

CẢI THIỆN NĂNG SUẤT, CHẤT LƯỢNG CÂY THỨC ĂN GIA SÚC VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Nguyễn Văn Quang

Viện Chăn nuôi

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

TÓM TẮT

Cây thức ăn xanh có vai trò quan trọng trong chăn nuôi đối với gia súc nhai lại. Thức ăn cung cấp cho gia súc có thể cho ăn trực tiếp thông qua thu cặt hoặc chăn thả hay chế biến khô chiếm hầu hết trong khẩu phần hàng ngày, thức ăn bổ sung được sử dụng để bù đắp sự thiếu hụt dinh dưỡng trong việc cung cấp thức ăn thô xanh, tăng hiệu suất của gia súc trong những giai đoạn nhất định. Chính vì vậy mà năng suất, chất lượng của cây thức ăn xanh ảnh hưởng lớn đến hiệu quả kinh tế trong chăn nuôi.

Mặc dù là một cây trồng quan trọng nhưng các nghiên cứu về thức ăn thô xanh còn hạn chế khi so sánh với các cây trồng ngũ cốc, cây ăn quả và rau. Bài viết này tổng hợp các tài liệu nhấn mạnh tầm quan trọng của cây trồng thức ăn gia súc, những cải tiến hiện tại và một số định hướng trong tương lai để cải thiện năng suất và chất lượng dinh dưỡng của cây thức ăn gia súc. Từ những kết quả nghiên cứu thu được từ cây ngũ cốc có thể được áp dụng cho cây trồng làm thức ăn gia súc. Sự phát triển kịp thời của công nghệ gen và tin sinh học cùng với các kỹ thuật chỉnh sửa bộ gen cung cấp phạm vi lớn để cải thiện cây trồng làm thức ăn gia súc. Với tầm quan trọng về xã hội, môi trường và kinh tế của cây thức ăn thô xanh trên toàn cầu và đặc biệt là ở các nước nghèo, cơ hội này có tiềm năng to lớn để cải thiện an ninh lương thực và ổn định phát triển kinh tế.

Từ khóa: Thức ăn gia súc, tăng cường dinh dưỡng, sản xuất cỏ, cây họ đậu, chăn nuôi, quản lý

GIỚI THIỆU

Đồng cỏ được sử dụng để làm thức ăn chăn nuôi gia súc trên toàn cầu, người ta ước tính rằng chúng chiếm 26% diện tích đất và 70% diện tích nông nghiệp (FAO, 2010). Cỏ trồng thường là cỏ hòa thảo (*Poaceae*) hoặc cây họ đậu (*Fabaceae*). Một số cây họ đậu như mulga (*Acacia aneura*) và leucaena (*Leucaena leucocephala*) cũng được trồng ở sa mạc và cả đồng cỏ nhiệt đới (Muir và cs., 2011). Ở vùng nhiệt đới, các loại cỏ phổ biến bao gồm cỏ Napier (*Pennisetum purpureum*), *Brachiaria* và *Panicum*... Sự kết hợp của các loại cây cỏ được trồng ở bất kỳ quốc gia nào và khác nhau tùy thuộc vào khí hậu và nhu cầu chăn nuôi. Trong tương lai, con người sẽ dần sử dụng nguồn sản phẩm từ thực vật thay vì các sản phẩm được tạo ra từ động vật vì các loại sản phẩm này là thực phẩm mang lại tương lai bền vững nhất (Foyer và cs., 2016). Có nhiều quan điểm đối với việc giảm tiêu thụ sản phẩm động vật do vấn đề hiệu quả chăn nuôi và vì sức khỏe con người (Cramer và cs., 2017). Chưa có số liệu thống kê đáng tin cậy về tỷ lệ người sử dụng chế độ ăn dựa trên nguồn sản phẩm thực vật nhưng ước tính có từ 1 đến 10% dân số ở các nước phương tây phát triển như ở châu Âu và Hoa Kỳ (Mcevoy và Woodside, 2010) và các nghiên cứu ủng hộ các chế độ ăn này là lành mạnh và đầy đủ chất dinh dưỡng (American Dietetic Association and Dietitians of Canada, 2003). Tuy nhiên, việc tiêu thụ các sản phẩm chăn nuôi có thể được coi là quan trọng đối với chế độ ăn uống do mật độ dinh dưỡng cao (CAST, 2013) bất kể nhiều mối quan tâm về hiệu quả và môi trường (Di Paola và cs., 2017), đặc biệt đúng ở các nước đang phát triển trong đó tỷ lệ suy dinh dưỡng được ước tính là từ 4-22% dân số (Alexandratos và cs., 2006). Chăn nuôi có thể chuyển đổi các loại cây trồng như thức ăn thô xanh thành thức ăn cho con người, với khả năng tăng cường bền vững khi đầu vào và đầu ra của hệ thống được cân bằng (Derner và cs., 2017). Hơn nữa, không thể đánh giá thấp ý nghĩa văn hóa và xã hội của chăn nuôi và xu hướng gia tăng sản xuất toàn cầu (Thornton, 2010). Ngoài ra, ở nhiều nước đang phát triển, việc chăn nuôi gia súc như trâu, bò và dê rất quan trọng

trong thời kỳ khó khăn; nhiều người coi gia súc như là con lợn đát sống vì nó có thể giúp trang trải một số chi tiêu cho gia đình lúc cần thiết (Herrero và cs., 2013). Do đó, trong thực tế chăn nuôi vẫn được tiếp tục phát triển trên toàn thế giới và cây thức ăn gia súc sẽ được trồng trong nhiều thập kỷ tới. Các nghiên cứu về thực vật chủ yếu tập trung vào cây trồng phục vụ cho con người, nhưng cũng có thể áp dụng để cải thiện cây thức ăn chăn nuôi. Cải thiện năng suất và chất lượng dinh dưỡng của cây thức ăn thô xanh có thể giúp giảm thiểu các tác động tiêu cực không bền vững của chăn nuôi.

Cây thức ăn gia súc trong chăn nuôi

Cây thức ăn gia súc có thể được sử dụng cho vật nuôi ăn trực tiếp hoặc có thể được xử lý bằng phơi hay sấy khô trước khi cho ăn. Do quá trình chế biến này, thức ăn chăn nuôi có thể được phân loại thành thức ăn còng kèn hoặc thức ăn tinh. Thức ăn còng kèn cũng được gọi là thức ăn thô và được sản xuất từ cây cỏ, ngũ cốc và cây họ đậu như mô tả ở trên, chẳng hạn như cỏ linh lăng, *Lolium* hoặc hỗn hợp của cả hai. Thức ăn thô xanh này có thể được cung cấp cho động vật trực tiếp thông qua thu cắt và chăn thả hoặc ở dạng chế biến, chẳng hạn như cỏ khô (hàm lượng nước < 15%) hoặc sinh khối khô (dạng viên). Các thức ăn tinh nói chung là ngũ cốc, hạt có dầu và hạt đậu, hoặc các sản phẩm sinh học để chuẩn bị cho thực phẩm của con người. Chúng cũng có thể bao gồm các loại thức ăn năng lượng cao như rỉ mật, giàu đường từ cây trồng và chất béo có nguồn gốc động vật. Do đó, chế độ ăn của gia súc có thể là thức ăn thô xanh hoặc phần lớn là thức ăn thô xanh có bổ sung thức ăn tinh. Thức ăn bổ sung được sử dụng để bù đắp sự thiếu hụt dinh dưỡng trong việc cung cấp thức ăn thô xanh, tăng hiệu suất của gia súc như sản xuất sữa hoặc ở giai đoạn phát triển đặc biệt.

Trong canh tác cây thức ăn xanh có thể được trồng các loài hỗn hợp với nhau để cung cấp lợi ích dinh dưỡng và môi trường. Bằng cách chăn thả trên đồng cỏ hỗn hợp hoặc thức ăn phôi trộn, chất lượng dinh dưỡng có thể được tăng cường. Ví dụ, cỏ linh lăng là cây họ đậu lâu năm có năng suất cao và tạo ra nhiều protein trên một đơn vị diện tích hơn các cây họ đậu khác và do đó có thể được trồng một mình hoặc kết hợp với một loạt các loài cỏ khác nhau.

Cây thức ăn gia súc và hàm lượng dinh dưỡng

Khả năng tiêu hóa

Dinh dưỡng của cây thức ăn gia súc phụ thuộc vào tỷ lệ của carbohydrate, protein và lipid. Thành phần của các chất dinh dưỡng hữu cơ này quyết định tỷ lệ tiêu hóa của mỗi loại cây trồng cùng với khoáng chất và vitamin cung cấp lượng năng lượng mà động vật có thể thu được (ME đo bằng MJ / kg DM) (Osbourne, 1980). Trong cây thức ăn gia súc, 50-80% vật chất khô (DM) là carbohydrate; nếu tỷ lệ này quá thấp thì có thể bổ sung ngũ cốc. Các loại carbohydrate chính là các sacarit cấu trúc không hòa tan cellulose và hemiaellulose, hoặc các dạng lưu trữ như tinh bột và polymer hòa tan trong nước. Chúng được phân giải thành đường đơn thông qua sự phân cắt các liên kết glycosidic, do chính động vật (động vật nhai lại và không nhai lại) hoặc thông qua quá trình tiêu hóa của vi sinh vật và sự hấp thụ tiếp theo của động vật (ở động vật nhai lại). Các tỷ lệ carbohydrate khác nhau trong cây trồng thức ăn gia súc sẽ làm thay đổi khả năng tiêu hóa ở ruột non của động vật, đặc biệt là cấu trúc thành tế bào hạn chế tiêu hóa bởi quần thể vi sinh vật hoặc hạn chế sự xâm nhập của vi sinh vật vào thành tế bào thực vật (Weimer, 1996). Mặc dù lignin, một hợp chất polyphenolic trong thức ăn thô xanh, không phải là carbohydrate, nhưng nó có tác động mạnh mẽ đến khả năng tiêu

hóa của cellulose hemiaellulose; lignin liên kết với carbohydrate cấu trúc và protein thành tế bào và làm giảm lượng dinh dưỡng. Đối với thức ăn thô xanh tăng nồng độ lignin sẽ làm tăng tỷ lệ DM khó tiêu. Trong số các loại cây làm thức ăn gia súc được trồng thì cỏ *Lolium* lâu năm, có khả năng tiêu hóa cao do hàm lượng đường hòa tan cao cùng với hàm lượng lignin thấp (Ruckle và cs., 2017).

Chất đạm

Sự sẵn có của nitơ (N) cho động vật chủ yếu là từ protein của thức ăn thô xanh và được ước tính bằng cách sử dụng các phép đo Kjeldahl protein thô tổng số. Protein chủ yếu thường có nhiều ở dạng là Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase / oxyase (RuBisCO), mặc dù lượng tương đối khác nhau giữa các loài (Wallace và cs., 1997). Điều này đặc biệt đúng khi so sánh hàm lượng trong cỏ với cây họ đậu thân thảo, với cỏ ba lá đỏ (*Trifolium pratense*), cỏ ba lá trắng (*Trifolium repens*) và cỏ linh lăng (*Medicago sativa*) được trồng rộng rãi do giá trị protein cao của chúng (Ruckle và cs., 2017). Một lần nữa, lignin sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng tiêu hóa protein. Một số vi chất dinh dưỡng như proanthocyanidin hoặc tannin có đặc cũng làm thay đổi khả năng tiêu hóa của protein, nhưng chúng úc chế sự phân giải protein thông qua liên kết. Điều này có thể có lợi vì sự phân giải protein nhanh chóng là nguyên nhân gây ra chứng đầy hơi, tuy nhiên, hàm lượng tannin quá cao sẽ có nghĩa là protein đi qua đường tiêu hóa không được hấp thụ và do đó làm giảm giá trị dinh dưỡng (Piluzza và cs., 2014). Điều này có nghĩa là có sự cân bằng giữa giảm năng suất cây thức ăn và năng suất vật nuôi (Mueller-Harvey, 2006). Tất cả các loại cỏ đều chứa ít hoặc không có proanthocyanidin, trong khi nhiều loại cây họ đậu đặc biệt là cây ba lá to (*Lotus pedunculatus*) và *Sericea lespedeza* (*Lespedeza cuneata*) có thể có mức độ cao tới 18% DM (Mueller-Harvey, 2006). Các hợp chất chứa N khác có thể được tìm thấy trong thức ăn thô xanh như axit nucleic, nitrat và amoniac (Wallace và cs., 1997).

Lipid

Lipit trong cây thức ăn gia súc hầu hết được tìm thấy dưới dạng axit béo không bão hòa trong khoảng 10 - 30 g kg⁻¹ (Hatfield và cs., 2007) trong đó dồi dào nhất là axit α-linolenic [62% tổng lượng lipit (Clapham và cs., 2005)], với axit linolenic và palmitic cũng có mặt (Harfoot và Hazlewood, 1988). Những lipid trong ché độ ăn uống rất quan trọng trong chất lượng sản phẩm động vật cuối cùng; Ché độ ăn thức ăn thô xanh có hàm lượng axit béo không bão hòa thấp hơn ché độ ăn ngũ cốc có thể tạo ra thịt nạc hơn (Van Elswyk và McNeill, 2014). Hơn nữa, thức ăn thô xanh đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu để sản xuất sữa có hàm lượng axit béo không bão hòa thấp hơn và tăng axit *trans*-fatty (Chilliard và cs., 2007). Các nghiên cứu đã được sử dụng để xác định axit béo không bão hòa trên các loài thức ăn thô xanh, với các loại cỏ có xu hướng có nhiều axit α-linolenic hơn khi so sánh với các cây họ đậu và cây họ đậu có hàm lượng axit linolenic cao hơn (Boufaied và cs., 2003). Sự khác biệt đáng chú ý về hàm lượng axit béo không bão hòa có thể được tìm thấy trong các loài thông qua các giống cây trồng, và hơn nữa là thời kỳ thu hoạch và môi trường của nó (Clapham và cs., 2005).

Khoáng chất và các nguyên tố vi lượng

Khoáng chất và các nguyên tố vi lượng từ thức ăn thô xanh rất quan trọng để duy trì sức khỏe vật nuôi. Vì động thái hướng tới việc sử dụng ít kháng sinh hơn trong chăn nuôi động vật, nên

sự cân bằng dinh dưỡng của thức ăn có thêm tầm quan trọng. Kẽm đặc biệt quan trọng đối với hệ thống miễn dịch và các chất bổ sung có thể được thêm vào thức ăn chăn nuôi, nhưng bổ sung quá nhiều sẽ được vật nuôi bài tiết gây lãng phí (Brugger và Windisch, 2015). Ngược lại, tránh tích lũy các khoáng chất độc hại cũng có thể quan trọng đối với cây trồng thức ăn gia súc. Có được sự cân bằng là rất quan trọng vì nồng độ selen thấp có thể có lợi cho vật nuôi, nhưng nồng độ cao là độc hại (Zhu và cs., 2009). Một số nguyên tố tích lũy trong thực vật có thể làm cho chúng không ngon miệng đối với vật nuôi, nhưng lại rất lý tưởng đối với cây trồng vì làm cho khả năng phát triển và phục hồi nhanh chóng sau khi cắt (Ishii và cs., 2015).

Cải thiện cây thức ăn gia súc

Nhân giống

Việc trồng cây thức ăn gia súc mới được chú ý gần đây so với các loài cây nông nghiệp khác, có nghĩa là các giống mới đã được nhân giống nhiều hơn. Những cải tiến này được hỗ trợ bởi nhiều quần thể hoang dã có liên quan chặt chẽ có thể được sử dụng để phát triển các dòng mới (Boller và Green, 2010). Những cải tiến đáng mong đợi nhất là tăng năng suất chất khô, độ bền của cây trồng và khả năng kháng bệnh đặc biệt là do nấm gây bệnh và sâu bệnh đặc biệt là tuyến trùng, khả năng tiêu hóa của DM và hàm lượng dinh dưỡng của giống. Có thể thấy những cải tiến lớn nhất đã được thực hiện trong việc nhân giống của *Medicago spp.*, *Trifolium spp.*, *Lolium* và *Festuca*. Các chương trình nhân giống quy mô lớn bao gồm thử nghiệm các loại cây trồng này, chẳng hạn như NE1010, một nỗ lực hợp tác đa quốc gia của 15 Viện trên 12 bang miền đông bắc Hoa Kỳ và Canada (NIMSS, 2017). Các chương trình tương tự nhân giống cổ nhiệt đới *Brachiaria* bao gồm sự hợp tác giữa Trung tâm Nông nghiệp Nhiệt đới Quốc tế có trụ sở tại Colombia (CIAT), Viện Nghiên cứu Tài nguyên Chăn nuôi Quốc gia Ugandan (NaLIRI), Viện Nghiên cứu Chăn nuôi Tanzania (TALIRI), Viện Nghiên cứu Nông nghiệp của Mozambique (IIAM) và Tập đoàn nghiên cứu nông nghiệp Brazil (EMBRAPA) (CIAT và CGIAR, 2015) đang được tiến hành nhiều nơi trên thế giới.

Các chương trình nhân giống cho cây trồng thức ăn gia súc đang gặp nhiều khó khăn. Các cây riêng lẻ có kiểu gen và kiểu hình không đồng nhất với nhiều loài là thể đa bội, một vấn đề trở nên khó khăn hơn khi lai giống giữa nhiều loại cỏ và một số đặc điểm nông học được liên kết với các gen riêng biệt (Vogel và Pedersen, 1993). Những tiến bộ trong kiểu hình đang làm cho việc định lượng các đặc tính trong lĩnh vực này trở nên dễ dàng hơn; chẳng hạn như dựa vào kiểu hình của cây trồng để xác định chính xác các đặc điểm sau này như sinh khối (Walter và cs., 2012).

Các giống mới đang tiếp tục được nghiên cứu bằng những tiến bộ trong phương pháp giải trình bộ gen của các giống cây thức ăn xanh (Pfeifer và cs., 2013; Yates và cs., 2014), bao gồm cả việc xác định SNPs có thể được nghiên cứu để cải thiện cây *Lolium* (Blackmore và cs., 2016) và cây *Trifolium* (Nagy và cs., 2013). Xây dựng bộ gen cho các loại cây trồng và giống cây này đang ngày càng trở nên phổ biến (De Vega và cs., 2015; VanBuren và cs., 2015) các loài như *Brachypodium* đang tiếp tục nghiên cứu (Rancor và cs., 2012). Những nghiên cứu này cung cấp manh mối cho các gen tiềm năng có thể được sử dụng để tăng cường dinh dưỡng trong cây thức ăn.

Các gen tiềm năng để nâng cao dinh dưỡng

Việc xác định các gen tiềm năng thường thông qua phân tích các locus tính trạng số lượng hoặc lựa chọn có sự hỗ trợ của điểm đánh dấu được cung cấp từ các bộ gen đã hoàn chỉnh ở

trên. Những yếu tố được xác định nghiên cứu liên quan đến sinh khối và đặc điểm tăng trưởng như; Ở *M. sativa*, tính trạng số lượng đã được sử dụng cho khả năng chống chịu và sức sống (McCord và cs., 2014), phân tích gen liên quan cho sự ra hoa và chiều cao thân (Herrmann và cs., 2010) và các dấu hiệu sinh hóa của các gen kháng ROS cho khả năng chịu hạn có liên quan đến vật chất khô (DM) (Maghsoudi và cs., 2017). Sự biểu hiện của các gen liên quan đến ROS khác của họ *Iron-Superoxide Dismutase* (Myouga và cs., 2008) cũng có liên quan đến sự gia tăng DM trong cả cây họ đậu *M. sativa* (McKersie và cs., 2000) và các giống cỏ *Lolium* (Warnke và cs., 2002).

Ở giống cỏ *Lolium*, giải mã cho thấy các gen biểu hiện khác nhau giữa thẻ hoang dã và đột biến lùn cho phép xác định ba gen quan trọng liên quan đến bệnh lùn (Li, W. và cs., 2017), sau đó được sử dụng cho kiểu hình trước. Các dấu hiệu được sử dụng để suy ra cả các đặc điểm kiểu hình và theo dõi di truyền để hỗ trợ nhân giống. Việc chú thích lại kỹ lưỡng về bộ gen của cây cỏ *M. truncatula* cũng đã xác định được hàng trăm peptide nhỏ, được tiết ra, mã hóa bởi cả hai gen phản ứng đa lượng với nốt sần, có thể hỗ trợ di truyền ngược để cải thiện nhiều loại cây cỏ trồng, đặc biệt là *M. sativa* (de Bang và cs., 2017).

Những cải tiến như vậy về các tính trạng có thể được hỗ trợ bởi những thành tựu trong kỹ thuật biến nạp và đánh dấu di truyền. Chuyển đổi có thể sinh sản và hiệu quả cao đã được phát triển cho các giống ôn đới của *Festuca* (Wang và Ge, 2005; Zhang và cs., 2006) và *Lolium* (Badenhorst và cs., 2016); gần đây hơn đối với một số loại cỏ nhiệt đới như *Pennisetum* (Gondo và cs., 2017) và *Brachiaria* (Cabral và cs., 2015). Một số ví dụ về cây cỏ trồng chỉnh sửa gen để tạo ra khả năng chịu stress đã thành công trong việc hỗ trợ không chỉ tăng sinh khối mà còn cả chất lượng dinh dưỡng. Sự biến đổi của *M. sativa* với gen *Arabidopsis* tăng cường khả năng chịu hạn đã tạo ra cây không chỉ tăng chiều dài rễ, chiều cao chồi và sinh khối thực vật, mà còn tăng hàm lượng proline, đường hòa tan và chất diệp lục chịu áp lực hạn hán khi so sánh với loại hoang dã (Thorogood và cs., 2017). Tương tự như vậy, đối với các nghiên cứu về yếu tố phản ứng Ethylene đã chỉ ra rằng việc đưa gen *M. sativa* vào các cây khác có thể tăng cường khả năng chống chịu mặn; *MsERF9* và *MsERF11* ở *Nicotiana* và *Arabidopsis*, tương ứng (Chen và cs., 2012a,b).

Hàm lượng Protein và N

Hiệu quả sử dụng nitơ của cây thức ăn gia súc là một mục tiêu để nhân giống, đặc biệt là hàm lượng protein của cây trồng rất có giá trị. Sự tích lũy protein có liên quan đến trạng thái N và khi nguồn cung cấp là tối ưu thì sự tích lũy này cao hơn. Khi so sánh với các loại cây ngũ cốc được lai tạo cho tinh bột hạt cao thì cây thức ăn gia súc thường đòi hỏi N với số lượng lớn hơn do tăng trưởng, khả năng lưu trữ và hàm lượng chất xơ cao hơn (Parsons và cs., 1991). Đối với cây thức ăn gia súc, đó là sinh khối mô lá được thu hoạch chứ không phải là hạt/rễ/củ. Chủ yếu hiệu quả sử dụng nitơ cho cây thức ăn gia súc có thể dựa trên hiệu quả sử dụng N vì chúng ta quan tâm đến sinh khối có thể đạt được cao nhất được sấy khô để sản xuất thức ăn chăn nuôi (Xu và cs., 2012). Điều này không chỉ bao gồm sinh khối, mà cả mức N tương đối trong cây thức ăn, chỉ có năng suất sinh khối cao trong chồi là chưa đủ, nó còn phải tạo ra lượng N tối ưu. Hơn nữa, khi xem xét ảnh hưởng của việc sử dụng phân bón, cũng cần quan tâm đến sự thay đổi của cả sinh khối và trạng thái N khi bón và do đó cả hiệu quả hấp thu N. Cây thức ăn gia súc đưa ra những thách thức cho hiệu quả sử dụng nitơ vì có

yêu cầu về năng suất sinh khối tối ưu với hàm lượng N cao đồng thời tối ưu hóa thu nhận phân bón N trong suốt mùa sinh trưởng.

Trong sinh khối thực vật của cây cỏ, các chất dinh dưỡng quan trọng nhất cho vật nuôi là protein và carbohydrate hòa tan trong nước, và lý tưởng nhất là chất lượng sau thu hoạch của những thứ này nên được duy trì. Đã có sự quan tâm đáng kể trong việc phát triển các bản đồ tham chiếu proteome cụ thể của cơ quan cho thân và lá. Các protein chiếm ưu thế trong các mô là các enzym quang hợp như RuBisCO và RuBiCO đơn vị nhỏ (*rbsS*), đối với *M. truncatula* chiếm ~28,9% mô lá, hoặc gen cố định carbon khác (Watson và cs., 2003). Vì giá trị dinh dưỡng của thức ăn thô xanh có liên quan chủ yếu đến nồng độ thành tế bào và việc giảm này có thể hỗ trợ khả năng tiêu hóa (Jung và cs., 2012).

Một số nghiên cứu đã tập trung vào các phương pháp chuyển gen để tăng và nâng cao các axit amin và protein. Vì nhiều loại thức ăn gia súc có nồng độ thấp của các axit amin chứa lưu huỳnh của methionine và cysteine, cả hai đều quan trọng trong dinh dưỡng động vật và con người (Ball và cs., 2006). Cuối cùng, N được tiêu thụ bởi vật nuôi được tái chế và tăng năng suất động vật nhai lại là mục tiêu chính vì việc chuyển hóa thực vật thành protein vi sinh không hiệu quả. Người ta ước tính rằng có đến 70% N thực vật được động vật ăn để sản xuất sữa hoặc thịt được bài tiết dưới dạng amoniac hoặc urê ra môi trường (Kingston-Smith và cs., 2008; 2010). Hơn nữa, quá trình lên men dạ cỏ rất quan trọng đối với việc tạo ra các khí nhà kính như metan (Dijkstra và cs., 2011).

Hệ vi sinh vật vùng rễ

Tác động của hệ gen vượt ra ngoài thực vật cây trồng đối với môi trường của chúng. Ví dụ, hệ vi sinh vật ở tầng sinh quyển có thể là mục tiêu trong tương lai để cải thiện chất lượng dinh dưỡng của cây trồng. Vi khuẩn biểu sinh sống trên và trong cây, có thể quan trọng đối với sức khỏe và dinh dưỡng của cây trồng, và một số vi sinh vật có thể cố định N trong khí quyển trong các hệ thống rễ cây họ đậu. Vi khuẩn sống với thực vật có thể hỗ trợ tiêu hóa và hấp thu thức ăn thô xanh của vật nuôi. Những vi khuẩn này có thể cải thiện sự hấp thu của các nguyên tố vi lượng trong ruột động vật bằng cách sản xuất các phân tử liên kết cụ thể hoặc tế bào phụ. Trong đất, hệ vi sinh vật ở tầng sinh quyển rất quan trọng đối với quá trình chu chuyển và hấp thụ chất dinh dưỡng, đặc biệt là trong các hệ thống đầu vào thấp như những cây được trồng ở vùng nhiệt đới. Việc cây vi sinh vật có ích vào các loại cây thức ăn gia súc mới có thể là mục tiêu để nghiên cứu và sử dụng trong các cây trồng trong tương lai, cùng với nghiên cứu hệ vi sinh vật tầng sinh quyển về thành phần dịch tiết ra từ rễ.

Rễ được biết là trực tiếp thay đổi quần thể vi sinh vật bằng cách thay đổi thành phần hóa học của dịch tiết ra từ rễ. Ví dụ, rễ của cỏ nhiệt đới *Brachiaria* đặc biệt tạo ra một chất hóa học có tác dụng ức chế vi khuẩn nitrat hóa và đặc biệt ngăn chặn quá trình oxy hóa amoniac trong vi khuẩn đất, bước đầu tiên trong quá trình chuyển đổi amoni thành nitrat (Byrnes và cs., 2017). Vi khuẩn oxy hóa amoniac trong đất nhanh chóng chuyển đổi phân urê hoặc NH_4^+ thành NO_3^- . Dạng N trong đất là cơ bản để cây trồng thu nhận, vì NO_3^- là di động và dễ dàng bị rửa trôi trong khi NH_4^+ liên kết. Các chất ức chế quá trình nitrat hóa đã được xác định trong dịch tiết ra từ rễ một số cây họ đậu và cỏ bao gồm lúa miến và lúa, nhưng cho đến nay, hoạt động lớn nhất được phát hiện ở cỏ nhiệt đới *Brachiaria humidicola* (Subbarao và cs., 2009). Trong tương lai, các con đường tổng hợp để sản xuất các chất ức chế quá trình

nitrat hóa thực vật sẽ được làm sáng tỏ hoàn toàn, tạo cơ hội thu giữ đặc điểm này trong cây thức ăn gia súc và chuyển sang cây trồng khác để cải thiện năng suất và thu nhận nitơ.

Khả năng tiêu hóa

Vì tiêu hóa và hấp thu protein ở vật nuôi có liên quan trực tiếp đến nguồn năng lượng sẵn có (ME) (McCarthy và cs., 1989), điều quan trọng là phải tăng carbohydrate hòa tan trong nước ở cây thức ăn gia súc, đặc biệt là cỏ (Miller và cs., 2001). Số lượng carbohydrate hòa tan trong nước liên quan chặt chẽ đến lượng N sẵn có cho rẽ (Roche và cs., 2017) làm nổi bật tầm quan trọng của sự cân bằng C: N trong mô sinh dưỡng (Louahlia và cs., 2008). Hơn nữa, số lượng carbohydrate hòa tan trong nước khác nhau giữa các giống cũng như trong môi trường. Những tiến bộ gần đây trong việc xác định và điều khiển các chất thúc đẩy quang hợp cho cả *Lolium perenne RBCS* và *Diệp lục a / b Binding (CAB)* (Panter và cs., 2017) đã cung cấp các dòng biến đổi gen để đánh giá sự tăng năng suất, chất xơ và quan trọng hơn là khả năng tiêu hóa, nồng độ fructan trong cả mô phân sinh và phiến lá trong các thử nghiệm trên đồng ruộng (Badenhorst và cs., 2018). Công việc như vậy cung cấp một nền tảng cho các nghiên cứu trong tương lai để xác định các yếu tố thúc đẩy quan trọng trong các đặc điểm dinh dưỡng khác.

Lượng kháng tinh bột rất quan trọng đối với khả năng tiêu hóa và hàm lượng dinh dưỡng của cây thức ăn gia súc. Kháng tinh bột thường có tỷ lệ tiêu hóa thấp hơn cho đến khi nó đến ruột già (Englyst và cs., 1999), nơi mà động vật nhai lại có thể tiêu hóa nhiều hơn (Raigond và cs., 2015). Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng cây *M. sativa* có lợi thế như là nguồn thức ăn so với ngũ cốc để nâng cao giá trị tiêu hóa (Giuberti và cs., 2018). Nhìn chung, kháng tinh bột thấp hơn sẽ cải thiện khả năng tiêu hóa của cây thức ăn thô xanh cho cả gia súc nhai lại và không nhai lại. Vì giá trị tiêu hóa của cây trồng được liên kết chặt chẽ với hàm lượng tinh bột, protein và lignin, các nghiên cứu về bộ gen đã bắt đầu các nghiên cứu kết hợp trên bộ gen quy mô lớn để xác nhận mối tương quan giữa một loạt các tính trạng.

Một chất dinh dưỡng đáng kể khác trong cây thức ăn gia súc là proanthocyanidin hoặc tannin cô đặc. Tannin cô đặc liên kết với protein làm cho động vật nhai lại không có khả năng tiêu hóa cho đến khi vào dạ cỏ, và do đó là một đặc điểm quan trọng trong việc tăng giá trị tiêu hóa của cây trồng (Min và cs., 2003), mặc dù hàm lượng tannin cô đặc quá cao có thể gây hại hạn chế lên men, đặc biệt là trong các loài có hàm lượng protein thấp. Do đó, một lượng tannin cô đặc vừa phải là 2-4% sinh khối thức ăn thô xanh cho giá trị tiêu hóa tối ưu (Dixon và cs., 2005). Đã có một nỗ lực để tăng khả năng tiêu hóa tốt hơn ở một số giống cây cỏ (Wang và Brummer, 2012) và quá trình tiêu hóa trước của vi sinh vật sau khi cắt và trước khi cho ăn, bao gồm cả các chất bổ sung vi sinh vật (Elghandour và cs., 2015), có thể được sử dụng để tăng cường điều này.

Sản xuất sinh khối

Vì năng suất sinh khối là mục tiêu chính để cải tiến cây thức ăn gia súc nên các giống cây trồng phát triển nhanh hơn có thể được nhắm mục tiêu để nhân giống. Do đó, các nghiên cứu đã tập trung vào thời kỳ đầu (Fe và cs., 2015) và quy định thời gian ra hoa (Skøt và cs., 2011; Shinozuka và cs., 2012) ở cây cỏ *Lolium* bằng cách phát triển các mô hình dự đoán gen và lập bản đồ định vị đặc điểm định lượng như đã mô tả trước đây (Nuñez và Yamada,

2017). Thao tác các gen liên quan đến quá trình lão hóa chậm đã được nhắm mục tiêu để tăng năng suất sinh khối.

Tuy nhiên, tăng trưởng nhanh cũng phải đi đôi với khả năng của cây để đáp ứng với việc thu cặt giúp cây tái sinh nhanh chóng. Tốc độ tăng trưởng và khả năng phục hồi sau khi cắt là những đặc điểm tương đối dễ lựa chọn trong các thử nghiệm nhân giống, và được các nhà nghiên cứu quan tâm thường xuyên trong nhiều thập kỷ như ở cả cây *Lolium* và *Medicago* (Vance và cs., 1979). Ngoài ra, các thí nghiệm cắt sử dụng ^{13}C và ^{15}N ở cả cây *Lolium* và *Medicago* đã cho thấy đất bị ảnh hưởng như thế nào đối với cả C và N hữu cơ hòa tan và sinh khối vi sinh vật, chứng minh rằng các kế hoạch quản lý có thể rất quan trọng đối với sức khỏe của đất sau này (Schmitt và cs., 2013). Khả năng tái sinh nhanh chóng có thể làm tăng tính mẫn cảm của cây đối với côn trùng và mầm bệnh và điều này cần để nghiên cứu thêm. Mối quan hệ giữa vết thương mô và miễn dịch thực vật là một chủ đề đang phát triển nhanh chóng và hiện có bằng chứng tốt cho thấy tốc độ tăng trưởng của mô có liên quan chặt chẽ với khả năng miễn dịch (Huot và cs., 2014).

Do đó, các kế hoạch quản lý cây thức ăn gia súc là rất quan trọng đối với năng suất. Ví dụ, chọn thời điểm cắt hoặc chăn thả một loại cây trồng là rất quan trọng cho sự tái sinh tiếp theo của cây (Asaadi và Yazdi, 2011; Bumb và cs., 2016). Để hỗ trợ cho lựa chọn này, có phạm vi sử dụng các chỉ thị phân tử, với khả năng thử nghiệm PCR trong tương lai để thu hoạch thời gian tối ưu dựa trên biểu hiện của các gen ứng cử viên như protein lưu trữ. Thử nghiệm mô của cây trồng như vậy cũng có thể được sử dụng để quyết định về thời điểm bón phân vì hai đánh giá được thực hiện cùng một lúc. Có phạm vi để xác định một bộ gen đánh dấu có thể được sử dụng để giúp quyết định khi nào những quyết định quan trọng này được đưa ra.

Các phương án canh tác hỗn hợp đã được sử dụng rộng rãi cho cây thức ăn gia súc và có những lợi thế rõ ràng trong việc trồng cây họ đậu và cỏ cùng nhau. Các cây họ đậu làm tăng N trong đất thông qua sự cộng sinh cố định N của chúng với *Rhizobium*, với sự cố định nitơ sinh học của chúng dao động từ 32 đến 115 kg ha⁻¹ (Iannetta và cs., 2016). Điều này có thể lần lượt giảm sử dụng phân bón cho các loại cây trồng sau đó, giảm từ 23 đến 31 kg N ha⁻¹ (Preissel và cs., 2015). Nhiều chế độ trồng xen đã được thử nghiệm bao gồm mô hình hóa các thông số kết cấu đất và khí hậu khác nhau (Bachinger và Reining, 2009). Trồng các loài hỗn hợp cũng có lợi thế cho bệnh tật và khả năng chống chịu thời tiết khắc nghiệt vì tính nhạy cảm của cây trồng đối với những áp lực này khác nhau giữa các giống và loài. Nhân giống thức ăn gia súc đã tập trung vào chế độ chọn lọc độc canh và cho các loại cây trồng hỗn hợp có thể được đưa vào thử nghiệm cho các giống mới.

Trồng cây thức ăn gia súc để cải thiện chất lượng dinh dưỡng không phải là mục tiêu cho các chương trình chăn nuôi, thay vào đó, năng suất và khả năng chịu tác động của khí hậu mới là mục tiêu hướng tới. Cây thức ăn gia súc trong tương lai phải chịu được những thay đổi khí hậu và thời tiết khắc nghiệt. Không giống như nhiều loại cây trồng có năng suất cao nhất, cây thức ăn gia súc có ưu điểm là chúng có thể dễ dàng trồng kết hợp mà không làm giảm năng suất. Xu hướng như vậy đã được thể hiện qua nhiều thử nghiệm cũng như tăng tính đa dạng sinh học (Weigelt và cs., 2009). Như với bất kỳ hệ thống nào thúc đẩy đa dạng sinh học trong khi vẫn có năng suất, điều này có nghĩa là không chỉ giảm chi phí để quản lý mà còn giúp nền

nông nghiệp văn hóa được chấp nhận, với việc người tiêu dùng nhận thức rõ hơn về tác động của việc sản xuất thực phẩm của họ đối với môi trường (Scherr và McNeely, 2008).

Nguyên tố vi lượng

Nghiên cứu thực vật tập trung vào mục tiêu cung cấp dinh dưỡng sinh học cho ngũ cốc, nhưng cũng có tiềm năng cải thiện chất lượng dinh dưỡng của cây thức ăn gia súc. Tầm quan trọng kinh tế của chăn nuôi gia súc ở những vùng nghèo nhất trên thế giới mang lại cơ hội cho cây trồng vật nuôi được bổ sung dinh dưỡng sinh học từ đó cải thiện sức khỏe của những vật nuôi này và cả trực tiếp và gián tiếp. Cơ sở kiến thức được phát triển cho quá trình lọc sinh học từ ngũ cốc (các chất vận chuyển kim loại thực vật) vẫn chưa được áp dụng cho cây thức ăn gia súc. Ví dụ, protein vận chuyển để lưu trữ sắt và kẽm đã được xác định trong ngũ cốc (Connerton và cs., 2017; Menguer và cs., 2017) và các chất tương đương của chúng trong thức ăn thô xanh vẫn chưa được xác định.

Mặc dù rất phong phú trong hầu hết các loại đất, silic lại được các loại cỏ đặc biệt được yêu cầu do đó có thể rất quan trọng đối với sự phát triển tối ưu của nhiều loại cây thức ăn gia súc. Silicon rất quan trọng đối với cấu trúc thành tế bào và do đó khả năng chống lại mầm bệnh và sâu bệnh, tuy nhiên, nó có thể có tác động tiêu cực đến khả năng tiêu hóa. Việc cung cấp chất dinh dưỡng này có thể trở nên hạn chế đối với cây trồng thức ăn gia súc, đặc biệt là sinh khối thực vật thường xuyên bị lấy đi khỏi đồng ruộng và silicon chưa phải là một chất bổ sung thường xuyên cho phân bón (Tubana và cs., 2016).

Hầu hết các loài cây trồng thức ăn gia súc có thể hình thành các chủng nấm và loại cộng sinh này rất quan trọng để thu nhận các nguyên tố vi lượng. Đối với chăn thả tự nhiên, các chủng cộng sinh này đặc biệt quan trọng, nhưng khi phân bón được thêm vào cây trồng thức ăn gia súc, chủng nấm bị ức chế (MacLean và cs., 2017). Tăng cường sự cộng sinh này bằng cách cây nấm rễ lên cây làm thức ăn gia súc có khả năng cải thiện thành phần nguyên tố khoáng của thức ăn. Sự cộng sinh của nấm có thêm lợi ích cho cây trồng bằng cách tăng diện tích đất được khai thác để lấy chất dinh dưỡng và nước; điều này có thể rất quan trọng trong các hiện tượng thời tiết khắc nghiệt như hạn. Hơn nữa, một hệ vi sinh vật thân rễ cân bằng và tối ưu hóa là điều cần thiết cho chức năng tối ưu của rễ và điều này áp dụng cho tất cả các loại cây trồng bao gồm cả thức ăn gia súc (Mommer và cs., 2016).

Vấn đề môi trường của cây thức ăn gia súc

Như trong tất cả các ngành nông nghiệp, cải thiện hiệu quả sử dụng nước và dinh dưỡng là mục tiêu cho cây thức ăn gia súc. Nhu cầu phân bón của cây thức ăn thô xanh và ngũ cốc là rất khác nhau. Trong cây thức ăn gia súc thì nhu cầu N cũng khác nhau, đối với cây trồng họ đậu thì yêu cầu N thấp hơn (Dierking và cs., 2017). Cải thiện hiệu quả sử dụng nitơ bằng cách sử dụng các gen đánh dấu vận chuyển làm chỉ số về tình trạng cây trồng trong lĩnh vực này có thể có giá trị (Fan và cs., 2017). Nhằm mục tiêu đặc biệt là hiệu quả hấp thu N của hiệu quả sử dụng nitơ là rất quan trọng để giảm thiểu thiệt hại lãng phí và gây hại cho môi trường của việc bổ sung phân bón N dư thừa.

Như đã thảo luận ở trên về hàm lượng protein, sản xuất sinh khối và các quyết định cắt/chăn thả có khả năng phát triển các dấu hiệu gen có thể chỉ ra trạng thái N của từng loại cây trồng thức ăn gia súc. Các quần xã thực vật hỗn hợp có xu hướng có hiệu quả sử dụng nitơ tốt hơn,

có thể là do mỗi loài có kiểu hấp thụ N khác nhau, do tốc độ tăng trưởng và cấu trúc rễ khác nhau (Weigelt và cs., 2009). Ở các nước giàu, giá phân bón hóa học tương đối thấp, không khuyến khích sử dụng phân bón hợp lý hơn cho cây thức ăn gia súc, nhưng mối đe dọa về luật sử dụng quá mức đã tạo ra một động lực mới cho hiệu quả sử dụng phân bón tốt hơn. Có rất nhiều phạm vi để cải thiện hiệu quả sử dụng nitơ của cây trồng thức ăn gia súc, đặc biệt là khi các chương trình nhân giống chưa tập trung vào con đường này. Đối với việc rễ dài của *Medicago* là lý tưởng cho việc thâm nhập sâu để lấy nước và chất dinh dưỡng. Sự khác biệt về giống trong đặc điểm quan trọng này đã được biết đến từ lâu (McIntosh và Miller, 1980) và việc lựa chọn giống cây phụ thuộc vào loại đất, khí hậu và chế độ cây trồng được yêu cầu.

Hướng nghiên cứu

Cải tiến năng suất bằng sử dụng bộ gen

Sự sẵn có của bộ gen và tin sinh học đã cách mạng hóa tất cả sinh học và khi cơ sở dữ liệu mở rộng bao gồm nhiều loài và giống cây hơn, thông tin này có thể hỗ trợ các nhà chăn nuôi cải thiện cây thức ăn gia súc. Bằng cách so sánh thông tin trình tự giống và sử dụng bộ gen quy mô lớn cho các đặc điểm như nồng độ protein cao trong mô sinh dưỡng, hiệu suất hấp thu N hoặc các nguyên tố vi lượng cụ thể, chất lượng dinh dưỡng và năng suất của cây trồng thức ăn gia súc có thể được cải thiện. Một số các gen chính đã được xác định trong cây có thể là mục tiêu cho các kỹ thuật chỉnh sửa gen (Slavov và cs., 2014; Thorogood và cs., 2017). Các dòng trong nhiều loại cỏ cũng đang được sử dụng để nghiên cứu chức năng gen (Dalmais và cs., 2013; Manzanares và cs., 2016). Hơn nữa, như thể hiện với ví dụ *rbcS*, thông tin trình tự có thể được sử dụng để thiết kế các đoạn mồi PCR có thể được sử dụng để thử nghiệm. Những thí nghiệm này có thể được sử dụng để nhanh chóng xác định tình trạng sức khỏe và dinh dưỡng chung của cây trồng cũng như các mầm bệnh cụ thể. Một điểm ngẽn có thể là việc chuyển thông tin di truyền mới vào cây trồng thức ăn gia súc. Việc sử dụng công nghệ CRISPR / Cas9 có thể cung cấp một lộ trình chấp nhận được cho các thao tác đó và cũng như nhiều loại cây trồng, các nghiên cứu khả thi như vậy đã bắt đầu trong các loại cây trồng cỏ; sự đột biến của *Medicago sativa Squamosa Promoter Binding Protein Like9 (SPL9)* đã được thử nghiệm và xác nhận (Gao và cs., 2018), mặc dù hiện tại hiệu quả chỉnh sửa bộ gen còn kém đang hạn chế những tiến bộ trong quá trình chọn giống. Nhiều gen ứng cử viên đã được xác định có thể nhanh chóng được chuyển sang cây thức ăn gia súc, nhưng công nghệ biến đổi đang hạn chế sự phát triển của những cây cải tiến này. Trong tương lai, việc chỉnh sửa bộ gen có thể được chấp nhận nhiều hơn, đặc biệt có lẽ đối với cây trồng làm thức ăn chăn nuôi.

Tập trung vào cải thiện bộ rễ

Như đã thảo luận ở trên năng suất cao, sinh khối thực vật đầu vào thấp là mong muốn cho sản xuất thức ăn thô xanh. Điều này có nghĩa là các chiến lược định hình kiểu hình trên mặt đất đang được phát triển rộng rãi bằng cách sử dụng chủ yếu là dữ liệu quang phổ và hình ảnh (Walter và cs., 2012), mặc dù cần nhiều nghiên cứu hơn để xem kiểu hình thực vật sẽ hoạt động như thế nào trên các loài khác nhau, đặc biệt là trong các hệ thống trồng trọt hỗn hợp. Tuy nhiên, mặc dù nhu cầu về hệ thống rễ phát triển tốt, được thiết lập rõ ràng là rất quan trọng (Kell, 2011; Nacry và cs., 2013), việc lai tạo các tính trạng bên dưới phần lớn đã bị bỏ qua. Điều này không có gì đáng ngạc nhiên vì đối với tất cả các loại cây trồng, việc xác định

kiểu hình rễ rất khó, bị ẩn trong đất và do đó tôn nhiều công sức và khó lấy. Bất kỳ cải tiến hệ thống rễ hiện tại nào cũng là kết quả của các thử nghiệm hạn hán và nhiễm mặn thực vật.

Do đó, đã có một sự thay đổi tập trung vào việc nhân giống cho các tính trạng dưới mặt đất trong cây trồng thức ăn gia súc; trong khoa học thực vật, điều này đã được gọi là bước cách mạng xanh tiếp theo (Den Herder và cs., 2010). Trước khi bắt đầu định hình kiểu hình, cần phải xác định loại cải tiến nào là cần thiết, trong đó có 2 loại chính được tìm thấy. Đầu tiên là cải thiện hệ thống rễ cho chính cây trồng. Điều này có thể bao gồm tăng sinh khối rễ mịn, khởi đầu rễ bên hoặc trong trường hợp nốt sần của cây họ đậu bằng *Sinorhizobium*, để tăng hấp thu dinh dưỡng (Ariel và cs., 2010; Wang và cs., 2010), hoặc thay vào đó làm tăng mật độ rễ hoặc chiều dài rễ cho sự hấp thụ chất dinh dưỡng hoặc nước, hay khả năng chống chịu stress như rụng lá (Ghesquière và cs., 2010; Kell, 2011).

Loại thứ hai là cải tiến hệ thống rễ để hỗ trợ môi trường. Mục tiêu này là cải thiện đất nông nghiệp không chỉ cho sản xuất mà còn về các dịch vụ hệ sinh thái, và điều này đặc biệt đúng trong trường hợp cây trồng thức ăn gia súc (Marshall và cs., 2016). Các loại cỏ và đồng cỏ có thể cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái có phạm vi rộng và liên kết chặt chẽ với chức năng của rễ bao gồm quá trình hấp thu C trong đất quan trọng đối với biến đổi khí hậu (Kell, 2011, 2012), hoặc che phủ giúp giảm lũ lụt và xói mòn đất (Macleod và cs., 2013). Ý tưởng sử dụng cả hai loại cây trồng không phải là cây họ đậu và cây họ đậu làm cây che phủ để giảm thiểu biến đổi khí hậu đang được đánh giá cao, (Kaye và Quemada, 2017). Một điểm khác cần lưu ý là nhiều loại cỏ lâu năm bao gồm *Miscanthus* và *Panicum* có thể được sử dụng để sản xuất nhiên liệu sinh học nhưng các đặc điểm cần thiết cho một loại cây cỏ không phải lúc nào cũng phù hợp với nhiên liệu sinh học (Yang và Udvardi, 2018), mặc dù chức năng và cấu trúc rễ hiệu quả có khả năng là một đặc tính mong muốn cho cả hai lĩnh vực nông nghiệp.

Phát triển hệ thống quản lý

Hiện tại người trồng cỏ không thể xác định dễ dàng và đáng tin cậy tình trạng N của cây trồng của họ. Để sản xuất sinh khối tối đa, điều quan trọng là phải duy trì trạng thái N của cây trồng trong suốt mùa trồng trọt và điều này đòi hỏi nguồn cung cấp đất N được tối ưu hóa (Hofer và cs., 2017). Áp dụng quá nhiều phân bón N dẫn đến lãng phí và cung cấp dưới tối ưu dẫn đến giảm sản lượng sinh khối. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, thông qua việc dán nhãn *Lolium*¹⁵N, sự thiếu hụt do sử dụng phân bón N thấp gây ra sự gia tăng nguồn chất đạm trong khi nguồn dự trữ giảm về quy mô và tỷ lệ doanh thu (Lehmeier và cs., 2013). Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của các nghiên cứu phân bón đối với thành phần N của mô thực vật thức ăn gia súc. Việc duy trì nguồn cung cấp N cho năng suất tối đa bị giới hạn bởi hai yếu tố: (1) các thử nghiệm không đáng tin cậy và không thể thực hiện đối với mức độ N của đất (Knight, 2006) và (2) một thước đo đáng tin cậy dễ dàng về tình trạng của cây trồng.

Hiện tại nông dân lấy mẫu hạn chế trên diện tích trồng trọt của họ với hy vọng đây là đại diện của N trong toàn bộ lô đất trong suốt mùa trồng trọt. Tuy nhiên, điều này không chỉ ra trạng thái N của cây hoặc cung cấp thước đo hiệu quả sử dụng nitơ. Một số nghiên cứu đã tập trung vào việc sử dụng dữ liệu quang phổ để đánh giá hiệu quả cây trồng (Foster và cs., 2017), nhưng các kỹ thuật như vậy đòi hỏi phải điều tra thêm và có thể đọc sai lệch do mầm bệnh tấn công. Các cảm biến cho hàm lượng N của đất cũng đang được phát triển, tuy nhiên, đây có thể là một giải pháp tốn kém (Shaw và cs., 2016). Do những vấn đề này, có thể tốt hơn nếu người nông dân có thể xác định trực tiếp tình trạng N của cây trồng và sau đó đưa ra quyết định sáng

suốt hơn về cách họ nên bón phân sau đó. Điều này sẽ cho phép sử dụng phân bón hiệu quả hơn, do đó làm tăng sinh khối thức ăn thô xanh với chi phí thấp hơn.

Nghiên cứu sản phẩm động vật cuối cùng

Khi thức ăn thô xanh được sử dụng để chăn nuôi gia súc và trở thành sản phẩm thực phẩm cho con người, điều quan trọng là phải xem nghiên cứu về khoa học thực vật từ một nghiên cứu triển vọng về chăn nuôi, đã được đề cập ở trên khi thảo luận về thành phần dinh dưỡng của cây trồng. Hiện nay, nhiều quốc gia áp dụng quy mô lớn, chăn nuôi tập trung dẫn đầu như Hoa Kỳ, với nhiều rủi ro về sức khỏe cho con người do vi khuẩn, vi khuẩn kháng sinh, prion và dioxin trong sản phẩm cuối (Sapkota và cs., 2007). Mặc dù giá tăng thúc đẩy đặc, cây trồng thức ăn gia súc vẫn được sử dụng rộng rãi làm nguồn thức ăn chính do năng suất DM và năng lượng cao với chi phí thấp (Reynold, 2000), mặc dù các nghiên cứu thường tập trung vào điều tra sự kết hợp của cả hai ở các giai đoạn phát triển khác nhau. Ví dụ, các nghiên cứu so sánh sự tăng trưởng của gia súc được cho ăn chế độ ăn có thay vì chế độ ăn hạt lanh cho thấy thịt sản phẩm cuối cùng có thành phần axit béo tốt hơn với n-3 PUFAs có lợi, nhưng gia súc phát triển chậm hơn và do đó chất lượng thịt nghèo hơn (Nuernberg và cs., 2005). Kết quả tương tự cũng đã được thấy đối với sản xuất bò sữa trong các hệ thống thức ăn thô xanh chất lượng cao (Dewhurst và cs., 2006). Nếu những cải tiến có thể được thực hiện với chất lượng thức ăn thô xanh, đặc biệt là các giống có hàm lượng đường cao hơn như đã nêu ở trên, thì có thể cải thiện rất lớn trong chăn nuôi.

KẾT LUẬN

Năng suất, chất lượng của cây thức ăn xanh ảnh hưởng lớn đến hiệu quả kinh tế trong chăn nuôi, chính vì vậy mà sử dụng những kết quả từ nghiên cứu cây trồng ngũ cốc và kiến thức thu thập được từ các hệ thống mô hình như *Arabidopsis*, mang đến một hướng đi trong tương lai để cải thiện chất lượng dinh dưỡng và năng suất cho cây trồng thức ăn gia súc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alexandratos, N., Bruinsma, J., Bödeker, G., Schmidhuber, J., Broca, S. and Shetty, P. 2006. "World agriculture: towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups," in ESA Working Paper No. 12-03, eds J. Bruinsma and N. Alexandratos (Rome: FAO).
- American Dietetic Association and Dietitians of Canada. 2003. Position of the American dietetic association and dietitians of Canada: vegetarian diets. *J. Am. Diet. Assoc.* 103, 748–765. doi: 10.1053/jada.2003.50142
- Ariel, F., Diet, A., Verdenaud, M., Gruber, V., Frugier, F. and Chan, R. 2010. environmental regulation of lateral root emergence in *Medicago truncatula* requires the HD-Zip I transcription factor HB1. *Plant Cell* 22, pp. 2171–2183. doi: 10.1105/tpc.110.074823
- Asaadi, A. M., and Yazdi, A. K. 2011. Phenological stage effects on forage quality of four forbs species. *J. Food Agric. Environ.* 9, pp. 380–384.
- Bachinger, J., and Reining, E. 2009. An empirical statistical model for predicting the yield of herbage from legume-grass swards within organic crop rotations based on cumulative water balances. *Grass Forage Sci.* 64, 144–159. doi: 10.1111/j.1365-2494.2009.00678.x
- Badenhorst, P. E., Panter, S., Palanisamy, R., Georges, S., Smith, K. F. and Mouradov, A. 2018. Molecular breeding of transgenic perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) with altered fructan biosynthesis through the expression of fructosyltransferases. *Mol. Breed.* 38:21. doi: 10.1007/s11032-018-0776-3

- Badenhorst, P., Smith, K., and Spangenberg, G. 2016. Development of a molecular breeding strategy for the integration of transgenic traits in outcrossing perennial grasses. *Agronomy* 6:56. doi: 10.3390/agronomy6040056
- Ball, R. O., Courtney-Martin, G. and Pencharz, P. B. 2006. The in vivo sparing of methionine by cysteine in sulfur amino acid requirements in animal models and adult humans. *J. Nutr.* 136, 1682S–1693S. doi: 10.1093/jn/136.6.1682S
- Boller, B., and Green, S. L. 2010. “Genetic resources,” in *Fodder Crops and Amenity Grasses. Handbook of Plant Breeding*, eds B. Boller, U. Posselt, and F. Veronesi (New York, NY: Springer), pp. 13–38. doi: 10.1007/978-1-4419-0760-8_2
- Boufaïed, H., Chouinard, P. Y., Tremblay, G. F., Petit, H. V., Michaud, R., and Bélanger, G. 2003. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Can. J. Anim. Sci.* 83, pp. 501–511. doi: 10.4141/A02-098
- Brugger, D., and Windisch, W. M. 2015. Environmental responsibilities of livestock feeding using trace mineral supplements. *Anim. Nutr.* 1, 113–118. doi: 10.1016/j.aninu.2015.08.005
- Blackmore, T., Thorogood, D., Skøt, L., McMahon, R., Powell, W. and Hegarty, M. 2016. Germplasm dynamics: the role of ecotypic diversity in shaping the patterns of genetic variation in *Lolium perenne*. *Sci. Rep.* 6:22603. doi: 10.1038/srep22603
- Bumb, I., Garnier, E., Bastianelli, D., Richarte, J., Bonnal, L. and Kazakou, E. 2016. Influence of management regime and harvest date on the forage quality of rangelands plants: the importance of dry matter content. *AoB Plants* 8:plw045. doi: 10.1093/aobpla/plw045
- Byrnes, R. C., Núñez, J., Arenas, L., Rao, I., Trujillo, C., Alvarez, C. 2017. Biological nitrification inhibition by *Brachiaria* grasses mitigates soil nitrous oxide emissions from bovine urine patches. *Soil Biol. Biochem.* 107, pp. 156–163. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.12.029
- Cabral, G. B., Carneiro, V. T. C., Rossi, M. L., Da Silva, J. P., Martinelli, A. P. and Dusi, D. M. A. 2015. Plant regeneration from embryogenic callus and cell suspensions of *Brachiaria brizantha*. In *Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 51, pp. 369–377. doi: 10.1007/s11627-015-9690-0
- CAST. 2013. Animal Feed vs. Human Food: Challenges and Opportunities in Sustaining Animal Agriculture Toward 2050. Ames, IA: CAST.
- Chen, T., Yang, Q., Gruber, M., Kang, J., Sun, Y. and Ding, W. 2012a. Expression of an alfalfa (*Medicago sativa* L.) ethylene response factor gene MsERF8 in tobacco plants enhances resistance to salinity. *Mol. Biol. Rep.* 39, pp. 6067–6075. doi: 10.1007/s11033-011-1421-y
- Chen, T., Yang, Q., Zhang, X., Ding, W. and Gruber, M. 2012b. An alfalfa (*Medicago sativa* L.) ethylene response factor gene, MsERF11, enhances salt tolerance in transgenic *Arabidopsis*. *Plant Cell Rep.* 31, pp. 1737–1746. doi: 10.1007/s00299-012-1287-z
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J. and Doreau, M. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109, pp. 828–855. doi: 10.1002/ejlt.200700080
- CIAT and CGIAR. 2015. Improved Forages to Enhancing Farm Productivity, Climate Change Resilience, and Environmental Sustainability in Eastern and Southern Africa [Online]. Nairobi: International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- Clapham, W. M., Foster, J. G., Neel, J. P. S., and Fedders, J. M. 2005. Fatty acid composition of traditional and novel forages. *J. Agric. Food Chem.* 53, pp. 10068–10073. doi: 10.1021/jf0517039
- Connerton, J. M., Jones, E. R., Rodriguez-Ramiro, I., Fairweather-Tait, S., Uauy, C. and Balk, J. 2017. Wheat vacuolar iron transporter TaVIT2 transports Fe and Mn and is effective for biofortification. *Plant Physiol.* 174, pp. 2434–2444. doi: 10.1104/pp.17.00672

- Cramer, H., Kessler, C. S., Sundberg, T., Leach, M. J., Schumann, D. and Adams, J. 2017. Characteristics of americans choosing vegetarian and vegan diets for health reasons. *J. Nutr. Educ. Behav.* 49, pp. 561–567. doi: 10.1016/j.jneb.2017.04.011
- Dalmais, M., Antelme, S., Ho-Yue-Kuang, S., Wang, Y., Darracq, O. and d'Yvoire, M. B. 2013. A TILLING platform for functional genomics in *Brachypodium distachyon*. *PLoS One* 8:e65503. doi: 10.1371/journal.pone.0065503
- de Bang, T., Lundquist, P. K., Dai, X., Boschiero, C., Zhuang, Z. and Pant, P. 2017. Genome-wide Identification of *Medicago* peptides involved in macronutrient responses and nodulation. *Plant Physiol.* 175, 17.01096. doi: 10.1104/pp.17.01096
- De Vega, J. J., Ayling, S., Hegarty, M., Kudrna, D., Goicoechea, J. L., and Ergon, Å. 2015. Red clover (*Trifolium pratense* L.) draft genome provides a platform for trait improvement. *Sci. Rep.* 5:17394. doi: 10.1038/srep17394
- Den Herder, G., Van Isterdael, G., Beeckman, T. and De Smet, I. 2010. The roots of a new green revolution. *Trends Plant Sci.* 15, 600–607. doi: 10.1016/j.tplants.2010.08.009
- Derner, J. D., Hunt, L., Filho, K. E., Ritten, J., Capper, J. and Han, G. 2017. “Livestock production systems,” in *Rangeland Systems: Processes, Management and Challenges*, ed. D. D. Briske (Cham: Springer), pp. 347–372. doi: 10.1007/978-3-319-46709-2_10
- Dewhurst, R. J., Shingfield, K. J., Lee, M. R. F. and Scollan, N. D. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, pp. 168–206. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.04.016
- Di Paola, A., Rulli, M. C. and Santini, M. 2017. Human food vs. animal feed debate. A thorough analysis of environmental footprints. *Land Use Policy* 67, pp. 652–659. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.06.017
- Dierking, R. M., Allen, D. J., Cunningham, S. M., Brouder, S. M., and Volenec, J. J. 2017. Nitrogen reserve pools in two *Miscanthus × giganteus* genotypes under contrasting N managements. *Front. Plant Sci.* 8:1618. doi: 10.3389/fpls.2017.01618
- Dijkstra, J., Oenema, O. and Bannink, A. 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 3, pp. 414–422. doi: 10.1016/j.cosust.2011.07.008
- Dixon, R. A., Xie, D.-Y., and Sharma, S. B. 2005. Proanthocyanidins – a final frontier in flavonoid research? *New Phytol.* 165, pp. 9–28. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01217.x
- Elghandour, M. M. Y., Salem, A. Z. M., Castañeda, J. S. M., Camacho, L. M., Kholif, A. E., and Chagoyán, J. C. V. 2015. Direct-fed microbes: A tool for improving the utilization of low quality roughages in ruminants. *J. Integr. Agric.* 14, 526–533. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60834-0
- Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J., and Cummings, J. H. 1999. Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *Am. J. Clin. Nutr.* 69, pp. 448–454. doi: 10.1093/ajcn/69.3.448
- Fan, X., Naz, M., Fan, X., Xuan, W., Miller, A. J., and Xu, G. 2017. Plant nitrate transporters: from gene function to application. *J. Exp. Bot.* 68, pp. 2463–2475. doi: 10.1093/jxb/erx011
- FAO. 2010. Challenges and Opportunities for Carbon Sequestration in Grassland Systems: A Technical Report on Grassland Management and Climate Mitigation. (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Fe, D., Cericola, F., Byrne, S., Lenk, I., Ashraf, B. H., and Pedersen, M. G. 2015. Genomic dissection and prediction of heading date in perennial ryegrass. *BMC Genomics* 16:921. doi: 10.1186/s12864-015-2163-3

- Foster, A. J., Kakani, V. G., and Mosali, J. 2017. Estimation of bioenergy crop yield and N status by hyperspectral canopy reflectance and partial least square regression. *Precis. Agric.* 18, pp. 192–209. doi: 10.1007/s11119-016-9455-8
- Foyer, C. H., Lam, H. M., Nguyen, H. T., Siddique, K. H., Varshney, R. K., and Colmer, T. D. 2016. Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nat. Plants* 2:16112. doi: 10.1038/nplants.2016.112
- Gao, R., Feyissa, B. A., Croft, M., and Hannoufa, A. 2018. Gene editing by CRISPR/Cas9 in the obligatory outcrossing *Medicago sativa*. *Planta* 247, pp. 1043–1050. doi: 10.1007/s00425-018-2866-1
- Ghesquière, M., Humphreys, M. W., and Zwierzykowski, Z. 2010. “*Festulolium*,” in *Fodder Crops and Amenity Grasses*, eds B. Boller, U. K. Posselt, and F. Veronesi (New York, NY: Springer), pp. 288–311.
- Giuberti, G., Rocchetti, G., Sigolo, S., Fortunati, P., Lucini, L., and Gallo, A. 2018. Exploitation of alfalfa seed (*Medicago sativa* L.) flour into gluten-free rice cookies: nutritional, antioxidant and quality characteristics. *Food Chem.* 239, pp. 679–687. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.004
- Gondo, T., Umami, N., Muguerza, M., and Akashi, R. 2017. Plant regeneration from embryogenic callus derived from shoot apices and production of transgenic plants by particle inflow gun in dwarf napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.). *Plant Biotechnol.* 34, pp. 143–150. doi: 10.5511/plantbiotechnology.17.0623a
- Harfoot, C. G., and Hazlewood, G. P. 1988. “Lipid metabolism in the rumen,” in *The Rumen Microbial Ecosystem*, ed. P. M. Hobson (London: Elsevier), pp. 285–322.
- Hatfield, R. D., Jung, H. J. G., Broderick, G., and Jenkins, T. C. 2007. “Nutritional chemistry of forages,” in *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, 6th Edn, eds R. F. Barnes, C. J. Nelson, K. J. Moore, and M. Collins (Ames, IA: Blackwell Publishing), pp. 467–485.
- Herrero, M., Grace, D., Njuki, J., Johnson, N., Enahoro, D., and Silvestri, S. 2013. The roles of livestock in developing countries. *Animal* 7, pp. 3–18. doi: 10.1017/S1751731112001954
- Herrmann, D., Barre, P., Santoni, S., and Julier, B. 2010. Association of a CONSTANS-LIKE gene to flowering and height in autotetraploid alfalfa. *Theor. Appl. Genet.* 121, pp. 865–876. doi: 10.1007/s00122-010-1356-z
- Hofer, D., Suter, M., Buchmann, N., and Lüscher, A. 2017. Nitrogen status of functionally different forage species explains resistance to severe drought and post-drought overcompensation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 236, pp. 312–322. doi: 10.1016/j.agee.2016.11.022
- Huot, B., Yao, J., Montgomery, B. L., and He, S. Y. 2014. Growth–defense tradeoffs in plants: a balancing act to optimize fitness. *Mol. Plant* 7, pp. 1267–1287. doi: 10.1093/mp/ssu049
- Iannetta, P. P., Young, M., Bachinger, J., Bergkvist, G., Doltra, J., and Lopez-Bellido, R. J. 2016. A comparative nitrogen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: the potential role of biological nitrogen fixation. *Front. Plant Sci.* 7:1700. doi: 10.3389/fpls.2016.01700
- Ishii, Y., Hamano, K., Kang, D.-J., Idota, S., and Nishiwaki, A. 2015. Cadmium phytoremediation potential of napiergrass cultivated in Kyushu, Japan. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2015:6. doi: 10.1155/2015/756270
- Jung, H.-J. G., Samac, D. A., and Sarath, G. 2012. Modifying crops to increase cell wall digestibility. *Plant Sci.* 185, 65–77. doi: 10.1016/j.plantsci.2011.10.014
- Kaye, J. P., and Quemada, M. 2017. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37:4. doi: 10.1007/s13593-016-0410-x
- Kell, D. B. 2011. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. *Ann. Bot.* 108, pp. 407–418. doi: 10.1093/aob/mcr175
- Kell, D. B. 2012. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 367, pp. 1589–1597. doi: 10.1098/rstb.2011.0244

- Kingston-Smith, A. H., Davies, T. E., Edwards, J. E., and Theodorou, M. K. 2008. From plants to animals; the role of plant cell death in ruminant herbivores. *J. Exp. Bot.* 59, pp. 521–532. doi: 10.1093/jxb/erm326
- Kingston-Smith, A. H., Edwards, J. E., Huws, S. A., Kim, E. J., and Abberton, M. 2010. Plant-based strategies towards minimising ‘livestock’s long shadow’. *Proc. Nutr. Soc.* 69, pp. 613–620. doi: 10.1017/s0029665110001953
- Knight, M. 2006. Soil Mineral Nitrogen Testing : Practice and Interpretation. Wymondham: The Arable Group.
- Lehmeier, C. A., Wild, M., and Schnyder, H. 2013. Nitrogen stress affects the turnover and size of nitrogen pools supplying leaf growth in a grass. *Plant Physiol.* 162, pp. 2095–2105. doi: 10.1104/pp.113.219311
- Li, W., Katin-Grazzini, L., Gu, X., Wang, X., El-Tanbouly, R. and Yer, H. 2017. Transcriptome analysis reveals differential gene expression and a possible role of gibberellins in a shade-tolerant mutant of perennial ryegrass. *Front. Plant Sci.* 8:868. doi: 10.3389/fpls.2017.00868
- Louahlia, S., Laine, P., Macduff, J. H., Ourry, A., Humphreys, M., and Boucaud, J. 2008. Interactions between reserve mobilization and regulation of nitrate uptake during regrowth of *Lolium perenne* L.: putative roles of amino acids and carbohydrates. *Botany* 86, pp. 1101–1110. doi: 10.1139/B08-066
- MacLean, A. M., Bravo, A., and Harrison, M. J. 2017. Plant signaling and metabolic pathways enabling arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell.* 29, pp. 2319–2335. doi: 10.1105/tpc.17.00555
- Macleod, C. J. A., Humphreys, M. W., Whalley, W. R., Turner, L., Binley, A. and Watts, C. W. 2013. A novel grass hybrid to reduce flood generation in temperate regions. *Sci. Rep.* 3:1683. doi: 10.1038/srep01683
- Maghsoodi, M., Razmjoo, J., and Gheysari, M. 2017. Application of biochemical markers for the assessment of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Grassland Sci.* 63, pp. 3–14. doi: 10.1111/grs.12144
- Manzanares, C., Yates, S., Ruckle, M., Nay, M., and Studer, B. 2016. TILLING in forage grasses for gene discovery and breeding improvement. *New Biotechnol.* 33, pp. 594–603. doi: 10.1016/j.nbt.2016.02.009
- Marshall, A. H., Collins, R. P., Humphreys, M. W., and Scullion, J. 2016. A new emphasis on root traits for perennial grass and legume varieties with environmental and ecological benefits. *Food Energy Secur.* 5, pp. 26–39. doi: 10.1002/fes.3.78
- McCarthy, R. D., Klusmeyer, T. H., Vicini, J. L., Clark, J. H., and Nelson, D. R. 1989. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2002–2016. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(89)79324-3
- McCord, P., Gordon, V., Saha, G., Hellinga, J., Vandemark, G., and Larsen, R. 2014. Detection of QTL for forage yield, lodging resistance and spring vigor traits in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Euphytica* 200, pp. 269–279. doi: 10.1007/s10681-014-1160-y
- Mcevoy, C., and Woodside, J. V. 2010. “Vegetarian and vegan diets: weighing the claims,” in Nutrition Guide for Physicians, eds T. Wilson, G. A. Bray, N. J. Temple, and M. B. Struble (Totowa, NJ: Humana Press), pp. 81–93.
- McIntosh, M. S., and Miller, D. A. 1980. Development of root-branching in three alfalfa cultivars. *Crop Sci.* 20, pp. 807–809. doi: 10.2135/cropsci1980.0011183X002000060033x
- McKersie, B. D., Murnaghan, J., Jones, K. S., and Bowley, S. R. 2000. Iron-superoxide dismutase expression in transgenic alfalfa increases winter survival without a detectable increase in photosynthetic oxidative stress tolerance. *Plant Physiol.* 122, pp. 1427–1437. doi: 10.1104/pp.122.4.1427
- Menguer, P. K., Vincent, T., Miller, A. J., Brown, J. K. M., Vincze, E., and Borg, S. 2017. Improving zinc accumulation in cereal endosperm using HvMTP1, a transition metal transporter. *Plant Biotechnol. J.* 16, pp. 63–71. doi: 10.1111/pbi.12749
- Miller, L. A., Moorby, J. M., Davies, D. R., Humphreys, M. O., Scollan, N. D., and Macrae, J. C. 2001. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): milk

- production from late-lactation dairy cows. *Grass Forage Sci.* 56, pp. 383–394. doi: 10.1046/j.1365-2494.2001.00288.x
- Mommer, L., Hinsinger, P., Prigent-Combaret, C., and Visser, E. J. W. 2016. Advances in the rhizosphere: stretching the interface of life. *Plant Soil* 407, pp. 1–8. doi: 10.1007/s11104-016-3040-9
- Mueller-Harvey, I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.* 86, pp. 2010–2037. doi: 10.1002/jsfa.2577
- Muir, J. P., Pitman, W. D., and Foster, J. L. 2011. Sustainable, low-input, warm-season, grass-legume grassland mixtures: mission (nearly) impossible? *Grass Forage Sci.* 66, 301–315. doi: 10.1111/j.1365-2494.2011.00806.x
- Min, B. R., Barry, T. N., Attwood, G. T., and Mcnabb, W. C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, pp. 3–19. doi: 10.1016/S0377-8401(03)00041-5
- Myouga, F., Hosoda, C., Umezawa, T., Iizumi, H., Kuromori, T., and Motohashi, R. 2008. A heterocomplex of iron superoxide dismutases defends chloroplast nucleoids against oxidative stress and is essential for chloroplast development in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 20, pp. 3148–3162. doi: 10.1105/tpc.108.061341
- Nacry, P., Bouguyon, E., and Gojon, A. 2013. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanisms ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. *Plant Soil* 370, pp. 1–29. doi: 10.1007/s11104-013-1645-9
- Nagy, I., Barth, S., Mehenni-Ciz, J., Abberton, M. T., and Milbourne, D. 2013. A hybrid next generation transcript sequencing-based approach to identify allelic and homeolog-specific single nucleotide polymorphisms in allotetraploid white clover. *BMC Genomics* 14:100. doi: 10.1186/1471-2164-14-100
- NIMSS. 2017. NE1010: Breeding and Genetics of Forage Crops to Improve Productivity, Quality, and Industrial Uses [Online]. Available at: <https://www.nimss.org/projects/1314> [accessed November 30, 2017]
- Nuernberg, K., Dannenberger, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J., and Scollan, N. D. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Livest. Prod. Sci.* 94, pp. 137–147. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.036
- Nuñez, F., and Yamada, T. 2017. Molecular regulation of flowering time in grasses. *Agronomy* 7:17. doi: 10.3390/agronomy7010017
- Osbourn, D. F. 1980. “The feeding value of grass and grass products,” in *Grass: Its Production and Utilization*, ed. W. Holmes (Oxford: Blackwell Scientific Publications), pp. 70–124.
- Panter, S., Mouradov, A., Badenhorst, P., Martelotto, L., Griffith, M., and Smith, K.. 2017. Re-programming photosynthetic cells of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L) for fructan biosynthesis through transgenic expression of fructan biosynthetic genes under the control of photosynthetic promoters. *Agronomy* 7:36. doi: 10.3390/agronomy7020036
- Parsons, A. J., Harvey, A., and Woledge, J. 1991. Plant-animal interactions in a continuously grazed mixture. I. Differences in the physiology of leaf expansion and the fate of leaves of grass and clover. *J. Appl. Ecol.* 28, pp. 619–634. doi: 10.2307/2404572
- Pfeifer, M., Martis, M., Asp, T., Mayer, K. F. X., Lübbertsdorf, T., and Byrne, S. 2013. The perennial ryegrass GenomeZipper: targeted use of genome resources for comparative grass genomics. *Plant Physiol.* 161, pp. 571–582. doi: 10.1104/pp.112.207282
- Piluzzo, G., Sulas, L., and Bullitta, S. 2014. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. *Grass Forage Sci.* 69, 32–48. doi: 10.1111/gfs.12053
- Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N., and Zander, P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: a review. *Field Crops Res.* 175, pp. 64–79. doi: 10.1016/j.fcr.2015.01.012

- Raigond, P., Ezekiel, R., and Raigond, B. 2015. Resistant starch in food: a review. *J. Sci. Food Agric.* 95, 1968–1978. doi: 10.1002/jsfa.6966
- Rancor, D. M., Marita, J. M., and Hatfield, R. D. 2012. Cell wall composition throughout development for the model grass *Brachypodium distachyon*. *Front. Plant Sci.* 3:266. doi: 10.3389/fpls.2012.00266
- Reynolds, C. K. 2000. “Forage evaluation using measurements of energy metabolism,” in *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, eds D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, and H. M. Omed (Wallingford: CABI Publishing).
- Roche, J., Turnbull, M. H., Guo, Q., Novák, O., Späth, J., and Gieseg, S. P. 2017. Coordinated nitrogen and carbon remobilization for nitrate assimilation in leaf, sheath and root and associated cytokinin signals during early regrowth of *Lolium perenne*. *Ann. Bot.* 119, pp. 1353–1364. doi: 10.1093/aob/mcx014
- Ruckle, M., Meier, M., Frey, L., Eicke, S., Kölliker, R., Zeeman, S. 2017. Diurnal leaf starch content: an orphan trait in forage legumes. *Agronomy* 7:16. doi: 10.3390/agronomy7010016
- Sapkota, A. R., Lefferts, L. Y., Mckenzie, S., and Walker, P. 2007. What do we feed to food-production animals? A review of animal feed ingredients and their potential impacts on human health. *Environ. Health Perspect.* 115, pp. 663–670. doi: 10.1289/ehp.9760
- Scherr, S. J., and McNeely, J. A. 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of ‘ecoagriculture’ landscapes. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, pp. 477–494. doi: 10.1098/rstb.2007.2165
- Schmitt, A., Pausch, J., and Kuzyakov, Y. 2013. C and N allocation in soil under ryegrass and alfalfa estimated by ^{13}C and ^{15}N labelling. *Plant Soil* 368, pp. 581–590. doi: 10.1007/s11104-012-1536-5
- Shaw, R., Lark, R. M., Williams, A. P., Chadwick, D. R., and Jones, D. L. 2016. Characterising the within-field scale spatial variation of nitrogen in a grassland soil to inform the efficient design of in-situ nitrogen sensor networks for precision agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 230, pp. 294–306. doi: 10.1016/j.agee.2016.06.004
- Shinozuka, H., Cogan, N. O., Spangenberg, G. C., and Forster, J. W. 2012. Quantitative Trait Locus (QTL) meta-analysis and comparative genomics for candidate gene prediction in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *BMC Genet.* 13:101. doi: 10.1186/1471-2156-13-101
- Skøt, L., Sanderson, R., Thomas, A., Skøt, K., Thorogood, D., and Latypova, G. 2011. Allelic variation in the perennial ryegrass FLOWERING LOCUS T gene is associated with changes in flowering time across a range of populations. *Plant Physiol.* 155, pp. 1013–1022. doi: 10.1104/pp.110.169870
- Slavov, G. T., Nipper, R., Robson, P., Farrar, K., Allison, G. G., Bosch, M. 2014. Genome-wide association studies and prediction of 17 traits related to phenology, biomass and cell wall composition in the energy grass *Miscanthus sinensis*. *New Phytol.* 201, 1227–1239. doi: 10.1111/nph.12621
- Subbarao, G. V., Nakahara, K., Hurtado, M. P., Ono, H., Moreta, D. E., and Salcedo, A. F. 2009. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106, pp. 17302–17307. doi: 10.1073/pnas.0903694106
- Thornton, P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, pp. 2853–2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134
- Thorogood, D., Yates, S., Manzanares, C., Skot, L., Hegarty, M. and Blackmore, T. 2017. A novel multivariate approach to phenotyping and association mapping of multi-locus gametophytic self-incompatibility reveals S, Z, and other loci in a perennial ryegrass (Poaceae) population. *Front. Plant Sci.* 8:1331. doi: 10.3389/fpls.2017.01331
- Tubana, B. S., Babu, T., and Datnoff, L. E. 2016. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. *Soil Sci.* 181, pp. 393–411. doi: 10.1097/ss.0000000000000179

- Van Elswyk, M. E., and McNeill, S. H. 2014. Impact of grass/forage feeding versus grain finishing on beef nutrients and sensory quality: the U.S. experience. *Meat Sci.* 96, pp. 535–540. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.08.010
- VanBuren, R., Bryant, D., Edger, P. P., Tang, H., Burgess, D., and Challabathula, D. 2015. Single-molecule sequencing of the desiccation-tolerant grass *Oropetium thomaeum*. *Nature* 527, pp. 508–511. doi: 10.1038/nature15714
- Vance, C. P., Heichel, G. H., Barnes, D. K., Bryan, J. W., and Johnson, L. E. 1979. Nitrogen fixation, nodule development, and vegetative regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) following Harvest. *Plant Physiol.* 64, pp. 1–8. doi: 10.1104/pp.64.1.1
- Vogel, K. P., and Pedersen, J. F. 1993. “Breeding systems for cross-pollinated perennial grasses,” in *Plant Breeding Reviews*, ed. J. Janick (New York, NY: John Wiley & Sons, Inc), pp. 251–274. doi: 10.1002/9780470650035.ch7
- Wallace, R. J., Onodera, R., and Cotta, M. A. 1997. “Metabolism of nitrogen-containing compounds,” in *The Rumen Microbial Ecosystem*, eds P. N. Hobson and C. S. Stewart (Dordrecht: Springer), pp. 283–328. doi: 10.1007/978-94-009-1453-7_7
- Walter, A., Studer, B., and Kölliker, R. 2012. Advanced phenotyping offers opportunities for improved breeding of forage and turf species. *Ann. Bot.* 110, pp. 1271–1279. doi: 10.1093/aob/mcs026
- Wang, Y., Suo, H., Zheng, Y., Liu, K., Zhuang, C., and Kahle, K. T. 2010. The soybean root-specific protein kinase GmWNK1 regulates stress-responsive ABA signaling on the root system architecture. *Plant J.* 64, pp. 230–242. doi: 10.1111/j.1365-313X.2010.04320.x
- Wang, Z. Y., and Ge, Y. 2005. Agrobacterium-mediated high efficiency transformation of tall fescue (*Festuca arundinacea*). *J. Plant Physiol.* 162, pp. 103–113. doi: 10.1016/j.jplph.2004.07.009
- Wang, Z.-Y., and Brummer, E. C. 2012. Is genetic engineering ever going to take off in forage, turf and bioenergy crop breeding? *Ann. Bot.* 110, pp. 1317–1325. doi: 10.1093/aob/mcs027
- Warnke, E., Barker, E., Brilman, A., Young, C., and Cook, L. 2002. Inheritance of superoxide dismutase (Sod-1) in a perennial x annual ryegrass cross and its allelic distribution among cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 105, pp. 1146–1150. doi: 10.1007/s00122-002-1007-0
- Watson, B. S., Asirvatham, V. S., Wang, L., and Sumner, L. W. 2003. Mapping the proteome of barrel medic *Medicago truncatula*. *Plant Physiol.* 131, pp. 1104–1123. doi: 10.1104/pp.102.019034
- Weigelt, A., Weisser, W. W., Buchmann, N., and Scherer-Lorenzen, M. 2009. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal production in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences* 6, pp. 1675–1706. doi: 10.5194/bg-6-1695-2009
- Weimer, P. J. 1996. Why don’t ruminal bacteria digest cellulose faster? *J. Dairy Sci.* 79, pp. 1496–1502. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76509-8
- Xu, G., Fan, X., and Miller, A. J. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, pp. 153–182. doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532
- Yates, S. A., Swain, M. T., Hegarty, M. J., Chernukin, I., Lowe, M. and Allison, G. G. 2014. De novo assembly of red clover transcriptome based on RNA-Seq data provides insight into drought response, gene discovery and marker identification. *BMC Genomics* 15:453. doi: 10.1186/1471-2164-15-453
- Zhang, W.-J., Dong, J.-L., Liang, B.-G., Jin, Y.-S., and Wang, T. 2006. Highly efficient embryogenesis and plant regeneration of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) from mature seed-derived calli. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 42, pp. 114–118. doi: 10.1079/ivp2005733
- Zhu, Y.-G., Pilon-Smits, E. A., Zhao, F.-J., Williams, P. N., and Meharg, A. A. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. *Trends Plant Sci.* 14, pp. 436–442. doi: 10.1016/j.tplants.2009.06.006

ABSTRACT

Improve productivity, quality of forage crops and research direction

Green fodder crops play an important role in breeding for ruminant animals. Animal feed that can be fed directly through cutting or grazing or dry processing makes up most of the daily diet, supplementary feed is used to compensate for nutritional deficiencies in providing forage, increasing animal performance during certain periods. Therefore, the yield and quality of green food crops have a great impact on economic efficiency in livestock production.

Despite being an important crop, research on forage is limited when compared to cereal crops, fruit trees and vegetables. This article summarizes the literature highlighting the importance of forage crops, current improvements and some future directions for improving the performance and nutritional quality of forage crops. The research results obtained from the cereal crop can be applied to the forage crop. The timely development of genomic technology and bioinformatics along with genomic editing techniques provide great scope for improving crops for forage. Given the social, environmental and economic importance of forage crops globally and especially in poor countries, this opportunity has immense potential for improved food security and stability economic development.

Keywords: *forage, nutritional enhancement, grass production, legumes, breeding, management*

Ngày phản biện đánh giá: 20/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/3/2021