

NHỮNG ĐỘT PHÁ KHOA HỌC ĐỂ THỨC ĐẨY NGHIÊN CỨU NÔNG NGHIỆP VÀ THỰC PHẨM VÀO NĂM 2030

Nguyễn Văn Quang (Sưu tầm)

Viện Chăn nuôi

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

GIỚI THIỆU

Các sản phẩm động vật là nguồn cung cấp protein chính và các chất dinh dưỡng quan trọng trong chế độ ăn uống của người Mỹ (Bentley, 2017). Ngoài ra, sản xuất chăn nuôi và gia cầm chiếm khoảng 100 tỷ USD mỗi năm trong doanh thu tiền mặt nông nghiệp (USDA-ERS, 2018a). Tại Hoa Kỳ, hầu hết sản xuất động vật làm thực phẩm (thịt, cá, sữa và trứng) được thực hiện thông qua hệ thống chăn nuôi thâm canh, phản ánh những cải tiến về hiệu quả sản xuất trong nhiều thập kỷ nhờ nghiên cứu và phát triển. Cải tiến di truyền và áp dụng các chương trình dinh dưỡng tối ưu, cùng với những đổi mới để duy trì và cải thiện tình trạng sức khỏe động vật, đã giảm chi phí sản xuất, giảm giá cho người tiêu dùng, giảm sử dụng tài nguyên (dẫn đến cường độ phát thải khí nhà kính [GHG] trên mỗi đơn vị sản xuất thấp hơn), và tăng khả năng cạnh tranh của các sản phẩm Mỹ trên trường quốc tế, mang lại lợi ích cho cả nền kinh tế địa phương và quốc gia (Havenstein và cs., 2003; Capper và cs., 2009; Capper, 2011; Gerber và cs., 2011; Tokach và cs., 2016). Ví dụ, lượng phát thải khí nhà kính liên quan đến việc sản xuất một ly sữa ở Hoa Kỳ vào năm 1977 chỉ bằng một phần ba so với năm 1944 (Capper và cs., 2009); ngày nay, các nguồn chăn nuôi (bao gồm cả quá trình lên men đường ruột và phân) chiếm khoảng 3,9% lượng phát thải khí nhà kính do con người tạo ra ở Hoa Kỳ được biểu thị bằng lượng carbon dioxide tương đương (EPA, 2018). Trong 15 năm qua, ngành chăn nuôi Hoa Kỳ đã có cơ hội tiếp cận nhiều hơn với thị trường quốc tế với tỷ trọng sản lượng ngày càng tăng dành cho thị trường nước ngoài. Năm 2016, xuất khẩu chiếm 23% tổng lượng thịt lợn được sản xuất, gần 20% thịt gà, 14% thịt gà tây và 11% thịt bò. Điều này mang lại doanh thu xuất khẩu hơn 25 tỷ USD hàng năm (USDA-ERS, 2018b) cho nền kinh tế quốc gia.

Thách thức

Khoa học đã tạo ra những tiến bộ về năng suất và hiệu quả nông nghiệp chăn nuôi trong quá khứ sẽ cần được tăng tốc và mở rộng phạm vi trong thập kỷ tới. Các phân tích gần đây đã cảnh báo rằng sản xuất nông nghiệp trên toàn thế giới sẽ gặp khó khăn chung trong việc đáp ứng nhu cầu lương thực toàn cầu vào năm 2050 do dân số thế giới ngày càng tăng, với nhu cầu tăng từ 59 đến 98% (Ingram và cs., 2010; Valin và cs., 2014; UN DESA, 2015). Việc sản xuất cần thiết để đáp ứng nhu cầu đó sẽ diễn ra ở Hoa Kỳ và trên toàn cầu, bao gồm những nơi có môi trường, hệ thống sản xuất và giống vật nuôi khác nhau. Với tư cách là quốc gia dẫn đầu thế giới về sản xuất động vật hiệu quả, Hoa Kỳ sẽ có lợi nhất khi tiếp tục nghiên cứu các phương pháp tiếp cận nhằm giải quyết một cách hiệu quả nhu cầu về sản phẩm động vật của thế giới.

Có một số lý do thuyết phục để đầu tư vào nghiên cứu nông nghiệp chăn nuôi để giải quyết thách thức này. Đầu tiên, nhu cầu toàn cầu ngày càng tăng đối với thực phẩm có nguồn gốc động vật sẽ tác động đến giá cả trong nước và do đó việc tiếp tục nâng cao hiệu quả là điều

cần thiết để giữ cho thực phẩm có giá cả phải chăng cho người tiêu dùng Hoa Kỳ. Mặc dù việc bình luận về bối cảnh bệnh mãn tính của Mỹ liên quan đến lựa chọn chế độ ăn uống nằm ngoài phạm vi của báo cáo này, nạn đói và nạn đói tiềm ẩn vẫn còn là vấn đề ở các nước đang phát triển. Suy giảm nhận thức do thiếu vi chất dinh dưỡng, chủ yếu có sẵn trong thực phẩm có nguồn gốc động vật, là một vấn đề lớn khiến cả thế hệ trẻ em không thể phát huy được tiềm năng trí não và do đó làm giảm tiềm năng tổng sản phẩm quốc nội (Galasso và Wagstaff, 2018). Bất chấp những lo ngại của phương Tây rằng việc tiêu thụ quá nhiều thịt sẽ có hại cho sức khỏe ở các nước phát triển, tình hình lại ngược lại đối với những người nghèo nhất thế giới vì việc tiêu thụ quá ít thực phẩm có nguồn gốc động vật sẽ gây bất lợi cho sức khỏe (James và Palmer, 2015; Beal và cs., 2017). Chính nhóm dân số sau này, một khi được trao quyền tự do kinh tế để lựa chọn thực phẩm, sẽ chọn nhiều thực phẩm có nguồn gốc động vật hơn và tạo ra nhu cầu toàn cầu lớn hơn. Thứ hai, với hiệu quả và cường độ sản xuất ngày càng tăng, động vật cần được nuôi trong các hệ thống thúc đẩy phúc lợi động vật, giảm thiểu phát thải và ô nhiễm khí nhà kính cũng như giảm nguy cơ mắc bệnh do thực phẩm. Thứ ba, các dịch bệnh ở động vật tiếp tục lây lan khắp thế giới khiến năng suất giảm ở mức tối thiểu, trong khi các bệnh ở động vật xuyên biên giới (là các bệnh truyền nhiễm ở động vật có hậu quả cao) có thể khiến ngành chăn nuôi ở Hoa Kỳ và trên toàn cầu phá sản.

Nhu cầu về Protein động vật ngày càng tăng

Tăng trưởng dân số kết hợp với thu nhập ngày càng tăng ở các nước đang phát triển sẽ dẫn đến nhu cầu tăng sản lượng chăn nuôi để đáp ứng nhu cầu thị trường trong nước và xuất khẩu. Sản xuất protein động vật đã đạt được những tiến bộ ấn tượng trong 50 năm qua, nhưng sẽ cần nhiều hơn nữa để đáp ứng nhu cầu dự kiến của dân số toàn cầu đang ngày càng tăng (Ingram và cs., 2010; UN DESA, 2015). Tính theo đầu người, mức tiêu thụ thực phẩm có nguồn gốc động vật (được xác định là thịt, trứng, sữa và cá) đã tăng đều đặn ở Hoa Kỳ và được dự đoán sẽ tiếp tục tăng trên toàn cầu (NOAA, 2015; USDA- ERS, 2018a). Khi các quốc gia có thu nhập thấp trở thành nền kinh tế mới nổi, mức tiêu thụ thực phẩm có nguồn gốc động vật sẽ tăng lên, và do đó, “tỷ phú nghèo” sẽ bắt đầu nhận được một phần chất dinh dưỡng giúp tăng cường sức khỏe tốt hơn bằng cách cung cấp đủ protein và chất dinh dưỡng thông qua thực phẩm có nguồn gốc động vật. Mức tăng trưởng cao nhất dự kiến đối với thịt gia cầm là 121%, đặc biệt là ở các nước đang phát triển, với nhu cầu về trứng có khả năng tăng 65% (Mottet và Tempio, 2017). Kết quả là, số lượng vật nuôi dự kiến sẽ tiếp tục tăng đáng kể, mặc dù với tốc độ thấp hơn so với những năm trước (Alexandratos và Bruinsma, 2012).

Liên quan đến sự đóng góp của cá vào nhu cầu protein động vật vào năm 2030, nguồn cung thủy sản đánh bắt khó có thể tăng do trữ lượng các loài quan trọng đã được khai thác hết và hiện tượng axit hóa đại dương do phát thải khí nhà kính tích lũy trong nhiều thập kỷ đang dẫn đến mất đa dạng sinh học và đe dọa các khu vực đơn lẻ, thực vật phù du tế bào - nền tảng của chuỗi thức ăn biển, chiếm hơn 50% quá trình quang hợp và sản xuất oxy trên trái đất. Hiện tượng phú dưỡng và tảo nở hoa do việc sử dụng rộng rãi và dòng chảy phân bón gốc nitơ và photpho vào hồ, sông và cửa sông ven biển đang làm cạn kiệt thêm các loài động thực vật thủy sinh, nhiều loài trong số đó cung cấp thức ăn cho con người (Carpenter và cs., 1998; Canfield và cs., 2010).

Do đó, nuôi trồng thủy sản dự kiến sẽ chi phối tăng trưởng trong ngành cá. Sản lượng thủy sản dự kiến sẽ tăng hơn 30 tấn vào năm 2030, 95% trong số đó sẽ đến từ các nước đang phát

triển. Trung Quốc có thể có ảnh hưởng đáng kể đến thị trường cá toàn cầu, chiếm 37% tổng sản lượng cá vào năm 2030. Các giả định cho thấy rằng những cải tiến ổn định về thức ăn và hiệu quả cho ăn trong ngành nuôi trồng thủy sản sẽ góp phần vào sự tăng trưởng của ngành này (Ngân hàng Thế giới, 2013) và các hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn có thể góp phần sử dụng nước và chất dinh dưỡng hiệu quả. An ninh lương thực trong những năm tới chắc chắn sẽ phụ thuộc vào việc tăng cường khả năng cung cấp thực phẩm của các hệ sinh thái dưới nước cũng như trên cạn.

Bệnh động vật

Các bệnh ở động vật gây thiệt hại trung bình hơn 20% sản lượng động vật trên toàn thế giới và có thể gây ra những tác động lớn về mặt kinh tế (OIE, 2018). Các đối tác xuất khẩu có thể ngăn chặn nhập khẩu và ban hành các biện pháp trừng phạt thương mại một cách chính đáng nếu các bệnh lây truyền từ động vật sang người hoặc xuyên biên giới, chẳng hạn như cúm gia cầm có độc lực cao, xảy ra ở Hoa Kỳ. Xuất khẩu bị chặn có thể gây ra tình trạng dư thừa hàng hóa cho tiêu dùng trong nước, dẫn đến những tác động lan tỏa trong nền kinh tế, từ việc giảm giá cho người tiêu dùng đến những tác động rất tiêu cực ở cấp độ trang trại trong nền kinh tế nông thôn. Việc đưa bệnh lở mồm long móng vào Hoa Kỳ vẫn là mối đe dọa thường trực, với ước tính gánh nặng kinh tế dao động từ 37 tỷ USD đến 228 tỷ USD (Oladosu và cs., 2013).

Các trường hợp bệnh động vật gần đây và tác động kinh tế của chúng

Cúm gia cầm có độc lực cao xâm nhập vào Hoa Kỳ thông qua các loài chim di cư và gây ra một đợt bùng phát rộng khắp ở vùng Trung Tây kéo dài đến giữa năm 2015. Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) đã thực hiện các nỗ lực kiểm soát dịch bệnh động vật nước ngoài tích cực nhất từ trước đến nay bằng cách tiêu hủy 7,5 triệu con gà tây và 42 triệu con gà trong một nỗ lực khiến người nộp thuế Hoa Kỳ phải trả 879 triệu USD. Quyết định diệt trừ được đưa ra vì chi phí liên quan đến việc không kiểm soát căn bệnh này, mà thông qua mô phỏng, có thể lên tới trung bình 1,53 tỷ USD.

Bệnh não xốp dạng bò được phát hiện lần đầu tiên vào cuối năm 2003 ở một con bò ở Hoa Kỳ. Trường hợp “bệnh bò điên” duy nhất này đã khiến các thị trường xuất khẩu thịt bò lớn của Mỹ phải đóng cửa trên diện rộng, với 80% lượng xuất khẩu bị chặn trong năm tiếp theo, khiến ngành này thiệt hại từ 3,2 tỷ USD đến 4,7 tỷ USD. Các trường hợp bệnh động vật có hậu quả nghiêm trọng gần đây đã gây ra những tác động lớn về mặt kinh tế. Ngay cả các bệnh lưu hành, chẳng hạn như bệnh hô hấp ở bò, nguyên nhân hàng đầu gây bệnh tật và tử vong ở gia súc do nhiều loại vi rút và vi khuẩn gây ra có thể cản trở đáng kể năng suất của vật nuôi, có thể dẫn đến tử vong và ước tính gây thiệt hại cho ngành chăn nuôi gia súc khoảng 3 tỷ USD hàng năm (Griffin, 1997).

Tính bền vững trong chăn nuôi

Công chúng ngày càng quan tâm đến các vấn đề bền vững về môi trường, kinh tế và phúc lợi động vật liên quan đến nông nghiệp chăn nuôi. Thật không may, không có biện pháp khách quan nào được xác định rõ ràng cho tất cả các câu hỏi về tính bền vững liên quan đến nông nghiệp chăn nuôi, mà bản thân vấn đề này là một lĩnh vực đáng chú ý để nghiên cứu. Các mục tiêu bền vững đôi khi xung đột với nhau và việc quản lý một hệ thống để quản lý môi trường tối ưu có thể xung đột với các mục tiêu kinh tế hoặc phúc lợi động vật (Llonch và cs., 2017).

Mặc dù các hệ thống quảng canh có vẻ ít đánh thuế môi trường hơn liên quan đến việc sử dụng tài nguyên, xử lý chất thải và phát thải khí nhà kính, nhưng phân tích khoa học đã chỉ ra rằng các hệ thống thâm canh thực sự có thể làm giảm những kết quả đầu ra này (Gerber và cs., 2011; O'Brien và cs., 2014).

Việc chuyển đổi thức ăn chăn nuôi thành các sản phẩm động vật ăn được luôn là mối quan tâm về hiệu quả trong chăn nuôi. Và đây là mối quan tâm đặc biệt trong trường hợp thức ăn chăn nuôi có thể chứa các sản phẩm ăn được cho con người hoặc thức ăn chăn nuôi được trồng trên đất phù hợp để trồng thức ăn cho con người (Mottet và cs., 2017). Khoảng một phần ba tổng sản lượng ngũ cốc được sử dụng để nuôi động vật và con số này dự kiến sẽ tăng hơn nữa vào năm 2030 (Makkar, 2017; Mottet và cs., 2017). Hiện nay 86% thức ăn chăn nuôi toàn cầu được làm từ những nguyên liệu không được con người tiêu thụ và động vật nhai lại đóng một vai trò quan trọng vì chúng có khả năng đặc biệt để chuyển đổi thức ăn thô xanh không ăn được cho con người (ví dụ như lá và cỏ) thành protein chất lượng cao và nhiều loại vi chất dinh dưỡng (Mottet và cs., 2017). Có nhiều cơ hội để tăng tỷ lệ không ăn được của con người này hơn nữa, do đó làm giảm việc sử dụng các loại ngũ cốc cấp thực phẩm trong cả chế độ ăn dạ dày đơn và động vật nhai lại.

Tính bền vững cũng bao gồm phúc lợi động vật và đây cũng là một thành phần quan trọng liên quan đến mối quan tâm của người tiêu dùng. Thật không may, có rất ít tiêu chí đánh giá nghiêm ngặt được sử dụng để chấm điểm phúc lợi động vật (Lonch và cs., 2017). Một định nghĩa cho rằng phúc lợi động vật là “[khi] động vật khỏe mạnh và chúng có những gì chúng muốn” (Dawkins, 2017), trong khi một định nghĩa khác của Tổ chức Thú y Thế giới nêu rõ rằng phúc lợi động vật là “[khi] một con vật ở trạng thái một trạng thái phúc lợi tốt nếu nó khỏe mạnh, thoải mái, được nuôi dưỡng tốt, an toàn, có khả năng thể hiện hành vi bẩm sinh và nếu nó không phải chịu đựng những trạng thái khó chịu như đau đớn, sợ hãi và đau khổ” (Terrestrial Bộ luật Thú y, OIE, Điều 7.1.1). Bộ luật Thú y trên cạn (tiêu chuẩn quốc tế về chăn nuôi động vật) phác thảo thêm các khía cạnh về phúc lợi động vật cho tất cả các loài vật nuôi chính và bao gồm các đánh giá khách quan về hành vi, tỷ lệ mắc bệnh, tỷ lệ tử vong và hiệu suất sinh sản, có thể được sử dụng để tính đến động vật. phúc lợi, do đó đóng vai trò là “bằng chứng khoa học” được nêu trong định nghĩa. Tuy nhiên, có rất ít tiêu chuẩn khách quan để đánh giá nhiều khía cạnh của phúc lợi động vật, khiến việc đánh giá định lượng trở nên khó khăn.

Cần phải đánh giá khách quan toàn bộ ý nghĩa bền vững của các hệ thống nông nghiệp khác nhau. Điều này sẽ mang lại cho cộng đồng khoa học cơ hội phát triển các thước đo hiệu suất ở cấp độ sản phẩm và hệ thống để đánh giá và so sánh khả năng của các hệ thống khác nhau trong việc đáp ứng bền vững nhu cầu của cả quần thể con người và động vật (Siegford và cs., 2008). Tương tự như vậy, ý nghĩa tổng thể của việc sử dụng các quần thể động vật hỗn hợp ăn cỏ hoang dã cần phải được so sánh một cách khách quan với các số liệu liên quan đến hệ thống sản xuất hiện tại của Hoa Kỳ để hiểu về an toàn thực phẩm, môi trường, sức khỏe và phúc lợi động vật, an toàn và sức khỏe của người lao động, trang trại. khả năng tồn tại và sự đánh đổi về khả năng chi trả lương thực liên quan đến các hệ thống sản xuất khác nhau này.

Một ví dụ về đánh giá nghiêm ngặt như vậy là do Liên minh Cung cấp Trứng Bền vững (CSES) thực hiện, được thành lập để đánh giá tính bền vững của một số hệ thống chuồng nuôi gà đẻ (CSES, 2018). Mục tiêu của CSES là cung cấp thông tin dựa trên cơ sở khoa học về sự

cân bằng liên quan đến các hệ thống nhà ở khác nhau bằng cách tiến hành nghiên cứu so sánh tổng thể. Các thành viên CSES đại diện cho nhiều bên liên quan khác nhau, bao gồm các công ty bán lẻ thực phẩm, nhà cung cấp trứng, nhà khoa học về phúc lợi động vật, tổ chức học thuật, chính phủ (Dịch vụ Nghiên cứu Nông nghiệp USDA) và các tổ chức phi chính phủ. Nghiên cứu trị giá 6 triệu USD này đã xem xét “các hệ thống chuồng nuôi gà đẻ khác nhau và các tác động tiềm tàng đối với an toàn thực phẩm, môi trường, sức khỏe và phúc lợi của gà mái, sức khỏe và an toàn của người lao động cũng như khả năng chi trả thực phẩm, cung cấp cho các bên liên quan đến hệ thống thực phẩm thông tin dựa trên cơ sở khoa học về các yếu tố bền vững để hướng dẫn”. các quyết định sản xuất và mua hàng sáng suốt” (Mench và cs., 2016).

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh sự phức tạp của việc giải quyết các vấn đề về tính bền vững, vì có những khía cạnh tích cực và tiêu cực liên quan đến từng hệ thống nhà ở dẫn đến nhiều sự đánh đổi. Mặc dù nghiên cứu phần lớn được thực hiện do áp lực của công chúng đối với gà mái không có lồng vì lo ngại về phúc lợi động vật, nhưng hệ thống không có lồng thực sự dẫn đến tỷ lệ gà mái tử vong cao nhất và chất lượng không khí trong nhà tồi tệ nhất, do đó tạo ra những rủi ro không mong muốn cho cả hai loài động vật và các công nhân.

Đánh giá hiệu quả của hệ thống chăn nuôi cũng đòi hỏi một cách tiếp cận toàn diện (Makkar, 2017). Schader và cs. (2015) đã khám phá khả năng chỉ cho động vật ăn những thức ăn không ăn được của con người và phát hiện ra rằng nó làm giảm 53% nguồn cung sản phẩm chăn nuôi trên toàn cầu, trong đó thịt gia cầm và lợn giảm 91%, và Sản lượng trứng giảm 90% so với mức tiêu thụ hiện tại. Điều này nhấn mạnh vai trò quan trọng của động vật nhai lại với tư cách là người tiêu dùng các loại thức ăn không ăn được cho con người. Tuy nhiên, sự đánh đổi liên quan đến việc loại bỏ thức ăn đậm đặc năng lượng cao khỏi khẩu phần ăn của động vật là nó làm tăng cường độ phát thải GHG trên một đơn vị sản phẩm động vật.

Truyền đạt khoa học hiệu quả về kết quả và sự đánh đổi được thể hiện trong các nghiên cứu như vậy sẽ rất cần thiết để cung cấp cơ sở thực tế cho việc giải quyết các vấn đề bền vững trong nông nghiệp chăn nuôi. Dư luận không nhất thiết được hình thành để đáp lại bằng chứng khoa học khách quan, và đặc biệt khi vấn đề liên quan đến khía cạnh đạo đức, chẳng hạn như đối xử nhân đạo với động vật, vấn đề trở nên phức tạp hơn nhiều và chỉ đọc hoặc nghe sự thật là không đủ để thay đổi quan điểm của đa số (Croney và cs., 2012).

Cơ hội cho nghiên cứu

Những lỗ hổng kiến thức đáng kể và cơ hội nghiên cứu tồn tại trong mỗi phần dưới đây. Để giải quyết một cách bền vững nhu cầu protein động vật ngày càng tăng sẽ đòi hỏi phải nâng cao kiến thức cơ bản trong các nguyên tắc cốt lõi của khoa học động vật và cũng sẽ đòi hỏi những đóng góp đáng kể liên ngành.

Di truyền động vật

Có những cơ hội mới, chưa từng có trước đây để đẩy nhanh quá trình cải thiện di truyền của vật nuôi bằng cách kết hợp thông tin về gen, công nghệ sinh sản tiên tiến và phương pháp nhân giống chính xác vào các chương trình chọn giống và nhân giống thông thường. Chỉ riêng việc chọn lọc bộ gen đã tăng gấp đôi tỷ lệ tăng trưởng gen trong ngành công nghiệp sữa Hoa Kỳ kể từ khi nó được giới thiệu vào năm 2009. Thập kỷ vừa qua đã chứng kiến sự bùng nổ

của dữ liệu sắp xếp lại trình tự và kiểu gen hiện đang được sử dụng để phát triển các phương pháp nhân giống nâng cao về mặt bộ gen trong một số ngành công nghiệp (Weller và cs., 2017). Một số lượng lớn các bộ dữ liệu omics (genomics, proteomics, chuyển hóa và phiên mã) đã và đang được các nhà nghiên cứu tạo ra. Thách thức hiện nay là kết hợp và phân tích những dữ liệu lớn này để tạo ra kiến thức cơ bản và ứng dụng về cách tốt nhất để cải thiện di truyền quần thể vật nuôi về các đặc điểm quan tâm. Hickey và cs. (2017) đề xuất rằng chọn lọc gen đưa ra một cách tiếp cận thống nhất để gắn kết các nhà nhân giống cây trồng và vật nuôi lại với nhau nhằm mang lại những “bước thay đổi” đổi mới về tốc độ tăng di truyền.

Dữ liệu trình tự từ hàng nghìn loài động vật có kiểu hình có thể giúp khám phá các tính đa hình về số lượng quan trọng có thể được sử dụng để cải thiện các dự đoán về bộ gen (VanRaden và cs., 2017) hoặc có thể được đưa vào các giống bằng các công cụ chỉnh sửa bộ gen (Proudfoot và Burkard, 2017; Ruan và cs., 2017). Bằng cách sử dụng thông tin sinh học về các locus đa hình đơn nucleotide quan trọng thu được từ các dự án giải trình tự, các sửa đổi bazơ đơn có thể được đưa chính xác vào bộ gen động vật để thu được kiểu gen với các đặc điểm mong muốn.

Các kế hoạch nhân giống mới bao gồm nhiều vòng chọn lọc gen, chỉnh sửa gen, sản xuất giao tử và thụ tinh trong ống nghiệm có thể giảm theo mức độ lớn cả khoảng cách thế hệ và độ trễ di truyền giữa hạt nhân và quần thể thương mại. Những kế hoạch như vậy có thể được hình dung dựa trên sự phát triển thú vị trong công nghệ tế bào gốc phôi (Bogliotti và cs., 2018) và công nghệ đục giống/đập thay thế (Park và cs., 2017; Taylor và cs., 2017). Công nghệ này sẵn sàng cho phép phát triển quần thể động vật thương mại thiếu tế bào mầm của riêng chúng nhưng mang tế bào gốc tuyến sinh dục được cấy ghép mang lại di truyền từ động vật giống hiến tặng ưu tú (Gottardo và cs., 2018).

Thách thức khoa học chính vẫn là làm thế nào để hài hòa, kết hợp, phân tích và sử dụng tốt nhất các kiểu hình, thông tin môi trường và omics kết hợp với chỉnh sửa gen và công nghệ sinh sản tiên tiến. Mục tiêu sẽ là tăng gấp 10 lần tốc độ cải thiện di truyền ở quần thể gia súc, gia cầm và nuôi trồng thủy sản vào năm 2030. Ngoài ra, cần phát triển các tiêu chí lựa chọn khách quan để cho phép kết hợp các thành phần quan trọng của tính bền vững, chẳng hạn như tăng cường khả năng sinh sản, cải thiện hiệu quả thức ăn, chức năng và giảm tính nhạy cảm với bệnh tật trong các mục tiêu chăn nuôi và chương trình nhân giống vật nuôi.

Dinh dưỡng vật nuôi

Có rất nhiều cơ hội nghiên cứu và tiến bộ về dinh dưỡng động vật thông qua lĩnh vực cho ăn chính xác và khám phá hệ vi sinh vật đang phát triển, cũng như thông qua việc kiểm tra và triển khai các loại thức ăn mới. Cho ăn chính xác đòi hỏi phải cung cấp thức ăn cho từng con vật được điều chỉnh chính xác theo nhu cầu của con vật. Hiện tại, khẩu phần ăn được xây dựng là khẩu phần có chi phí thấp nhất, cung cấp các yêu cầu ăn kiêng thiết yếu, điều này có thể dẫn đến việc cho ăn quá nhiều một số thành phần như protein. Một số nghiên cứu đã xem xét việc sử dụng các trạm cho ăn chính xác để tăng tính đồng đều của đàn gà thịt bằng cách cho gà ăn tuân thủ theo trọng lượng cơ thể và nhu cầu của từng cá thể (Zuidhof và cs., 2017). Những đổi mới trong tương lai có thể giải quyết cách thức xây dựng khẩu phần thức ăn chính xác hơn để tối đa hóa hiệu quả sử dụng và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường cũng như cách sử dụng công nghệ để cung cấp thức ăn cho động vật chính xác hơn trên cơ sở cá nhân hóa (Gerber và cs., 2013). Ngoài ra, hệ vi sinh vật của động vật mới bắt đầu được khám

phá (O'Callaghan và cs., 2016). Các công thức dinh dưỡng có thể được kết hợp với nhiều thông tin hơn về hệ vi sinh vật và sự tương tác của nó với các chất dinh dưỡng. Khi hệ vi sinh vật ở người và các nghiên cứu liên quan tiết lộ mối liên hệ giữa vi khuẩn và tính nhạy cảm với bệnh tật, những hiểu biết tương tự chắc chắn sẽ xuất hiện liên quan đến động vật.

Việc tìm kiếm các loại thức ăn chăn nuôi mới có thể nâng cao tính bền vững một cách rõ rệt, vì 14% khẩu phần thức ăn nguyên liệu toàn cầu bao gồm các nguyên liệu thức ăn có thể ăn được cho con người (Mottet và cs., 2017). Việc sử dụng các nguồn tài nguyên không ăn được của con người chẳng hạn như lò mổ và chất thải thực phẩm, sản phẩm phụ của sản xuất nhiên liệu sinh học, bột lá, rong biển và bột côn trùng có thể thay thế các thành phần ăn được cho con người trong khẩu phần ăn của vật nuôi (Rumpold và Schlüter, 2013; Makkar, 2017). Chuyển sự thất thoát và lãng phí lương thực sang thức ăn chăn nuôi là cơ hội rõ ràng để thay thế thức ăn làm từ ngũ cốc bằng các nguồn tài nguyên mà con người không thể tiêu thụ được. Nhân giống cây trồng cũng có thể tăng hiệu quả chăn nuôi bằng cách (1) nâng cao năng suất cây trồng làm thức ăn chăn nuôi trên mỗi ha (ví dụ, cải thiện khả năng chịu hạn hoặc hiệu quả sử dụng nitơ) và (2) cải thiện tỷ lệ hiệu quả chuyển đổi thức ăn từ calo thực vật thành calo động vật (ví dụ: khả năng tiêu hóa thay đổi hoặc thành phần cây trồng) chẳng hạn như cỏ linh lăng có hàm lượng lignin giảm (Van Eenennaam và Young, 2014). Điều này sẽ liên quan đến sự hợp tác giữa các nhà nhân giống cây trồng và các nhà dinh dưỡng vật nuôi.

Các công cụ điện tử và kỹ thuật số mới cũng có thể cho phép quản lý và chuyển đổi thức ăn tốt hơn ở động vật nhai lại chăn thả trên đồng cỏ và phạm vi chăn nuôi. Hàng rào ảo là bước đột phá mới trong lĩnh vực này và có thể cải thiện năng suất đồng cỏ cũng như bảo vệ các khu vực nhạy cảm khỏi tình trạng chăn thả quá mức (Umstatter, 2011).

Sức khỏe động vật

Sản lượng giảm và tử vong do bệnh tật hiện đang là sự thiếu hiệu quả rất lớn trong hệ thống, bởi vì các chất dinh dưỡng và nguồn lực đưa vào sự phát triển và sức khỏe của vật nuôi bị giảm thiểu hoặc bị mất hoàn toàn. Có nhiều lỗ hổng kiến thức về sức khỏe động vật và do đó có nhiều lĩnh vực nghiên cứu cần được khám phá.

Nghiên cứu vắc xin cho đến nay chủ yếu tập trung vào việc tìm ra loại protein phù hợp hoặc chất thay thế được thiết kế để thúc đẩy phản ứng miễn dịch bảo vệ khi động vật gặp mầm bệnh cụ thể trên thực địa. Tiêm chủng ngược mang đến một cơ hội thú vị để sử dụng những tiến bộ trong bộ gen để dự đoán các kháng nguyên tốt cho việc phát triển vắc xin và hiện đang được nhiều nhà nghiên cứu nghiên cứu. Ví dụ, các nhà nghiên cứu đã sử dụng phương pháp tiêm chủng ngược để dự đoán các protein bảo vệ miễn dịch cho vắc xin phòng ve (Andreotti và cs., 2018) và các ứng cử viên vắc xin ngừa bệnh leptospirosis (Dellagostin và cs., 2017). Cách tiếp cận này cũng được sử dụng để xác định các loại vắc xin phù hợp cho vắc xin *Campylobacter* dành cho gà thịt, một vấn đề quan trọng về an toàn thực phẩm (Meunier và cs., 2017). Các biện pháp can thiệp miễn dịch có mục tiêu cụ thể hơn và dành riêng cho từng cá nhân dựa trên nhiều dữ liệu omics có thể là bước đột phá tiếp theo.

Khi một mầm bệnh xâm nhập vào cơ thể, có một bộ gen chủ được điều hòa sẽ thông báo phản ứng miễn dịch tương ứng, dưới dạng phản ứng đặc trưng như một phần của hệ thống miễn dịch bẩm sinh. Trong nhóm các cytokine xếp tầng này, người ta biết rằng một số phân tử tín hiệu này có tác dụng bảo vệ vật chủ và những phân tử khác có thể được kích hoạt đặc biệt bởi

các gen của vi sinh vật để hỗ trợ sự xâm nhập của sinh vật (Davidson và cs., 2015). Kiến thức và phân tích về sự bổ sung đầy đủ các chất trung gian này trong phản ứng miễn dịch bẩm sinh có thể giúp cung cấp thông tin hiệu quả cho việc phát triển vắc xin tốt hơn, phù hợp với từng tác nhân xâm nhập. Một sơ đồ như vậy có thể cho phép loại bỏ tác nhân xâm nhập sớm hơn thay vì chờ đợi phản ứng miễn dịch thu được phát huy tác dụng, chẳng hạn như được tạo ra bởi các loại vắc xin thông thường.

Nếu không thể ngăn ngừa nhiễm trùng ở động vật nói cách khác, không có vắc-xin hoặc việc tiêm phòng không khả thi về mặt kinh tế, chiến thuật tốt nhất tiếp theo là phát hiện bệnh ngay từ lần đầu tiên. Ở hầu hết các cơ sở chăn nuôi, động vật được công nhân nông trại hoặc chủ sở hữu quan sát hàng ngày và chỉ được các chuyên gia y tế khám khi kiểm tra định kỳ hoặc khi được gọi đến trang trại để đánh giá. Khi động vật bị bệnh rõ ràng, chúng đã ở trong giai đoạn bệnh và đang tích cực truyền vi khuẩn gây bệnh cho đàn hoặc đàn của chúng. Sẽ là lý tưởng nếu có thể phát hiện động vật ở lần nhiễm bệnh đầu tiên khi chúng đang ở giai đoạn ủ bệnh hoặc giai đoạn tiền phát triển (giai đoạn lây nhiễm khi các triệu chứng bắt đầu xuất hiện nhưng trước khi bệnh bùng phát trở nên rõ ràng). Những động vật được nhận diện ở giai đoạn này có thể bị loại khỏi đàn của chúng và khả năng lây truyền tiềm năng sẽ giảm đáng kể.

Một vấn đề nữa đối với sức khỏe động vật là chẩn đoán bệnh để có thể đưa ra các chiến lược can thiệp thích hợp. Trong hầu hết các trường hợp, điều này bao gồm việc trước tiên phải thực sự nhận ra rằng con vật bị bệnh, sau đó có thể liên hệ với chuyên gia thú y để thăm khám, lấy các mẫu thích hợp sẽ hữu ích cho việc chẩn đoán bệnh cụ thể đang xảy ra và sau đó dựa vào phòng thí nghiệm địa phương để tiến hành xét nghiệm, các bài kiểm tra thích hợp. Các công nghệ hiện tại, chẳng hạn như giải trình tự thế hệ tiếp theo và MinION (máy giải trình tự DNA cầm tay), hiện rất đắt tiền và đòi hỏi trình độ chuyên môn cao. Với nghiên cứu sâu hơn, những công nghệ này có thể được chuyển đổi sang sử dụng ở penside thay vì phòng thí nghiệm. Hiện nay có thể tinh chế DNA từ thực vật, động vật và vi khuẩn trong vòng chưa đầy 30 giây trong điều kiện thực địa (Zou và cs., 2017). Ngoài ra còn có nghiên cứu về việc sử dụng các hệ thống cảm biến sinh học cụ thể và nhạy cảm với penside để phát hiện bệnh ở động vật ở thời điểm sớm nhất, ngay cả trước khi các dấu hiệu lâm sàng rõ ràng (Vidic và cs., 2017). Khả năng chẩn đoán một loạt bệnh khi đứng bên cạnh động vật có thể loại bỏ nhiều bước chẩn đoán tốn thời gian, cho phép thực hiện các biện pháp hoặc biện pháp kiểm soát hoặc liệu pháp nhắm mục tiêu sớm hơn, từ đó giảm thiểu tổn thất, sự đau khổ của động vật và sử dụng kháng sinh điều trị.

Thiết kế và quản lý cơ sở động vật nhằm đảm bảo tính bền vững và phúc lợi động vật

Có nhiều cơ hội nghiên cứu lớn để nghiên cứu thiết kế và quản lý cơ sở nhằm cải thiện phúc lợi động vật và giảm hậu quả tiêu cực đến môi trường. Các nghiên cứu mang tính bước ngoặt của Temple Grandin (2012) đã cung cấp cái nhìn sâu sắc về thiết kế cơ sở chế biến nhằm giảm căng thẳng cho động vật đồng thời cải thiện sự an toàn của người lao động. Nhờ công việc của Grandin, hơn một nửa số gia súc bị giết mổ ở Hoa Kỳ được xử lý thông qua một máng trượt cong, sử dụng sàn chống trượt và ánh sáng thích ứng, giúp gia súc đi đến địa điểm giết mổ thoải mái và bình tĩnh hơn (The Economist, 2015). Có nhiều cơ hội để cải thiện thiết kế cơ sở chăn nuôi bằng cách tích hợp các cảm biến và giám sát điện tử về sức khỏe và thể trạng của động vật.

Đối với gà mái đẻ, nghiên cứu sâu rộng so sánh các hệ thống chuồng trại khác nhau đã được CSES thực hiện. Các nghiên cứu đã xem xét nhiều thông số, bao gồm hành vi, năng suất, an toàn thực phẩm, hiệu quả và an toàn cho người lao động. Loại nghiên cứu tổng thể quy mô lớn này cung cấp cơ sở bằng chứng cho việc so sánh hệ thống. Nghiên cứu như vậy có thể là động lực cho nghiên cứu về cách sửa đổi thiết kế cơ sở có thể cải thiện kết quả phúc lợi (Stratmann và cs., 2015).

Cần xây dựng và áp dụng những đánh giá khách quan, chặt chẽ về phúc lợi động vật. Cho đến nay, rất ít nghiên cứu đã kiểm tra mức độ căng thẳng hoặc cảm giác thoải mái và an toàn của động vật. Mặc dù Tổ chức Thú y Thế giới đã phát triển một bộ thông số mạnh mẽ nhưng hầu hết đều liên quan đến quan sát hành vi chủ quan hoặc toàn bộ động vật. Ở một số nơi trên thế giới, đã có tiến bộ trong việc đo lường các dấu ấn sinh học bên trong như một đại diện cho sức khỏe của động vật. Ví dụ, cortisol có thể được định lượng không xâm lấn thông qua nước bọt, sữa hoặc tóc (Casal và cs., 2017; Tallo-Parra và cs., 2017). Việc sử dụng các dấu hiệu sinh học đáng tin cậy có thể giúp xác định loại cơ sở chuồng trại nào phù hợp nhất cho động vật; các chuyên gia thiết kế cơ sở có thể kết hợp thông tin này với sự hiểu biết của họ về hiệu quả hoạt động, quy trình khử trùng cũng như an toàn và sức khỏe của người lao động.

Chất thải động vật cần phải được xử lý bất kể hệ thống chuồng trại động vật như thế nào. Nước tiểu, phân, vật liệu lót sàn và nước rửa là sản phẩm của ngành chăn nuôi và thường được đưa vào dòng chất thải. Thiết kế các chương trình tận dụng hoặc biến chất thải thành sản phẩm hữu ích là cơ hội lớn cho cộng đồng nghiên cứu. Một số ví dụ hạn chế về nghiên cứu thành công trong lĩnh vực này bao gồm biến phân thành vật liệu lát sàn và việc thu khí mêtan từ phân để tạo ra điện ngày càng trở nên thường xuyên (MacDonald và cs., 2009 ; Fini và cs., 2011). Tiếp tục tìm cách sử dụng bền vững chất thải động vật là một cơ hội rất lớn.

Chăn nuôi chính xác

Chăn nuôi chính xác (PLF) là một công nghệ mới và đang phát triển với mục đích nâng cao sức khỏe và năng suất vật nuôi bằng cách áp dụng công nghệ cảm biến và điều khiển từ xa. Việc sử dụng PLF có thể mang lại dinh dưỡng, sức khỏe và phúc lợi cho từng động vật (Rutter, 2012). Daniel Berckmans tuyên bố rằng mục tiêu của PLF là “tạo ra một hệ thống quản lý dựa trên việc giám sát và kiểm soát tự động liên tục theo thời gian thực về sản xuất/sinh sản, sức khỏe và phúc lợi động vật cũng như tác động môi trường của hoạt động chăn nuôi” (Berckmans, 2014). Nó mang tính đa ngành rõ rệt, đòi hỏi sự phối hợp giữa nông dân, nhà khoa học động vật, bác sĩ thú y, nhà sinh học phân tử, nhà miễn dịch học, kỹ sư sinh học, nhà khoa học dữ liệu và nhà công nghệ thông tin. Việc giám sát có thể được thực hiện từ xa thông qua âm thanh, hình ảnh, chuyển động của động vật và ước tính các thông số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm hoặc các hạt không khí.

Các ấn phẩm gần đây phác thảo cách PLF có thể được sử dụng trong hệ thống chăn nuôi để đánh giá và kiểm soát nhiều khía cạnh của đời sống động vật (Rutter, 2012; Berckmans, 2014; Bocquier và cs., 2014; Mottram, 2016). Trong ngành chăn nuôi bò sữa, sự phát triển của đo từ xa không dây trong dạ cỏ đã tăng cường khả năng theo dõi rối loạn chuyển hóa và có thể phát hiện bệnh viêm vú bằng cách kết hợp độ dẫn điện và phân tích hành vi với điểm số tế bào

soma giúp dự đoán bệnh (Motttram, 2016). Những công nghệ như vậy có thể đưa ra một cách tiếp cận để dung hòa xung đột đôi khi tồn tại giữa phúc lợi và hiệu quả của động vật.

Việc điều tra các âm thanh cụ thể bằng cách sử dụng giám sát liên tục đã được kiểm tra sơ bộ ở hai hệ thống chăn nuôi khác nhau. Việc ghi lại âm thanh phát ra từ gà thịt ở các giai đoạn tăng trưởng khác nhau cho phép tạo ra sự tương quan giữa âm thanh với sự tăng trưởng tối ưu. Thông tin này có thể được sử dụng để điều tra đàn khi không nghe thấy âm thanh tăng trưởng tích cực, đồng thời điều chỉnh môi trường và thức ăn để tối đa hóa khoảng thời gian phát ra âm thanh tăng trưởng tích cực (Fontana và cs., 2015). Trong ngành chăn nuôi gia súc, việc ghi lại âm thanh ở bê và dán nhãn những tiếng động cụ thể cho các vấn đề về hô hấp như một yếu tố kích hoạt kiểm tra cho phép xác định sớm bệnh hô hấp ở bò (Vandermeulen và cs., 2016).

Các cảm biến sinh học phát hiện những thay đổi sinh lý chẳng hạn như tăng lactate (dấu hiệu cho thấy sản lượng sữa thấp ở bò sữa) hoặc cortisol (biểu thị mức độ căng thẳng) đã được phát triển để hoạt động trên mồ hôi, nước bọt và nước mắt (Weng và cs., 2015). Khi áp dụng cho động vật, cảm biến sinh học có thể đóng vai trò là hình xăm sinh học thay đổi màu sắc để dễ dàng thông báo cho công nhân về các vấn đề sắp xảy ra. Thông tin có thể được truyền qua điện thoại di động để tạo ra dấu thời gian cũng như tọa độ địa lý có thể được sử dụng để điều phối hiệu quả hơn ở địa phương, khu vực và quốc gia về căng thẳng tổng thể hoặc bệnh tật đang phát triển. Phản ứng kịp thời với những thay đổi có thể tạo điều kiện cách ly động vật bị nhiễm bệnh để ngăn ngừa lây lan, tăng trọng lượng và giảm số lượng động vật bị bệnh cần dùng kháng sinh điều trị. Để PLF phát huy hết tiềm năng của nó, cần có nghiên cứu bổ sung về các phản ứng sinh học có liên quan. Hiện nay, hầu hết sự phát triển chẩn đoán tại điểm chăm sóc đều tập trung vào việc phát hiện các mầm bệnh cụ thể (ví dụ: cúm gia cầm). Mặc dù hữu ích trong việc theo dõi đàn trong thời kỳ bùng phát dịch, nhưng một hệ thống mạnh mẽ hơn sẽ có thể phát hiện sớm tình trạng căng thẳng ở vật nuôi trong thời kỳ tiền phát. Điều này sẽ yêu cầu kiểm tra chuyên sâu về phản ứng miễn dịch bẩm sinh và kiểm tra xem dấu ấn sinh học nào đáng tin cậy nhất để phát hiện trong máu, nước bọt, nước mắt hoặc mồ hôi. Sẽ cần phải phát hiện các thuật toán và điểm can thiệp cụ thể. Các kiểu hình từ cảm biến và PLF cũng sẽ là đầu vào quan trọng cho những nỗ lực toàn cầu trong việc thu thập dữ liệu về kiểu hình và bộ gen cho các chương trình nhân giống và khám phá bộ gen. Kết hợp trình tự quy mô lớn và khác nhau. Thông tin kiểu hình từ các cảm biến vào cơ sở dữ liệu sẽ là điều cần thiết để cho phép sinh học cung cấp thông tin cho các chương trình nhân giống và cho ăn.

Trở ngại lớn nhất đối với PLF là thách thức khoa học dữ liệu trong việc chuyển đổi nhiều loại dữ liệu từ nhiều cảm biến và nguồn khác nhau thành kiến thức. Kiến thức này sau đó có thể được sử dụng để dự đoán chính xác một con vật vượt trội về mặt di truyền, một con vật đang gặp nạn hoặc có các triệu chứng bệnh hoặc một trạng thái bất thường cần có sự can thiệp của người chăn nuôi. Có hai trở ngại trong vấn đề này: (1) vấn đề khoa học dữ liệu liên quan đến việc phát triển các phương pháp dựa trên dữ liệu có thể tạo ra dự đoán dựa trên nhiều phép đo đến từ các nguồn khác nhau và (2) vấn đề dịch thuật diễn giải các dự đoán dựa trên dữ liệu để tạo ra mức độ hiểu biết theo quy định. Điều này có thể bao gồm từ việc phát triển giá trị nhân giống của vật nuôi cho đến cách thức và thời điểm người nông dân được thông báo rằng cần phải có sự can thiệp. Việc phát triển các ứng dụng cảm và chạy PLF thân thiện với nông dân,

tiết kiệm chi phí sẽ đòi hỏi sự hợp tác giữa các nhà khoa học động vật, kỹ sư nông nghiệp và nhà khoa học dữ liệu tập trung vào tầm nhìn chung về chăm sóc lấy động vật làm trung tâm.

Phân tích hệ thống

Khi kiểm tra các hệ thống sản xuất khác nhau, hoặc thậm chí cả thực phẩm có nguồn gốc động vật so với các lựa chọn thay thế từ thực vật hoặc tổng hợp, điều quan trọng là phải tiến hành phân tích toàn diện vòng đời (LCA) về các ưu điểm, nhược điểm và sự đánh đổi. Ví dụ, nhiều nghiên cứu đã kiểm tra các hệ thống sản xuất hữu cơ và thông thường, nhưng chưa có nghiên cứu nào xem xét đồng thời tất cả các thông số liên quan liên quan đến LCA bao gồm tác động môi trường, phúc lợi động vật và sức khỏe cộng đồng. Cho đến nay, các nghiên cứu kỹ lưỡng nhất trong lĩnh vực này đã chỉ ra rằng mỗi loại có những ưu điểm và nhược điểm rõ ràng khác nhau về lượng khí thải carbon, sử dụng nước và hiệu quả dinh dưỡng (van Wagenberg và cs., 2017). Ví dụ, mặc dù nhiều người tiêu dùng có thể chọn thịt bò ăn cỏ thay vì gia súc nhận thức ăn thông thường vì lo ngại về môi trường về hiệu quả của việc cho động vật nhai lại ăn ngũ cốc, nhưng lượng khí thải carbon trên một đơn vị thịt bò ăn cỏ thực sự có thể cao hơn đáng kể so với gia súc đã hoàn thành về chất cô đặc (Capper, 2012).

Cần phải đánh giá một cách khách quan ý nghĩa bền vững của các hệ thống nông nghiệp chăn nuôi khác nhau và các lựa chọn thay thế nguồn protein bằng cách sử dụng phương pháp nghiên cứu tổng thể dựa trên bằng chứng. Có rất nhiều câu hỏi đã được đặt ra xứng đáng được phân tích khoa học chặt chẽ. Những câu hỏi như vậy bao gồm “LCA là gì và ý nghĩa dinh dưỡng của các sản phẩm thay thế thịt chẳng hạn như sinh khối ăn được được nuôi cấy từ tế bào gốc động vật hoặc các sản phẩm mô phỏng thịt từ thực vật?” Giảm chăn nuôi có thể làm giảm khí nhà kính nhưng cũng có những tác động trực tiếp và gián tiếp khác đến các khía cạnh khác của hệ thống lương thực và nông nghiệp. Một số nghiên cứu đã phân tích các tác động về môi trường và dinh dưỡng của việc loại bỏ động vật khỏi nền nông nghiệp Hoa Kỳ và nhận thấy tổng thể mức giảm khí nhà kính ở mức tối thiểu (2,6%), nhưng lại có tác động tiềm ẩn đáng kể đối với sức khỏe con người thông qua sự thiếu hụt chất dinh dưỡng thiết yếu (White và Hall, 2017).

Côn trùng được cho là nguồn protein trong tương lai (Payne và Van Itterbeeck, 2017; Williams và Williams, 2017), và sẽ rất đáng để khám phá các khả năng cũng như ý nghĩa của nguồn protein này. Một đánh giá gần đây của van Huis và Oonincx (2017) đã xem xét LCA và tác động môi trường của việc nuôi côn trùng so với chăn nuôi. Nghiên cứu đó kết luận rằng (1) cần ít đất và nước hơn, (2) lượng khí thải GHG thấp hơn, (3) côn trùng có hiệu suất chuyển đổi thức ăn cao, (4) côn trùng có thể biến đổi các sản phẩm phụ hữu cơ có giá trị thấp thành thực phẩm chất lượng cao hoặc thức ăn chăn nuôi và (5) một số loài côn trùng nhất định có thể được sử dụng làm thức ăn chăn nuôi hoặc thức ăn thủy sản (van Huis và Oonincx, 2017). Ví dụ, côn trùng có thể thay thế một phần thức ăn bột cá, vốn ngày càng trở nên khan hiếm và đắt tiền và rất quan trọng do sản lượng nuôi trồng thủy sản dự kiến sẽ tăng (Williams và Williams, 2017).

Có lẽ điều quan trọng là việc truyền đạt những phát hiện này tới công chúng rộng rãi hơn. Sự đánh đổi bền vững gắn liền với các hệ thống sản xuất nông nghiệp thường không rõ ràng. Các nhà tiếp thị có thể tập trung vào một thành phần bền vững duy nhất của hệ thống sản xuất mà không giải quyết một cách toàn diện những vấn đề đi kèm với sự đánh đổi như an toàn thực

phẩm và khả năng chi trả, sức khỏe và phúc lợi của động vật, an toàn và sức khỏe của người lao động và môi trường.

Tại Hoa Kỳ, Đạo luật Morrill năm 1862 đã tạo cơ sở cho các chương trình nghiên cứu cấp đất mạnh mẽ của trường đại học và Đạo luật Smith Lever năm 1917 sau đó đã hình thành cơ sở hạ tầng khuyến nông giúp mở rộng những đột phá nghiên cứu đó cho nông dân (Tokach và cs., 2016). Các chương trình khuyến nông có thể tham gia tốt hơn vào việc truyền đạt thông tin nghiên cứu về tính bền vững nông nghiệp tới công chúng với tư cách là đối tượng mục tiêu của họ, sử dụng những phát hiện của các nhà khoa học xã hội về khoa học truyền thông khoa học hiệu quả, vì tầm quan trọng của việc công chúng có thể đánh giá cao các sắc thái và thương mại- liên kết với các hệ thống khác nhau để đáp ứng bền vững nhu cầu của cả quần thể con người và động vật.

Khoảng trống kiến thức

Cho đến nay, có những lỗ hổng kiến thức khoa học đã khiến chúng ta không thể đáp ứng được những thách thức và cần được giải quyết để hiện thực hóa các cơ hội. Chúng được nêu dưới dạng các câu hỏi nghiên cứu cơ bản hoặc ứng dụng được xác định dưới đây và giải quyết các lĩnh vực di truyền động vật, dinh dưỡng động vật, sức khỏe động vật, thiết kế và quản lý cơ sở vật nuôi để đảm bảo tính bền vững và phúc lợi động vật, chăn nuôi chính xác và phân tích hệ thống.

Đối với di truyền động vật, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Liệu các công nghệ di truyền và sinh sản có thể được nâng cao và kết hợp thành công để tạo ra các chương trình nhân giống giúp tăng gấp 10 lần tốc độ cải thiện di truyền ở quần thể gia súc, gia cầm và nuôi trồng thủy sản vào năm 2030 không? (2) Làm thế nào để cộng tác với các nhà nghiên cứu trong các lĩnh vực khác nhau (ví dụ: di truyền, khoa học động vật và sức khỏe động vật) có thể giúp phát triển các tiêu chí lựa chọn khách quan, đáng tin cậy nhằm cho phép cải thiện di truyền ở các tính trạng bền vững như khả năng sinh sản, cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn, phúc lợi và giảm tính nhạy cảm với bệnh tật trong các chương trình chăn nuôi?

Đối với dinh dưỡng vật nuôi, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Làm thế nào có thể sử dụng dinh dưỡng chính xác để đảm bảo rằng mỗi vật nuôi nhận được chính xác những gì nó cần? Liệu có thể kết hợp thông tin dinh dưỡng với dữ liệu ngày càng tăng về hệ vi sinh vật của động vật để tăng cường sự kết hợp chính xác và hiệu quả không? (2) Thông qua sự hợp tác giữa các nhà dinh dưỡng động vật và các nhà khoa học thực vật/thực phẩm, liệu có thể khám phá ra những loại thức ăn mới, bổ dưỡng và phù hợp mà con người không thể tiêu thụ được để giảm mức độ ảnh hưởng đến tài nguyên của ngành chăn nuôi?

Đối với sức khỏe động vật, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Có thể làm gì để tạo ra hoặc tăng cường phản ứng miễn dịch bẩm sinh của động vật đối với mầm bệnh? Liệu pháp can thiệp và phòng ngừa mới nào có thể được phát triển để can thiệp vào cuộc gặp gỡ ban đầu và điều khiển phản ứng bẩm sinh để phát triển khả năng bảo vệ sớm hơn? Có thể nhân giống những động vật có khả năng kháng lại các mầm bệnh cụ thể không? (2) Những phương pháp nào có thể được phát triển để dễ dàng phát hiện động vật bị nhiễm bệnh hơn trước khi phát bệnh lâm sàng? Vai trò của cảm biến sinh học và công nghệ “thiết bị đeo” như những chỉ số rẻ tiền là gì? (3) Để tạo điều kiện thuận lợi cho việc ứng phó và ngăn chặn nhanh chóng, những

xét nghiệm nào có thể được phát triển để giảm thời gian trễ giữa việc lấy mẫu và chẩn đoán trong phòng thí nghiệm đối với các bệnh động vật xuyên biên giới?

Đối với việc thiết kế và quản lý cơ sở chăn nuôi nhằm đảm bảo tính bền vững và phúc lợi động vật, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Làm thế nào để kiểm tra việc quản lý và chuồng trại động vật theo cách đa ngành nhằm mang lại hiệu quả và năng suất cao, kết hợp với phúc lợi động vật và an toàn cho người lao động, đồng thời giảm thiểu các tác động môi trường? (2) Để hỗ trợ đánh giá khách quan về phúc lợi động vật, nên sử dụng những thông số nào để giải quyết các mối lo ngại về phúc lợi trong hệ thống chăn nuôi động vật? Các phương thức đo lường khách quan thích hợp nào có thể được kết hợp (ví dụ: âm thanh, thị giác và chuyển động) để giúp khám phá lĩnh vực này, đặc biệt là các chỉ số về trạng thái chủ quan của động vật? Làm thế nào khoa học xã hội có thể giúp cung cấp thông tin và chuyển tải các phát hiện khoa học để người tiêu dùng đưa ra quyết định sáng suốt?

Đối với chăn nuôi chính xác, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Làm thế nào có thể sử dụng cảm biến và dữ liệu để biến đổi các hệ thống chăn nuôi truyền thống? Chăn nuôi gia súc thành một phương pháp phù hợp hơn với nhu cầu cụ thể của từng con vật? (2) Một “trại thí điểm” nên được thiết kế như thế nào để chứng minh tiện ích và hiệu quả của một hệ thống cung cấp khả năng giám sát tự động liên tục theo thời gian thực về sản xuất, sức khỏe động vật, phúc lợi và tác động môi trường?

Đối với phân tích hệ thống liên quan đến nông nghiệp chăn nuôi, các câu hỏi nghiên cứu bao gồm (1) Khi quốc gia đánh giá các hệ thống mới để nâng cao hiệu quả sản xuất lương thực, làm thế nào có thể sử dụng các đánh giá vòng đời để kiểm tra và so sánh một cách tổng thể sự đánh đổi của những thay đổi được đề xuất? Các thông số về tính bền vững và khả năng chấp nhận phải bao gồm an toàn thực phẩm và thành phần dinh dưỡng, dinh dưỡng, môi trường, sức khỏe và phúc lợi của động vật, an toàn và sức khỏe của người lao động cũng như khả năng chi trả.

Một số ứng dụng trong tương lai

Một số ứng dụng khả thi của việc kết hợp các chiến lược đột phá khác nhau để cung cấp cách tiếp cận hệ thống được trình bày chi tiết dưới đây trong các ví dụ tương lai.

Hình xăm sinh học bò thịt

Một người nông dân nuôi bò thịt có một đàn bê mới. Gia súc được nhốt cùng nhau và hệ thống giám sát cho phép người nông dân phát hiện bằng mắt, thông qua hình xăm sinh học trên tai, xem con vật có uống sữa non từ bò mẹ hay không. Kiểm tra bằng mắt cho người nông dân thấy rằng tất cả các hình xăm sinh học đều có màu hồng, cho thấy loại sữa chứa nhiều kháng thể quan trọng này đã được tiêu thụ thành công, giúp bảo vệ động vật trong vài tuần đầu đời. Một hình xăm sinh học ở tai còn lại cho thấy mức độ căng thẳng và một màu sắc nhất định cho thấy con sốt hoặc quá trình sản xuất các protein giai đoạn cấp tính, chẳng hạn như các protein sẽ được tạo ra sớm khi bị nhiễm trùng. Người nông dân lưu ý rằng hai trong số những con bê có hình xăm sinh học có màu xanh nhạt, vì vậy những con bê và con bò mẹ đó được đưa đến khu vực để quan sát kỹ hơn.

Trước khi quay trở lại nhà, người nông dân kích hoạt hệ thống giám sát âm thanh, hệ thống này ghi lại tất cả âm thanh do nhóm bê và con bò mẹ này tạo ra, đồng thời có một số thuật

toán được kết hợp sẽ cảnh báo người nông dân về những cơn ho đầu tiên gặp phải trong bệnh hô hấp ở bò hoặc sự đau khổ của bò mẹ. Bất kỳ thuật toán âm thanh liên quan nào được kích hoạt sẽ cảnh báo cho người nông dân qua điện thoại di động và thậm chí vào giữa đêm, người nông dân vẫn có thể đưa ra biện pháp khắc phục thích hợp cho động vật bị ảnh hưởng, cứu sống và giảm thiểu việc sử dụng kháng sinh.

Cơ sở chăn nuôi heo “thông minh”

Một cơ sở hiện đại chuyên về heo trung chuyên. Lợn cai sữa gần đây được đưa về và được bác sĩ thú y tư vấn đánh giá kỹ lưỡng. Các cảm biến trong tất cả các phòng động vật được gắn với hệ thống xử lý không khí và chiếu sáng để đảm bảo nhiệt độ, độ ẩm và ánh sáng xung quanh tối ưu. Một số ít công nhân giám sát động vật từ xa và làm quen với các tín hiệu hành vi mà động vật cần để thực hiện các hành vi bẩm sinh như bằm rế hoặc nhai; công nhân có thể chèn các vật liệu cần thiết và/hoặc kích hoạt quyền truy cập vào sân ngoài trời để các con vật có thể được thỏa mãn.

Mức tăng cân và mỡ lưng cũng được đo từ xa và các thông số môi trường được sửa đổi để tối đa hóa sự phát triển cơ nạc. Các mẫu phân được kiểm tra định kỳ bằng cách sử dụng các xét nghiệm nhanh chóng và rẻ tiền để tìm Salmonella . Bởi vì hệ vi sinh vật của mỗi con lợn đã được xác định nên bất kỳ con lợn mang mầm bệnh nào cũng có thể nhanh chóng được xác định, loại bỏ và xử lý. Việc loại bỏ nước thải được thực hiện bằng robot và phân được đưa vào một thiết bị chuyển khí mê-tan để chuyển đổi năng lượng và cung cấp năng lượng cho toàn bộ cơ sở. Việc vận chuyển đến nhà máy giết mổ được thực hiện thông qua máng trượt và xe tải mô phỏng môi trường của lợn bằng tất cả các giác quan của chúng.

Nuôi trồng thủy sản ở trường tiểu học

Các trường tiểu học trên khắp khu vực đô thị nghèo, nơi có ít hơn 1% trẻ em từng đến trang trại, đều được trang bị hệ thống nuôi trồng thủy sản, kết hợp bền vững giữa sản xuất cá và trồng rau, đã được đưa vào chương trình giảng dạy khoa học. Học sinh được lựa chọn luân phiên để tham gia các hoạt động về cá và rau, đồng thời thông qua các lớp học khoa học để tìm hiểu về nông nghiệp bền vững và giá trị của việc tái chế. Cá và rau được thu hoạch định kỳ và phục vụ trong chương trình ăn trưa ở trường, với sự giúp đỡ của học sinh trong việc chuẩn bị. Sau 2 năm thực hiện chương trình này, sự quan tâm của sinh viên đối với khoa học thực phẩm như một nghề nghiệp đã gia tăng đáng kể và một số dự án nhà ở gần đó đã yêu cầu các thiết bị nuôi trồng thủy sản tương tự.

Rào cản thành công

Những đột phá chỉ có thể đạt được nếu các mối quan tâm khác nhau của chính phủ, xã hội và tài trợ cũng được giải quyết, vì hiện tại có những trở ngại để đạt được những gì được hình dung thông qua báo cáo này. Mức tài trợ nghiên cứu công vẫn trì trệ trong nhiều năm và không tương xứng với những đóng góp kinh tế của nông nghiệp chăn nuôi. Báo cáo của Hội đồng Nghiên cứu Quốc gia về Vai trò Quan trọng của Nghiên cứu Khoa học Động vật đối với An ninh Lương thực và Tính bền vững (NRC, 2015) đã thừa nhận sự thiếu hụt nguồn tài trợ cho khoa học động vật và kêu gọi tăng cường đầu tư. Các sáng kiến tài trợ thường bỏ qua nghiên cứu về động vật làm thực phẩm mà chỉ tập trung vào cải tiến di truyền của cây trồng nông nghiệp. Hiệp hội Quốc gia các Bộ Nông nghiệp Nhà nước đã lưu ý rằng “sự mất cân bằng này trong việc hỗ trợ khoa học động vật khiến ngành chăn nuôi Hoa Kỳ gặp bất lợi lớn

vào thời điểm quan trọng khi các nhà chăn nuôi, cá và gia cầm đang cố gắng cải thiện tính bền vững và giải quyết các vấn đề toàn cầu”. nhu cầu protein động vật” (NASDA, 2014). Những đợt bùng phát dịch bệnh gần đây như hội chứng hô hấp và sinh sản ở lợn và cúm gia cầm ở Hoa Kỳ nhấn mạnh sự cần thiết phải phát triển các công cụ dựa trên cơ sở khoa học để ngăn chặn và giảm thiểu tác động của những đợt bùng phát đó. Các bộ dữ liệu lớn hiện không được lưu trữ hoặc chia sẻ theo cách hữu ích cho các nhà khoa học nghiên cứu. Nhiều công nghệ mới quá đắt đối với các nhà chăn nuôi thương mại và thiếu giao diện thân thiện với người dùng để tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng. Người tiêu dùng có rất ít hiểu biết về sự đánh đổi liên quan đến các hệ thống sản xuất và đổi mới nông nghiệp khác nhau. Các lời kêu gọi tài trợ hiện tại chưa đủ tập trung vào việc tập hợp các ngành khác nhau cần thiết để giải quyết các vấn đề phức tạp bằng cách sử dụng khoa học dữ liệu.

Một số khuyến nghị

Các công nghệ mới nổi (như gen, chỉnh sửa gen và cảm biến sinh học) có tiềm năng biến đổi để nâng cao kiến thức về di truyền động vật, dinh dưỡng động vật và sức khỏe động vật. Các cơ chế tài trợ phải lôi kéo và khuyến khích các nhà khoa học dữ liệu, kỹ sư, nhà khoa học máy tính, nhà sinh học tổng hợp, nhà khoa học xã hội và các ngành phi nông nghiệp khác áp dụng kiến thức sinh học này để tập trung phát triển các giải pháp đổi mới cho các vấn đề cấp bách của ngành chăn nuôi theo cách phù hợp với mong đợi của xã hội. Chiến lược nghiên cứu cho phép thực hiện chăn nuôi chính xác bằng cách sử dụng các công nghệ này sẽ đòi hỏi phải khuyến khích sự hội tụ của các ngành khác nhau này. Một số lĩnh vực nghiên cứu được ưu tiên cao bao gồm:

Cho phép phát hiện và quản lý bệnh tốt hơn bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận dựa trên dữ liệu thông qua việc phát triển và sử dụng công nghệ cảm biến cũng như thuật toán dự đoán.

Đẩy nhanh quá trình cải thiện di truyền ở các tính trạng bền vững (chẳng hạn như khả năng sinh sản, cải thiện hiệu quả thức ăn, phúc lợi và khả năng kháng bệnh) ở quần thể gia súc, gia cầm và nuôi trồng thủy sản thông qua việc sử dụng các bộ dữ liệu trình tự và kiểu gen lớn liên kết với kiểu hình đồng ruộng và kết hợp với bộ gen, công nghệ sinh sản tiên tiến và kỹ thuật nhân giống chính xác. Mục tiêu là cho phép tăng gấp 10 lần tốc độ cải thiện di truyền ở quần thể gia súc, gia cầm và nuôi trồng thủy sản vào năm 2030.

Xác định các biện pháp khách quan về tính bền vững và phúc lợi động vật, cách kết hợp các biện pháp này vào hệ thống chăn nuôi chính xác và cách khoa học xã hội có thể cung cấp thông tin và chuyển tải những phát hiện khoa học này để thúc đẩy sự hiểu biết của người tiêu dùng về sự đánh đổi và giúp họ đưa ra quyết định sáng suốt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alexandratos, N., and J. Bruinsma. 2012. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf> (accessed January 16, 2018).
- Andreotti, R., P. F. Giachetto, and R. C. Cunha. 2018. Advances in tick vaccinology in Brazil: From gene expression to immunoprotection. *Frontiers in Bioscience (Scholar Edition)* 10:127-142.
- Beal, T., E. Massiot, J. E. Arsenault, M. R. Smith, and R. J. Hijmans. 2017. Global trends in dietary micronutrient supplies and estimated prevalence of inadequate intakes. *PLoS ONE*. Available at <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175554> (accessed May 30, 2018).

- Bentley, J. 2017. U.S. Trends in Food Availability and a Dietary Assessment of Loss Adjusted Food Availability, 1970-2014. Economic Information Bulletin No. EIB-166. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Berckmans, D. 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique/Office International des Épizooties* 33(1):189-196.
- Bocquier, F., N. Debus, and A. Lurette. 2014. Precision farming in extensive livestock systems. *Productions Animales* 27:101-111.
- Bogliotti, Y. S., J. Wu, M. Vilarino, D. Okamura, D. A. Soto, C. Zhong, M. Sakurai, R. V. Sampaio, K. Suzuki, J. C. Izpisua Belmonte, and P. J. Ross. 2018. Efficient derivation of stable primed pluripotent embryonic stem cells from bovine blastocysts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(9):2090-2095.
- Canfield, D. E., A. N. Glazer, and P. G. Falkowski. 2010. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science* 330(6001):192-196.
- Capper, J. L. 2011. The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *Journal of Animal Science* 89:4249-4261.
- Capper, J. L. 2012. Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals* 2(2):127-143.
- Capper, J. L., R. A. Cady, and D. E. Bauman. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science* 87(6):2160-2167.
- Suggested Citation:"3 Animal Agriculture." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25059.×
- Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8(3):559-568.
- Casal, N., X. Manteca, D. Escribano, J. J. Ceron, and E. Fabrega. 2017. Effect of environmental enrichment and herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumour necrosis factor- α) in growing pigs. *Animal* 11(7):1228-1236.
- Coffey, B., J. Mintert, S. Fox, T. Schroeder, and L. Valentin. 2005. *The Economic Impact of BSE on the US Beef Industry: Product Value Losses, Regulatory Costs, and Consumer Reactions*. Manhattan: Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Kansas State University.
- Croney, C. C., M. Apley, J. L. Capper, J. A. Mench, and S. Priest. 2012. The ethical food movement: What does it mean for the role of science and scientists in current debates about animal agriculture? *Journal of Animal Science* 90:1570-1582.
- CSES (Coalition for Sustainable Egg Supply). 2018. Welcome to the Coalition for Sustainable Egg Supply. Available at <http://www2.sustainableeggcoalition.org> (accessed May 30, 2018).
- Davidson, S., M. K. Maini, and A. Wack. 2015. Disease-promoting effects of type I interferons in viral, bacterial, and coinfections. *Journal of Interferon & Cytokine Research* 35(4):252-264.
- Dawkins, M. S. 2017. Animal welfare and efficient farming: Is conflict inevitable? *Animal Production Science* 57(2):201-208.
- Dellagostin, O. A., A. A. Grassmann, C. Rizzi, R. A. Schuch, S. Jorge, T. L. Oliveira, A. J. McBride, and D. D. Hartwig. 2017. Reverse vaccinology: An approach for identifying leptospiral vaccine candidates. *International Journal of Molecular Sciences* 18(1):E158.
- The Economist. 2015. A jungle no more: How Temple Grandin's designs have reformed the meat industry. Available at <https://www.economist.com/news/united-states/21671150-how-temple-grandins-designs-have-reformed-meat-industry-jungle-no-more> (accessed January 16, 2018).

- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2018. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks. EPA 430-R-18-003. Available at https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/2018_complete_report.pdf (accessed June 18, 2018).
- Fini, E. H., E. W. Kalberer, A. Shahbazi, M. Basti, Z. You, H. Ozer, and Q. Zurangzeb. 2011. Chemical characterization of biobinder from swine manure: Sustainable modifier for asphalt binder. *Journal of Materials in Civil Engineering* 23(11):1506-1513.
- Fontana, I., E. Tullo, A. Butterworth, and M. Guarino. 2015. An innovative approach to predict the growth in intensive poultry farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 119:178-183.
- Galasso, E., and A. Wagstaff. 2018. What cost childhood stunting? And what returns to programs combatting stunting? Let's Talk Development. World Bank. Available at <http://blogs.worldbank.org/developmenttalk/what-cost-childhood-stunting-and-what-returns-programs-combatting-stunting> (accessed January 20, 2018).
- Gerber, P. J., T. Vellinga, C. Opio, and H. Steinfeld. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139:100-108.
- Gerber, P. J., A. N. Hristov, B. Henderson, H. Makkar, J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, A. T. Adesogan, W. Z. Yang, J. M. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra, and S. Oosting. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A review. *Animal* 7(Suppl. 2):220-234.
- Suggested Citation:"3 Animal Agriculture." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25059.×
- Gottardo, P., G. Gorjanc, M. Battagin, C. R. Gaynor, J. Jenko, R. Ros Freixedes, B. Whitelaw, A. Mileham, W. Herring, and J. Hickey. 2018. A strategy to exploit surrogate sire technology in animal breeding programs. *Biorxiv* 199893. Available at <https://doi.org/10.1101/199893>.
- Grandin, T. 2012. Developing measures to audit welfare of cattle and pigs at slaughter. *Animal Welfare (South Mimms, England)* 21:351-356.
- Griffin, D. 1997. Economic impact associated with respiratory disease in beef cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 13(3):367-377.
- Havenstein, G. B., P. R. Ferket, and M. A. Qureshi. 2003. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science* 82:1509-1518.
- Hickey, J. M., T. Chiurugwi, I. Mackay, and W. Powell. 2017. Genomic prediction unifies animal and plant breeding programs to form platforms for biological discovery. *Nature Genetics* 49(9):1297-1303.
- Ingram, J., P. Ericksen, and D. Liverman (Eds). 2010. *Food Security and Global Environmental Change*. London: Earthscan.
- James, A. E., and G. H. Palmer. 2015. The role of animal source foods in improving nutritional health in urban informal settlements: Identification of knowledge gaps and implementation barriers. *Journal of Child Health and Nutrition* 4:94-102.
- Llonch, P., M. J. Haskell, R. J. Dewhurst, and S. P. Turner. 2017. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. *Animal* 11(2):274-284.
- MacDonald, J. M., M. Ribaldo, M. Livingston, J. Beckman, and W.-Y. Huang. 2009. *Manure Use for Fertilizer and for Energy: Report to Congress*. Administrative Publication No. AP-037. U.S. Department of Agriculture's Economic Research Service.
- Makkar, H. P. S. 2017. Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 4(12):1-11.

- Mench, J. A., J. C. Swanson, and C. Arnot. 2016. The Coalition for Sustainable Egg Supply: A unique public-private partnership for conducting research on the sustainability of animal housing systems using a multistakeholder approach. *Journal of Animal Science* 94(3):1296-1308.
- Meunier, M., M. Guyard-Nicodème, E. Vigouroux, T. Poezevara, V. Beven, S. Quesne, L. Bigault, M. Amelot, D. Dory, and M. Chemaly. 2017. Promising new vaccine candidates against *Campylobacter* in broilers. *PLoS ONE* 12(11):e0188472.
- Mottet, A., and G. Tempio. 2017. Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal* 73(2):245-256.
- Mottet, A., C. de Haan, A. Falcucci, G. Tempio, C. Opio, and P. Gerber. 2017. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security* 14:1-8.
- Mottram, T. 2016. Animal board invited review: Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal* 10:1575-1584.
- NASDA (National Association of State Departments of Agriculture). 2014. Coalition letter to House and Senate Agriculture Appropriations Committees requesting FY 2015 funding for section 1433 of the Farm Bill. March 28. Available at <http://www.nasda.org/letters-comments-testimony/coalition-letter-to-house-and-senate-agriculture-appropriations-committees-requesting-fy-2015> (accessed May 30, 2018).
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. Fisheries of the United States, 2015: Per Capita Consumption. Available at https://www.st.nmfs.noaa.gov/Assets/commercial/fus/fus15/documents/09_PerCapita2015.pdf (accessed January 16, 2018).
- NRC (National Research Council). 2015. *Critical Role of Animal Science Research in Food Security and Sustainability*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Suggested Citation:"3 Animal Agriculture." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25059.×
- O'Brien, D., J. L. Capper, P. C. Garnsworthy, C. Grainger, and L. Shalloo. 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97(3):1835-1851.
- O'Callaghan, T. F., R. P. Ross, C. Stanton, and G. Clarke. 2016. The gut microbiome as a virtual endocrine organ with implications for farm and domestic animal endocrinology. *Domestic Animal Endocrinology* 56(Suppl.):S44-S55.
- OIE (World Organisation for Animal Health). 2018. *Feeding the World by Controlling Animal Diseases*. Available at <http://www.oie.int/for-the-media/editorials/detail/article/feeding-the-world-better-by-controlling-animal-diseases> (accessed January 16, 2018).
- Oladosu, G., A. Rose, and B. Lee. 2013. Economic impacts of potential foot and mouth disease agroterrorism in the USA: A general equilibrium analysis. *Journal of Bioterrorism & Biodefense* S12:001. doi: 10.4172/2157-2526.S12-001.
- Park, K. E., A. V. Kaucher, A. Powell, M. S. Waqas, S. E. Sandmaier, M. J. Oatley, C. H. Park, A. Tibary, D. M. Donovan, L. A. Blomberg, S. G. Lillico, C. Bruce, A. Whitelaw, A. Mileham, B. Telugu, and J. M. Oatley. 2017. Generation of germline ablated male pigs by CRISPR/Cas9 editing of the NANOS2 gene. *Scientific Reports* 7:40176.
- Payne, C. L. R., and J. Van Itterbeeck. 2017. Ecosystem services from edible insects in agricultural systems: A review. *Insects* 8(1):24.
- Proudfoot, C., and C. Burkard. 2017. Genome editing for disease resistance in livestock. *Emerging Topics in Life Sciences* 1:209-219.

- Ruan, J., J. Xu, R. Y. Chen-Tsai, and K. Li. 2017. Genome editing in livestock: Are we ready for a revolution in animal breeding industry? *Transgenic Research* 26:715-726.
- Rumpold, B. A., and O. K. Schlüter. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 17:1-11.
- Rutter, S. 2012. A “smart” future for ruminant livestock production. *Cattle Practitioner* 20:186-193.
- Schader, C., A. Muller, N.-H. Scialabba, J. Hecht, A. Isensee, K. H. Erb, P. Smith, H. P. Makkar, P. Klocke, F. Leiber, P. Schwegler, M. Stolze, and U. Niggli. 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *Journal of the Royal Society, Interface* 12(113):20150891.
- Siegford, J. M., W. Powers, and H. G. Grimes-Casey. 2008. Environmental aspects of ethical animal production. *Poultry Science* 87(2):380-386.
- Stratmann, A., E. K. F. Froehlich, and S. Gebhardt-Henrich. 2015. Modification of aviary design reduces incidence of falls, collisions and keel bone damage in laying hens. *Applied Animal Behaviour Science* 165:112-123.
- Tallo-Parra, O., E. Albanell, A. Carbajal, L. Monclus, X. Manteca, and M. Lopez-Bejar. 2017. Prediction of cortisol and progesterone concentrations in cow hair using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Applied Spectroscopy* 71(8):1954-1961.
- Taylor, L., D. F. Carlson, S. Nandi, A. Sherman, S. C. Fahrenkrug, and M. J. McGrew. 2017. Efficient TALEN-mediated gene targeting of chicken primordial germ cells. *Development* 144(5):928-934.
- Tokach, M. D., B. D. Goodband, and T. G. O’Quinn. 2016. Performance-enhancing technologies in swine production. *Animal Frontiers* 6(4):15-21.
- Umstatter, C. 2011. The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 75(1):10-22.
- UN DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2015. World Population Projected to Reach 9.7 Billion by 2050. New York: UN DESA. Available at <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>.
- Suggested Citation: "3 Animal Agriculture." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25059.×
- USDA-APHIS (U.S. Department of Agriculture’s Animal and Plant Health Inspection Service). 2016. 2016 HPAI Preparedness and Response Plan. Available at https://www.aphis.usda.gov/animal_health/downloads/animal_diseases/ai/hpai-preparedness-and-responseplan-2015.pdf (accessed January 16, 2018).
- USDA-ERS (U.S. Department of Agriculture’s Economic Research Service). 2018a. Animal Products. Available at <https://www.ers.usda.gov/topics/animal-products> (accessed January 16, 2018).
- USDA-ERS. 2018b. U.S. Agricultural Trade Data Update. Available at <https://www.ers.usda.gov/data-products/foreign-agricultural-trade-of-the-united-states-fatus/us-agriculturaltrade-data-update/#Latest%20U.S.%20Agricultural%20Trade> (accessed May 1, 2018).
- USDA-FAS (U.S. Department of Agriculture’s Foreign Agricultural Service). 2018. Production, supply, and distribution online database. Available at <https://www.fas.usda.gov/databases/production-supply-and-distribution-online-psd> (accessed June 17, 2018).
- Valin, H., R. D. Sands, D. van der Mensbrugge, G. C. Nelson, H. Ahammad, E. Blanc, B. Bodirsky, S. Fujimori, T. Hasegawa, P. Havlik, E. Heyhoe, P. Kyle, D. Mason-D’Croz, S. Paltsev, S. Rolinski, A. Tabeau, H. van Meijl, M. von Lampe, and D. Willenbock. 2014. The future of food demand: Understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics* 45:51-67.

- Van Eenennaam, A. L., and A. E. Young. 2014. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. *Journal of Animal Science* 92:4255-4278.
- van Huis, A., and D. G. A. B. Oonincx. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37:43.
- van Wagenberg, C. P. A., Y. de Haas, H. Hogeveen, M. M. van Krimpen, M. P. M. Meuwissen, C. D. van Middelaar, and T. B. Rodenburg. 2017. Animal Board invited review: Comparing conventional and organic livestock production systems on different aspects of sustainability. *Animals* 11(10):1839-1851.
- Vandermeulen, J., C. Bahr, D. Johnston, B. Earley, E. Tullo, I. Fontana, M. Guarino, V. Exadaktylos, and D. Berckmans. 2016. Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture* 129:15-26.
- VanRaden, P. M., M. E. Tooker, J. R. O'Connell, J. B. Cole, and D. M. Bickhart. 2017. Selecting sequence variants to improve genomic predictions for dairy cattle. *Genetics Selection Evolution* 49(1):32.
- Vidic, J., M. Manzano, C. M. Chang, and N. Jaffrezic-Renault. 2017. Advanced biosensors for detection of pathogens related to livestock and poultry. *Veterinary Research* 48(1):11. doi: 10.1186/s13567-017-0418-5.
- Weller, J. I., E. Ezra, and M. Ron. 2017. Invited review: A perspective on the future of genomic selection in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 100:8633-8644.
- Weng, X., L. Chen, S. Neethirajan, and T. Duffield. 2015. Development of quantum dots-based biosensor toward on-farm detection of subclinical ketosis. *Biosensors and Bioelectronics* 72:140-147.
- White, R. R., and M. B. Hall. 2017. Nutritional and greenhouse gas impacts of removing animals from US agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114(48):E10301-E10308.
- Williams, D. D., and S. S. Williams. 2017. Aquatic insects and their potential to contribute to the diet of the globally expanding human population. *Insects* 8:72.
- World Bank. 2013. Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture. World Bank Report Number 83177-GLB. Available at <http://www.fao.org/docrep/019/i3640e/i3640e.pdf> (accessed June 27, 2018).
- Suggested Citation:"3 Animal Agriculture." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25059.×
- Zou, Y., M. G. Mason, Y. Wang, E. Wee, C. Turni, P. J. Blackall, M. Trau, and J. R. Botella. 2017. Nucleic acid purification from plants, animals and microbes in under 30 seconds. *PLoS Biology* 15(11):e2003916.
- Zuidhof, M. J., M. V. Fedorak, C. A. Ouellette, and I. I. Wenger. 2017. Precision feeding: Innovative management of broiler breeder feed intake and flock uniformity. *Poultry Science* 96(7):2254-2263.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25059>.

Ngày nhận bài: 15/10/2023

Ngày chấp nhận đăng: 30/10/2023