ứng dụng viễn thám vẫn chưa phổ biến trong canh tác đồng cỏ. Một thách thức đáng kể đối với việc sử dụng thực tế dữ liệu cảm biến làm cơ sở cho các quyết định quản lý là việc hợp nhất và xử lý các loại dữ liệu khác nhau và dữ liệu ở các quy mô không gian và thời gian khác nhau. Những thách thức tiếp theo vẫn là cải thiện tính mạnh mẽ của các kỹ thuật viễn thám để ước tính sinh khối và chất lượng thức ăn thô xanh cũng như sự biến đổi giữa các bãi chăn nuôi và trong nội bộ bãi chăn nuôi. Hơn nữa, việc giới thiệu rộng rãi nền tảng UAV để giám sát đồng cỏ cần phát triển các hệ thống cảm biến dựa trên UAV tiết kiệm chi phí (Bareth và Schellberg, 2018).

Công nghệ giám sát, kiểm soát việc di chuyển và phân bổ động vật

Quản lý chăn thả phức tạp đòi hỏi người nông dân phải điều chỉnh và kiểm soát chính xác vị trí của động vật cũng như kiểm soát thời gian, số lượng và số lượng chúng chăn thả. Việc thả chính xác động vật chăn thả trên khu vực chăn thả của trang trại cũng ngụ ý rằng có sự kiểm soát sự di chuyển của động vật và khả năng tiếp cận các bãi chăn thả hoặc dải chăn thả cụ thể vào những thời điểm nhất định.

Đã có những tiến bộ nhanh chóng trong chăn nuôi chăn nuôi chính xác (PLF) nhưng đổi mới kỹ thuật và thương mại hóa thường bị hạn chế ở quản lý trong nhà, chẳng hạn như hệ thống vắt sữa tự động, hệ thống cân đi bộ và hệ thống giám sát và nhận dạng bò điện tử (Gargiulo và cs., 2018); French và cs., 2015). Đối với chăn nuôi bò sữa thâm canh trong nhà, có nhiều cảm biến thương mại có sẵn dưới dạng máy ghi hoạt động để theo dõi vị trí, hành vi, lượng thức ăn ăn vào, vắt sữa, động dục và tình trạng sức khỏe của động vật. Những công cụ giám sát này chứa gia tốc kế, đồng hồ đo áp suất và micrô. Chúng được gắn vào động vật bằng cách sử dụng thẻ tai (CowManager), thiết bị ghi chân (CowScout, IceTaq), vòng cổ (ví dụ: MooMonitor+) hoặc boli bên trong (SMARTBOW) (Duncan và Meyer, 2019; Ruuska và cs., 2016). Máy thu GNSS tích hợp, máy đo gia tốc, cảm biến hoạt động, nhiệt độ và dạ cỏ cho phép người nông dân xác định chính xác từng động vật, ước tính hoạt động ăn uống và nhai lại cũng như thức ăn thô xanh và lượng nước tiêu thụ của từng động vật, giúp phát hiện động dục, tình trạng pH của dạ cỏ và điều kiện cho ăn, và cũng như các vấn đề về sức khỏe

(Herlin và cs., 2021). Do đó, đối với mỗi con vật trong đàn, người nông dân có thể nhanh chóng phát hiện bất kỳ sai lệch nhỏ nào so với hành vi bình thường của nó, thường là qua SMS hoặc Ứng dụng trên điện thoại thông minh. Tuy nhiên, việc xác nhận các cảm biến giám sát như vậy để chăn thả là rất quan trọng đối với các quyết định quản lý và ước tính từ xa hiệu suất và sức khỏe của động vật.

Hơn nữa, hệ thống cảm biến động vật cho phép phát hiện từ xa các điều kiện đồng cỏ và sự thay đổi thành phần bằng cách theo dõi những sai lệch của từng cá thể trong hành vi ăn uống và nhai lại hoặc sự thay đổi độ pH trong dạ cỏ. Những cảm biến này cung cấp thông tin bổ sung để điều chỉnh việc tiếp cận đồng cỏ và phân bổ động vật chăn thả. Tuy nhiên, đã có những tiến bộ nhanh chóng trong công nghệ theo dõi để giám sát hành vi không gian của vật nuôi do sự xuất hiện của các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu chi phí thấp (GNSS; Trotter, Lamb, Hinch, và Guppy, 2010) . Ví dụ, việc trang bị cho động vật vòng cổ nhận GPS sẽ cung cấp thông tin chi tiết về các kiểu chuyển động (Liao và cs., 2018; Schieltz và cs., 2017), động lực học nhóm (Harris và cs., 2007), mô hình sử dụng chăn thả và đồng cỏ (Beker và cs., 2010) cũng như hành vi và sức khỏe, đặc biệt là khi kết hợp với máy đo gia tốc (di Virgilio và cs., 2018; Guo và cs., 2009). Hơn nữa, máy bay không người lái có camera tích hợp và những tiến bộ nhanh chóng trong kỹ thuật phân tích hình ảnh có tiềm năng lớn để theo dõi và phân tích hành vi của động vật (Rivas và cs., 2018).

Máy bay không người lái cũng có tiềm năng to lớn để sử dụng trong chăn nuôi động vật. Tuy nhiên, nghiên cứu về phản ứng và giám sát chăn nuôi động vật đối với máy bay không người lái bị hạn chế trong các nghiên cứu gần đây của McDonnell và Torcivia (2020) và Brunberg và cs.(2020). Hiện đã có các công nghệ giúp kiểm soát việc tiếp cận chăn thả, bao gồm các cổng tự động, ví dụ như Grazeway (Lely Holding Sarl, Maassluis, Hà Lan) hoặc Bộ đếm thời gian mở cổng Batt-Latch (GrazeTech, West Ryde, Australia). Những cổng tự động này có thể được sử dụng để kiểm soát xem bò sữa có thể tiếp cận một khu vực đồng cỏ cụ thể theo thời gian được lập trình sẵn hoặc điều khiển từ xa hay không và có thể kết hợp với hệ thống vắt sữa bằng robot (Van Erp-van der Kooij và Rutter, 2020; Caja và cs., 2020). Tuy nhiên, những đổi mới này có thể giúp ích bằng cách cung cấp công nghệ để cải thiện việc chăn thả bền vững nhưng không cung cấp đủ độ chính xác để kiểm soát. Hiện tại, việc kiểm soát việc phân bổ chăn thả chỉ giới hạn ở việc làm hàng rào thông thường tốn nhiều công sức và kém linh hoạt (Klootwijk và cs., 2019).

Hàng rào ảo là một cải tiến hiện nay trong các công cụ kỹ thuật số để kiểm soát việc phân bổ động vật mà không cần thiết lập bất kỳ cột và dây hàng rào vật lý nào. Hàng rào ảo có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc thực hiện các chế độ quản lý chăn thả thân thiện với đa dạng sinh học và năng suất thông qua việc kiểm soát không gian và thời gian tinh chỉnh đối với sự di chuyển và hành vi chăn thả của động vật (Anderson, 2007; Umstatter, 2011). Hàng rào ảo cho phép hướng động vật chăn thả vào những thời điểm nhất định đến các bãi chăn thả có lợi nhất và giữ chúng tránh xa các cấu trúc môi trường sống dễ bị tổn thương kịp thời. Tầm nhìn về việc kiểm soát sự di chuyển của động vật chăn thả mà không đặt hàng rào vật lý kém linh hoạt không phải là mới. Bước đầu tiên hướng tới tầm nhìn này là sự mô tả đầu tiên về phương pháp và bộ máy điều khiển động vật bằng bằng sáng chế của Peck (1973) khoảng 50 năm trước. Dựa trên bằng sáng chế này, các thiết bị từ xa được phát triển để huấn luyện chó, vẫn được bán trên thị trường dưới các nhãn hiệu đã đăng ký như 'Hàng rào vô hình', đã được bán trên thị trường, đặc biệt là ở Hoa Kỳ. Tuy nhiên, những hệ thống đấu kiếm ảo đầu tiên này không dễ xử lý. Họ yêu cầu các cấu trúc và quy trình phát-thu phức tạp để xác định cường độ tín hiệu vô tuyến tùy thuộc vào vị trí của động vật trong một khu vực cụ thể. Hiện tại, sự phát

triển về hàng rào ảo cho chăn nuôi đã vượt xa những phát minh đầu tiên này. Giờ đây, hàng rào ảo kết hợp các kỹ thuật định vị (ví dụ: GPS) với kích thích cảnh báo trước có điều kiện và kích thích gây khó chịu để ngăn động vật vượt qua biên giới hầu như được xác định. Không có hàng rào/rào cản vật lý nào có thể nhìn thấy được. Nếu con vật tiếp cận biên giới ảo, cảnh báo trước, chủ yếu là kích thích âm thanh, bắt đầu và tăng tần số cũng như cường độ khi động vật di chuyển đến gần ranh giới ảo hơn. Nếu con vật không phản ứng với kích thích cảnh báo trước và không quay lưng lại với ranh giới ảo, thì một kích thích gây khó chịu dưới dạng xung điện yếu và ngắn hạn sẽ được đưa vào con vật (Anderson và cs., 2014).

Các kết quả sắp tới mang lại hiệu quả cao trong chăn nuôi gia súc ở một số khu vực đồng cỏ nhất định, cùng với việc không có tác động tiêu cực rõ ràng nào đến hành vi và phúc lợi của động vật, hoặc đến năng suất của động vật (tức là không có tác động bất lợi đến việc tăng khối lượng) là đầy hứa hẹn (Aaser và cs., 2022; Campbell và cs., 2019, 2020 ; Lomax và cs., 2019). Lợi ích nông học và sinh thái của VF đối với cả hệ thống sản xuất thâm canh và quảng canh vẫn cần được đánh giá trong các điều kiện sinh thái và kinh tế xã hội khác nhau của các trang trại chăn nuôi bò sữa và bò thịt trên các hệ thống chăn thả khác nhau. Tuy nhiên, sự đổi mới của nó có thể trở thành một công cụ có giá trị để sử dụng trong việc điều chỉnh việc chăn thả động vật phù hợp với động lực không gian, thời gian trong sự sẵn có của cỏ và cấu trúc môi trường sống, một cách linh hoạt và linh hoạt, bằng cách di chuyển các đường viền ảo bằng cách gửi tọa độ kinh độ và vĩ độ mới đến bộ thu GPS. ở cổ của mỗi con vật thông qua ứng dụng điện thoại thông minh. Hơn nữa, hàng rào ảo có thể làm giảm đầu vào lao động dẫn đến quỹ thời gian cao hơn cho các hoạt động kinh tế khác và cải thiện sự cân bằng giữa công việc và cuộc sống cho nông dân (Anderson, 2007; Lomax và cs., 2019). VF cũng có thể là cơ hội để triển khai chăn thả ở những khu vực trước đây bị bỏ hoang, môi trường sống được bảo vệ nơi hàng rào vật lý bị cấm (Monod và cs., 2009), khu vực ven sông (Campbell và cs., 2019), vùng đất hoang (Umstatter, 2011), hoặc các địa điểm dễ bị xói mòn đất (Marini và cs., 2018) hoặc những địa điểm có khả năng gây nguy hiểm cho động vật như vách đá, đầm lầy, hầm mỏ cũ (thông tin cá nhân Alan Hopkins). Tiềm năng của VF trong việc phân bổ chăn thả kịp thời và chính xác về mặt không gian là rất lớn. Tuy nhiên, khả năng tồn tại về mặt kinh tế và sự chấp nhận của chính quyền và công chúng vẫn cần được chứng minh và hỗ trợ, đồng thời xác định rõ ranh giới để sử dụng đúng cách.

Công cụ hỗ trợ ra quyết định về chăn thả và quản lý đàn

Mặc dù việc thu thập dữ liệu rộng rãi bằng công nghệ cảm biến đã được phát triển tốt nhưng vẫn cần có các công cụ thân thiện với người dùng để phân tích dữ liệu từ các danh mục khác nhau và trích xuất thông tin hữu ích cho các quyết định quản lý. Một loạt các hệ thống hỗ trợ quyết định và công cụ phần mềm quản lý đàn khác nhau đã có sẵn ở một số quốc gia. Những công cụ này hỗ trợ nông dân đánh giá và trực quan hóa lượng cỏ sẵn có trên trang trại, lập ngân sách cho lượng cỏ sẵn có và quản lý tỷ lệ thả giống gia súc chăn thả trong bãi của trang trại. Các công cụ hỗ trợ quyết định tạo điều kiện thuận lợi cho việc quản lý tại trang trại bằng cách thể hiện trực quan các loại rác có sẵn tại trang trại hầu hết đã được khởi xướng ở Úc, New Zealand và Ireland. Những công cụ này thường xuyên sử dụng dữ liệu đo cỏ hàng tuần của nông dân và kết hợp thông tin khí hậu dài hạn, đồng cỏ, báo cáo giám sát lớp phủ mặt đất, dữ liệu về độ xói mòn của đất, hình ảnh vệ tinh và mô hình dự đoán sự phát triển của cỏ để cung cấp thông tin ở quy mô tài sản về tính sẵn có của cỏ.

Hơn nữa, nó còn chứa một số tính năng bổ sung, chẳng hạn như máy tính Hiệu quả sử dụng nitơ và công cụ lập kế hoạch nitơ để quản lý nitơ tốt hơn. Hơn nữa, nó tích hợp công cụ lập bản đồ Trang trại để cho phép dễ dàng lập hồ sơ nguồn cung cấp cỏ của trang trại cũng như

mô hình MoSt GG (mô hình tăng trưởng cỏ Gilles; Ruelle và cs., 2018) để cung cấp các dự đoán về sự phát triển cỏ cụ thể của trang trại ở cấp độ bãi nuôi theo dữ liệu về thời tiết, đất đai và quản lý. Đối với Ireland, tồn tại các công cụ quản lý phù hợp theo mùa và tiết kiệm chi phí, chẳng hạn như Công cụ lập kế hoạch luân chuyển mùa xuân (SRP, Teagasc). Công cụ này giúp nông dân chia diện tích đồng cỏ của trang trại thành các phần hàng tuần trong mùa xuân, khi tốc độ tăng trưởng của cỏ thường thấp hơn nhu cầu dinh dưỡng của bò. VegMachine® là một công cụ trực tuyến sử dụng hình ảnh vệ tinh để tóm tắt những thay đổi trong nhiều thập kỷ ở vùng đất chăn thả gia súc của Úc bằng cách xử lý các báo cáo giám sát dài hạn về độ che phủ mặt đất, sự thay đổi độ che phủ đất và tốc độ xói mòn đất (Beutel và cs., 2019). Công cụ chăn thả này được điều chỉnh theo tiêu chuẩn kích thước đồng ruộng cho chăn nuôi bò sữa và bò thịt của Úc.

Hơn nữa, còn có các công cụ phần mềm quản lý chăn nuôi được bán trên thị trường để hỗ trợ nông dân quản lý, theo dõi và ghi lại vật nuôi của họ từ khi sinh ra cho đến khi bán. Phần mềm quản lý vật nuôi có sẵn trên thị trường như Ranch Manager®, CattlePro® và MiHub® giúp quản lý và theo dõi số lượng vật nuôi trong trang trại, ID và vị trí, phả hệ và chăn nuôi của động vật. Những công cụ này cũng hỗ trợ nông dân quản lý và ghi chép ngày đến hạn, xử lý và bán hàng. Hơn nữa, các công cụ phần mềm này theo dõi và phân tích hiệu suất của vật nuôi và đàn về mức tăng trọng của vật nuôi, đồng thời xác định những con có hiệu suất cao nhất và kém nhất bằng các biểu diễn trực quan đơn giản, tính toán chi phí và lượng thức ăn mà vật nuôi tiêu thụ và từ đó cho phép nông dân thực hiện theo dõi tài chính về hoạt động chăn nuôi của họ.

Tất cả những công cụ sẵn có này có thể giúp hiểu rõ hơn về vùng đất chăn thả, quản lý tỷ lệ thả giống và hiểu rõ hơn về tác động của các quyết định quản lý đối với lượng cỏ sẵn có và hiệu suất của vật nuôi. Tuy nhiên, rất ít nông dân sử dụng chúng cho công việc kinh doanh hàng ngày của họ (Eastwood và cs., 2019; Nuthall, 2012). Điều này có thể là do các công cụ hỗ trợ ra quyết định mới đã thất bại trong việc thuyết phục nông dân về lợi ích kinh tế, tính tương thích với các thông lệ tiêu chuẩn của họ và những nỗ lực có thể quản lý được để hiểu, thực hiện và quản lý (Rogers, 2003). Tuy nhiên, những cách thức mới cần được khám phá để canh tác trên đồng cỏ được thông tin tốt hơn. Việc lưu trữ, xử lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu cấu trúc nông học của đồng cỏ và tỷ lệ thả giống động vật, lượng thức ăn thô xanh và hiệu suất của động vật đều yêu cầu hệ thống hỗ trợ quyết định và quản lý thông tin dựa trên phần mềm có thể tích hợp dữ liệu được tạo từ nhiều nguồn khác nhau vào tính toán chế độ chăn thả tối ưu trong không gian. và thời gian (Sturm và cs., 2018). Về cơ bản, việc giám sát thông tin sinh thái và nông học trên đồng cỏ thông qua viễn thám tạo ra lượng lớn dữ liệu phải được nén thành các biểu đồ và bản đồ dễ hiểu và dễ quản lý. Theo hiểu biết của chúng tôi, một hệ thống hỗ trợ quyết định nhằm tối ưu hóa việc thả giống động vật chăn thả cũng như các kết quả nông học và sinh thái bằng cách tích hợp và phân tích nhiều dữ liệu ở độ phân giải không gian và thời gian cao hiện chưa tồn tại và không dễ đạt được. Tuy nhiên, những công cụ như vậy sẽ cung cấp cho người nông dân kiến thức và hỗ trợ đầy đủ để quản lý chăn thả tinh vi và bền vững trong hệ thống sản xuất của họ và do đó làm tăng sự tự tin của họ trong các quyết định quản lý chăn thả. Hơn thế nữa, 2018) và nhu cầu về chính sách trợ cấp hoàn toàn hướng đến hàng hóa công ngày càng trở nên phổ biến trong xã hội châu Âu (Pe'Er và cs., 2019), các hệ thống hỗ trợ quyết định như vậy cũng có tiềm năng tạo điều kiện thuận lợi cho việc lập hồ sơ, truy xuất nguồn gốc và chứng nhận của quá trình sản xuất cho chính quyền và người tiêu dùng (Franke và cs., 2012). Điều này có khả năng cải thiện việc cung cấp hiệu quả các dịch vụ hệ sinh thái khác nhau.

KẾT LUẬN

Sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ canh tác đổi mới có thể nâng cao, cải thiện và đưa công tác quản lý chăn thả gia súc lên một tầm cao mới trong thời đại kỹ thuật số. Tuy nhiên, bất kỳ công nghệ mới nào cũng phải được kiểm tra và xác nhận toàn diện. Hơn nữa, các công nghệ chủ chốt cần phải được tích hợp vào một hệ thống khả thi về mặt kinh tế và sinh thái trước khi phổ biến rộng rãi cho nông dân. Không có hệ thống tổng thể nào tích hợp đầy đủ công nghệ tiên tiến trong quản lý chăn thả gia súc chính xác và giám sát đồng cỏ chính xác vào một hệ thống có thể được sử dụng để giám sát và quản lý tất cả các yếu tố thúc đẩy trong hệ thống chăn thả. Ngay sau khi những cải tiến này trong công nghệ theo dõi và kiểm soát chuyển động của động vật cũng như viễn thám được tích hợp vào một hệ thống tiết kiệm chi phí. Để đạt được các khái niệm quản lý chăn thả toàn diện và dựa trên kiến thức có thể nâng cao và duy trì năng suất, các dịch vụ hệ sinh thái và phúc lợi động vật từ chăn nuôi chăn thả, tập trung vào phát triển và nghiên cứu công nghệ nông nghiệp thông minh cũng như nỗ lực chuyển giao kiến thức có sự tham gia của tất cả các bên liên quan đến đồng cỏ là rất cần thiết. Công nghệ hàng rào ảo và viễn thám tiên tiến hứa hẹn nhất cho việc phát triển các khái niệm chăn thả cải tiến nhằm thiết lập các mô hình chăn thả theo không gian và thời gian linh hoạt và tối ưu hóa cho gia súc trên khắp cảnh quan. Hơn nữa, các công cụ hỗ trợ ra quyết định dễ xử lý tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau để ra quyết định về chiến lược chăn thả tốt nhất theo các hạn chế của trang trại và đồng cỏ thực tế, đồng thời nâng cao tài liệu, truy xuất nguồn gốc, chứng nhận quy trình sản xuất . Nhìn chung, các khái niệm quản lý toàn diện và dựa trên kiến thức công nghệ có khả năng tăng cường và cải thiện việc chăn thả vật nuôi bền vững bằng cách mang lại sự tự tin và khả năng kiểm soát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Aaser, M. F., Staahltoft, S. K., Korsgaard, A. H., Trige-Esbensen, A., Alstrup, A. K. O., Sonne, C., Pertoldi, C., Bruhn, D., Frikke, J., and Linder, A. C. 2022. Is virtual fencing an effective way of enclosing cattle? Personality, herd behaviour and welfare. Animals, 12(7), 842.

Anderson, D. M. 2007. Virtual fencing—Past, present and future. The Rangeland Journal, 29, 65–

Anderson, D. M., Estell, R. E., Holechek, J. L., Ivey, S., and Smith, G. B. (2014). Virtual herding for flexible livestock management—A review. The Rangeland Journal, 36(3), 205–221.

Archer, S. R., Andersen, E. M., Predick, K. I., Schwinning, S., Steidl, R. J., and Woods, S. R. 2017. Woody plant encroachment: Causes and consequences. In Rangeland systems (pp. 25–84). Springer.

Archer, S., and Stokes, C. 2000. Stress, disturbance and change in rangeland ecosystems. In Rangeland desertification (pp. 17–38). Springer.

Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. Remote Sensing, 5(2), 949–981.

Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H., and Trotter, M. 2019. The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 156, 459–466.

Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., Chomel, M., Durigan, G., L. Fry, E., Johnson, D., Lavallee, J. M., le Provost, G., Luo, S., Png, K., Sankaran, M., Hou, X., Zhou, H., Ma, L., Ren, W., … and Shi, H. 2021. Combatting global grassland degradation. Nature Reviews Earth and Environment, 2(10), 720–735.

Bareth, G., and Schellberg, J. 2018. Replacing manual rising plate meter measurements with low-cost UAV-derived sward height data in grasslands for spatial monitoring. PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 86(3), 157–168.

Beker, A., Gipson, T. A., Puchala, R., Askar, A. R., Tesfai, K., Detweiler, G. D., Asmare, A., and Goetsch, A. L. 2010. Energy expenditure and activity of different types of small ruminants grazing varying pastures in the summer. Journal of Applied Animal Research, 37(1), 1–14.

Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P. J., Smith, H. G., and Lindborg, R. 2019. Grasslands—More important for ecosystem services than you might think. Ecosphere, 10(2), e02582.

Beutel, T. S., Trevithick, R., Scarth, P., and Tindall, D. 2019. VegMachine. Net. Online land cover analysis for the Australian rangelands. The Rangeland Journal, 41(4), 355–362.

Blair, J., Nippert, J., and Briggs, J. 2014. Grassland ecology 14. Ecology and the Environment, 389, 389–423.

Brunberg, E., Eythórsdóttir, E., Dýrmundsson, Ó. R., and Grøva, L. 2020. The presence of Icelandic leadersheep affects flock behaviour when exposed to a predator test. Applied Animal Behaviour Science, 232, 105128.

Burney, J. A., Davis, S. J., and Lobell, D. B. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107, 12052–12057.

Burow, E., Rousing, T., Thomsen, P. T., Otten, N. D., and Sørensen, J. T. 2013. Effect of grazing on the cow welfare of dairy herds evaluated by a multidimensional welfare index. Animal, 7(5), 834–842.

Caja, G., Castro-Costa, A., Salama, A. A., Oliver, J., Baratta, M., Ferrer, C., and Knight, C. H. 2020. Sensing solutions for improving the performance, health and wellbeing of small ruminants. Journal of Dairy Research, 87(S1), 34–46.

Campbell, D. L., Lea, J. M., Keshavarzi, H., and Lee, C. 2019. Virtual fencing is comparable to electric tape fencing for cattle behavior and welfare. Frontiers in Veterinary Science, 445.

Campbell, D. L., Ouzman, J., Mowat, D., Lea, J. M., Lee, C., and Llewellyn, R. S. 2020. Virtual fencing technology excludes beef cattle from an environmentally sensitive area. Animals, 10(6), 1069.

Cooper, S. D., Roy, D. P., Schaaf, C. B., and Paynter, I. 2017. Examination of the potential of terrestrial laser scanning and structure-from-motion photogrammetry for rapid nondestructive field measurement of grass biomass. Remote Sensing, 9(6), 531.

Curran, J., Delaby, L., Kennedy, E., Murphy, J. P., Boland, T. M., and O'Donovan, M. 2010. Sward characteristics, grass dry matter intake and milk production performance are affected by pre-grazing herbage mass and pasture allowance. Livestock Science, 127(2–3), 144–154.

Dumont, B., Rossignol, N., Loucougaray, G., Carrère, P., Chadoeuf, J., Fleurance, G., Bonis, A., Farruggia, A., Gaucherand, S., Ginane, C., Louault, F., Marion, B., Mesléard, F., and Yavercovski, N. 2012. When does grazing generate stable vegetation patterns in temperate pastures? Agriculture, Ecosystems and Environment, 153, 50–56.

Duncan, N. B., and Meyer, A. M. 2019. Locomotion behavior changes in peripartum beef cows and heifers. Journal of Animal Science, 97(2), 509–520.

Eastwood, C., Ayre, M., Nettle, R., and Rue, B. D. 2019. Making sense in the cloud: Farm advisory services in a smart farming future. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 90, 100298.

FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Database.

FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Database.

FAO. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Database.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Dairy Federation. IFCN Dairy Research Center. (2014). World mapping of animal feeding systems in the dairy sector. FAO, IDF and IFCN.

Franke, J., Keuck, V., and Siegert, F. 2012. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. Journal for Nature Conservation, 20, 125–134.

French, P., OBrien, B., and Shalloo, L. 2015. Development and adoption of new technologies to increase the efficiency and sustainability of pasture-based systems. Animal Production Science, 55, 931–935.

Fricke, T., Richter, F., and Wachendorf, M. 2011. Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. Computers and Electronics in Agriculture, 79, 142–152.

Gang, C., Zhou, W., Chen, Y., Wang, Z., Sun, Z., Li, J., Qi, J., and Odeh, I. 2014. Quantitative assessment of the contributions of climate change and human activities on global grassland degradation. Environmental Earth Sciences, 72(11), 4273–4282.

Gargiulo, J. I., Eastwood, C. R., Garcia, S. C., and Lyons, N. A. 2018. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. Journal of Dairy Science, 101(6), 5466–5473.

Gibbs, H. K., and Salmon, J. M. 2015. Mapping the world's degraded lands. Applied Geography, 57, 12–21.

Godde, C. M., Garnett, T., Thornton, P. K., Ash, A. J., and Herrero, M. 2018. Grazing systems expansion and intensification: Drivers, dynamics, and trade-offs. Global Food Security, 16, 93–105.

Grüner, E., Astor, T., and Wachendorf, M. 2021. Prediction of biomass and N fixation of legume–grass mixtures using sensor fusion. Frontiers in Plant Science, 2192.

Guo, Y., Poulton, G., Corke, P., Bishop-Hurley, G. J., Wark, T., and Swain, D. L. 2009. Using accelerometer, high sample rate GPS and magnetometer data to develop a cattle movement and behaviour model. Ecological Modelling, 220(17), 2068–2075.

Hakl, J., Hrevušová, Z., Hejcman, M., and Fuksa, P. 2012. The use of a rising plate meter to evaluate lucerne (Medicago sativa L.) height as an important agronomic trait enabling yield estimation. Grass and Forage Science, 67(4), 589–596.

Harris, N. R., Johnson, D. E., McDougald, N. K., and George, M. R. 2007. Social associations and dominance of individuals in small herds of cattle. Rangeland Ecology and Management, 60(4), 339–349.

Hart, L., Huguenin-Elie, O., Latsch, R., Simmler, M., Dubois, S., and Umstatter, C. 2020. Comparison of spectral reflectance-based smart farming tools and a conventional approach to determine herbage mass and grass quality on farm. Remote Sensing, 12(19), 3256.

Herlin, A., Brunberg, E., Hultgren, J., Högberg, N., Rydberg, A., and Skarin, A. (2021). Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. Animals, 11(3), 829.

Hoque, M., Mondal, S., and Bisht, D. 2022. Sustainable livestock production and biodiversity. In Emerging issues in climate smart livestock production (pp. 91–108). Academic Press.

Johansen, L., Taugourdeau, S., Hovstad, K. A., and Wehn, S. 2019. Ceased grazing management changes the ecosystem services of semi-natural grasslands. Ecosystems and People, 15(1), 192–203.

Kapás, R. E., Plue, J., Kimberley, A., and Cousins, S. A. 2020. Grazing livestock increases both vegetation and seed bank diversity in remnant and restored grasslands. Journal of Vegetation Science, 31(6), 1053–1065.

Kayser, M., Müller, J., and Isselstein, J. 2018. Grassland renovation has important consequences for C and N cycling and losses. Food and Energy Security, 7(4), e00146.

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., and Van Der Putten, W. H. 2019. Ecological intensification: Bridging the gap between science and practice. Trends in Ecology and Evolution, 34(2), 154–166.

Klootwijk, C. W., Holshof, G., de Boer, I. J. M., Van den Pol-Van Dasselaar, A., Engel, B., and Van Middelaar, C. E. 2019. Correcting fresh grass allowance for rejected patches due to excreta in intensive grazing systems for dairy cows. Journal of Dairy Science, 102, 10451–10459.

Lark, T. J. 2020. Protecting our prairies: Research and policy actions for conserving America's grasslands. Land Use Policy, 97, 104727.

Leroy, G., Hoffmann, I., From, T., Hiemstra, S. J., and Gandini, G. 2018. Perception of livestock ecosystem services in grazing areas. Animal, 12(12), 2627–2638.

Liao, C., Clark, P. E., Shibia, M., and DeGloria, S. D. 2018. Spatiotemporal dynamics of cattle behavior and resource selection patterns on East African rangelands: Evidence from GPS-tracking. International Journal of Geographical Information Science, 32(7), 1523–1540.

Lomax, S., Colusso, P., and Clark, C. E. 2019. Does virtual fencing work for grazing dairy cattle? Animals, 9(7), 429.

Lopatin, J., Fassnacht, F. E., Kattenborn, T., and Schmidtlein, S. 2017. Mapping plant species in mixed grassland communities using close range imaging spectroscopy. Remote Sensing of Environment, 201, 12–23.

López-Díaz, J. E., Roca-Fernández, A., and González-Rodríguez, A. 2011. Measuring herbage mass by non-destructive methods: A review. Journal of Agricultural Science and Technology A, 1(7), 303–314.

Lussem, U., Bolten, A., Gnyp, M. L., Jasper, J., and Bareth, G. (2018). Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 1215–1219.

Lussem, U., Bolten, A., Menne, J., Gnyp, M. L., Schellberg, J., and Bareth, G. (2019). Estimating biomass in temperate grassland with high resolution canopy surface models from UAV-based RGB images and vegetation indices. Journal of Applied Remote Sensing, 13(3), 034525.

Lyseng, M. P., Bork, E. W., Hewins, D. B., Alexander, M. J., Carlyle, C. N., Chang, S. X., and Willms, W. D. (2018). Long-term grazing impacts on vegetation diversity, composition, and exotic species presence across an aridity gradient in northern temperate grasslands. Plant Ecology, 219(6), 649–663.

Manning, P., Van Der Plas, F., Soliveres, S., Allan, E., Maestre, F. T., Mace, G., … Fischer, M. (2018). Redefining ecosystem multifunctionality. Nature Ecology and Evolution, 2(3), 427–436.

Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S., and Lee, C. 2018. Controlling within-field sheep movement using virtual fencing. Animals, 8(3), 31.

Martens, S. D., Tiemann, T. T., Bindelle, J., Peters, M., and Lascano, C. E. 2012. Alternative plant protein sources for pigs and chickens in the tropics–nutritional value and constraints: A review. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, 113(2), 101–123.

McDonnell, S., and Torcivia, C. 2020. Preliminary proof of the concept of wild (feral) horses following light aircraft into a trap. Animals, 10(1), 80.

McSweeney, D., Coughlan, N. E., Cuthbert, R. N., Halton, P., and Ivanov, S. (2019). Micro-sonic sensor technology enables enhanced grass height measurement by a rising plate meter. Information Processing in Agriculture, 6(2), 279–284.

Michalk, D. L., Kemp, D. R., Badgery, W. B., Wu, J., Zhang, Y., and Thomassin, P. J. (2019). Sustainability and future food security—A global perspective for livestock production. Land Degradation and Development, 30(5), 561–573.

Moeckel, T., Safari, H., Reddersen, B., Fricke, T., and Wachendorf, M. 2017. Fusion of ultrasonic and spectral sensor data for improving the estimation of biomass in grasslands with heterogeneous sward structure. Remote Sensing, 9(1), 98.

Monod, M. O., Faure, P., Moiroux, L., and Rameau, P. 2009. Stakeless fencing for mountain pastures. Journal of Farm Management, 13(10), 23–30.

Murphy, D. J., O'Brien, B., Hennessy, D., Hurley, M., and Murphy, M. D. 2021. Evaluation of the precision of the rising plate meter for measuring compressed sward height on heterogeneous grassland swards. Precision Agriculture, 22(3), 922–946.

Navarro, L. M., and Pereira, H. M. (2015). Rewilding abandoned landscapes in Europe. In Rewilding european landscapes (pp. 3–23). Springer.

Nuthall, P. L. (2012). The intuitive world of farmers–the case of grazing management systems and experts. Agricultural Systems, 107, 65–73.

OECD/FAO. 2020. OECD-FAO agricultural outlook 2020–2029 (summary). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ece4ff0c-en

Peck, R. M. 1973. Method and apparatus for controlling an animal. U.S. patent 3,753,421, 6 pp., Int. Cl. A01K 15/00.

Pe'Er, G., Zinngrebe, Y., Moreira, F., Sirami, C., Schindler, S., Müller, R., Bontzorlos, V., Clough, D., Bezak, P., Bonn, A., Hans-Jürgens, B., Lomba, A., Möckel, S., Passoni, G., Schleyer, C., Schmidt, J., and Lakner, S. 2019. A greener path for the EU common agricultural policy. Science, 365(6452), 449–451.

van den Pol-van Dasselaar, A., Hennessy, D., and Isselstein, J. 2020. Grazing of dairy cows in Europe—An in-depth analysis based on the perception of grassland experts. Sustainability, 12(3), 1098.

Pontes-Prates, A., de Faccio Carvalho, P. C., and Laca, E. A. 2020. Mechanisms of grazing management in heterogeneous swards. Sustainability, 12(20), 8676.

Pulido, M., Schnabel, S., Lavado Contador, J. F., Lozano-Parra, J., and González, F. 2018. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. Land Degradation and Development, 29(2), 219–230.

Riaboff, L., Shalloo, L., Smeaton, A. F., Couvreur, S., Madouasse, A., and Keane, M. T. 2022. Predicting livestock behaviour using accelerometers: A systematic review of processing techniques for ruminant behaviour prediction from raw accelerometer data. Computers and Electronics in Agriculture, 192, 106610.

Rico, Y., Boehmer, H. J., and Wagner, H. H. (2013). Effect of rotational shepherding on demographic cand genetic connectivity of calcareous grassland plants. Conservation Biology, 28, 467–477.

Rivas, A., Chamoso, P., González-Briones, A., and Corchado, J. M. 2018. Detection of cattle using drones and convolutional neural networks. Sensors, 18(7), 2048.

Rogers, E. (2003). Diffusion of innovations (5th ed.). Free Press.

Ruelle, E., Hennessy, D., and Delaby, L. 2018. Development of the Moorepark St Gilles grass growth model (MoSt GG model): A predictive model for grass growth for pasture based systems. European Journal of Agronomy, 99, 80–91.

Ruuska, S., Kajava, S., Mughal, M., Zehner, N., and Mononen, J. 2016. Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. Applied Animal Behaviour Science, 174, 19–23.

Sanderson, M. A., Rotz, C. A., Fultz, S. W., and Rayburn, E. B. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. Agronomic Journal, 93(6), 1281–1286.

Schellberg, J., Hill, M. J., Gerhards, R., Rothmund, M., and Braun, M. 2008. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. European Journal of Agronomy, 29, 59–71.

Schellberg, J., and Verbruggen, E. 2014. Frontiers and perspectives on research strategies in grassland technology. Crop and Pasture Science, 65(6), 508–523.

Schieltz, J. M., Okanga, S., Allan, B. F., and Rubenstein, D. I. 2017. GPS tracking cattle as a monitoring tool for conservation and management. African Journal of Range and Forage Science, 34(3), 173–177.

Schmidtlein, S., and Sassin, J. (2004). Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery. Remote Sensing of Environment, 92(1), 126–138.

Scurlock, J. M. O., and Hall, D. O. 1998. The global carbon sink: A grassland perspective. Global Change Biology, 4(2), 229–233.

Sitters, J., and Olde Venterink, H. 2021. Stoichiometric impact of herbivore dung versus urine on soils and plants. Plant and Soil, 462(1), 59–65.

Socher, S. A., Prati, D., Boch, S., Müller, J., Baumbach, H., Gockel, S., Hemp, A., Schöning, I., Wells, K., Buscot, F., Kalko, E. K. V., Linsenmair, K. E., Schulze, E. D., Weisser, W. W., and Fischer, M. 2013. Interacting effects of fertilization, mowing and grazing on plant species diversity of 1500 grasslands in Germany differ between regions. Basic and Applied Ecology, 14(2), 126–136.

Soder, K. J., Sanderson, M. A., Stack, J. L., and Muller, L. D. 2006. Intake and performance of lactating cows grazing diverse forage mixtures. Journal of Dairy Science, 89(6), 2158–2167.

Sturm, A., Drechsler, M., Johst, K., Mewes, M., and Wätzold, F. 2018. DSS-Ecopay—A decision support software for designing ecologically effective and cost-effective Agri-environment schemes to conserve endangered grassland biodiversity. Agricultural Systems, 161, 113–116.

Taravat, A., Wagner, M. P., and Oppelt, N. 2019. Automatic grassland cutting status detection in the context of spatiotemporal Sentinel-1 imagery analysis and artificial neural networks. Remote Sensing, 11(6), 711.

Trotter, M. G., Lamb, D. W., Donald, G. E., and Schneider, D. A. 2010. Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture. Crop and Pasture Science, 61(5), 389–398.

Trotter, M. G., Lamb, D. W., Hinch, G. N., and Guppy, C. N. 2010. Global navigation satellite systems (GNSS) livestock tracking: System development and data interpretation. Animal Production Science, 50, 616–623.

Umstatter, C. 2011. The evolution of virtual fences: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 75, 10–22.

Ungar, E. D., Nevo, Y., Baram, H., and Arieli, A. 2018. Evaluation of the IceTag leg sensor and its derivative models to predict behaviour, using beef cattle on rangeland. Journal of Neuroscience Methods, 300, 127–137.

Ungar, E. D., and Rutter, S. M. 2006. Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER behaviour recorder and acoustic techniques. Applied Animal Behaviour Science, 98(1–2), 11–27.

Van Erp-van der Kooij, E., and Rutter, S. M. 2020. Using precision farming to improve animal welfare. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 15, 1–10.

Varga, A., Demeter, L., Ulicsni, V., Öllerer, K., Biró, M., Babai, D., and Molnár, Z. 2020. Prohibited, but still present: Local and traditional knowledge about the practice and impact of forest grazing by domestic livestock in Hungary. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 16(1), 1–12.

di Virgilio, A., Morales, J. M., Lambertucci, S. A., Shepard, E. L., and Wilson, R. P. 2018. Multi-dimensional precision livestock farming: A potential toolbox for sustainable rangeland management. PeerJ, 6, e4867.

Wachendorf, M., Fricke, T., and Möckel, T. 2018. Remote sensing as a tool to assess botanical composition, structure, quantity and quality of temperate grasslands. Grass and Forage Science, 73(1), 1–14.

Weiss, F., and Leip, A. 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector. A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. Agriculture, Ecosystems and Environment, 149, 124–134.

Werling, B. P., Dickson, T. L., Isaacs, R., Gaines, H., Gratton, C., Gross, K. L., Liere, H., Malmstrom, C. M., Meehan, T. D., Ruan, L., Robertson, B. A., Robertson, G. P., Schmidt, T. M., Schrotenboer, A. C., Teal, T. K., Wilson, J. K., and Landis, D. A. 2014. Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(4), 1652–1657.

White, R., Murray, S., and Rohweder, M. 2000. Pilot analysis of global ecosystems (PAGE): Grassland ecosystems. World Resources Institute (WRI).

Wijesingha, J., Astor, T., Schulze-Brüninghoff, D., Wengert, M., and Wachendorf, M. 2020. Predicting forage quality of grasslands using UAV-borne imaging spectroscopy. Remote Sensing, 12(1), 126.

Wijesingha, J., Moeckel, T., Hensgen, F., and Wachendorf, M. 2019. Evaluation of 3D point cloud-based models for the prediction of grassland biomass. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 78, 352–359.

Wilsey, B. 2018. The biology of grasslands. Oxford University Press.

Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, H. M., Isselstein, J., and Kayser, M. 2011. Phytodiversity of temperate permanent grasslands: Ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. Biodiversity and Conservation, 20, 3317–3339.

Zhang, Y., and Shao, Z. 2021. Assessing of urban vegetation biomass in combination with LiDAR and high-resolution remote sensing images. International Journal of Remote Sensing, 42(3), 964–985.

ABSTRACT

Technology-based grazing management to utilize the potential of grasslands in a sustainable way

Grassland degradation has been observed worldwide and is often the result of overexploitation or abandonment. Precise and knowledge-based grazing management is required to utilize the potential of grasslands in a sustainable manner. Information gaps lead to inefficiencies in rangeland management and ecosystem service provision. Rapid advances in automated sensors and information technology to collect information on grass availability, control animal grazing behavior, and establish data-driven decision support tools Is there any possibility of improving grazing management? Information technology-based sensors and methods enable the acquisition of spatio-temporal dynamics of turf volume and quality as well as turf structure and vegetation composition automatically. These monitoring methods allow precise spatial and temporal adjustment of forage intake and stocking density. Virtual Fence (VF) is an advanced digital tool for fine-tuning the spatial and temporal control of grazing animals. VF allows farmers to dynamically and flexibly adjust grazing by moving virtual contours on the mobile user interface and sending new coordinates to the GPS receiver on each animal's VF collar. VF promises to be highly effective with no apparent negative impact on animal welfare. The potential of VF is huge, but the ability to widely apply it in practice requires the participation of managers, the support of livestock farmers and the calculation of economic efficiency. A decision support system that optimizes grazing management as well as agronomic and ecological outcomes by integrating and analyzing multiple data at high spatial and temporal resolution can provide sufficient knowledge and confidence in grazing management decisions. Integrating key technologies into an overall concept can take grazing management to the next level.

Keywords: *Technology, pasture, management, grazing, use, sustainability*

Ngày nhận bài: 02/10/2023

Ngày chấp nhận đăng: 30/10/2023