



Đánh giá những thành tựu trong việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi đối với đồng cỏ chăn thả

Nguyễn Văn Quang

Viện Chăn nuôi

TÓM TẮT

Mục đích của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi là cung cấp các giống cây trồng làm tăng năng suất thông qua việc cải thiện năng suất theo mùa hàng năm, duy trì năng suất ở cây lâu năm và giá trị dinh dưỡng thức ăn chăn nuôi. Việc lai tạo thường thực hiện trong các thử nghiệm thực địa được kiểm soát chặt chẽ với từng cây hoặc từng hàng. Tuy nhiên, mối tương quan giữa các giá trị đặc điểm giữa các thử nghiệm cây trồng cách nhau và các bãi cỏ chăn nuôi thường thấp và không đáng kể. Tính di truyền của các đặc điểm, thước đo về khả năng đạt được lợi ích từ việc lai tạo cây trồng có thể ở mức trung bình đến cao đối với nhiều đặc điểm. Mức tăng trưởng di truyền cao nhất về năng suất thức ăn chăn nuôi được đo lường trong các thử nghiệm nhỏ dao động từ 6% đến 15%. Mỗi thập kỷ tùy thuộc vào loài cho thấy những cải thiện đáng kể đã đạt được. Kết quả từ một số thử nghiệm chăn thả quy mô trang trại nhỏ cho thấy hiệu suất của động vật tăng trưởng là rõ rệt nhưng một số khác, đặc biệt là với bò sữa, không cho thấy lợi thế đối với các giống cây trồng được cải tiến. Các yếu tố góp phần vào điều này bao gồm các khía cạnh của quản lý hệ thống, thiết kế thử nghiệm hệ thống hoặc mục tiêu lai tạo và hệ thống đánh giá. Sự xuất hiện của các áp lực về môi trường; số liệu thống kê không đủ và các tương tác mở rộng quy mô hạn chế hoặc làm loãng biểu hiện đặc điểm. Một số yếu tố được xác định ở trên cần được xem xét khi các hệ thống đánh giá phát triển để ứng phó với các yếu tố kinh tế, khí hậu và quy định đang thay đổi ảnh hưởng đến hoạt động canh tác đồng cỏ.

Từ khóa: Quy mô trang trại, lợi ích di truyền, hệ thống chăn thả, tính di truyền, giá trị dinh dưỡng

Giới thiệu

Việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi đã là một chiến lược nghiên cứu và phát triển quan trọng để cung cấp đồng cỏ cải tiến làm thức ăn chăn nuôi trong hơn 100 năm qua (Harlan, 1992; Humphreys, 2005; Casler và Vogel, 2020; Bouton, 2023). Giai đoạn thuần hóa của một loài thực vật phần lớn xác định các phương pháp lai tạo sẽ được sử dụng để có những tiến bộ và cải tiến hơn nữa (Breese và Hayward, 1972). Thách thức đối với các loài thực vật được sử dụng làm thức ăn cho động vật ăn cỏ là chúng có lịch sử tương đối ngắn như những loài thực vật được canh tác chuyên sâu. Do đó, những

người lai tạo đầu tiên của các loài thực vật làm thức ăn đã có sẵn sự đa dạng rộng rãi về khả năng thích nghi tự nhiên được tìm thấy trong các quần thể hoang dã hoặc bán hoang dã để lựa chọn. Tuy nhiên, khả năng cải thiện nhanh chóng có thể thực hiện được từ 50 đến 70 năm trước từ các kiểu sinh thái thuần hóa hiện nay ít có khả năng xảy ra hơn và cần có các lựa chọn lai tạo mới để điều chỉnh ‘vật liệu di truyền của cây thức ăn chăn nuôi theo nhu cầu của các hệ thống trang trại ngày càng hiện đại’ (Breese và Hayward, 1972). Mục tiêu lai tạo cây thức ăn chăn nuôi thường được xây dựng trong bối cảnh (1) sự biểu hiện của các đặc điểm quan trọng trong một loài (2) khả năng thích nghi của thực

vật với một hệ thống quản lý và vật nuôi cụ thể và (3) khả năng chịu đựng các áp lực tăng trưởng dẫn đến cải thiện tính ổn định và tính bền vững của năng suất vật chất khô (Casler và van Santen, 2010).

Thành công cuối cùng của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi cần phải đạt được thông qua việc cải thiện năng suất và lợi nhuận của vật nuôi tại trang trại, nhưng đây là một hoạt động tốn kém và mất thời gian. Do đó, các thử nghiệm trên diện tích nhỏ thường được sử dụng để có được kết quả tạm thời và xác định sự tiến bộ về mặt di truyền trong các đặc điểm đã chọn - chủ yếu là năng suất theo mùa và hàng năm. Tuy nhiên, có một số cách khác nhau để đánh giá sự thành công hay không của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi tùy thuộc vào đối tượng có thể sử dụng và hưởng lợi từ thông tin thu được. Đối với những người lai tạo và nhà nông học, các thử nghiệm trên diện tích nhỏ giúp giảm thiểu sự phức tạp của môi trường cung cấp thông tin tuyệt vời để xác định tính di truyền của các đặc điểm và ước tính lợi ích di truyền. Mặc dù thông tin này cũng có thể ảnh hưởng đến sự lựa chọn giống của người nông dân, nhưng thông tin hấp dẫn hơn đối với nhóm người dùng cuối này sẽ đến từ các thử nghiệm trên đồng cỏ hoặc trang trại quy mô hệ thống cho phép ước tính hiệu suất của vật nuôi.

Mục đích của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi

Các nhà lai tạo thực vật sử dụng một số kỹ thuật để cải thiện hoặc đưa các đặc điểm vào thực vật vì lợi ích của nông dân, người trồng trọt và người tiêu dùng (Caradus, 2023a). Đối với các loại cây thức ăn chăn nuôi được chăn thả tại chỗ làm thức ăn cho động vật, các đặc điểm này tập trung chủ yếu vào tốc độ thiết lập, tổng sản lượng theo mùa, giá trị dinh dưỡng hoặc chất lượng thức ăn, thời gian ra hoa và giảm thiểu hậu quả, khả năng chịu đựng cả stress sinh học và phi sinh học bao gồm khả năng kháng sâu bệnh, tính bền bỉ hoặc khả năng phục hồi và năng suất hạt giống (Caradus, 2015; Rauf và cs., 2016; Caradus và cs., 2021a). Giảm thiểu tác động môi trường của các hệ thống sản xuất

chăn nuôi thâm canh trên đồng cỏ thông qua lai tạo cây trồng cũng phải được xem xét (Chapman và cs., 2015a; Takahashi và cs., 2018). Việc lai tạo ra những giống cây trồng tốt hơn, thích nghi tốt với nhiều yếu tố và tương tác khác nhau diễn ra trên đồng cỏ là một nhiệm vụ phức tạp và đầy thách thức nhưng lại cực kỳ quan trọng đối với các nền kinh tế phụ thuộc vào việc sản xuất protein có nguồn gốc từ động vật. Mục đích của việc lai tạo cây trồng làm thức ăn chăn nuôi phải phù hợp với việc cải thiện năng suất kết hợp với việc đạt được các kết quả môi trường có thể chấp nhận được và thích ứng với các tác động trực tiếp và gián tiếp của biến đổi khí hậu. Đầu tư vào việc lai tạo cây trồng được bảo vệ thông qua quyền lai tạo cây trồng hoặc cấp bằng sáng chế, đóng vai trò khuyến khích tổ chức lai tạo cây trồng tiếp tục đầu tư vào việc phát triển các giống mới (Otto, 1985).

Thách thức của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi

Các phương pháp nhân giống được sử dụng với cây thức ăn chăn nuôi bao gồm:

Chọn lọc kiểu hình tái diễn dựa trên sự tích lũy các alen có lợi thông qua các chu kỳ chọn lọc trong quần thể đối với đặc điểm mục tiêu (Resende và cs., 2013). Việc lựa chọn trong cùng một họ có hiệu quả nhất khi kết hợp hoặc liên tiếp với lựa chọn kiểu gen đối với các đặc điểm có mối tương quan cao giữa hiệu suất khi trồng cách nhau và khoảng cách giữa các thửa đất (Conaghan và Casler., 2011).

Chọn lọc kiểu gen dựa vào việc xác định một số lượng hạn chế các kiểu gen mong muốn của bố mẹ thông qua hiệu suất của con cái để xác định hiệu suất giá trị nhân giống của bố mẹ (Casler và Brummer, 2008). Việc lựa chọn lặp lại kiểu gen đã được xác định là một phần cần thiết của quá trình lai tạo để cải thiện năng suất thức ăn chăn nuôi (Conaghan và Casler, 2011).

Các phương pháp lai tạo này có thể mô tả kiểu gen hoặc quần thể bằng cách sử dụng các cây cách nhau, hàng gieo và bãi cỏ, mặc dù mối tương quan giữa các phương pháp này có thể thay đổi. Annicchiarico và Piano (2000) kết

luận rằng việc sử dụng các thử nghiệm thăm cỏ (trồng dày đặc) đòi hỏi nhiều công lao động hơn nhưng cho phép (i) tăng hiệu quả lựa chọn và giảm thời gian cần thiết để đánh giá đáng tin cậy và (ii) có được ước tính đáng tin cậy hơn về mối tương quan di truyền đối với môi trường nông nghiệp thông thường. Thật vậy, các mức độ tương quan khác nhau giữa các đặc điểm được đo trong các thử nghiệm cây trồng cách nhau, các hàng gieo và các ô thăm cỏ sẽ khuyến khích các nhà lai tạo thực vật, khi có thể, sử dụng các ô thăm cỏ để sàng lọc vật liệu cho các đặc điểm quan tâm. Tất nhiên, điều này giả định rằng các ô thăm cỏ là thước đo đáng tin cậy hơn đối với các đồng cỏ gieo rộng rãi.

Người ta thừa nhận rằng các chương trình cải tiến di truyền cho cả vật nuôi và cây thức ăn chăn nuôi đều quan trọng đối với sự phát triển liên tục của ngành chăn nuôi (Lee và cs., 2012). Tuy nhiên, mối liên hệ giữa cải tiến di truyền thực vật thức ăn chăn nuôi và lợi ích trong hệ thống trang trại và năng suất nông nghiệp vẫn khó định lượng. Lee và cs. (2012) đã xác định được ba lĩnh vực quan trọng trong việc cung cấp kiến thức cần thiết để hiểu đầy đủ giá trị của việc lai tạo cây thức ăn cho các cơ sở chăn nuôi đó là:

Lợi ích kinh tế cho các trang trại chăn nuôi bò sữa của các đặc điểm liên quan đến năng suất khác nhau được xác định và truyền đạt cho nông dân và các nhà lai tạo cây thức ăn chăn nuôi;

Mối quan hệ giữa các đặc điểm của cỏ và hiệu suất của toàn bộ đồng cỏ được xác định và điều chỉnh trong quá trình phát triển các chỉ số giá trị thức ăn chăn nuôi và định lượng;

Tương tác giữa quần thể di truyền và môi trường nên được ghi chép lại tốt hơn ở các vùng chăn nuôi.

Khi xem xét các đặc điểm tiềm năng có giá trị cho các trang trại chăn nuôi bò sữa, Chapman và cs. (2015a) kết luận rằng, ngoài việc thích nghi rộng rãi trên khắp các hệ thống trang trại và mùa vụ, cải thiện năng suất vật chất khô (DM) trong các mùa mà DM bổ sung có giá trị kinh tế lớn nhất trong hệ thống chăn thả phải chỉ phối các mục tiêu nhân giống nhưng điều

này cũng cần xem xét tác động môi trường của các hệ thống sản xuất chăn nuôi thâm canh trên đồng cỏ và các cơ hội để giảm thiểu tác động này, trong khi giá trị dinh dưỡng hoặc thức ăn của các giống ít quan trọng hơn.

Thách thức trong việc đánh giá cây thức ăn chăn nuôi

Hầu hết các loại cây thức ăn chăn nuôi là cây lâu năm lai xa, chủ yếu được sử dụng để chăn thả trực tiếp cho động vật bằng cách thu hoạch các bộ phận khác nhau của cây. Chúng cũng thường được gieo trên các bãi cỏ hỗn hợp các loài. Điều này trái ngược với hầu hết các loại cây trồng có thể canh tác, thường là cây hàng năm được trồng theo phương pháp độc canh, hoặc là cận huyết hoặc lai và đối với cây này, một phần xác định của cây được thu hoạch hoặc toàn bộ cây được thu hoạch để ủ chua như ngô. Chúng hiếm khi được chăn thả và thường được thu hoạch bằng máy. Tính lâu năm của thức ăn chăn nuôi được chăn thả đặt ra thêm nhiều thách thức cho những người lai tạo cây thức ăn chăn nuôi. Kỳ vọng về tuổi thọ sản xuất của đồng cỏ chăn thả dựa trên các loài cây lâu năm có thể thay đổi vì nhiều lý do. Do đó, các giống cây trồng phải có khả năng sống sót và phát triển tốt trong nhiều năm trong khi vẫn tiếp tục thể hiện các đặc điểm đã chọn của chúng dưới dạng các yếu tố bên ngoài như môi trường khí hậu và thay đổi quản lý. Để đáp ứng các kỳ vọng này, các chu kỳ thời gian chọn lọc có thể cần được kéo dài và nguồn gen được đánh giá trong nhiều môi trường hoặc hệ thống quản lý khác nhau để có thể xác nhận hoặc ít nhất là dự đoán một cách đáng tin cậy kiểu hình dai dẳng. Do đó, việc đánh giá tiến trình đạt được thông qua quá trình lai tạo thực vật đối với cây thức ăn chăn nuôi có thể khó đánh giá hơn so với cây trồng hàng năm.

Tác động của môi trường đến hiệu suất nhân giống

Sự khác biệt tương đối giữa các giống cây trồng về năng suất và khả năng tồn tại có thể giảm bớt hoặc trầm trọng hơn do sự thay đổi của điều kiện thời tiết (Conaghan và cs., 2008), chiều

cao chăn thả, thời gian và tần suất chăn thả, loài chăn thả và phương pháp chăn thả (liên tục, luân phiên, v.v.), và mức độ cạnh tranh giữa các loài (Rumbaugh và Pendery, 1986; Annicchiarico, 2003). Do đó, không thể bao quát hết mọi tình huống trong quá trình chọn lọc cây trồng, do đó các quy trình chọn lọc được chuẩn hóa để tạo ra sự cân bằng giữa sức mạnh chọn lọc đối với các đặc điểm quan tâm và các điều kiện dự kiến mà các sản phẩm nhân giống sẽ được sử dụng. Tuy nhiên, các nghiên cứu với các giống cỏ lúa mạch đen lâu năm đã chỉ ra rằng chăn thả mô phỏng bằng máy gặt cơ học có thể cung cấp một chỉ số hữu ích về hiệu suất năng suất tương đối ở các bãi cỏ chăn thả gia súc khi được chăn thả bởi bò sữa đang cho con bú (Cashman và cs., 2016) hoặc gia súc thịt (Grace và cs., 2019). Ngoài ra, việc so sánh 32 giống và dòng giống ưu tú của cỏ ba lá trắng trong điều kiện chăn thả luân phiên của cừu hoặc gia súc cho thấy không có tương tác đáng kể nào giữa lớp vật nuôi với giống/dòng (Caradus, 1993a).

Trong điều kiện lý tưởng, các chương trình nhân giống nên cố gắng mang lại hiệu suất tương đối cao trong nhiều điều kiện môi trường khác nhau (Hakl và cs., 2019). Tuy nhiên, sự khác biệt trong thứ hạng hiệu suất tương đối giữa các giống cây trồng cũng có thể là do vị trí so sánh thử nghiệm do sự khác biệt về nhiệt độ, độ dài ngày, lượng mưa và loại đất (Hopkins và cs., 1995; Sanderson và cs., 1999; Annicchiarico và cs., 2013).

Các đặc điểm mục tiêu cho việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi

Hiệu quả sử dụng cỏ bằng cách chăn thả được định nghĩa là tỷ lệ tổng sản lượng mô lá bị động vật chăn thả thu nhận trước khi chúng chuyển sang trạng thái già cỗi (Lemaire và Chapman, 1996). Khi các bãi cỏ được chăn thả luân phiên bởi những con bò sữa đang cho con bú, các giống lưỡng bội có hiệu quả chăn thả thấp hơn đáng kể so với các giống tứ bội. Những người khác nhấn mạnh rằng việc lai tạo cỏ cần tập trung vào (i) mô hình tăng trưởng theo mùa cũng như tăng trưởng hàng năm nói chung, (ii) giá trị dinh dưỡng, bao gồm khả năng tiêu hóa,

đặc biệt là vào giữa mùa, (iii) đảm bảo cấu trúc tán cỏ thích hợp cho chăn thả và (iv) phát triển các giống cỏ bền bỉ phát triển trong điều kiện trang trại (O'Donovan và cs., 2011). Một phân tích tổng hợp các đặc điểm của thực vật (tức là vòng đời, chiều cao tán cây, hình thái, hình thức sinh trưởng cây thân thảo, cây họ đậu, cây thân gỗ), độ ngon miệng và nguồn gốc địa lý) phản ứng với việc chăn thả của nhiều lớp vật nuôi dựa trên 197 nghiên cứu từ tất cả các khu vực chính trên thế giới chỉ ra rằng việc chăn thả được các loài thực vật hàng năm chịu đựng tốt hơn so với các loài thực vật lâu năm, cây thấp chịu đựng tốt hơn so với cây cao, cây mọc bò trên cây thẳng đứng và kiến trúc thân bò và cây thân thảo hình hoa thị chịu đựng tốt hơn kiến trúc bụi rậm (Díaz và cs., 2007).

Hỗn hợp các loài so với độc canh trên đồng cỏ

Trong những thập kỷ gần đây, đã có sự hồi sinh mạnh mẽ của nghiên cứu về lợi ích tiềm năng của các bãi cỏ đa loài đối với sản xuất động vật và một loạt các dịch vụ hệ sinh thái (Finn và cs., 2013; Grange và cs., 2021; Maxwell và cs., 2023) được thúc đẩy bởi việc đưa ra các quy định nhằm giảm phát thải ra môi trường, đặc biệt là nitơ, từ các hệ thống chăn thả gia súc (Romera và cs., 2017). Hầu hết các hệ thống đánh giá thức ăn chăn nuôi chỉ sử dụng các bãi cỏ đơn canh – vì những lý do hiển nhiên do những người lai tạo muốn biết sản phẩm mới của họ so sánh như thế nào với vật liệu hiện có đối với các đặc điểm chính cần quan tâm. Kết quả của các thử nghiệm này thường được trình bày dưới dạng danh sách với các giống được sắp xếp theo thứ hạng từ các mục có hiệu suất tốt nhất đến kém nhất. Do đó, một câu hỏi quan trọng cần cân nhắc khi diễn giải thông tin từ các thử nghiệm này trong bối cảnh hỗn hợp nhiều loài là: các giống có được xếp hạng lại khi được trồng dưới dạng đơn canh so với hỗn hợp không? (Chapman và cs., 2018a). Có rất ít trường hợp mà câu hỏi này được giải quyết một cách rõ ràng. Một ví dụ so sánh một loạt các giống cỏ ba lá (*Trifolium subterraneum*) đã chứng minh rằng năng suất cỏ ba lá trong các lô

độc canh có mối tương quan kém với năng suất được đo trong các bãi cỏ hỗn hợp với cỏ lúa mạch đen lâu năm ($r = 0,44$), nhưng năng suất cỏ ba lá có mối tương quan với tổng năng suất cỏ ($r = 0,94$) (Reed và cs., 1997).

Trong một phân tích tổng hợp các thử nghiệm so sánh canh tác cỏ độc canh với hỗn hợp cỏ ba lá, Dineen và cs. (2018) kết luận rằng khi cỏ ba lá trắng đóng góp ~30% tổng lượng chất khô trong hỗn hợp cỏ lúa mạch đen-cỏ ba lá, sữa và VCK trong sữa hàng ngày trên mỗi con bò tăng lần lượt là 1,4 và 0,12 kg. Tác động đến sản lượng trên một hecta phụ thuộc vào tổng sản lượng tương đối của canh tác độc canh so với hỗn hợp: cả sự gia tăng và giảm sản lượng trên một hecta đều đã được báo cáo (Dineen và cs., 2018). Bất chấp điều đó, hỗn hợp cỏ ba lá có tiềm năng rõ ràng trong việc tạo ra năng suất cao với nhu cầu phân bón N nhân tạo ít hơn, do cỏ ba lá trắng có khả năng cố định N, dẫn đến tổng lượng N dư thừa hàng năm của trang trại thấp hơn và giảm nguy cơ mất N vào môi trường (Chapman và cs., 2019b).

Trong thập kỷ qua, trọng tâm nghiên cứu thức ăn chăn nuôi ở các nước phát triển đã chuyển mạnh sang các giải pháp dựa trên thực vật nhằm giảm thiểu tác động môi trường của hoạt động chăn nuôi gia súc trên đồng cỏ, đặc biệt là tình trạng rửa trôi nitrat (Chapman và cs., 2014). Hiện nay có bằng chứng mạnh mẽ về khái niệm đưa cây mã đề lá hẹp (*Plantago lanceolata*) vào hỗn hợp với cỏ và cỏ ba lá để tận dụng các đặc điểm ở loài này giúp giảm nồng độ N trong nước tiểu do động vật nhai lại bài tiết, giảm tổng lượng nước tiểu bài tiết hàng ngày và giảm tốc độ nitrat hóa trong đất (Mangwe và cs., 2019; Nguyen và cs., 2022a; Pinxterhuis và cs., 2024), mặc dù đã có tranh luận về những kết quả này (Eady và cs., 2024). Tất cả các yếu tố này đều cải thiện sự cân bằng về mặt không gian và thời gian giữa lượng N có sẵn trong đất của cây và nhu cầu N của cây, do đó cây có thể hấp thụ được nhiều N có sẵn trong nước tiểu hơn trước khi nó chuyển hóa thành nitrat và/hoặc bị rửa trôi thành nitrat từ bên dưới vùng rễ.

Bằng chứng thực hành của phương pháp tiếp cận dựa trên đặc điểm rõ ràng này (Garnier và

Navas, 2012) về năng suất và môi trường của đồng cỏ chăn thả hiện đã có những tiến bộ đáng kể (Pinxterhuis và cs., 2024). Những phát triển như thế này đặt ra những thách thức và cơ hội mới cho các hệ thống đánh giá thức ăn chăn nuôi. Khung tham chiếu để diễn giải kết quả đánh giá đang thay đổi, từ các đặc điểm năng suất thuần túy sang các đặc điểm năng suất và môi trường. Giảm thiểu tác động môi trường thông qua thức ăn chăn nuôi có thể sẽ đòi hỏi sự kết hợp các loài vì phạm vi thao túng cả năng suất và kết quả môi trường trong các loài là rất hạn chế.

Các phương pháp sử dụng để đánh giá việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi

Xác định tính di truyền và tính khả thi của việc chọn lọc đa tính trạng

Tính di truyền là thước đo những lợi ích có thể đạt được từ các sáng kiến lai tạo thực vật. Ước tính khả năng di truyền dao động từ 0 đến 1, với những ước tính gần 1 hơn cho thấy khả năng di truyền rất cao. Theo thước đo, khả năng di truyền có thể bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố:

Phương pháp tính toán. Tính di truyền có thể được tính theo nghĩa rộng là tỷ lệ của tổng phương sai di truyền so với phương sai kiểu hình, hoặc theo nghĩa hẹp là tỷ lệ của phương sai di truyền cộng tính so với phương sai kiểu hình. Cách sau có liên quan hơn vì chỉ có phương sai cộng tính được nắm bắt trong hầu hết các loại cây thức ăn lai xa (Caradus và cs., 2021a);

Thiết kế thử nghiệm được sử dụng để tính toán ước tính di truyền;

Số lượng các địa điểm được sử dụng để đánh giá và tác động của tương tác giữa kiểu gen và môi trường;

Nguồn gen được sử dụng;

Độ chính xác của phép đo đặc điểm đang xét vì điều này ảnh hưởng đến sai số thực nghiệm.

Trong các loài lai xa (là trường hợp của hầu hết các loài thực vật làm thức ăn chăn nuôi), tính di truyền theo nghĩa hẹp cung cấp dự đoán về phản ứng với quá trình chọn lọc cho dù đó là chọn lọc hàng loạt, chọn lọc cùng bố mẹ hoặc cùng anh

chị em ruột cho thế hệ tiếp theo (Nyquist và Baker, 1991). Những ước tính này thay đổi vì những lý do được liệt kê ở trên.

Việc lựa chọn trực tiếp để có năng suất là khó khăn và những tiến bộ thường được thực hiện nhiều hơn khi lựa chọn để tồn tại và thích nghi với các môi trường stress cụ thể (Barker và Kalton, 1989). Trong khi việc lai tạo để cải thiện chất lượng đồng cỏ và giá trị dinh dưỡng cũng có thể chậm, đã được chứng minh là có mức tăng di truyền từ 0,7% đến 4,7% mỗi thập kỷ (Casler, 2001), những cải thiện tương đối nhỏ về khả năng tiêu hóa có thể dẫn đến những cải thiện đáng kể về năng suất vật nuôi (Howarth và Goplen, 1983).

Người ta đã đề xuất rằng việc lựa chọn các đặc điểm đơn lẻ như giá trị dinh dưỡng của thức ăn chăn nuôi, mặc dù có khả năng nâng cao hiểu biết về tính di truyền của nó, nhưng có thể dẫn đến những kết quả không mong muốn do mối tương quan không mong muốn với các đặc điểm nông học quan trọng (Casler, 2001). Tuy nhiên, hầu hết các mối tương quan đã công bố giữa năng suất và các biện pháp về khả năng tiêu hóa hoặc chất lượng thức ăn chăn nuôi đều không có ý nghĩa thống kê hoặc tiêu cực. Do đó, có thể lựa chọn năng suất và khả năng tiêu hóa một cách độc lập mà không ảnh hưởng xấu đến các đặc điểm khác.

Chỉ số đánh giá đa tính trạng

Nông dân thường bày tỏ lo ngại về tính độc lập của thông tin họ nhận được về giá trị tương đối của các giống cây trồng khác nhau và không tin tưởng lắm vào khả năng lựa chọn các giống cây trồng và vi sinh vật nội sinh phù hợp cho hệ thống trang trại của mình (Kelly và cs., 2011; Rijswijk và Brazendale, 2016). Điều này có thể gây nhầm lẫn hơn nữa do không thể dễ dàng phân biệt giữa hạt giống được chứng nhận và không được chứng nhận và đôi khi hạt giống không được chứng nhận có thể được bán như một sản phẩm có thương hiệu. Nông dân cũng không có khả năng nhận thức được đầy đủ các loại giống có sẵn trên thị trường, hoặc không quen thuộc với các loại giống khác nhau trong các loài, hoặc không cảm nhận được giá trị có

thể có đối với nông trại của họ mà các sản phẩm mới tốt hơn có thể mang lại. Những yếu tố này có khả năng hạn chế việc sử dụng các giống cây trồng ưu tú và làm giảm tỷ lệ tăng trưởng di truyền trong năng suất đồng cỏ tại trang trại. Người dùng cuối cũng không thể đánh giá được lợi ích kinh tế và các lợi ích khác mà cải tiến di truyền thực vật mang lại cho nông dân hoặc sự đóng góp của nó vào việc tăng năng suất của ngành (Chapman và cs., 2015a). Ngược lại, các chương trình cải thiện di truyền động vật lâu đời hoạt động trong các ngành chăn nuôi tiên tiến thường xuyên công bố thông tin chỉ số nhân giống hợp nhất xếp hạng các giống gia súc có sẵn trên thị trường theo một loạt các đặc điểm mà người nông dân tích cực sử dụng để đưa ra quyết định nhân giống động vật cho đàn gia súc và đàn gia cầm của họ (Beard, 1987).

Đề ứng phó, các ngành công nghiệp sữa dành cho người dùng cuối ở một số quốc gia như New Zealand và Úc đã hỗ trợ phát triển các chỉ số giống đa tính trạng cho các loại cỏ lúa mạch đen lâu năm và ngắn hạn, đây là các loài chủ yếu được sử dụng để chăn nuôi gia súc trên đồng cỏ ở các quốc gia đó (McEvoy và cs., 2011). Chỉ số lợi nhuận đồng cỏ (PPI) (Chapman và cs., 2016). Chỉ số giá trị thức ăn thô xanh (FVI) (Leddin và cs., 2018). Các chỉ số này sử dụng một cách tiếp cận tương tự rộng rãi trong đó dữ liệu từ các thử nghiệm đánh giá giống cho một đặc điểm cụ thể của một giống cụ thể được cân nhắc theo giá trị kinh tế ước tính của đặc điểm đó trong một hệ thống trang trại chăn nuôi bò sữa điển hình. Dữ liệu thử nghiệm được sử dụng để tính giá trị hiệu suất cho đặc điểm quan tâm, là sự khác biệt giữa giống cụ thể đang được lập chỉ mục và cơ sở di truyền, thường bao gồm một nhóm các giống đối chứng cũ hơn hoặc phổ biến được sử dụng rộng rãi trong các thử nghiệm đánh giá.

Ước tính lợi ích di truyền

Nhiều đánh giá đã kết luận rằng các chương trình lai tạo cây thức ăn chăn nuôi đã tạo ra thành công mức tăng năng suất từ 3% đến 7% mỗi thập kỷ (Humphreys, 1999; Woodfield, 1999; van der Heijden và Roulund, 2010; Kingston-

Smith và cs., 2013; Brummer và Casler, 2014). Ước tính về lợi ích di truyền có thể được xác định bằng cách trồng các giống cây trồng được lai tạo trong nhiều thập kỷ trong cùng một môi trường và hoặc là năng suất thoái lui theo thời gian phát hành giống cây trồng hoặc so với một giống cây trồng cũ được sử dụng phổ biến. Về cơ bản, điều này loại bỏ các tác động về môi trường và chỉ đơn giản là tìm cách hiệu hiệu suất được cải thiện của các giống cây trồng được lai tạo trong nhiều thập kỷ. Ngoài ra, ước tính về giá trị lai tạo bộ gen của các đặc điểm đã được sử dụng để xác định tỷ lệ tiềm năng của lợi ích di truyền (Hayes và cs., 2013).

Tiến bộ di truyền trong lai tạo để cải thiện các đặc điểm chất lượng thức ăn chăn nuôi như khả năng tiêu hóa còn hạn chế, mặc dù biến thể di truyền cho các đặc điểm như vậy đã được ghi nhận đầy đủ (Surprenant và cs., 1990; Buxton và Casler, 1993; Casler và Vogel, 1999). Lợi ích di truyền cho IVDMD dao động từ 1,3% đến 16,3% cho mỗi chu kỳ chọn lọc tùy thuộc vào loài thức ăn chăn nuôi liên quan, tiêu chí chọn lọc và cường độ chọn lọc (Buxton và Casler, 1993). Sự gia tăng di truyền về năng suất và chất lượng của các loài thức ăn chăn nuôi đã được suy ra để chỉ ra rằng về mặt lý thuyết, chúng sẽ tạo ra sự gia tăng đáng kể (0,3% đến 1,3% mỗi năm) về hiệu suất của vật nuôi (Woodfield, 1999). Suy ra tỷ lệ tăng trưởng trung bình của ME qua hai thử nghiệm, hai khu vực, bốn mùa và 28 tổ hợp giống × nội sinh được Chapman và cs. (2023a) báo cáo, sử dụng Griffiths và cs. (2020) ước tính thêm 0,1 MJ ME/kg DM tương đương với thêm 12 kg VCK sữa/ha cho một trang trại chăn nuôi bò sữa với 3 con bò/ha, cho thấy mức tăng sản lượng vật nuôi sẽ thấp hơn nhiều so với mức này, vào khoảng 0,04% mỗi năm cho một trang trại sản xuất 1200 kg VCK sữa/ha mỗi năm.

Ước tính về mức tăng di truyền trong tính bền bỉ khó tìm hơn và vẫn là một khoảng cách kiến thức lớn trong việc hiểu được sự tiến triển của đặc điểm này ở các loài thức ăn chăn nuôi chính. Ước tính về sự gia tăng di truyền trong khả năng kháng bệnh cũng rất hiếm. Đối với cỏ lúa mạch đen, sự cải thiện khả năng kháng

bệnh gỉ sắt (*Puccinia graminis*, *Puccinia coronata* và *Puccinia striiformis*) trong 4 thập kỷ được ước tính là cao ở mức 11,4% mỗi thập kỷ (Sampoux và cs., 2011). So sánh 448 giống cỏ lúa mạch đen thử nghiệm có khả năng kháng gỉ sắt gốc cao hơn đáng kể ($p < 0,0001$) so với các giống thương mại và kiểu sinh thái cho thấy khả năng cải thiện đặc điểm này là có thể (Webb và cs., 2019). Tuy nhiên, với các chủng gỉ sắt liên tục thay đổi và vượt qua khả năng kháng bệnh, việc lựa chọn liên tục để đạt được mức độ kháng bệnh cao ở các giống mới đòi hỏi nhiều nỗ lực, cho thấy rằng lợi ích di truyền có thể không phải là thước đo tốt cho một số đặc điểm kháng bệnh. Ngoài ra, khi đạt được mức độ kháng bệnh cao và ổn định thì không cần thêm bất kỳ yêu cầu nào về lợi ích di truyền.

Xác nhận và nắm bắt những cải tiến về mặt di truyền

Như đã lưu ý trong phần giới thiệu, mục tiêu cuối cùng của các chương trình lai tạo cây thức ăn chăn nuôi là cải thiện sản lượng, năng suất và lợi nhuận của các hệ thống sản xuất chăn nuôi dựa trên đồng cỏ. Giống như hầu hết các công nghệ nông nghiệp, các giống thức ăn chăn nuôi cải tiến được phát triển từ khoa học thành phần với kỳ vọng rằng các lợi ích sẽ được hiện thực hóa trong các hệ thống trang trại thương mại. Do đó, lai tạo cây trồng có thể được xem xét thông qua cùng một lăng kính thường được áp dụng cho các công nghệ khác, trong đó bằng chứng về khái niệm được xác nhận trong nghiên cứu thành phần, tiếp theo là bằng chứng về thực hành trong đó các lợi ích được xác nhận thông qua ở quy mô hệ thống trang trại.

Việc chuyển đổi từ bằng chứng khái niệm sang bằng chứng thực hành không phải lúc nào cũng dễ dàng vì có nhiều tương tác quản lý, sinh học và môi trường diễn ra trong các hệ thống trang trại. Tuy nhiên, có những ví dụ điển hình về việc chuyển đổi thành công. Ví dụ, phản ứng năng suất vật chất khô của đồng cỏ đối với phân bón nitơ được bón cho các thảm cỏ chiếm ưu thế đã được đo lường một cách nhất quán và rộng rãi trong các thử nghiệm trên các lô đất nhỏ ở nhiều địa điểm, mùa vụ và năm (Gray,

2023) và đã thành công trong việc cải thiện sản xuất đồng cỏ (Lambert và cs., 2003) và động vật (Clark, 1997) trong các thí nghiệm hệ thống trang trại.

Trong bối cảnh cải tiến di truyền thực vật, ‘bằng chứng về khái niệm’ được thử nghiệm rộng rãi trong các nghiên cứu thực địa được kiểm soát chặt chẽ ở quy mô nhỏ. Ngược lại, các ví dụ về nghiên cứu ‘bằng chứng về thực hành’ ở quy mô hệ thống trang trại ít phổ biến hơn nhiều trong tài liệu, như được thảo luận bởi Laidlaw và Reed (1993), Reed (1994) và Hendriks và cs. (2017). Mục đích của phần này là xem xét bằng chứng từ cả hai cấp độ đánh giá để đánh giá mức độ thành công của lợi ích di truyền đã được chứng minh ở quy mô thửa đất nhỏ chuyển thành lợi ích trong các hệ thống trang trại thương mại.

Đánh giá giống trên lô đất nhỏ

Việc so sánh các giống mới để xác định xem chúng có phải là sự cải tiến so với các giống hiện có hay không là bắt buộc ở một số khu vực pháp lý để chúng được tiếp thị hoặc bán. Những so sánh này sử dụng các thử nghiệm trên lô nhỏ thường được gọi là thử nghiệm quốc gia (Grogan và Gilliland, 2011). Việc đăng ký một giống cây trồng vào danh mục quốc gia về cơ bản cung cấp giấy phép thương mại và đảm bảo rằng các giống cây trồng được lưu thông trên thị trường phải:

Mang lại kết quả có lợi nhuận về mặt năng suất;
Tạo điều kiện thuận lợi cho thương mại và cung cấp nhiều cơ hội hơn cho nông dân;

Cung cấp cho người sử dụng hạt giống đảm bảo về danh tính và độ tinh khiết của giống, khả năng nảy mầm và độ tinh khiết cụ thể cũng như hạt giống phù hợp về mặt sức khỏe của cây trồng.

Tuy nhiên, một số các quốc gia không có yêu cầu phải đăng ký giống cây trồng trước khi đưa ra thị trường và bán (PBRA, 2024). MLA (2023) có các cuộc thử nghiệm giống quốc gia tự nguyện đối với các giống cây trồng làm thức ăn chăn nuôi, xếp hạng các giống cây trồng trong nhiều môi trường khác nhau nhưng quyết

định đưa ra thị trường được đưa ra bởi chủ sở hữu và nhà sản xuất thương mại của giống cây trồng, chỉ dựa vào các lực lượng thị trường và nhu cầu để xác định mức độ chấp nhận và tiếp nhận.

Ngoài ra, đối với các chương trình hợp tác của nhà lai tạo và do chính phủ chỉ định, các thử nghiệm trên diện tích nhỏ cũng được các tổ chức nghiên cứu và phát triển vì lợi ích công cộng và lợi ích công nghiệp thực hiện. Do đó, các giao thức quản lý chú trọng hơn vào các hoạt động thường được sử dụng tại trang trại trong lĩnh vực có liên quan, đặc biệt là quản lý chăn thả. Bên cạnh việc là một biện pháp kiểm tra và cân bằng hữu ích cho các hệ thống bắt buộc, chúng còn giải quyết các khoảng trống như đánh giá tiến trình di truyền ở các loài không được đánh giá thường xuyên hoặc biến thể trong các đặc điểm không được đưa vào các giao thức của các chương trình chính thức. Một loạt các biến số đã được đo lường trong công trình này, bao gồm cố định đạm (N), để có thể xác nhận các nguồn cải thiện năng suất.

Đánh giá các thử nghiệm quy mô trang trại và trang trại nhỏ

Động lực thúc đẩy việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi là cung cấp đồng cỏ năng suất cao, chất lượng cao, bền bỉ giúp tăng năng suất tại trang trại (Barker và Kalton, 1989). Minh chứng cuối cùng về lợi ích mong muốn đến từ việc so sánh các giống mới trong các nghiên cứu chăn thả toàn hệ thống có thể cung cấp dữ liệu sản xuất động vật đáng tin cậy để sử dụng nhằm đưa ra lợi ích kinh tế dự đoán. Có tương đối ít thử nghiệm thuộc loại này, liên quan đến các trang trại chăn nuôi bò sữa hoàn toàn tự cung tự cấp và được lặp lại trong nhiều năm để tính đến sự thay đổi giữa các năm trong cân bằng cung-cầu thức ăn, đã được công bố (Hendriks và cs., 2017). Mục đích của phần này là xem xét các ví dụ về thử nghiệm toàn hệ thống so sánh các loại thức ăn chăn nuôi khác nhau, có thể là giống cây trồng, chúng nắm nội sinh hoặc loài liên quan đến chăn thả gia súc nhằm xác định lợi ích của các loài hoặc giống thức ăn chăn nuôi, trong cả các thử nghiệm ngắn hạn và nhiều năm.

Việc tích hợp cây trồng thức ăn chăn nuôi vào hệ thống toàn trang trại giúp cải thiện giá trị dinh dưỡng và lượng vật chất khô hấp thụ vào chế độ ăn và tăng hiệu quả sử dụng các đầu vào. Điều này làm giảm sự mất cân bằng định kỳ giữa nhu cầu hấp thụ của đàn và sản lượng vật chất khô của đồng cỏ, do tính theo mùa mạnh và sự thay đổi lớn giữa các năm trong nguồn cung cấp thức ăn (Rawnsley và cs., 2013). Hệ thống trồng lại cỏ đã làm sản lượng chất khô sữa tăng 4,9% so với nghiệm thức đối chứng, mặc dù năng suất cây trồng thấp hơn nhiều so với dự kiến chủ yếu là do các sự kiện thời tiết và các vấn đề về sâu bệnh, ảnh hưởng đáng kể đến kết quả. Thặng dư kinh tế của trang trại không khác nhau giữa phương pháp đối chứng và phương pháp trồng trọt thức ăn chăn nuôi tại trang trại và việc sử dụng hệ thống đồng cỏ mới.

Trong số 42 nghiên cứu thử nghiệm trang trại đã công bố so sánh các giống, loài hoặc chủng nội sinh trong sản xuất động vật, 26 nghiên cứu cho thấy sự khác biệt rõ ràng và dự kiến giữa các phương pháp xử lý, 1 nghiên cứu có tác động không đáng kể, trong khi 15 nghiên cứu không có tác động, tác động không nhất quán hoặc tác động không mong muốn. Tác động thông qua lợi ích di truyền trong một loài, cho thấy bốn trong năm nghiên cứu về cỏ ba lá mang lại kết quả tích cực. Tác động tích cực này với các giống cỏ ba lá trắng có lẽ phản ánh những lợi ích kết hợp không chỉ của việc tăng trưởng cỏ ba lá trắng mà còn của tác động của việc tăng cố định đạm và chất lượng thức ăn cao hơn từ hàm lượng cây họ đậu (Thom và cs., 2001). Tuy nhiên, trong số 23 nghiên cứu tập trung vào cỏ, chỉ có 14 nghiên cứu mang lại kết quả tích cực, mặc dù nằm trong số những kết quả tích cực đó liên quan đến việc giảm độc tính của nội sinh, hai nghiên cứu liên quan đến khái niệm cỏ có hàm lượng đường cao, một nghiên cứu liên quan đến khả năng tiêu hóa, một nghiên cứu liên quan đến ngày trở bông, chỉ có một nghiên cứu là thử nghiệm về năng suất. Ngoài ra, lưu ý rằng không phải tất cả các kết quả cho các đặc điểm, hiện tượng khác nhau này đều tích cực. Do đó, vẫn còn bằng chứng trái ngược nhau về tác động đến sản xuất động vật liên quan đến

việc chọn lọc và lai tạo để có năng suất, điều này có lẽ không đáng ngạc nhiên vì tính phức tạp của các hệ thống và môi trường. Điều thú vị là hầu hết các nghiên cứu đã công bố nhằm chứng minh lợi ích của việc lai tạo thực vật đối với sản xuất động vật ở quy mô hệ thống đều tập trung vào các đặc điểm hoặc hiện tượng khác ngoài năng suất, nhưng hầu hết các thử nghiệm trên lô đất nhỏ đều chỉ tập trung vào năng suất. Các thao tác khác đối với hiệu suất thức ăn chăn nuôi bằng cách sử dụng các đầu vào như tưới tiêu và phân bón chỉ được kỳ vọng là có lợi khi đồng cỏ bị hạn chế bởi nước hoặc chất dinh dưỡng. Do đó, phản ứng với các đầu vào này có thể thay đổi.

Những tác động của việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi

Người ta thừa nhận rộng rãi rằng việc thu hoạch hoặc cho bò ăn trên đồng cỏ có thể giải thích phần lớn sự khác biệt về sản lượng chất khô trong sữa trên một ha giữa các trang trại chăn nuôi bò sữa khi không có đầu vào thức ăn (Savage và Lewis, 2005; Newman và Savage, 2009), củng cố tầm quan trọng của việc cung cấp cho nông dân những đồng cỏ có năng suất cao và khả năng phục hồi thông qua việc lai tạo cây trồng (Caradus và cs., 2021a). Thật vậy, một nghiên cứu trên toàn quốc tại Ireland trong khoảng thời gian tám năm đã chứng minh rằng ‘việc tăng sản lượng sữa từ việc tăng sử dụng đồng cỏ sẽ cải thiện hiệu quả chi phí và có khả năng trở thành động lực chính để tăng khả năng phục hồi trong các hệ thống chăn thả gia súc dựa trên đồng cỏ trong tương lai’ (Hanrahan và cs., 2018). Việc cân đối tỷ lệ thả giống với nguồn cung thức ăn là chìa khóa để cải thiện lợi nhuận tại trang trại (Macdonald và Penno, 1998; Macdonald và cs., 2008; McCarthy và cs., 2011). Một nghiên cứu sâu hơn (Shalloo và cs., 2011) nhấn mạnh những lợi thế của việc đổi mới đồng cỏ dẫn đến tăng sản lượng và sử dụng cỏ khi đi kèm với tăng tỷ lệ chăn thả. Họ kết luận rằng ‘bất kể giá sữa, việc tăng mức độ gieo hạt lại có tác động tích cực đến lợi nhuận’.

Điều này được củng cố thêm trong một nghiên cứu gần đây về tốc độ tăng trưởng các đặc điểm

sản xuất và giá trị kinh tế tạo ra từ các chương trình lai tạo thực vật, được đánh giá bằng cách sử dụng diện tích lô lớn hơn, chăn thả mạnh hơn và cạnh tranh giữa các loài (Chapman và *cs.*, 2023b). Họ kết luận rằng khi năng suất được đo ở đồng cỏ chăn thả rằng việc lai tạo cỏ lúa mạch đen có thể chỉ đóng góp khoảng một nửa lợi nhuận của hệ thống trang trại được tính toán bằng cách sử dụng dữ liệu năng suất vật chất khô từ hệ thống Thử nghiệm giống thức ăn chăn nuôi quốc gia (NFVT) có những tương tác mở rộng quy mô đang diễn ra có thể làm xói mòn những lợi ích dự kiến từ việc lai tạo xa hơn 'xuôi dòng' so với các phương pháp đánh giá thửa đất nhỏ.

Câu hỏi được đặt ra là trong khi ước tính khả năng di truyền cho nhiều đặc điểm thực vật quan tâm ở mức trung bình đến cao, ước tính về mức tăng di truyền là dương đáng kể (dao động lên đến 10% mỗi thập kỷ) và sự khác biệt đáng kể xảy ra giữa các giống trong một loài trong các nghiên cứu trên thửa đất nhỏ, đôi khi có một thách thức trong việc chứng minh lợi ích của việc lai tạo thực vật trong các thử nghiệm chăn thả ở quy mô trang trại nhỏ. Nhiều thử nghiệm trên thửa đất nhỏ thường được yêu cầu để thiết lập sự khác biệt đáng kể về năng suất giữa các giống (Easton và *cs.*, 2001), mặc dù sự khác biệt đáng kể giữa các giống được xếp hạng cao nhất và thấp nhất thường xuất hiện nhất quán ở các vùng và năm nếu thiết kế thử nghiệm bao gồm các phương pháp xử lý 'kiểm tra' thích hợp đại diện cho vật liệu có hiệu suất thấp hơn (Chapman và *cs.*, 2023a). Do đó, thật hợp lý khi kỳ vọng rằng các thí nghiệm ở trang trại nhỏ so sánh các thái cực cũng có thể phát hiện ra những khác biệt đáng kể. Tuy nhiên, người ta thừa nhận rằng nhiều yếu tố sẽ hoạt động trong các hệ thống chăn thả phức tạp với các hỗn hợp có thể ngăn chặn sự khác biệt dự kiến xuất hiện trong các thử nghiệm trên lô đất nhỏ.

Các thí nghiệm trong hệ thống sản xuất sữa thường liên quan đến các đầu vào như chất bổ sung nhập khẩu và thức ăn bảo quản (thức ăn ủ chua) vốn không phổ biến trong các thí nghiệm hệ thống cừu và bò. Việc cho ăn chất bổ sung nhập khẩu thường dẫn đến việc thay thế đồng

cỏ bằng chất bổ sung trong chế độ ăn của bò (Stockdale, 2000; Bargo và *cs.*, 2003), ngay cả khi cần thận chỉ cung cấp thức ăn bổ sung khi tổng lượng thức ăn có sẵn từ đồng cỏ không đủ đáp ứng nhu cầu của vật nuôi. Tỷ lệ thay thế có liên quan tích cực đến chế độ cho ăn đồng cỏ (Bargo và *cs.*, 2002) do đó có thể lớn hơn ở các giống/phương pháp xử lý năng suất cao hơn so với các giống/phương pháp xử lý năng suất thấp hơn nếu phương pháp trước dẫn đến khối lượng đồng cỏ cao hơn trong các khoảng thời gian nghỉ chăn thả được phân bổ. Điều này có khả năng làm xói mòn một số lợi thế cận biên của giống/phương pháp xử lý năng suất cao hơn so với giống/phương pháp xử lý năng suất thấp hơn.

Một số thí nghiệm trên cừu được liệt kê tránh được các vấn đề về quản lý tương tác phức tạp giữa kiểu hình thực vật, cung và cầu thức ăn, và quản lý các đầu vào như thức ăn bổ sung bằng cách sử dụng các biến thể của phương pháp thả giống 'cho và lấy' (Allen và *cs.*, 2011). Trong phương pháp này, mật độ thả giống được tăng lên cao hơn mật độ của nhóm động vật cốt lõi trong mỗi lần xử lý khi nguồn cung đồng cỏ tăng lên vượt quá khả năng tiêu thụ thức ăn có sẵn của nhóm cốt lõi (vào mùa xuân) và sau đó giảm xuống khi nguồn cung đồng cỏ giảm (vào mùa hè khô hạn). Do đó, cung và cầu thức ăn luôn cân bằng và chênh lệch năng suất cận biên có nhiều khả năng được nắm bắt. Mức độ linh hoạt thả giống này để ứng phó với những biến động về tăng trưởng của đồng cỏ là không thực tế trong các thí nghiệm về hệ thống sản xuất sữa và không đại diện cho hoạt động chăn nuôi bò sữa, nơi số lượng động vật ít nhiều cố định trong hầu hết thời kỳ cho con bú.

So với cừu, bò sữa gây ra nhiều thiệt hại vật lý hơn cho thực vật trên đồng cỏ thông qua việc giẫm đạp, đào đất và quá trình ăn cỏ. Khi thiệt hại này dẫn đến chết cây, khoảng trống kết quả trong bãi cỏ sẽ dễ dàng bị các loại cỏ dại tự phát và các loài lá rộng xâm chiếm. Việc nhổ tận gốc toàn bộ cây cỏ là một ví dụ về những tác động có thể xảy ra. Bò ăn cỏ trên đồng cỏ bằng cách quăn lưỡi quanh một cụm lá và thân giả sau đó tách ra khỏi gốc cây, trong khi cừu sử dụng răng

cửa của chúng để thực hiện hành động cắt vào lá với khối lượng cần nhỏ hơn nhiều. Trong quá trình chăn thả gia súc, việc nhổ cả gốc hay cắt vào lá phụ thuộc vào hệ thống rẫy nông hay sâu hoặc khả năng tái sinh mạnh hay yếu. Việc nhổ cỏ cũng có thể trở nên trầm trọng hơn do sử dụng phân bón N (Tallowin và cs., 1986).

Bất kể tính hợp lệ hay không của các đề xuất nêu trên, chúng minh họa sự khác biệt giữa môi trường biểu hiện tính trạng ở các giống lai trong các thí nghiệm hệ thống so với môi trường tương đối lành tính được cung cấp trong các thử nghiệm trên diện tích nhỏ được quản lý bằng cách chăn thả hoặc cắt cỏ cường độ thấp hơn. Do đó, có lẽ không có gì ngạc nhiên khi một số thử nghiệm quy mô trang trại nhỏ, đặc biệt là trên các doanh nghiệp trang trại sữa, không cho thấy bất kỳ lợi thế nào khi sử dụng các giống cải tiến mới và đây là chủ đề gây tranh cãi đáng kể. Ngoài các đề xuất trên liên quan đến sự khác biệt giữa các hệ thống cừu và bò sữa, còn có một số lý do có thể khác khiến sự khác biệt dự kiến không được quan sát thấy trên trang trại. Những lý do này có thể được nhóm thành các yếu tố có thể được kiểm soát thông qua phân tích tiền thí nghiệm và thiết kế thí nghiệm nghiêm ngặt, và những yếu tố phần lớn nằm ngoài tầm kiểm soát của người thử nghiệm. Những yếu tố sau bao gồm các yếu tố liên quan đến biến đổi môi trường và sinh thái sinh lý của các loài mục tiêu.

Các yếu tố có thể được kiểm soát thông qua thiết kế thử nghiệm

Các yếu tố trong danh mục này bao gồm:

Chăn thả quá mức trên các bãi cỏ của trang trại do cung và cầu thức ăn không cân bằng;

Lựa chọn sai giống cây trồng khiến sự khác biệt không đáng kể ngay cả trong các so sánh lô đất nhỏ;

Việc sử dụng rộng rãi thức ăn bảo quản hoặc chất bổ sung nhập khẩu vào những thời điểm trong năm khi nguồn cung đồng cỏ bị hạn chế có thể vô hiệu hóa mọi tác động tiềm tàng của giống cây trồng đối với sản xuất vật nuôi;

Hệ thống quản lý trang trại được sử dụng theo quy định và không linh hoạt và do đó không phù

hợp với các lợi ích mong đợi của các giống cải tiến. Cần có các quy tắc quản lý khách quan cho phép các giống thể hiện tiềm năng của chúng và nơi mà sự khác biệt sau đó có thể được nắm bắt thông qua động vật ăn cỏ trong sản xuất sữa và lợi nhuận (Hendriks và cs., 2017);

Sức mạnh thống kê không đủ, đặc biệt là khi các yếu tố môi trường như hạn hán tạo ra sự thay đổi gia tăng và năng suất giảm;

Có thể cần một số thử nghiệm và địa điểm vì người ta biết rằng để đạt được một số mức độ chính xác ngay cả trong các thử nghiệm trên lô nhỏ thì cần phải có nhiều thử nghiệm trên nhiều địa điểm.

Việc tiến hành một thử nghiệm trang trại đơn lẻ với kỳ vọng rằng sự khác biệt giữa các giống cây trồng chỉ xuất hiện khi kết quả của nhiều thử nghiệm trên lô nhỏ được phân tích có thể không hữu ích. Tuy nhiên, như đã lưu ý ở trên, các thử nghiệm trang trại được thiết kế để so sánh các giống cây trồng có thứ hạng cao và thấp thường dẫn đến sự khác biệt đáng kể trong các thử nghiệm trên từng lô nhỏ có thể giúp xác định các yếu tố hoạt động ở quy mô không gian lớn hơn có thể cản trở việc chuyển đổi thành công các lợi ích được quan sát thấy ở quy mô nhỏ hơn. Các thiết kế như vậy phải dựa trên phân tích tiền thử nghiệm cẩn thận về dữ liệu thử nghiệm trên lô nhỏ hiện có (bao gồm tương tác kiểu gen $\times$ môi trường) và phản ứng của hệ thống trang trại liên quan đến đặc điểm quan tâm. Một điểm chính ở đây là các thử nghiệm trang trại nhỏ nên được xem xét khi có nhu cầu rõ ràng về khả năng chuyển giao các lợi ích trong các đặc điểm cụ thể trên các quy mô; không phải để thỏa mãn mong muốn chỉ đơn giản là so sánh 'giống A với giống B ở địa điểm X'. Giải pháp trước rất quan trọng để tăng cường hiểu biết khoa học về các cơ chế liên quan đến tương tác mở rộng quy mô, có ý nghĩa thực tiễn trong việc cải thiện hiệu quả nhân giống và đánh giá: trong khi giải pháp sau có nhiều khả năng làm lu mờ những vấn đề đó và cản trở tiến độ.

Có một khối lượng kiến thức rộng lớn về các yếu tố kiểm soát việc sử dụng đồng cỏ trong

các hệ thống chăn thả, bao gồm các tương tác cung-cầu thức ăn và tác động của các đầu vào như thức ăn bổ sung lên các tương tác đó. Đối với hầu hết các loài thực vật mục tiêu chính, cũng có thông tin đáng kể về mức độ tương đối của các khác biệt về đặc điểm giữa các giống (có nguồn gốc từ các nghiên cứu trên thửa đất nhỏ, như đã mô tả ở trên). Thông tin này cần được phân tích chặt chẽ (sử dụng các mô hình lập ngân sách thức ăn và phân tích sức mạnh thống kê của các tùy chọn thiết kế thử nghiệm tiềm năng) trong khả năng có thể, loại bỏ các tác động gây nhiễu tiềm ẩn của các yếu tố như những yếu tố được liệt kê ở trên.

Các yếu tố nằm ngoài tầm kiểm soát của thực nghiệm

Không giống như các nghiên cứu thành phần ngắn hạn, các thử nghiệm hệ thống trang trại chịu sự chi phối của nhiều yếu tố khác nhau (khí hậu, đất, nước, thực vật, động vật, quản lý) và các tương tác phức tạp giữa chúng, có thể ảnh hưởng đến sản xuất đồng cỏ và động vật (Jacobs và Woodward, 2010). Bao gồm:

Các sự kiện khí hậu như hạn hán kết hợp với áp lực côn trùng gây hại và chăn thả quá mức sẽ làm giảm thiểu mọi sự khác biệt dự kiến giữa các phương pháp xử lý;

Ngay cả trong các thử nghiệm hệ thống trang trại được quản lý tốt, vẫn có nhiều biến thể về không gian và thời gian hơn trong các yếu tố như loại đất, khả năng giữ nước, biến thể trong chăn thả, sự trả lại chất dinh dưỡng và cạnh tranh giữa các loài trong hỗn hợp so với các giao thức được quy định chặt chẽ của các lô độc canh cỏ lâu năm được thu hoạch bằng máy. Biến thể làm tăng lỗi đo lường nhưng cũng làm tăng tần suất xảy ra các điều kiện không tối ưu cho sự phát triển của cây trong không gian và thời gian, điều này có thể làm loãng biểu hiện đặc điểm được thấy trong các lô nhỏ được quản lý chặt chẽ;

Sự phân hóa kiểu hình theo hướng cây thấp hơn/nhỏ hơn, khối lượng lá giảm và ra hoa muộn hơn (Hazard và cs., 2006; Chapman và cs., 2024) để đáp ứng các yếu tố môi trường, đặc biệt là

chăn thả, cũng sẽ thu hẹp khoảng cách giữa các giống cây trồng được xếp hạng cao nhất và thấp nhất theo nghĩa tuyệt đối. Những phản ứng này có khả năng làm giảm ‘sự bền vững của lợi thế năng suất’ mà Parsons và cs. (2011) được đề xuất nên là thước đo cuối cùng về ‘sự bền bỉ’ tương đối của các giống cây trồng. Chapman và cs. (2021) đã chứng minh có sự khác biệt về mặt di truyền liên quan đến vấn đề này;

Việc lai tạo trong các hệ thống canh tác đơn canh hoặc theo kiểu cây trồng cách quãng hoặc dưới sự cắt tỉa hoặc tỉa thưa không tạo ra các giống cây trồng thể hiện những lợi thế mong muốn trong các bãi cỏ nhiều loài dưới sự chăn thả tập trung. Ngoài ra, khi sử dụng các cây trồng cách nhau, chúng không được sao chép (tức là mỗi cây là một kiểu gen duy nhất) và có thể đạt được độ chính xác cao hơn của các phép đo hiệu suất nông học của chúng bằng cách nhân bản chúng và/hoặc hiểu được tầm quan trọng của vị trí của chúng trong cấu trúc họ của quần thể sinh sản. Tuy nhiên, điều đó có thể dẫn đến các thử nghiệm lớn hơn nhiều, ngày càng khó quản lý;

Việc lai tạo thức ăn chăn nuôi đã tập trung quá nhiều vào việc cải thiện năng suất và phần lớn đã bỏ qua việc cho ăn và giá trị dinh dưỡng, cũng như cách thức giống mới có thể phù hợp với hệ thống chăn nuôi và tác động đến chất lượng sản phẩm động vật (Norman và Masters, 2023). Tuy nhiên, quan điểm này không công nhận tiến bộ di truyền đạt được trong việc điều chỉnh ngày trở bông, giảm trở bông sau đó và tính theo mùa của phân phối năng suất ở cỏ lúa mạch đen lâu năm để phù hợp hơn với sự cân bằng cung-cầu thức ăn của các hệ thống sản xuất dựa trên đồng cỏ (Lee và cs., 2012);

Cuối cùng, Parsons và cs. (2011) cho rằng năng suất có thể là một hiện tượng quá phức tạp đối với việc lựa chọn đáng tin cậy và lâu dài. Năng suất theo nghĩa này đề cập đến lượng vật chất khô được thu hoạch bởi động vật ăn cỏ, trái ngược với các phương pháp thu hoạch tương đối nhân tạo được sử dụng trong các thử nghiệm đánh giá lô nhỏ. Parsons và cs. (2011) lập luận rằng, một khi những hạn chế lớn về tài nguyên như tính khả dụng của chất dinh dưỡng trong

đất và nước được loại bỏ thông qua phân bón và đầu vào tưới tiêu, năng suất cao hơn có nghĩa là hiệu quả sử dụng tài nguyên cao hơn, chẳng hạn như nhiều quang hợp hơn trên một đơn vị DM, ít hô hấp hơn trên một đơn vị DM, phân chia C hiệu quả hơn, sự cân bằng tốt hơn giữa các chiến lược tăng trưởng và lưu trữ (đặc biệt là trong cây lâu năm) và tăng trưởng nhiều hơn trên một đơn vị N, P hoặc nước. Tiến bộ theo những hướng này đòi hỏi phải có sự thao túng di truyền tập trung vào đặc điểm có mục tiêu cao. Điều này ngụ ý một bước thay đổi đáng kể so với các chương trình nhân giống hiện tại nhằm mục đích tăng năng suất, phần lớn dựa trên các phương pháp chọn lọc kiểu hình theo kinh nghiệm, trong đó lợi ích di truyền là kết quả của một số sự kết hợp các thay đổi trong các thành phần riêng lẻ của năng suất.

Việc giải quyết yếu tố nào được liệt kê ở trên hoặc kết hợp yếu tố nào trong số chúng có thể giải thích tại sao một số thử nghiệm quy mô trang trại không cho thấy bất kỳ lợi thế nào khi sử dụng các giống cải tiến mới là quan trọng vì nó liên quan trực tiếp đến các mục tiêu lai tạo cần tìm kiếm, các phương pháp đánh giá được sử dụng và sự tự tin của người nông dân khi sử dụng các giống cải tiến mới. Các danh sách trên minh họa nhiều vấn đề và sự đánh đổi cần được giải quyết để đảm bảo đưa ra được những dự đoán chính xác về hiệu suất dự kiến tại trang trại.

Đánh giá cây thức ăn chăn nuôi trong tương lai

Các hệ thống đánh giá trên toàn cầu chủ yếu tập trung vào việc đo lường sản lượng và hàm lượng vật chất khô (Caradus và cs., 2021a), sau này liên quan đến khả năng chịu được áp lực chăn thả, cạnh tranh giữa các loài và thích nghi với các hạn chế phi sinh học, cùng với khả năng kháng/chịu được sâu bệnh. Các hệ thống đánh giá sử dụng chỉ số để cung cấp chỉ số hiệu suất tổng thể cho sản xuất vật nuôi từ các phép đo thử nghiệm trên lô nhỏ. Những chỉ số này đặt kết quả của các thử nghiệm trên các lô đất nhỏ vào bối cảnh giá trị kinh tế của việc cải thiện các đặc điểm thực vật riêng lẻ đối với các trang trại chăn thả.

Ngoài những sáng kiến này, có rất ít tiến triển trong các mục tiêu và phương pháp đánh giá trong 50 đến 60 năm qua. Thử nghiệm đồng ruộng độc canh trên lô nhỏ vẫn là nền tảng, cho phép các nhà lai tạo thử nghiệm thành công các lợi ích trong sản phẩm của họ so với các giống cây trồng tiêu chuẩn công nghiệp và các sản phẩm của đối thủ cạnh tranh của họ trên các bãi cỏ loài thuần chủng đơn giản. Các vấn đề về khả năng mở rộng kết quả từ các thử nghiệm đánh giá lô nhỏ, cũng như các phương pháp và giả định được sử dụng trong FVI và trong nghiên cứu trang trại, đều liên quan đến kết quả này, đặt ra câu hỏi về những cải thiện trong mức tăng di truyền trong năng suất của các giống cỏ lúa mạch đen lâu năm. Như đã lưu ý ở trên, một số thử nghiệm khác với bò sữa cũng không tái tạo được những khác biệt dự kiến giữa các loại cỏ lúa mạch đen về hiệu suất của động vật.

Mặc dù có một số ví dụ về lợi ích di truyền đã được quan sát thấy trong các thí nghiệm hệ thống với các loài khác nhau sự không phù hợp của mức tăng di truyền được đo lường trong quá trình lai tạo cây thức ăn chăn nuôi và đôi khi cho kết quả đáng thất vọng khi các giống cải tiến được thử nghiệm trong các nghiên cứu chăn thả trên hệ thống trang trại nhỏ, đặt ra câu hỏi: làm thế nào để lai tạo và đánh giá lai tạo có thể mô phỏng chính xác hơn tính phức tạp và tính biến đổi của các hệ thống quản lý trang trại?.

Một số vấn đề tác động đến câu hỏi về cách thức các phương pháp đánh giá có thể/nên phát triển để đáp ứng tốt hơn nhu cầu của nông dân đã được nêu ra trong bài đánh giá này. Chúng bao gồm:

Tầm quan trọng mới nổi của các giải pháp dựa trên thực vật đối với khí thải môi trường từ các hệ thống canh tác đồng cỏ, đặc biệt là khí thải N (rửa trôi, nitơ oxit) và metan. Vì các mục tiêu này có tầm quan trọng lớn hơn trong các chương trình lai tạo, nên cần có một số hình thức đánh giá hiệu quả của các sản phẩm mới được phát triển cho các mục đích này. Nông dân sẽ cần thông tin này để đưa ra lựa chọn sáng suốt và các cơ quan quản lý sẽ yêu cầu đảm bảo

rằng việc sử dụng tại trang trại của họ sẽ mang lại lợi ích thực sự cho môi trường;

Việc sử dụng rộng rãi các nền độc canh trong các hệ thống đánh giá thửa đất nhỏ, so với phương pháp canh tác phổ biến là gieo hỗn hợp các loài để tạo ra đồng cỏ mới. Có xu hướng ngày càng tăng đối với việc sử dụng các đồng cỏ đa dạng để giúp giải quyết các quy định về khí hậu (thích nghi) và môi trường (giảm thiểu phát thải khí nhà kính (GHG) và khí N_2). Hiện tại, giả định ngầm định là thứ hạng hiệu suất thu được từ các bãi cỏ độc canh sẽ giữ nguyên khi các giống cây trồng được trồng hỗn hợp với các loài khác. Có một khối lượng bằng chứng hợp lý hỗ trợ cho giả định về thứ hạng, nhưng cũng có bằng chứng cho thấy các tương tác mở rộng quy mô sẽ được áp dụng. Cơ sở kiến thức cốt lõi liên quan ở đây là về cạnh tranh giữa các loài, trong đó có nhiều tài liệu liên quan đến đồng cỏ chăn thả. Nên tận dụng nhiều hơn kiến thức đó để phát triển các phương pháp trực tiếp hoặc dự đoán trước giúp người nông dân tin tưởng rằng khi họ tiến tới đa dạng hóa cơ sở thức ăn chăn nuôi của mình, các đặc điểm mà họ đưa vào sẽ tạo ra sự khác biệt thực sự đối với năng suất hoặc dấu chân môi trường của họ. Ngoài ra, trong các loài, hiện tại có rất ít thông tin về hiệu suất tương đối của nguồn gen có sẵn trong các hệ thống thử nghiệm, ngoài cỏ lúa mạch đen. Khoảng cách này sẽ cần được giải quyết tại một thời điểm nào đó khi danh sách giống cây trồng trong các loài khác được mở rộng;

Ít hoặc không sử dụng chăn thả trong các hệ thống đánh giá thửa đất nhỏ. Ngay cả sự thay đổi về tần suất chăn thả cũng có thể có tác động đáng kể đến sự tích lũy cỏ (Faville và *cs.*, 2018). Tuy nhiên, tương tự như vấn đề độc canh ở trên, đối với các đặc điểm như năng suất, việc xếp hạng lại hiệu suất giống tương đối là không có khả năng, nhưng khả năng tương tác mở rộng quy mô nên được chú ý nhiều hơn. Cơ sở kiến thức cốt lõi ở đây là tương tác giữa thực vật và động vật, cũng có nhiều tài liệu đáng kể - nhưng tài liệu đó hầu như không được áp dụng để xem xét tác động trong các hệ thống trang trại thực tế;

Tương tác mở rộng quy mô ngoài những tương tác liên quan đến cạnh tranh giữa các loài hoặc tương tác giữa thực vật và động vật. Bao gồm tương tác giữa giống cây trồng và mức N và giữa giống cây trồng và các loài động vật ăn cỏ; Duy trì sự nhấn mạnh vào việc đánh giá năng suất. Có những lý do chính đáng cho việc này, vì năng suất có tầm quan trọng tối cao đối với việc tăng năng suất trong các hệ thống trang trại. Nhưng, như đã lưu ý ở trên, khí hậu và các thiết lập quy định đối với canh tác đồng cỏ đang thay đổi theo cách mà bằng cách nào đó phải thêm nhiều đặc điểm hơn vào 'danh mục' đánh giá;

Phạm vi không gian và thời gian của môi trường canh tác và tiềm năng tăng trưởng thực vật liên quan. Một lần nữa, giả định là thứ hạng về tính bền vững của năng suất tương đối sẽ được duy trì sau khung thời gian 3 năm. Có bằng chứng ủng hộ điều này (Chapman và *cs.*, 2015b), nhưng khi biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng và xuất hiện nhiều hiện tượng khí hậu cực đoan hơn, giả định đó sẽ chịu nhiều áp lực hơn và cần có thông tin tốt hơn để đảm bảo với nông dân về vấn đề này;

Thang thời gian cần thiết để hoàn thành các thử nghiệm đánh giá. Các thử nghiệm cỏ lâu năm thường kéo dài trong 3 năm. Lý tưởng nhất là chúng sẽ kéo dài hơn để có thêm sự tin tưởng vào tính bền vững của thứ hạng năng suất. Tuy nhiên, tuổi thọ thương mại của các giống cây trồng có thể chỉ ngắn tới 5–6 năm, tùy thuộc vào các quyết định chiến lược của công ty lai tạo. Trong trường hợp đó, các giống cây trồng được đưa vào các thử nghiệm dài hạn có thể không còn được đưa ra thị trường khi kết quả đánh giá cuối cùng được biên soạn và công bố.

Những điểm trên có thể được coi là 'danh sách mong muốn' cho một khuôn khổ đánh giá toàn diện. Một số trong số chúng có lẽ thuộc về lĩnh vực nông học hơn là đánh giá. Trong trường hợp không có những cải tiến kỹ thuật mang tính đột phá, ví dụ như trong các phương pháp dự đoán bộ gen và khoa học dữ liệu có thể được áp dụng nhanh chóng và rẻ tiền, nhiều trong số chúng sẽ vẫn nằm trong bóng tối vì thiếu đủ nguồn

lực để giải quyết tất cả. Về mặt nguồn lực cần thiết, cũng phải thừa nhận rằng đầu tư vào các thí nghiệm hệ thống chăn thả nhiều năm được thiết kế tốt, tập trung vào đặc điểm là rất quan trọng để tập hợp kiến thức mới cần thiết để giải quyết chúng, ít nhất là về mặt khái niệm; cũng như ‘xác thực’ các phương pháp mới nếu chúng xảy ra.

Cuối cùng, khi các hệ thống chăn thả thay đổi để đáp ứng các yêu cầu cấp thiết mới về giảm thiểu và thích ứng với biến đổi khí hậu và giảm dấu chân môi trường, đã đến lúc cân nhắc liệu trọng tâm có nên chuyển từ đánh giá các giống cây trồng sang đánh giá đồng cỏ (và theo suy luận là hỗn hợp đồng cỏ) theo nghĩa rộng hơn hay không. Triển vọng thao túng một số đặc điểm chính có vẻ lớn hơn khi sử dụng nhiều loài hơn là dựa vào việc lai tạo để dịch chuyển nhiều đặc điểm theo đúng hướng cùng lúc trong các loài. Trong khi ước tính khả năng di truyền đối với các đặc điểm quan tâm thường thuận lợi, càng nhiều đặc điểm được nhắm mục tiêu, tốc độ tăng trưởng của bất kỳ đặc điểm nào trong số chúng càng chậm. Câu hỏi thực sự cần xem xét là - ‘đồng cỏ tốt là gì?’ cho mục đích của các ngành chăn thả khác nhau và làm việc ngược lại từ đó để xác định các đặc điểm chính và xác định cách tốt nhất để lắp ráp chúng.

Lai tạo cây thức ăn chăn nuôi trong tương lai

Mặc dù một số kết quả quan sát được với các thử nghiệm trên động vật ở quy mô trang trại nhỏ, việc lai tạo cây thức ăn chăn nuôi vẫn được coi là quan trọng và là năng lực cốt yếu để đảm bảo chăn nuôi du mục sử dụng đồng cỏ chăn thả có tương lai theo quan điểm toàn vẹn môi trường, thịnh vượng kinh tế và gắn kết xã hội ở các khu vực không phải đô thị. Các cơ hội và thách thức đối với các nỗ lực lai tạo cây thức ăn chăn nuôi sẽ phụ thuộc vào:

Nguồn tài trợ dài hạn đầy đủ để hỗ trợ năng lực nhân giống – mối quan tâm toàn cầu (Casler và Vogel, 2020). Hiện tại, phần lớn điều này đang được giao cho các khoản đầu tư do thương mại thúc đẩy với hầu hết các hàng hóa công cộng đang bị rút lại và tập trung vào các hoạt động

tiền lai tạo có thể hoặc không liên quan đến các mục tiêu thương mại. Tiền lai tạo đề cập đến các hoạt động xác định các đặc điểm mong muốn và gen từ các vật liệu chưa thích nghi mà không thể sử dụng trực tiếp trong các quần thể lai tạo (các loài ngoại lai và hoang dã) và chuyển các đặc điểm này sang một bộ gen trung gian mà các nhà lai tạo có thể thao tác thêm trong việc tạo ra các giống mới (Graddy-Lovelace, 2018). Có câu châm ngôn của người chăn nuôi được Casler và van Santen (2010) rằng ‘những gì bạn chọn là những gì bạn nhận được’. Do đó, các chương trình nhân giống cần được quản lý trong môi trường thực tế mô phỏng chặt chẽ môi trường mục tiêu (Casler và van Santen, 2010). Đối với thức ăn chăn nuôi, điều này cần bao gồm sự cạnh tranh giữa các loài và việc phá lá bằng cách sử dụng động vật ăn cỏ trong một khoảng thời gian đáng kể (nhiều năm). Thật vậy, việc phân tích kiểu hình trong môi trường được kiểm soát hoặc nhân tạo không nên được coi là thay thế cho việc phân tích kiểu hình ngoài đồng ruộng. Chúng chỉ cung cấp một công cụ bổ sung cho phép có được những hiểu biết khó có thể có được trong điều kiện đồng ruộng và cho phép hiểu biết cơ học về các con đường và/hoặc cho phép đào tạo các mô hình (Langstroff và cs., 2022);

Tích hợp và sử dụng giải trình tự bộ gen cùng với các công nghệ và quy trình đánh dấu bộ gen để cung cấp các dấu hiệu chức năng cho khả năng chịu đựng căng thẳng và các đặc điểm khác (Zhang và cs., 2006; Kopecký và Studer, 2014; Annicchiarico và cs., 2015, 2016). Điều này có hiệu quả đối với các đặc điểm có gen tác động chính nhưng không hiệu quả đối với các đặc điểm định lượng theo mô hình vô cùng nhỏ, trong đó đặc điểm được kiểm soát bởi 1000 gen, mỗi gen có tác động nhỏ. Trong trường hợp đó, chọn lọc bộ gen cung cấp một giải pháp để đẩy nhanh tiến trình nhân giống bằng cách nắm bắt các tác động của tất cả các alen có lợi, thay vì chỉ nhắm mục tiêu vào một alen (M. Faville, pers comm);

Sử dụng biến đổi gen và chỉnh sửa gen trong các loài thức ăn chăn nuôi để đưa vào các đặc điểm mới có giá trị (Caradus, 2023c, 2023d).

Về các kịch bản sử dụng chỉnh sửa gen để loại bỏ hoặc làm suy yếu một hoặc nhiều gen, điều này giả định rằng có một gen ứng cử viên đã biết để nhắm mục tiêu ngay từ đầu. Do đó, cần phải có khoản đầu tư đáng kể vào việc khám phá gen trong các loài thức ăn chăn nuôi có liên quan này trước khi việc loại bỏ gen chỉnh sửa trở thành một lựa chọn khả thi. Việc biểu hiện tannin cô đặc trên lá trong cỏ ba lá trắng không chỉ có khả năng làm giảm chứng đầy hơi mà còn giảm phát thải nitơ oxit và mê-tan (Roldan và *cs.*, 2022). Giá trị dinh dưỡng được cải thiện và mức ME trong cỏ cũng đã được chứng minh là có khả năng làm giảm lượng khí thải mê-tan (Grainger và Beauchemin, 2011; Winichayakul và *cs.*, 2020). Nhìn chung, các đặc điểm về năng suất và sức đề kháng vẫn được ưu tiên cao với chất lượng và cấu trúc của thảm thực vật có tầm quan trọng thấp hơn. Điều thú vị là trong số các đặc điểm về chất lượng được khảo sát, hàm lượng lipid và hàm lượng tannin cô đặc, cả hai đều có thể làm giảm lượng khí thải nhà kính (Grainger và Beauchemin, 2011; Roldan và *cs.*, 2022) được tất cả các nhà lai tạo xếp vào loại không liên quan;

Phương pháp mới để đánh giá và phân tích đặc điểm thực vật (Pembleton và *cs.*, 2013; Casler và Vogel, 2020). Điều này bao gồm hiện tượng học và việc sử dụng nó trong môi trường thực tế (White và *cs.*, 2012; Großkinsky và *cs.*, 2015). Hiện tượng học trong các hệ thống môi trường được kiểm soát có thể không đủ khả năng mở rộng để sử dụng trong môi trường thực tế (Pauli và *cs.*, 2016; Langstroff và *cs.*, 2022) và điều này chắc chắn sẽ là một thách thức đối với việc nhân giống thức ăn chăn nuôi trong các tình huống môi trường phức tạp và thay đổi với việc chăn thả gia súc. Tuy nhiên, tiến bộ đang được thực hiện với việc sử dụng LiDAR (Phát hiện ánh sáng và Đo khoảng cách) trong các ứng dụng thực địa để đo lường sự thay đổi về năng suất lá cây giữa các dòng và giống lúa mạch đen lâu năm (Ghamkhar và *cs.*, 2018; George và *cs.*, 2019; Nguyen và *cs.*, 2022b);

Phát triển các giống cây trồng có lợi cho môi trường, khả năng chịu đựng và thích nghi với môi trường thay đổi (Casler và Vogel, 2020).

Thích nghi với nhiệt độ cao hơn (Billman và *cs.*, 2023);

Khả năng chịu hạn được cải thiện, được định nghĩa là khả năng sống sót và sản xuất thức ăn sau nhiều đợt hạn hán khác nhau (Inostroza và *cs.*, 2015): Các phương pháp để đạt được điều này trong môi trường thực tế với các biện pháp kiểm soát đầy đủ là một thách thức, nhưng có thể bao gồm các nơi trú ẩn tránh mưa tự động tại hiện trường (Kundel và *cs.*, 2018) là lựa chọn tốt hơn so với việc lựa chọn khả năng chịu hạn trong môi trường được kiểm soát chặt chẽ, chẳng hạn như phòng tăng trưởng hoặc nhà kính (Passioura, 2012). Các lựa chọn cũng có thể bao gồm việc lai tạo các loại cỏ ngủ đông mùa hè bằng cách sử dụng nguồn gen có nguồn gốc từ Địa Trung Hải để tránh thời kỳ khô hạn mùa hè (Reed, 2014; Malinowski và *cs.*, 2023; Byerlee, 2024); hệ thống rễ sâu hơn (mặc dù trực quan nhưng điều này có thể khó đo lường) hoặc tỷ lệ rễ/thân cây cao (Karcher và *cs.*, 2008; Langstroff và *cs.*, 2022); các thử nghiệm thực địa đa địa điểm trong môi trường dễ bị hạn hán để đảm bảo lựa chọn hiệu quả khi đối mặt với tính di truyền năng suất thấp trong một số môi trường hạn hán (Saeidnia và *cs.*, 2016) và sự tương tác với các vi khuẩn cộng sinh (West, 2018);

Cải thiện giá trị dinh dưỡng (Casler và Vogel, 1999; Tucak và *cs.*, 2021; Bernal và *cs.*, 2023). Một cuộc khảo sát được tiến hành trong số những người lai tạo thực vật từ nhiều quốc gia cách đây khoảng 25 năm (Smith và *cs.*, 1997) chỉ ra rằng tăng khả năng tiêu hóa vật chất khô được xếp hạng là mục tiêu quan trọng nhất đối với cỏ, tiếp theo là tăng carbohydrate không cấu trúc và cải thiện tốc độ tiêu hóa. Đối với các loại đậu, ba ưu tiên hàng đầu là không có các yếu tố chống chất lượng (ví dụ gây đầy hơi), 'tỷ lệ tối ưu' giữa protein phân hủy trong dạ cỏ và protein không phân hủy và tăng khả năng tiêu hóa vật chất khô;

Tích hợp di truyền thực vật với các loài nội sinh được chỉnh sửa gen bắt buộc như *Epichloë* trong các loại cỏ ôn đới (Caradus và Johnson, 2020; Johnson và *cs.*, 2021), mà còn có các vi khuẩn cộng sinh khác như vi khuẩn cố định N (Weith và *cs.*, 2022; Shi và *cs.*, 2023);

Tiếp tục cải thiện khả năng tồn tại của cây thức ăn chăn nuôi (Martin và cs., 1989), được định nghĩa là khả năng của đồng cỏ duy trì năng suất cao hơn đồng cỏ mà nó thay thế trong nhiều năm (Chapman và cs., 2021; Cosgrove và cs., 2023) trong điều kiện chăn thả và thách thức về sinh học và phi sinh học;

Đảm bảo sản xuất hạt giống tiết kiệm chi phí nhưng không làm ảnh hưởng đến các đặc điểm về hiệu suất nông học (Woodfield và cs., 2004);

Tăng cường biểu hiện các chất chuyển hóa thứ cấp giúp thực vật sống sót và/hoặc cải thiện sức khỏe và phúc lợi động vật (Villalba và cs., 2023). Chúng có thể có sẵn trong cây hoặc được tạo ra thông qua mối quan hệ cộng sinh với vi khuẩn;

Hiểu rõ hơn về các đặc điểm có giá trị của rễ trong việc tăng khả năng thích nghi của cây với các căng thẳng sinh học và phi sinh học và xác định các phương pháp đo lường tốt hơn (Wasaya và cs., 2018) và tích hợp vào các chương trình nhân giống (Paez-Garcia và cs., 2015; van der Bom và cs., 2020; Lynch, 2022).

Kết luận

Các tác nhân thúc đẩy quá trình chọn lọc tự nhiên và lai tạo thực vật có thể hoàn toàn trái ngược nhau. Chọn lọc tự nhiên bảo tồn các đặc điểm có lợi cho sự sống còn và sinh sản của thực vật trong khi các nhà lai tạo thực vật chủ yếu tìm kiếm năng suất tăng. Sự sống còn hoặc tính bền bỉ đạt được bởi các loài thực vật đồng cỏ thông qua hiệu quả sinh sản, tránh bị hư hại hoặc chăn thả thông qua sự phát triển và bảo vệ các điểm sinh trưởng sinh dưỡng hoặc sự hiện diện của các hợp chất kháng dinh dưỡng. Ngược lại, chọn giống cây trồng chủ yếu để tăng năng suất hoặc sản lượng. Trong đồng cỏ chăn thả, những thay đổi về hình thái và thói quen của cây có thể diễn ra nhanh chóng để đáp ứng với các hệ thống quản lý được áp dụng. Nghiên cứu đó kết luận rằng 'các hệ thống quản lý áp dụng cho đồng cỏ có ảnh hưởng nhanh chóng đến hiện tượng chọn lọc tự nhiên. Trong điều kiện

đồng ruộng, các kiểu sinh thái thích nghi với môi trường được tạo ra bởi các hệ thống chăn thả khác nhau sẽ được tạo ra, trong một số trường hợp khá nhanh. Trong trường hợp đó, theo thời gian, kiểu hình của thực vật từ bãi cỏ thường xuyên bị rụng lá có kiểu hình ngắn hơn so với kiểu hình của thực vật từ bãi cỏ ít bị rụng lá hơn khi phát triển đến khi ra hoa. Những thay đổi như vậy trong quá trình lai xa và các loài có sự đa dạng về mặt di truyền được cho là xảy ra thông qua cái chết của những cây thích nghi kém trong quần thể hơn là thông qua sự kiện sinh sản và tuyển dụng cây con. Do đó, điều này có thể được suy rộng để gợi ý rằng ngay cả khi các giống cây trồng khác nhau của một loài được so sánh trong các hệ thống quản lý giống hệt nhau, thì kết quả sẽ cho thấy ít hoặc không có sự khác biệt giữa các giống cây trồng ít nhất là theo quan điểm về kiểu hình?.

Việc lựa chọn kiểu gen để phát triển giống cây trồng nên được thực hiện trong quần thể mục tiêu của môi trường mà giống cây trồng kết quả được dự định. Vai trò của tính linh hoạt kiểu hình hoặc hiệu ứng biểu sinh trong việc điều hòa cây trồng trước áp lực chăn thả cũng chưa được hiểu rõ. Chăn thả có chọn lọc và cạnh tranh giữa các cây trồng là hai quá trình chính ảnh hưởng đến sự phát triển và khả năng sống sót của thực vật trong hệ sinh thái chăn thả và do đó cả hai đều cần phải đóng vai trò tạo áp lực chọn lọc để xác định kiểu gen 'ưu tú' nhằm cải thiện khả năng thích nghi ở bất kỳ giống cây trồng nào được tạo ra.

Sự không liên quan có thể xảy ra giữa những thành tựu lai tạo thực vật quan sát được với các loại cây trồng làm đồng cỏ và thức ăn chăn nuôi và tác động tiếp theo của chúng trên trang trại cho thấy cần phải có thêm nhiều công việc để (1) đảm bảo các giống cây trồng được sử dụng trong đồng cỏ chăn thả hỗn hợp được lựa chọn trong một môi trường thích hợp và (2) các hệ thống quản lý được thiết kế để khai thác hiệu quả các lợi ích/cải tiến từ các nỗ lực lai tạo cây trồng làm thức ăn chăn nuôi.

Tài liệu tham khảo

- Allen, V.G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, J., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., et al. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*. 66:2–8. doi:10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x.
- Annicchiarico, P. 2003. Breeding white clover for increased ability to compete with associated grasses. *The Journal of Agricultural Science*. 140:255–266. doi:10.1017/S0021859603003198.
- Annicchiarico, P., Barrett, B., Brummer, E.C., Julier, B. and Marshall, A.H. 2015. Achievements and challenges in improving temperate perennial forage legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 34:327–380. doi:10.1080/07352689.2014.898462.
- Annicchiarico, P., Boller, B., Brummer, E.C. and Reheul, D. 2016. Improving the focus of forage breeding research. In: Roldán-Ruiz I, Baert J, Reheul D, editors, *Breeding in a World of Scarcity: Proceedings of the 2015 Meeting of the Section “Forage Crops and Amenity Grasses” of Eucarpia 2016*. Springer International Publishing. p. 251–269. doi:10.1007/978-3-319-28932-8_39.
- Annicchiarico, P., Pecetti, L., Abdelguerfi, A., Bouzerzour, H., Kallida, R., Porqueddu, C., Simões, N.M., and Volaire, F. 2013. Optimal forage grass germplasm for drought-prone Mediterranean environments. *Field Crops Research*. 148:9–14. doi:10.1016/j.fcr.2013.03.024.
- Annicchiarico, P. and Piano, E. 2000. Response of white clover genotypes to evaluation environments of dense and spaced planting, and implications for selection. *Euphytica*. 111:111–120. doi:10.1023/A:1003898913594.
- Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E., and Cassidy, T.W. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science*. 85:1777–1792. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74252-5.
- Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S., and Delahoy, J.E. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*. 86:1–42. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4.
- Barker, R.E. and Kalton, R.R. 1989. Cool-season forage grass breeding: progress, potentials, and benefits. In: Sleper DA, Asay KH, Pedersen JF, editors. *Contributions from breeding forage and turf grasses*. Vol. 15. Atlanta, Georgia, USA: Crop Science Society of America Inc.; p. 5–20. doi:10.2135/cssaspecpub15.c2.
- Beard, K.T. 1987. Efficiency of index selection for dairy cattle using economic weights for major milk constituents. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38:273–284. doi:10.1071/AR9880273.
- Bernal, A., Pizarro, E.A., Carrillo, Q., and Pérez, P. 2023. The nutritional dynamic is key for use optimal forage and increase of meat production. In: Smith R, Bowling T, editors. *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA. p. 1462–1464. doi:10.52202/071171-03568.
- Billman, E.D., Morrison, J.I., and Baldwin, B.S. 2023. Breeding forage grasses for increased heat tolerance to combat climate change. In: Smith R, Bowling T, (editors), *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA. p. 427–430. doi:10.52202/071171-0101.
- Bouton, J.H. 2023. Forage breeding and cultivar development: A 50-year perspective. *Grassland Research*. 2:97–105. doi:10.1002/ghr2.12050.
- Breese, E.L., and Hayward, M.D. 1972. The genetic basis of present breeding methods in forage crops. *Euphytica*. 21:324–336. doi:10.1007/BF00036773.
- Brummer, C.E., and Casler, M.D. 2014. Cool-season forages. In: Smith S, Diers B, Specht J, Carver B, editors. *Yield gains in major U.S. field crops*. Madison, Wisconsin, USA: Crop Science Society of America; p. 33–51. doi:10.2135/cssaspecpub33.c3.
- Buxton, D.R., and Casler, M.D. 1993. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility. In: Jung HG, Buxton DR, Hatfield RD, Ralph J, editors. *Forage cell wall structure and digestibility*. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy; p. 685–714. doi:10.2134/1993.foragecellwall.c25.
- Byerlee, D. 2024. A global North-South Mediterranean exchange, 1891–1990: pastures for dryland farming systems. *Commodities of Empire Working Paper No. 37*. p. 41. ISSN: 1756-0098. [accessed 2024 Aug 10]. [https://commoditiesofempire.org.uk/files/2024/01/WP37.pdf\(open in a new window\)](https://commoditiesofempire.org.uk/files/2024/01/WP37.pdf(open in a new window)).

- Cashman, P.A., McEvoy, M., Gilliland, T.J., and O'Donovan, M.A. 2016. Comparison between cutting and animal grazing for dry-matter yield, quality and tiller density of perennial ryegrass cultivars. *Grass and Forage Science*. 71:112–122. doi:10.1111/gfs.12166.
- Caradus, J., Bouton, J., Brummer, C., Faville, M., George, R., Hume, D., Inch, C., Kerr, G., Montel, S., Stewart, A., et al. 2021a. Plant breeding for resilient pastures. In: Douglas G. (editor), *Resilient Pastures Symposium 2021 New Zealand Grassland Association Research and Practice Series*. 17: 81–104. doi:10.33584/rps.17.2021.3441.
- Caradus, J.R. 1993a. White clover breeding line performance under sheep and cattle grazing. *Proceedings 10th Australian Plant Breeding Conference*, April 1993. 'Focused Plant Improvement: Towards Responsible and Sustainable Agriculture'. 2:35–36.
- Caradus, J.R. 2015. Forage plant genetics – how are we moving to raise the rate of genetic gain. *Primary Industry Management Journal*. 19:11–14.
- Caradus, J.R. 2023a. Perceptions of plant breeding methods—from 'phenotypic selection' to 'genetic modification' and 'new breeding technologies'. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. doi:10.1080/00288233.2023.2187425.
- Caradus, J.R. 2023c. Genetic modification – applications for forage and grassland production systems. In: Smith R, Bowling T. editors. *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA. p. 1586–1490.
- Caradus, J.R. 2023d. Genetic modification – benefits and risks for New Zealand grassland production systems. *Journal of New Zealand Grasslands*. 85:39–49. doi:10.33584/jnzg.2023.85.3654.
- Caradus, J.R., and Johnson, L.J. 2020. Epichloë fungal endophytes – from a biological curiosity in wild grasses to an essential component of high performing ryegrass and fescue pastures. In: Hodgkinson TR, Murphy BR. editors. *Fungal Endophytes in Agriculture and Ecosystems*. *Journal of Fungi – Open Access Mycology Journal* 6:Article 322. doi:10.3390/jof6040322.
- Casler, M.D. 2001. Breeding forage crops for increased nutritional value. *Advances in Agronomy*. 71:51–107. doi:10.1016/S0065-2113(01)71012-7.
- Casler, M.D., and Brummer, E.C. 2008. Theoretical expected genetic gains for among-and-within-family selection methods in perennial forage crops. *Crop Science*. 48:890–902. doi:10.2135/cropsci2007.09.0499.
- Casler, M.D., and van Santen, E. 2010. Breeding objectives in forages. In: Bollner B, Posselt UK, Veronesi F, editors. *Fodder crops and amenity grasses. Handbook of plant breeding*, vol. 5, p. 115–136. New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-0760-8_5.
- Casler, M.D., and Vogel, K.P. 1999. Accomplishments and impact from breeding for increased forage nutritional value. *Crop Science*. 39:12–20. doi:10.2135/cropsci1999.0011183X003900010003x.
- Casler, M.D., and Vogel, K.P. 2020. Forage breeding. In: Moore KJ, Collins M, Nelson CJ, Redfearn DD, editors. *Forages*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd; p. 553–585. doi:10.1002/9781119436669.ch30.
- Chapman, D., Ludemann, C., Griffiths, W., Rossi, L., Waugh, D., and Kuhn-Sherlock, B. 2021. Persistence of the yield advantage of perennial ryegrass cultivars: concept, evidence and implications. In: Douglas GB, editor. *Resilient Pastures Symposium*. New Zealand Grassland Association Research and Practice Series 17:411–419. doi:10.33584/rps.17.2021.3452.
- Chapman, D.F., Bryant, J.R., Olayemi, M.E., Edwards, G.R., Thorrold, B.S., McMillan, W.H., Kerr, G.A., Judson, G., Cookson, T., Moorhead, A., et al. 2016. An economically based evaluation index for perennial and short-term ryegrasses in New Zealand dairy farm systems. *Grass and Forage Science*. 72:1–21. doi:10.1111/gfs.12213.
- Chapman, D.F., Crush, J.R., Lee, J.M., Cosgrove, G.P., Stevens, D.R., Rossi, L., Popay, A.J., Edwards, G.R., and King, W.M. 2018a. Implications of grass-clover interactions in dairy pastures for forage value indexing systems. 6. Cross-site analysis and general discussion. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 61:255–284. doi:10.1080/00288233.2018.1442868.
- Chapman, D.F., Edwards, G.R., and Pinxterhuis, J.B. 2014. Plants for dairy grazing systems operating under nitrate leaching limits. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 74:102–107. <https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/ab14022.pdf>.

- Chapman, D.F., Edwards, G.R., Stewart, A.V., McEvoy, M., O'Donovan, M., and Waghorn, G.C. 2015a. Valuing forages for genetic selection: what traits should we focus on? *Animal Production Science*. 55:869–882. doi:10.1071/AN14838.
- Chapman, D.F., Muir, P.D., and Faville, M.J. 2015b. Persistence of dry matter yield among New Zealand perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars: Insights from a long-term data set. *Journal of New Zealand Grasslands*. 77:177–184. doi:10.33584/jnzc.2015.77.470.
- Chapman, D.F., Griffiths, W.M., Hofmann, R.W., Thomas, E., Faville, M.J., and Kuhn-Sherlock, B. 2024. Long-term trends in the genotypic integrity, phenotype and reproductive development of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) populations in New Zealand dairy pastures: implications for pasture persistence. *Grass and Forage Science*, in press.
- Chapman, D.F., Ludemann, C.I., Wims, C.M., and Kuhn-Sherlock, B. 2023b. The contribution of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) breeding to whole pasture productivity under dairy cattle grazing in New Zealand. 2. Rates of gain in production traits and economic value. *Grass and Forage Science*. 78:85–100. doi:10.1111/gfs.12589.
- Chapman, D.F., Pinxterhuis, J.B., Ledgard, S.F., and Parsons, A.J. 2019b. White clover or nitrogen fertiliser for dairying under nitrate leaching limits? *Animal Production Science*. 60:78–83. doi:10.1071/AN18577.
- Chapman, D.F., Wims, C.M., Ludemann, C.I., and Kuhn-Sherlock, B. 2023a. The contribution of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) breeding to whole pasture productivity under dairy cattle grazing in New Zealand. 1. Variation in yield, nutritive value and persistence-related traits. *Grass and Forage Science*. 78:64–84. doi:10.1111/gfs.12590.
- Clark, D.A. 1997. How much nitrogen is enough? *Proceedings of the Ruakura Dairy Farmers Conference*. 49:92–99.
- Conaghan, P., Casler, M.D., McGilloway, D.A., O'Kiely, P., and Dowley, L.J. 2008. Genotype $\times$ environment interactions for herbage yield of perennial ryegrass sward plots in Ireland. *Grass and Forage Science*. 63:107–120. doi:10.1111/j.1365-2494.2007.00618.x.
- Conaghan, P., and Casler, M.D. 2011. A theoretical and practical analysis of the optimum breeding system for perennial ryegrass. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 50:47–63. <https://www.jstor.org/stable/41348155>(open in a new window).
- Cosgrove, G.P., Maxwell, T.R., Wynne-Jones, B., Edwards, G.R., Staincliffe, M.R., and Tozer, K.N. 2023. Persistence of perennial ryegrass, tall fescue and cocksfoot following sequential annual sowings: Influence of species, cultivar and pasture age on inter-annual variability in yield and botanical composition. In: Smith R, Bowling T, editors. *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA. p. 487–492. doi:10.52202/071171-0116.
- Díaz, S., Lavorel, S., McIntyre, S.U., Falcuk, V., Casanoves, F., Milchunas, D.G., Skarpe, C., Rusch, G., Sternberg, M., Noy-Meir, I.M., et al. 2007. Plant trait responses to grazing – a global synthesis. *Global Change Biology*. 13:313–341. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01288.x.
- Dineen, M., Delaby, L., Gilliland, T., and McCarthy, B. 2018. Meta-analysis of the effect of white clover inclusion in ryegrass swards on milk production. *Journal of Dairy Science*. 101:1804–1816. doi:10.3168/jds.2017-12586.
- Eady, C., Conner, A.J., Rowarth, J.S., Coles, G.D., Deighton, M.H., and Moot, D.J. 2024. An examination of the ability of plantain (*Plantago lanceolata* L.) to mitigate nitrogen leaching from pasture systems. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. doi:10.1080/00288233.2024.2373220.
- Easton, H.S., Baird, D.B., Cameron, N.E., Kerr, G.A., Norriss, M.G., and Stewart, A.V. 2001. Perennial ryegrass cultivars: herbage yield in multi-site lot trials. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association*. 63:183–188. doi:10.33584/jnzc.2001.63.2408.
- Faville, M.J., Ganesh, S., Cao, M., Jahufer, M.Z., Bilton, T.P., Easton, H.S., Ryan, D.L., Trethewey, J.A., Rolston, M.P., Griffiths, A.G., et al. 2018. Predictive ability of genomic selection models in a multi-population perennial ryegrass training set using genotyping-by-sequencing. *Theoretical and Applied Genetics*. 131:703–720. doi:10.1007/s00122-017-3030-1.
- Finn, J.A., Kirwan, L., Connolly, J., Sebastià, M.T., Helgadottir, A., Baadshaug, O.H., Bélanger, G., Black, A., Brophy, C., Collins, R.P., et al. 2013. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-

- scale field experiment. *Journal of Applied Ecology*. 50:365–375. doi:10.1111/1365-2664.12041.
- Foletto, B. 2008. European rules for registration of varieties on a national catalogue (and a recommended variety list) for cereals. *Proceedings of the COST ACTION 860 – SUSVAR and ECO-PB Workshop on Value for Cultivation and Use testing of organic cereal varieties What are the key issues?* 28 and 29 February 2008 Brussels, Belgium. p.9–10. https://www.eco-pb.org/fileadmin/ecopb/documents/reports_proceedings/Proceedings_Brussel_08022829.pdf#page=9 (open in a new window).
- Garnier, E., and Navas, M-L. 2012. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. *A review. Agronomy for Sustainable Development*. 32:365–399. doi:10.1007/s13593-011-0036-y.
- George, R.M., Barrett, B.A., and Ghamkhar, K. 2019. Evaluation of LiDAR scanning for measurement of yield in perennial ryegrass. *Journal of New Zealand Grasslands*. 81:55–60. doi:10.33584/jnzg.2019.81.414.
- Ghamkhar, K., Irie, K., Hagedorn, M., Hsiao, J., Fourie, J., Gebbie, S., Flay, C., Barrett, B., Stewart, V., and Werner, A. 2018. Using LIDAR for forage yield measurement of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) field plots. In: Brazauskas G, Statkevičiūtė G, Jonavičienė K, editors. *Breeding grasses and protein crops in the era of genomics*. Cham: Springer. p. 203–208. doi:10.1007/978-3-319-89578-9_37.
- Grace, C., Boland, T.M., Sheridan, H., Brennan, E., Fritch, R., and Lynch, M.B. 2019. The effect of grazing versus cutting on dry matter production of multispecies and perennial ryegrass-only swards. *Grass Forage Science*. 74:437–449. doi:10.1111/gfs.12440.
- Graddy-Lovelace, G. 2018. Plants: Crop diversity pre-breeding technologies as agrarian care co-opted? *Area*. 52:235–243. doi:10.1111/area.12499.
- Grainger, C., and Beauchemin, K.A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*. 166–167:308–320. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021.
- Grange, G., Finn, J.A., and Brophy, C. 2021. Plant diversity enhanced yield and mitigated drought impacts in intensively managed grassland communities. *Journal of Applied Ecology*. 58:1864–1875. doi:10.1111/1365-2664.13894.
- Gray, C. 2023. Nitrogen fertiliser use in grazed pasture-based systems in New Zealand: a summary. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. doi:10.1080/00288233.2023.2198719.
- Griffiths, W.M., Roach, C.G., and Chapman, D.F. 2020. Should forage evaluation indices include a feeding value trait? *Grass and Forage Science*. 75:242–252. doi:10.1111/gfs.12482.
- Grogan, D., and Gilliland, T.J. 2011. A review of perennial ryegrass evaluation in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 50:65–81. <https://www.jstor.org/stable/41348156> (open in a new window).
- Großkinsky, D.K., Svensgaard, J., Christensen, S., and Roitsch, T. 2015. Plant phenomics and the need for physiological phenotyping across scales to narrow the genotype-to-phenotype knowledge gap. *Journal of Experimental Botany*. 66:5429–5440. doi:10.1093/jxb/erv345.
- Hakl, J., Mofidian, S.M.A., Kozová, Z., Fuksa, P., and Jaromír, Š. 2019. Estimation of lucerne yield stability for enabling effective cultivar selection under rainfed conditions. *Grass Forage Science*. 74:687–695. doi:10.1111/gfs.12456.
- Hanrahan, L., McHugh, N., Hennessy, T., Moran, B., Kearney, R., Wallace, M., and Shalloo, L. 2018. Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*. 101:5474–5485. doi:10.3168/jds.2017-13223.
- Harlan, J.R. 1992. Origins and processes of domestication. In: Chapman GP, editor. *Grass evolution and domestication*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 159–175.
- Hayes, B.J., Cogan, N.O.I., Pembleton, L.W., Goddard, M.E., Wang, J., Spangenberg, G.C., and Forster, J.W. 2013. Prospects for genomic selection in forage plant species. *Plant Breeding*. 132:133–143. doi:10.1111/pbr.12037.
- Hazard, L., Betin, M., and Molinari, N. 2006. Correlated response in plant height and heading date to selection in perennial ryegrass. *Agronomy Journal*. 98:1384–1391. doi:10.2134/agronj2005.0115.
- Hendriks, S.J., Donaghy, D.J., Cranston, L.M., Edwards, G.R., and Chapman, D.F. 2017. Perennial ryegrass breeding and the scaling issue: a review of system experiments investigating milk production and profit differences among cultivars. *Animal Production Science*. 57:1289–1296. doi:10.1071/AN16524.

- Hopkins, A.A., Vogel, K.P., Moore, K.J., Johnson, K.D., and Carlson, I.T. 1995. Genotype effects and genotype by environment interactions for traits of elite switchgrass populations. *Crop Science*. 35:125–132. doi:10.2135/cropsci1995.0011183X003500010023x.
- Howarth, R.E., and Goplen, B.P. 1983. Improvement of forage quality through production management and plant breeding. *Canadian Journal of Plant Science*. 63:895–902. doi:10.4141/cjps83-113.
- Humphreys, M.O. 1999. The contribution of conventional plant breeding to forage crop improvement. In: Proc. XVIII International Grassland Congress 1: Session4: 71–78. 8–19 June 1997. Winnipeg, Manitoba and Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Humphreys, M.O. 2005. Genetic improvement of forage crops – past, present and future. *The Journal of Agricultural Science*. 143:441–448. doi:10.1017/S0021859605005599.
- Inostroza, L., Acuña, H., and Méndez J. 2015. Multi-physiological-trait selection indices to identify *Lotus tenuis* genotypes with high dry matter production under drought conditions. *Crop Pasture Science*. 66:90–99. doi:10.1071/CP14193.
- Jacobs, J.L., and Woodward, S.L. 2010. Capturing the benefits of alternative forages for increased dairy farm profitability. *Proceedings of the 4th Australasian Dairy Science Symposium*, p. 292–304.
- Johnson, L.J., Bastias, D.A., Caradus, J.R., Chettri, P., Forester, N.T., Mace, W.J., Miller, T.A., Moon, C.D., Voisey, C.R., Zhang, W., et al 2021. The dynamic mechanisms underpinning symbiotic Epichloë – grass interactions: implications for sustainable and resilient agriculture. In: White J, Kumar A, Droby S, editors. *Microbiome stimulants for crops mechanisms and applications*. Duxford, UK: Woodhead Publishing, chapter 6. p. 73–108. doi:10.1016/B978-0-12-822122-8.00008-X.
- Karcher, D.E., Richardson, M.D., Hignight, K., and Rush, D. 2008. Drought tolerance of tall fescue populations selected for high root/shoot ratios and summer survival. *Crop Science*. 48:771–777. doi:10.2135/cropsci2007.05.0272.
- Kelly, S., Smith, E., and Brazendale, R. 2011. Pasture renewal in the Waikato and Bay of Plenty regions: an overview of farmer practice, experience and attitude. In: Mercer CF, editor. *Pasture Persistence Symposium*. New Zealand Grassland Association Research and Practice Series. 15:21–24. doi:10.33584/rps.15.2011.3215.
- Kingston-Smith, A.H., Marshall, A.H., and Moorby, J.M. 2013. Breeding for genetic improvement of forage plants in relation to increasing animal production with reduced environmental footprint. *Animal*. 7(s1):79–88. doi:10.1017/S1751731112000961.
- Kopecký, D., and Studer, B. 2014. Emerging technologies advancing forage and turf grass genomics. *Biotechnology Advances*. 32:190–199. doi:10.1016/j.biotechadv.2013.11.010.
- Kundel, D., Meyer, S., Birkhofer, H., Fließbach, A., Mäder, P., Scheu, S., van Kleunen, M., and Birkhofer, K. 2018. Design and manual to construct rainout-shelters for climate change experiments in agroecosystems [Methods]. *Frontiers in Environmental Science* 6:Article 14. doi:10.3389/fenvs.2018.00014.
- Laidlaw, A.S., and Reed, K.F.M. 1993. Plant Improvement: the evaluation and extension processes – a review. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. 385–392.
- Lambert, M.G., Mackay, A.D., Devantier, B.P., MacDougall, D.B., Barker, D.J., and Park-Ng, Z.A. 2003. Redefining the production potential of hill pastures using nitrogen fertiliser. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 65:35–40. doi:10.33584/jnzg.2003.65.2514.
- Langstroff, A., Heuermann, M.C., Stahl, A., and Junker, A. 2022. Opportunities and limits of controlled-environment plant phenotyping for climate response traits. *Theoretical and Applied Genetics*. 135:1–16. doi:10.1007/s00122-021-03892-1.
- Leddin, C.M., Jacobs, J.L., Smith, K.F., Giri, K., Malcolm, B., and Ho, C.K.M. 2018. Development of a system to rank perennial ryegrass cultivars according to their economic value to dairy farm businesses in south-eastern Australia. *Animal Production Science*. 58:1552–1558. doi:10.1071/AN17815.
- Lee, J.M., Matthew, C., Thom, E.R., and Chapman, D.F. 2012. Perennial ryegrass breeding in New Zealand: a dairy industry perspective. *Crop and Pasture Science*. 63:107–127. doi:10.1071/CP11282.
- Lemaire, G., and Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson J, Illius AW, editors. *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International; p. 3–36.
- Lynch, J.P. 2022. Harnessing root architecture to address global challenges. *Plant Journal*. 109:415–431. doi:10.1111/tj.15560.

- Macdonald, K.A., and Penno, J.W. 1998. Management decision rules to optimise milksolids production on dairy farms. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*. 58:132–135.
- Macdonald, K.A., Penno, J.W., Lancaster, J.A.S., and Roche, J.R. 2008. Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *Journal of Dairy Science*. 91:2151–2163. doi:10.3168/jds.2007-0630.
- Malinowski, D.P., Ford, J., Stewart, A., Woodfield, D., and Pinchak, W.E. 2023. Breeding cool-season forage grasses for a warming climate. In: Smith R, Bowling T, editors. *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA, p. 1627–1630. doi:10.52202/071171-03979.
- Mangwe, M.C., Bryant, R.H., Beck, M.R., Beale, N., Bunt, C., and Gregorini, P. 2019. Forage herbs as an alternative to ryegrass-white clover to alter urination patterns in grazing dairy systems. *Animal Feed Science and Technology*. 252:11–22. doi:10.1016/j.anifeedsci.2019.04.001.
- Martin, G.C., Matches, A.G., Barnes, R.F., Brougham, R.W., Clements, R.J., Sheath, G.W., editors. 1989. Persistence of forage legumes. *American Society of Agronomy*, Madison, WI. 572 p. *Proceedings of Trilateral Workshop*, Honolulu, HI 18–22 July 1989.
- Maxwell, T.M.R., Cartwright, H.S., Meyer, J.L., and Al_Marashdeh, O. 2023. Five-year old, diversified pasture supports greater lamb liveweight gain than a standard perennial ryegrass-white clover pasture. *Journal of New Zealand Grasslands*. 85:229–240. doi:10.33584/jnzg.2023.85.3648.
- McCarthy, B., Delaby, L., Pierce, K.M., Journot, F., and Horan, B. 2011. Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. *Animal*. 5:784–794. doi:10.1017/S1751731110002314.
- McEvoy, M., O'Donovan, M., and Shalloo, L. 2011. Development and application of an economic ranking index for perennial ryegrass cultivars. *Journal of Dairy Science*. 94:1627–1639. doi:10.3168/jds.2010-3322.
- MLA. 2023. Pasture trial network. Meat & Livestock Australia. [accessed 2024 Jan 2]. [https://www.mla.com.au/extension-training-and-tools/tools-calculators/pasture-trial-network/\(open in a new window\)](https://www.mla.com.au/extension-training-and-tools/tools-calculators/pasture-trial-network/(open%20in%20a%20new%20window)).
- Newman, M., and Savage, J. 2009. Benchmarking – key drivers for successful dairy business. *Proceedings of the South Island Dairy Event (SIDE)*, p. 184–195.
- Nguyen, P.T., Shi, F., Wang, J., Badenhorst, P.E., Spangenberg, G.C., Smith, K.F., and Daetwyler, H.D. 2022a. Within and combined season prediction models for perennial ryegrass biomass yield using ground- and air-based sensor data. *Frontiers in Plant Science* 13:Article 950720. doi:10.3389/fpls.2022.950720.
- Nguyen, T.T., Navarrete, S., Horne, D.J., Donaghy, D.J., and Kemp, P.D. 2022b. Forage plantain (*Plantago lanceolata* L.): meta-analysis quantifying the decrease in nitrogen excretion, the increase in milk production, and the changes in milk composition of dairy cows grazing pastures containing plantain. *Animal Feed Science and Technology* 285:Article 115244. doi:10.1016/j.anifeedsci.2022.115244.
- Norman, H.C., and Masters, D.G. 2023. Livestock preference and feeding value as key determinants for forage improvement – why not ask the consumers? *Animal Production Science*. 63:1161–1176. doi:10.1071/AN23140.
- Nyquist, W.E., and Baker, R.J. 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 10:235–322. doi:10.1080/07352689109382313.
- O'Donovan, M., Lewis, E., and O'Kiely, P. 2011. Requirements of future grass-based ruminant production systems in Ireland. *Irish Journal of Agriculture Food Research*. 50:1–21. [https://www.jstor.org/stable/41348152\(open in a new window\)](https://www.jstor.org/stable/41348152(open%20in%20a%20new%20window)).
- Otto, H.J. 1985. The current status of seed certification in the seed industry. In: McDonald MB, Pardee WD, editors. *The role of seed certification in the seed industry*. CSSA Special Publication Number 10; 9–17. doi:10.2135/cssaspecpub10.c3.
- Paez-Garcia, A., Motes, C.M., Scheible, W-R., Chen, R., Blancaflor, E.B., and Monteros, M.J. 2015. Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. *Plants*. 4:334–355. doi:10.3390/plants4020334.
- Parsons, A.J., Edwards, G.R., Newton, P.C.D., Chapman, D.F., Caradus, J.R., Rasmussen, S., and Rowarth, J.S. 2011. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool temperate pastures. *Grass and Forage Science*. 66:153–172. doi:10.1111/j.1365-2494.2011.00785.x.

- Passioura, J.B. 2012. Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? *Functional Plant Biology*. 39:851–859. doi:10.1071/FP12079.
- Pauli, D., Chapman, S.C., Bart, R., Topp, C.N., Lawrence-Dill, C.J., Poland, J., and Gore, M.A. 2016. The quest for understanding phenotypic variation via integrated approaches in the field environment. *Plant Physiology*. 172:622–634. doi:10.1104/pp.16.00592.
- PBRA. 2024. The national forage variety trials (NFVT) demonstrate how different ryegrass cultivars perform both regionally and nationally. [accessed 2024 Jan 2]. <https://www.pbra.co.nz/trial-data/forage-grasses/> (open in a new window).
- Pembleton, L.W., Wang, J., Cogan, N.O.I., Pryce, J.E., Ye, G., Bandaranayake, C.K., Hand, M.L., Baillie, R.C., Drayton, M.C., Lawless, K., et al. 2013. Candidate gene-based association genetics analysis of herbage quality traits in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Crop and Pasture Science*. 64:244–253. doi:10.1071/CP12392.
- Pinxterhuis, J.B., Judson, H.G., Peterson, M.E., Navarrete, S., Minee, E., Dodd, M.B., and Davis, S.R. 2024. Implementing plantain (*Plantago lanceolata*) to mitigate the impact of grazing ruminants on nitrogen losses to the environment: a review. *Grass and Forage Science*. doi:10.1111/gfs.12649.
- Rauf, S., Sienkiewicz-Paderewska, D., Malinowski, D.P., Hussain, M.M., Niazi, I.A.K., and Kausar, M. 2016. Forages: ecology, breeding objectives and procedures. In: Al-Khayri J, Jain S, Johnson D, editors. *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits*. Cham: Springer. p. 149–201. doi:10.1007/978-3-319-22518-0_5.
- Rawnsley, R.P., Chapman, D.F., Jacobs, J.L., Garcia, S.C., Callow, M.N., Edwards, G.R., and Pembleton, K.P. 2013. Complementary forages—integration at a whole-farm level. *Animal Production Science*. 53:976–987. doi:10.1071/AN12282.
- Reed, K.F. 2014. Perennial pasture grasses—an historical review of their introduction, use and development for southern Australia. *Crop and Pasture Science*. 65:691–712. doi:10.1071/CP13284.
- Reed, K.F.M. 1994. Improved grass cultivars increase milk and meat production – a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 37:277–286. doi:10.1080/00288233.1994.9513066.
- Reed, K.F.M., Clark, S.G., and Feely, W.M. 1997. Evaluation of sub. clover cultivars in monoculture or with perennial ryegrass. *Proceeding of the 18th International Grassland Congress Session 4*, p. 65–66. ID No. 1476.
- Resende, R.M.S., Casler, M.D., and de Resende, M.D.V. 2013. Selection methods in forage breeding: a quantitative appraisal. *Crop Science*. 53:1925–1936. doi:10.2135/cropsci2013.03.0143.
- Rijswijk, K., and Brazendale, R. 2016. Pasture renewal practices, experiences and attitudes: a comparison over time. *Journal of New Zealand Grasslands*. 78:51–56. doi:10.33584/jnzg.2016.78.520.
- Roldan, M.B., Cousins, G., Muetzel, S., Zeller, W.E., Fraser, K., Salminen, J-P., Blanca, A., Kaur, R., Richardson, K., Maher, D., et al. 2022. Condensed tannins in white clover (*Trifolium repens*) foliar tissues expressing the transcription factor TaMYB₁₄-1 bind to protein and reduce ammonia, isovaleric acid and methane emissions in vitro. *Frontiers in Plant Science* 12:Article 777354. doi:10.3389/fpls.2021.777354.
- Romera, A.J., Doole, G.J., Beukes, P.C., Mason, N., and Mudge, P.L. 2017. The role and value of diverse sward mixtures in dairy farm systems of New Zealand: an exploratory assessment. *Agricultural Systems*. 152:18–26. doi:10.1016/j.agsy.2016.12.004.
- Rumbaugh, M.D., and Pendery, B.M. 1986. Interspecific relations and the breeding of pasture plants for semiarid regions. In: Williams T, Wratt G. (editors). *DSIR Plant Breeding Symposium*. Agronomy Society of New Zealand Special Publication. 5:285–290.
- Saeidnia, F., Majidi, M.M., Mirlohi, A., and Shahidaval, S. 2016. Selection for productivity, persistence and drought tolerance in orchardgrass. *Euphytica*. 212:111–130. doi:10.1007/s10681-016-1776-1.
- Sampoux, J-P., Baudouin, P., Bayle, B., Beguier, V., Bourdon, P., Chosson, J-F., Deneufbourg, F., Galbrun, C., Ghesquiere, M., Noel, D., et al. 2011. Breeding perennial grasses for forage usage: an experimental assessment of trait changes in diploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars released in the last four decades. *Field Crops Research*. 123:117–129. doi:10.1016/j.fcr.2011.05.007.
- Sanderson, M.A., Reed, R.L., Ocumpaugh, W.R., Van Esbroeck, G., Read, J.C., Tischle, C.R., and Hons, F.M. 1999. Switchgrass cultivars and germplasm for biomass feedstock production in Texas. *Bioresource*

- Technology. 67:209–219. doi:10.1016/S0960-8524(98)00132-1.
- Savage, J., and Lewis, C. 2005. Applying science as a tool for dairy farmers. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 67:61–66. doi:10.33584/jnzs.2005.67.2594.
- Shalloo, L., Creighton, P., and O'Donovan, M. 2011. The economics of reseeded on a dairy farm. *Irish Journal of Agriculture and Food Research*. 50:113–122. <https://www.jstor.org/stable/41348159>(open in a new window).
- Shi, S., Wakelin, S., Gerard, E., Young, S., van Koten, C., Caradus, J., Griffiths, A.G., Ballard, R.A., and O'Callaghan, M. 2023. Screening and field evaluation of white clover rhizobia for New Zealand pastures. *Crop & Pasture Science* 11:Article 2176. doi:10.1071/CP22405.
- Smith, K.F., Reed, K.F.M., and Foot, J.Z. 1997. An assessment of the relative importance of specific traits for the genetic improvement of nutritive value in dairy pasture. *Grass and Forage Science*. 52:167–175. doi:10.1111/j.1365-2494.1997.tb02347.x.
- Stockdale, C.R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 40:913–921. doi:10.1071/EA00034.
- Studer, B., Jensen, L.B., Hentrup, S., Brazauskas, G., Kölliker, R., and Lübberstedt, T. 2008. Genetic characterisation of seed yield and fertility traits in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 117:781–791. doi:10.1007/s00122-008-0819-y.
- Surprenant, J., Michaud, R., and Allard, G. 1990. Effect of one cycle of divergent phenotypic selection for crude protein, digestibility and digestible yield in timothy. *Canadian Journal of Plant Science*. 70:757–765. doi:10.4141/cjps90-093.
- Takahashi, T., Harris, P., Blackwell, M.S.A., Cardenas, L.M., Collins, A.L., Dungait, J.A.J., Hawkins, J.M.B., Misselbrook, T.H., McAuliffe, G.A., McFadzean, J.N., et al. 2018. Roles of instrumented farm-scale trials in trade-off assessments of pasture-based ruminant production systems. *Animal*. 12:1766–1776. doi:10.1017/S1751731118000502.
- Tallowin, J.R.B., Kirkham, F.W., and Brookman, S.K.E. 1986. Sward damage by sod-pulling – the effect of nitrogen. In: Frame J, editor. *Grazing: Proceedings of a Conference held at Malvern, Worcestershire*, 5–7 May 1985. Occasional Symposium of the British Grassland Society No. 19:44–48.
- Thom, E.R., Burggraaf, V.T., Waugh, C.D., and Clark, D.A. 2001. Effects of pasture species and irrigation on milk production over four summers in the Waikato. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 63:215–221. doi:10.33584/jnzs.2001.63.2404.
- Tucak, M., Ravlić, M., Horvat, D., and Čupić, T. 2021. Improvement of forage nutritive quality of alfalfa and red clover through plant breeding. *Agronomy* 11:Article 2176. doi:10.3390/agronomy11112176.
- van der Bom, F.J.T., Williams, A., and Bell, M.J. 2020. Root architecture for improved resource capture: trade-offs in complex environments. *Journal of Experimental Botany*. 71:5752–5763. doi:10.1093/jxb/eraa324.
- van der Heijden, S.A., and Roulund, N. 2010. Genetic gain in agronomic value of forage crops and turf: a review. In: Huyghe C. editor. *Sustainable use of genetic diversity in forage and turf breeding*. Dordrecht: Springer. p. 247–260. doi:10.1007/978-90-481-8706-5_36.
- Villalba, J.J., Macadam, J.W., Van Vliet, S., and Provenza, F.D. 2023. Integrating plant secondary metabolites and foraging behavior to enhance animal health in ruminant production systems. In: Smith R, Bowling T, editors. *Proceedings of the XXV International Grassland Congress*, 14–19 May 2023. Covington, Kentucky, USA. p. 1427–1435. doi:10.52202/071171-03479.
- Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q., and Yan, Z. 2018. Root phenotyping for drought tolerance: a review. *Agronomy* 8:Article 241. doi:10.3390/agronomy8110241.
- Webb, C., Stewart, A., and Harmer, M. 2019. Progress in breeding for Crown Rust (*Puccinia coronata* f. sp. *lolii*) resistance in perennial ryegrasses. *Proceedings of the 2019 Agronomy Australia Conference*, 25–29 August 2019, Wagga Wagga, Australia, p. 4. [accessed 2024 Aug 17]. <https://www.agronomyaustralia.org/conference-proceedings>(open in a new window).
- Weith, S.K., Jahufer, M.Z., Hofmann, R.W., Anderson, C.B., Luo, D., Echoche, O.G., Cousins, G., Jones, E.E., Ballard, R.A., and Griffiths, A.G. 2022. Quantitative genetic analysis reveals potential to breed for improved white clover growth in symbiosis with nitrogen-fixing *Rhizobium* bacteria. *Frontiers*

- in *Plant Science* 33:Article 953400. doi:10.3389/fpls.2022.953400.
- West, C.P. 2018. Physiology and drought tolerance of endophyte-infected grasses. In: Bacon CW, White JF, editors. *Biotechnology of endophytic fungi of grasses*. Boca Raton: CRC Press; p. 87–99.
- White, J.W., Andrade-Sanchez, P., Gore, M.A., Bronson, K.F., Coffelt, T.A., Conley, M.M., Feldmann, K.A., French, A.N., Heun, J.T., Hunsaker, D.J., et al. 2012. Field-based phenomics for plant genetics research. *Field Crops Research*. 133:101–112. doi:10.1016/j.fcr.2012.04.003.
- Winichayakul, S., Beechey-Gradwell, Z., Muetzel, S., Molano, G., Crowther, T., Lewis, S., Xue, H., Burke, J., Bryan, G., and Roberts, N.J. 2020. In vitro gas production and rumen fermentation profile of fresh and ensiled genetically modified high-metabolizable energy ryegrass. *Journal of Dairy Science*. 103:2405–2418. doi:10.3168/jds.2019-16781.
- Woodfield, D.R. 1999. Genetic improvements in New Zealand forage cultivars. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association*. 61:3–7. doi:10.33584/jnzg.1999.61.2355.
- Woodfield, D.R., Baird, I.J., and Clifford, P.T.P. 2004. Genetic control of white clover seed yield potential. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 66:111–117.
- Zhang, Y., Mian, M.A., and Bouton, J.H. 2006. Recent molecular and genomic studies on stress tolerance of forage and turf grasses. *Crop Science*. 46:497–511. doi:10.2135/cropsci2004.0572.

ABSTRACT

Evaluation of achievements in breeding forage plants for grazing pastures

The aim of forage crop breeding is to provide crop varieties that increase productivity through improved annual yield, sustained yield in perennial crops, and improved feed value. Breeding is usually carried out in tightly controlled field trials with individual plants or rows. However, correlations between trait values in spaced crop trials and forage plots are often low and non-significant. Trait heritability, a measure of the potential for gains from crop breeding, can be moderate to high for many traits. The highest genetic gains in forage yield measured in small trials range from 6% to 15%. Significant improvements have been achieved each decade, depending on the species. Results from some small-scale grazing trials have shown clear gains in growth performance, but others, particularly dairy cattle, have failed to show an advantage for improved cultivars. Factors contributing to this include aspects of system management, system trial design or breeding objectives, and the evaluation system. The presence of environmental stresses; inadequate statistics and scale-up interactions that limit or dilute trait expression. Some of the factors identified above need to be considered as evaluation systems evolve to respond to changing economic, climatic, and regulatory factors affecting pasture operations.

Keywords: *Farm size, genetic gain, grazing system, heritability, nutritional value*