

## ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CHĂN NUÔI CHÍNH XÁC THÁCH THỨC VỀ PHÚC LỢI ĐỘNG VẬT VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

*Nguyễn Văn Quang*

**Viện Chăn nuôi**

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

### TÓM TẮT

Đánh giá này nhằm xem xét những phát triển gần đây trong ngành nông nghiệp thực phẩm, tập trung vào việc tích hợp các hệ thống kỹ thuật số đổi mới vào ngành chăn nuôi. Trong 50 năm qua, việc sản xuất thực phẩm từ động vật đã tăng lên đáng kể do nhu cầu về thịt ngày càng tăng. Do đó, các trang trại đã tăng số lượng vật nuôi để đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng, điều này đã làm trầm trọng thêm những thách thức liên quan đến tính bền vững môi trường, sức khỏe con người và phúc lợi động vật. Để đối phó với những thách thức này, công nghệ chăn nuôi chính xác (PLF) đã nổi lên như một giải pháp đầy hứa hẹn cho sản xuất chăn nuôi bền vững. Công nghệ PLF mang đến cho nông dân cơ hội tăng hiệu quả đồng thời giảm thiểu tác động môi trường, đảm bảo sinh kế và thúc đẩy sức khỏe và phúc lợi động vật. Tuy nhiên, việc áp dụng công nghệ PLF đặt ra một số thách thức cho nông dân và làm tăng mối lo ngại về phúc lợi động vật. Ngoài ra, khung pháp lý hiện hành về việc sử dụng công nghệ PLF cũng được thảo luận. Tóm lại, cần nghiên cứu sâu hơn để nâng cao hiểu biết khoa học về công nghệ PLF và các bên liên quan, bao gồm các nhà nghiên cứu, nhà hoạch định chính sách và nhà tài trợ, cần ưu tiên cân nhắc về mặt đạo đức liên quan đến việc triển khai chúng.

**Từ khóa:** *phúc lợi động vật, nông nghiệp, pháp luật, chăn nuôi, độ chính xác, công nghệ*

### GIỚI THIỆU

Trong thế kỷ qua, sản lượng thức ăn chăn nuôi đã tăng lên đáng kể do nhu cầu ngày càng tăng, dẫn đến khoảng 70 tỷ vật nuôi được nuôi hàng năm trên toàn thế giới (Dopelt và cs., 2019). Hàng năm, hơn 93 tỷ động vật bị giết thịt để tiêu thụ cho con người, trong đó có khoảng 56 tỷ động vật là động vật có vú và chim (Oppenlander, 2013). Theo Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp (FAO), mức tiêu thụ thịt toàn cầu đã tăng gấp đôi từ năm 1980 đến năm 2002. Các dự báo cho thấy sản lượng thịt toàn cầu sẽ tăng gấp đôi từ 229 triệu tấn năm 1999 lên 465 triệu tấn vào năm 2050, trong khi sản lượng sữa dự kiến sẽ tăng từ 580 triệu tấn lên tới 1043 triệu tấn (Steinfeld và cs., 2006). Vì vậy, mỗi trang trại sẽ nuôi thêm nhiều con vật để đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng. Một trang trại có thể có 15.000 con bò sữa, 30.000 con lợn vỗ béo và vài triệu con gà thịt trong tương lai. Tuy nhiên, việc duy trì một nhóm lớn động vật có thể có một số vấn đề khó khăn trong việc quản lý (Dopelt và cs., 2019; Ilea và cs., 2009).

Ngành chăn nuôi đóng vai trò là trụ cột cơ bản của an ninh lương thực toàn cầu, với thịt, sữa và trứng đóng góp đáng kể vào việc cung cấp cả calo và protein trên quy mô toàn cầu (Godde và cs., 2021). Đặc biệt trong các hệ thống chăn thả, sản xuất thịt và sữa của động vật nhai lại đóng vai trò then chốt, thường sử dụng đất không phù hợp để trồng trọt (Herrero và cs., 2013). Hơn nữa, nông nghiệp còn cung cấp sinh kế cho hơn 844 triệu người, trong đó ngành chăn nuôi đóng góp đáng kể vào giá trị gia tăng của nông nghiệp (Godde và cs., 2021). Tuy nhiên, tính bền vững của lĩnh vực này, bao gồm cả vai trò của nó trong việc đảm bảo an ninh lương thực, đang phải đối mặt với những thách thức do biến đổi khí hậu đặt ra, mặc dù có những tác động chính xác không chắc chắn (Godde và cs., 2021).

Sức khỏe động vật và việc theo dõi liên tục yêu cầu sẽ là một vấn đề lớn đối với ngành chăn nuôi. Nhiễm trùng trong các nhóm lớn như vậy sẽ ngày càng trở nên phổ biến. Xem xét việc

giảm sử dụng kháng sinh và thực tế là việc phát triển vắc-xin cần có thời gian và hiệu quả của chúng ở đàn lớn cần được theo dõi để cải thiện chúng, việc nuôi các nhóm động vật lớn trong trang trại có thể gây ra những hậu quả đáng kể cho sức khỏe của chúng (Berckmans, 2017). Ngoài ra, sức khỏe động vật có tầm quan trọng rất lớn đối với sức khỏe con người vì số lượng bệnh lây từ động vật sang người rất cao. Vì vậy, chất lượng và an toàn thực phẩm phải luôn được đảm bảo (European Commission, 2016). Do đó, việc theo dõi sức khỏe động vật liên tục là cần thiết, nhưng điều này khó đạt được do số lượng nông dân ngày càng giảm và số lượng vật nuôi ngày càng tăng (Berckmans, 2017; Gebreyes và cs., 2014). Hơn nữa, việc áp dụng rộng rãi thuốc kháng khuẩn trong thực hành thâm canh nhấn mạnh nhu cầu cấp thiết về các phương pháp tiếp cận nông nghiệp bền vững hơn (Grossi và cs., 2018). Ưu tiên phúc lợi động vật nổi lên như một giải pháp quan trọng để kích thích sự đổi mới trong ngành chăn nuôi, từ đó đảm bảo duy trì sức khỏe con người và động vật cũng như bảo vệ môi trường (Bozzo và cs., 2021).

### **Những thách thức và nhu cầu của ngành chăn nuôi**

#### *Mối quan tâm về môi trường*

Nông nghiệp chăn nuôi góp phần đáng kể vào việc phát thải khí nhà kính (GHG) và được công nhận là nhân tố chính gây ra biến đổi khí hậu (Bozzo và cs., 2021). Ngành chăn nuôi là ngành đóng góp đáng kể vào lượng phát thải khí nhà kính do con người gây ra, chiếm khoảng 14,5% tổng lượng phát thải (Grossi và cs., 2018). Để giảm thiểu lượng khí thải này, nhiều chiến lược khác nhau liên quan đến thay đổi tập quán canh tác đã được đề xuất. Tuy nhiên, nhiều hoạt động chăn nuôi thương mại, đặc biệt là trong các hệ thống nông nghiệp công nghiệp, gây ra những lo ngại đáng kể về phúc lợi động vật, khiến các tổ chức lập pháp, doanh nghiệp, đầu tư và thương mại trên toàn thế giới phải xem xét kỹ lưỡng (Shields và Orme-Evans, 2015).

Ngoài những lo ngại về sức khỏe động vật trong ngành công nghiệp thực phẩm, sự gia tăng đáng kể trong việc tiêu thụ sản phẩm động vật còn tác động sâu sắc đến môi trường (Ilea và cs., 2009). Một trang trại được quản lý tốt với các biện pháp kiểm soát dịch bệnh hiệu quả có thể làm giảm đáng kể tác động đến môi trường (Mostert và cs., 2019; Mostert và cs., 2018). Về cơ bản, nó góp phần đáng kể vào biến đổi khí hậu do phát thải khí nhà kính toàn cầu do ngành chăn nuôi gây ra (Grossi và cs., 2018). Chăn nuôi ảnh hưởng đáng kể đến biến đổi khí hậu thông qua cả con đường trực tiếp và gián tiếp. Phát thải trực tiếp bao gồm khí mê-tan ( $\text{CH}_4$ ) được thải ra từ quá trình lên men và phân bón trong ruột, trong khi phát thải gián tiếp bắt nguồn từ sản xuất thức ăn chăn nuôi, thay đổi sử dụng đất và vận chuyển (Bozzo và cs., 2021). Giải quyết những lượng khí thải này là điều bắt buộc để giảm bớt tác động của ngành chăn nuôi đối với hiện tượng nóng lên toàn cầu (Shields và Orme-Evans, 2015; McMichael và cs., 2007). Điều này dẫn đến khoảng 7516 triệu tấn carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) thải ra hàng năm, khiến ngành chăn nuôi trở thành ngành gây ô nhiễm lớn thứ hai sau ngành điện và gây ô nhiễm nhiều hơn ngành vận tải, đóng góp khoảng 13% lượng khí thải (Russell, 2014). Hầu hết khí thải từ ngành chăn nuôi bao gồm carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), oxit nitơ ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) và amoniac ( $\text{NH}_3$ ). Động vật nuôi, như một phần của quá trình tự nhiên, thải ra carbon dioxide, góp phần đáng kể vào sự nóng lên toàn cầu (Goodland và Anhang, 2009). Các chuyên gia cảnh báo rằng việc chăn nuôi gia súc có thể khiến chúng ta vượt qua giới hạn 565 gigaton carbon dioxide vào năm 2030. Hơn nữa, việc sản xuất thịt bò và sữa chiếm 68% lượng phát

thải oxit nitơ gây ra từ đường ruột, một loại khí có khả năng gây ra hiện tượng nóng lên toàn cầu và tầng ozone cao hơn nhiều suy giảm hơn so với carbon dioxide. Chăn nuôi cũng đóng góp gần 64% tổng lượng khí thải amoniac, dẫn đến mưa axit và axit hóa hệ sinh thái. Hơn nữa, chăn nuôi là nguồn phát thải khí mêtan chính, đóng góp 35-40% lượng khí thải mêtan toàn cầu. Khí mê-tan có nguy cơ nóng lên toàn cầu cao hơn đáng kể so với carbon dioxide. Theo Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ, lượng khí thải mêtan từ lợn đã tăng 37% và khí thải từ gia súc tăng 50% trong 15 năm qua (Russell, 2014; Leytem và cs., 2011). Hơn nữa, không phải tất cả các loại vật nuôi đều có tác động môi trường như nhau, nhưng việc sản xuất các sản phẩm động vật có thể đòi hỏi phải sử dụng đất đai đáng kể. Các trang trại chăn nuôi đã chiếm 1/3 tổng diện tích đất của thế giới và hơn 2/3 diện tích đất nông nghiệp (Ilea và cs., 2009). Nhu cầu ngày càng tăng đối với các sản phẩm động vật và quỹ đất hạn chế đã khiến ngành chăn nuôi trở thành nguyên nhân chính gây ra nạn phá rừng, biến rừng thành nơi chăn thả gia súc. Theo Trung tâm Nghiên cứu Lâm nghiệp Quốc tế (CIFOR), một khu vực có diện tích gấp đôi diện tích Bồ Đào Nha đã bị mất để nhường chỗ cho đồng cỏ từ năm 1990 đến năm 2000 (Ilea và cs., 2009).

Một yếu tố khác góp phần vào nạn phá rừng là việc trồng cây làm thức ăn chăn nuôi, với khoảng 40% sản lượng cây trồng toàn cầu được thu hoạch phục vụ mục đích này (Leitzmann, 2003). Việc chuyển hướng chỉ một nửa số cây trồng này sang nuôi sống con người có thể giải quyết được vấn đề nạn đói trên toàn thế giới. Phá rừng ô ạt không chỉ dẫn đến mất môi trường sống mà còn dẫn đến sự tuyệt chủng của nhiều loài thực vật và động vật, có tới 137 loài biến mất hàng ngày (Muluneh, 2021). Một số chuyên gia, như Ceballos và cs. (2015) cho rằng sự mất mát đang diễn ra này là sự kiện tuyệt chủng hàng loạt đáng kể nhất trong 65 triệu năm qua. Nguyên nhân chính gây ô nhiễm nước trong nông nghiệp bắt nguồn từ việc sản xuất các mặt hàng thực phẩm từ động vật (Ilea và cs., 2009). Việc tiêu thụ những sản phẩm như vậy ngày càng tăng, đặc biệt là ở các nước đang phát triển, làm trầm trọng thêm tình trạng căng thẳng về nguồn nước (Steinfeld và cs., 2006). Sự ô nhiễm này phát sinh từ nhiều nguồn khác nhau trong ngành chăn nuôi, bao gồm chất thải động vật, thuốc kháng sinh, hormone, phân bón, thuốc trừ sâu được sử dụng trong canh tác thức ăn chăn nuôi và dòng chảy từ đồng cỏ (Steinfeld và cs., 2006). Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) xác định các sản phẩm phụ của động vật và chất thải gia cầm là những tác nhân góp phần đáng kể gây ô nhiễm nguồn nước (Ilea và cs., 2009). Ngoài ra, ngành chăn nuôi nổi tiếng vì sử dụng tài nguyên kém hiệu quả, đặc biệt là về tiêu thụ nước (Steinfeld và cs., 2006).

Một chiến lược tiềm năng để giảm lượng khí thải mêtan là tăng năng suất và hiệu quả chăn nuôi. Hiệu suất tăng lên sẽ làm giảm lượng khí thải mêtan trên mỗi đơn vị sản phẩm và phân bổ nhiều năng lượng thức ăn hơn cho các hàng hóa có giá trị (chẳng hạn như sữa và thịt) (Steinfeld và cs., 2006). Trong bối cảnh này, việc nhân giống chọn lọc các động vật có năng suất cao-đặc biệt là gia cầm và động vật dạ dày đơn- được coi là có lợi. Như việc sản xuất bò sữa đã chứng minh, năng suất tăng thường dẫn đến việc giảm lượng thức ăn cần thiết trên một đơn vị sản phẩm. Đặc biệt, chọn lọc di truyền đã dẫn đến năng suất sữa trên mỗi con bò cao hơn và cải thiện chế độ ăn uống về dinh dưỡng cho động vật nhai lại (các chất bổ sung đậm đặc) là những yếu tố quan trọng góp phần tăng năng suất và do đó giảm lượng khí thải carbon trong chăn nuôi bò sữa (Capper và cs., 2009). Tuy nhiên, những cải thiện về dinh dưỡng này có thể có những tác động không lường trước được đối với sức khỏe động vật, như nhiễm toan dạ cỏ bán cấp hoặc các vấn đề tiêu hóa khác (Rauw và cs., 1998). Mặc dù phân của chúng có

thể là nguồn phát thải khí nhà kính đáng kể, nhưng lợn và gia cầm tạo ra lượng khí mê-tan vào ruột tương đối ít hơn. Có thể giảm lượng khí thải metan và oxit nito (N<sub>2</sub>O) liên quan đến việc sản xuất phân bằng cách tăng hiệu suất chuyển đổi thức ăn ở những loài này (Bozzo và cs., 2021). Sử dụng công nghệ chăn nuôi chính xác (PLF) và kéo dài tuổi thọ của bò sữa là hai chiến lược tiềm năng để nâng cao phúc lợi động vật và giảm lượng khí thải. Hệ thống PLF có thể theo dõi sức khỏe và lượng thức ăn ăn vào của vật nuôi. Đặc biệt, bằng cách tối ưu hóa công thức và phân phối thức ăn, PLF có thể cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn và giảm lượng khí mê-tan trên mỗi đơn vị thịt hoặc sữa được sản xuất. Điều này có thể làm giảm đáng kể lượng khí thải GHG liên quan đến quá trình lên men đường ruột. Một ưu điểm khác của những công nghệ này là chúng cho phép theo dõi thời gian thực các thông số về sức khỏe và phúc lợi động vật. Việc phát hiện sớm bệnh tật và các vấn đề sức khỏe cho phép can thiệp nhanh chóng, giảm nhu cầu điều trị bằng kháng sinh và giảm thiểu tác động đến môi trường của dư lượng dược phẩm trong nước. Việc điều chỉnh chính xác khẩu phần thức ăn theo nhu cầu riêng của vật nuôi, có thể thực hiện được bằng công nghệ PLF, cũng giúp giảm thiểu sự bài tiết quá mức các chất dinh dưỡng, đặc biệt là nitơ và photpho (Wathes và cs., 2008). Tuy nhiên, điều quan trọng là phải xem xét nguy cơ mất đi kỹ năng chăn nuôi và sự phù hợp của PLF ở các quốc gia mới nổi (Wathes và cs., 2008). Các chiến lược quản lý thức ăn bổ sung, bao gồm nâng cao chất lượng thức ăn ủ chua, kết hợp chất béo trong khẩu phần, tối ưu hóa quản lý đồng cỏ và thực hiện cho ăn chính xác, đưa ra các phương tiện khả thi để giảm lượng khí thải mà không ảnh hưởng đến phúc lợi động vật (Shields và Orme-Evans, 2015). Những phương pháp tiếp cận này cung cấp lộ trình cho sản xuất chăn nuôi bền vững, đồng thời giải quyết hiệu quả các vấn đề về môi trường và phúc lợi động vật.

#### *Khí hậu thay đổi*

Biến đổi khí hậu ảnh hưởng đáng kể đến sự tăng trưởng, sản xuất và phúc lợi của động vật thông qua các cơ chế đa dạng, bao gồm giảm lượng thức ăn ăn vào, các tác động sinh lý và trao đổi chất cũng như thay đổi hành vi (Godde et al., 2021; Caulfield và cs., 2014, Collins và cs., 2018). Những tác động này xuất phát từ sự thay đổi các điều kiện môi trường như nhiệt độ không khí, độ ẩm, lượng mưa và sự xuất hiện của các hiện tượng thời tiết khắc nghiệt, dẫn đến những ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp đến sức khỏe động vật (Forastiere, 2010). Hậu quả trực tiếp của biến đổi khí hậu bao gồm các bệnh tật và tử vong liên quan đến nhiệt độ, trong khi các tác động gián tiếp xuất hiện từ sự thay đổi về mật độ và sự phân bố của vi sinh vật, sự lây lan của các bệnh do véc tơ truyền và sự khan hiếm thức ăn và nước uống (Lacetera, 2018).

Hơn nữa, biến đổi khí hậu tác động đến sự phổ biến của các bệnh ký sinh trùng, đặc biệt là tuyến trùng đường tiêu hóa, gây ra mối đe dọa đáng kể đối với sức khỏe vật nuôi. Cho rằng một phần đáng kể trong vòng đời của các ký sinh trùng này xảy ra bên ngoài vật chủ, sự tồn tại và phát triển của chúng rất nhạy cảm với các biến đổi khí hậu. Những thay đổi này có thể dẫn đến những thay đổi trong phân bố ký sinh trùng và tăng tỷ lệ mắc bệnh và tỷ lệ tử vong trong quần thể vật nuôi (Bernabucci và cs., 2011).

#### *Căng thẳng nhiệt*

Việc tiếp xúc với nhiệt độ và độ ẩm môi trường tăng cao chủ yếu gây ra stress nhiệt ở vật nuôi, cản trở khả năng tản nhiệt ra môi trường xung quanh, dù ở trang trại hay trong quá trình vận chuyển. Hậu quả của stress nhiệt thường biểu hiện là năng suất giảm và phúc lợi động vật bị tổn hại, mặc dù điều kiện khắc nghiệt hoặc kéo dài có thể dẫn đến tử vong. Khả năng nhạy

cảm với stress nhiệt khác nhau giữa các loài động vật tùy thuộc vào các yếu tố như loài, giống, giai đoạn sống, cấu trúc di truyền, tình trạng dinh dưỡng, kích thước, mức độ cách nhiệt (bao gồm độ dày của da hoặc sự phân bố lông) và sự tiếp xúc trước đó. Về mặt trao đổi chất, stress nhiệt gây ra các phản ứng sinh lý, bao gồm tốc độ hô hấp và đổ mồ hôi tăng cao, cùng với lượng thức ăn ăn vào giảm, dẫn đến tốc độ tăng trưởng giảm và sản lượng sữa hoặc trứng giảm (Polsky và von Keyserlingk, 2017; St-Pierre và cs., 2003). Các nghiên cứu trên bò sữa và lợn đã tiết lộ rằng stress nhiệt trước khi sinh làm giảm năng suất sữa trong kỳ tiết sữa đầu tiên (Papatsiros và cs., 2022; Dahl và cs., 2016, Monteiro và cs., 2016) và làm thay đổi sự phân bố chất dinh dưỡng và thành phần thân thịt (Boddicker và cs., 2014; Johnson và cs., 2015). Những cá thể và giống có nhu cầu năng lượng cao, chẳng hạn như bò sữa năng suất cao, đặc biệt dễ bị tổn thương trước stress nhiệt so với bò thịt (Bernabucci và cs., 2010; Rashamol và cs., 2019; Saeed và cs., 2019). Hơn nữa, stress nhiệt làm trầm trọng thêm các rối loạn chuyển hóa như đi khập khiễng xuất phát từ nhiễm toan dạ cỏ hoặc bài tiết bicarbonate, sụt cân, nhiễm ceton và nhiễm mỡ gan (Lacetera, 2018; Cook và Nordlund, 2009; Basiricò và cs., 2009). Căng thẳng nhiệt cũng ảnh hưởng đến khả năng sinh sản ở vật nuôi. Ở động vật có vú và gia cầm, chức năng buồng trứng giảm, khả năng vận động của tinh trùng và sự phát triển của phôi là những vấn đề phổ biến liên quan đến khả năng sinh sản do stress nhiệt. Gia súc và lợn cũng có biểu hiện giảm động dục, càng cản trở khả năng sinh sản (Papatsiros và cs., 2022; Nawab và cs., 2018). Hơn nữa, stress nhiệt làm ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm động vật, dẫn đến trứng nhỏ hơn, vỏ trứng mỏng hơn (Mashaly và cs., 2004), hàm lượng chất béo và protein trong sữa giảm (Bernabucci và cs., 2002; Sevi và Caroprese, 2012) và sự thay đổi màu sắc cũng như khả năng giữ nước của cả màu đỏ và trắng thịt (Gonzalez-Rivas và cs., 2020).

Căng thẳng oxy hóa do stress nhiệt làm trầm trọng thêm tình trạng bệnh lý ở động vật, được biểu thị bằng tình trạng chống oxy hóa giảm sút và mức độ các chất chuyển hóa oxy phản ứng tăng cao trong mùa nóng hơn (Lacetera, 2018). Ngoài ra, chức năng miễn dịch bị tổn hại khi bị stress nhiệt, ảnh hưởng đến chức năng tế bào lympho và hoạt động của bạch cầu trung tính, đồng thời làm tăng khả năng mắc các bệnh như viêm vú (Lacetera, 2018). Căng thẳng nhiệt cũng có thể làm suy yếu chức năng miễn dịch và hiệu quả của vắc xin, làm tăng khả năng mắc bệnh ở vật nuôi (Gonzalez-Rivas và cs., 2020; Bagath và cs., 2019; Hirakawa và cs., 2020). Tỷ lệ tử vong liên quan đến nhiệt tăng lên trong những tháng ấm hơn và các hiện tượng thời tiết khắc nghiệt, với các đợt nắng nóng đặc biệt gây chết người, dẫn đến các tình trạng như say nắng, kiệt sức và rối loạn chức năng nội tạng ở cả người và động vật (Lacetera, 2018). Chỉ số nhiệt độ-độ ẩm đóng vai trò quan trọng như một yếu tố dự báo, báo hiệu nguy cơ tử vong do nhiệt tăng cao vượt quá ngưỡng cụ thể (Lacetera, 2018).

Hơn nữa, nhiệt độ và độ ẩm tăng có thể thúc đẩy sự phát triển của nấm sản sinh độc tố nấm mốc, với mô hình tăng trưởng có mối liên hệ phức tạp với điều kiện thời tiết trong quá trình thu hoạch và bảo quản ngũ cốc. Độc tố nấm mốc, khi động vật ăn phải với số lượng đáng kể, có thể gây ra các bệnh cấp tính ảnh hưởng đến nhiều cơ quan, bao gồm gan, thận, não và đường sinh sản. Ngay cả ở nồng độ thấp hơn, độc tố nấm mốc có khả năng cản trở sự phát triển ở động vật non và làm suy yếu chức năng miễn dịch, do đó làm tăng tính nhạy cảm với nhiễm trùng (Lacetera, 2018).

Công nghệ PLF có thể đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm bớt các vấn đề về phúc lợi động vật do stress nhiệt gây ra. Đặc biệt, các hệ thống này có thể theo dõi liên tục các điều

kiện môi trường như nhiệt độ và độ ẩm tại các cơ sở chăn nuôi. Việc thu thập dữ liệu theo thời gian thực cho phép nông dân nhanh chóng xác định và thực hiện các biện pháp chủ động nhằm ngăn ngừa hoặc giảm thiểu stress nhiệt (Wathes và cs., 2008). Công nghệ PLF cũng có thể theo dõi hành vi của từng cá thể động vật và các thông số sinh lý như nhiệt độ cơ thể, nhịp hô hấp và lượng thức ăn ăn vào. Bằng cách theo dõi các chỉ số này, người chăn nuôi có thể xác định vật nuôi bị stress nhiệt ở giai đoạn đầu và thực hiện hành động có mục tiêu để giảm bớt sự khó chịu của chúng. Lượng thức ăn ăn vào và nhu cầu dinh dưỡng của vật nuôi bị ảnh hưởng bởi stress nhiệt. Tuy nhiên, công nghệ PLF có thể điều chỉnh chiến lược cho ăn theo nhu cầu riêng của động vật, tối ưu hóa lượng chất dinh dưỡng hấp thụ và giảm thiểu nhiệt trao đổi chất sinh ra trong quá trình tiêu hóa (Wathes và cs., 2008).

### *Căng thẳng vận chuyển*

Việc vận chuyển gia súc đường dài, thường được thực hiện để phục vụ mục đích bán và giết mổ, gặp phải những nguy cơ ngày càng tăng do nhiệt độ tăng lên do biến đổi khí hậu và sự gián đoạn của cơ sở hạ tầng giao thông. Những điều kiện này có thể làm trầm trọng thêm tình trạng stress nhiệt trong quá trình vận chuyển, dẫn đến phúc lợi động vật bị tổn hại và tỷ lệ tử vong tăng cao (Godde và cs., 2021). Những thách thức như vậy có thể đòi hỏi phải thực hiện thêm các quy định liên quan đến vận chuyển động vật, bao gồm các hạn chế về thời gian và thời gian của hành trình (Godde và cs., 2021).

Việc vận chuyển đưa ra một thách thức đáng kể đối với động vật và có thể dẫn đến những hậu quả bất lợi về sức khỏe và hành vi (Bozzo và cs., 2021). Mặc dù có những dấu hiệu tiềm ẩn về tác động gây căng thẳng, nhưng hiện vẫn thiếu các quy định liên quan đến thủ tục xếp dỡ gia súc (Bozzo và cs., 2021). Trong trường hợp gà thịt và các loại gia cầm khác, căng thẳng trong quá trình vận chuyển có thể dẫn đến kết quả bất lợi về phúc lợi và giảm năng suất khi giết mổ (Bozzo và cs., 2021; Denadai và cs., 2002). Hoàn cảnh căng thẳng có thể làm suy yếu khả năng chống lại nhiễm trùng của động vật và tăng khả năng mắc bệnh của chúng (Sapolsky và cs., 2000; Gomes và cs., 2014).

### *Hậu quả và tính bền vững của chuỗi thực phẩm*

Như đã nêu ở trên, ngành chăn nuôi phải đối mặt với một số thách thức có thể làm giảm sự quan tâm của người tiêu dùng đối với các sản phẩm động vật, tăng chất thải và giảm lợi nhuận của người sản xuất. Đầu tư vào phúc lợi động vật có thể mang lại lợi ích kinh tế bằng cách tăng năng suất và giảm tỷ lệ mắc bệnh cũng như các biện pháp can thiệp về sức khỏe và tỷ lệ tử vong ở các trang trại (Bozzo và cs., 2017). Các hệ thống chăn nuôi công nghiệp sử dụng động vật có năng suất cao và phương pháp sản xuất thâm canh đặc biệt dễ bị tổn thương trước các hiện tượng khí hậu khắc nghiệt và gián đoạn chuỗi cung ứng. Mặc dù các hệ thống này cho phép quản lý và sản xuất dịch bệnh hiệu quả hơn nhưng chúng đòi hỏi phải đầu tư đáng kể vào cơ sở hạ tầng để giải quyết các rủi ro như stress nhiệt và bệnh tật. Tuy nhiên, việc tích hợp của họ vào các chuỗi giá trị hợp lý cũng khiến họ gặp phải sự gián đoạn trong vận chuyển và cung cấp năng lượng. Điều này nhấn mạnh mối quan hệ phức tạp giữa biến đổi khí hậu, chăn nuôi, an ninh lương thực và tầm quan trọng của phúc lợi động vật (Godde và cs., 2021; Bozzo và cs., 2017).

Cần phải nỗ lực cải thiện hoạt động chăn nuôi, giảm khí thải, tăng hiệu quả sản xuất thức ăn chăn nuôi và thúc đẩy sử dụng đất bền vững để giảm tác động đến môi trường của hoạt động

chăn nuôi đồng thời bảo vệ an ninh lương thực toàn cầu và sinh kế của hàng triệu người. Việc áp dụng công nghệ PLF là một hướng đi đầy hứa hẹn cho chăn nuôi bền vững. Nó cho phép nông dân tăng năng suất, giảm thiệt hại về môi trường, đảm bảo sinh kế và cải thiện sức khỏe và phúc lợi động vật. Tuy nhiên, những lo ngại về mặt đạo đức liên quan đến việc sử dụng nó vẫn là một vấn đề quan trọng.

### **Ứng dụng và lợi ích của PLF trong chăn nuôi**

Công nghệ PLF đề cập đến việc ứng dụng công nghệ tiên tiến và phân tích dữ liệu trong quản lý hệ thống chăn nuôi để cải thiện hiệu quả, sức khỏe và phúc lợi của vật nuôi đồng thời giảm thiểu tác động đến môi trường và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên. PLF thường đề cập đến việc sử dụng các công nghệ hỗ trợ giám sát vật nuôi tự động và liên tục trong thời gian thực. Những công nghệ này bao gồm máy ảnh, cảm biến và thiết bị âm thanh ngày càng được tích hợp với trí tuệ nhân tạo, cho phép thu thập và phân tích dữ liệu. Chiến lược này cho phép nông dân đưa ra những lựa chọn có hiểu biết liên quan đến sức khỏe, phúc lợi động vật và tính bền vững của các hoạt động nông nghiệp (Berckmans, 2017; Werkheiser, 2020).

Cảm biến đóng một vai trò thiết yếu trong công nghệ PLF bằng cách thu thập dữ liệu thời gian thực trên nhiều khía cạnh khác nhau của chăn nuôi, bao gồm hành vi của động vật, tình trạng sức khỏe và điều kiện môi trường (Berckmans, 2017; Berckmans, 2013). Đặc biệt, họ có thể ghi lại các kiểu di chuyển và nghỉ ngơi, hành vi kiếm ăn và tương tác xã hội giữa các loài động vật, từ đó quan sát hành vi của chúng. Những cảm biến này cũng có thể cung cấp thông tin có giá trị về tình trạng sức khỏe của động vật, vì chúng ghi lại các dấu hiệu quan trọng như nhiệt độ cơ thể, nhịp tim, nhịp hô hấp và mức độ hoạt động để phát hiện các dấu hiệu bệnh tật hoặc căng thẳng. Về điều kiện môi trường, họ có thể đo lường các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí, điều kiện ánh sáng trong môi trường của động vật. Chúng được gắn vào động vật dưới dạng thiết bị di động, như hệ thống giám sát môi trường trong chuồng trại hoặc đồng cỏ hoặc như máy bay không người lái trên không. Dữ liệu thu thập được sau đó được phân tích bằng các kỹ thuật tiên tiến, chẳng hạn như học máy và trí tuệ nhân tạo, để phát hiện các mẫu và/hoặc điểm bất thường (Berckmans, 2013). Hệ thống hỗ trợ quyết định cung cấp cho nông dân những hiểu biết sâu sắc và đề xuất hữu ích để tối ưu hóa các biện pháp quản lý (Berckmans, 2017). Hơn nữa, công nghệ PLF bao gồm các công nghệ tự động hóa như hệ thống cho ăn tự động, robot vắt sữa và hệ thống xử lý chất thải, giúp hợp lý hóa các nhiệm vụ sử dụng nhiều lao động và đảm bảo quản lý nhất quán, chính xác các hoạt động chăn nuôi. Các hệ thống này cho phép giám sát và điều khiển từ xa các cơ sở chăn nuôi thông qua ứng dụng di động hoặc giao diện dựa trên web, cho phép nông dân truy cập dữ liệu thời gian thực, nhận cảnh báo và thông báo cũng như quản lý từ xa các khía cạnh khác nhau trong hoạt động của họ từ bất kỳ đâu có kết nối internet (Berckmans, 2017; Wathes và cs., 2008; Berckmans, 2013). Ngoài ra, công nghệ PLF tích hợp với nền tảng phần mềm quản lý kinh doanh để tạo điều kiện trao đổi và tích hợp dữ liệu liền mạch với các quy trình quản lý kinh doanh khác như quản lý hàng tồn kho, lập kế hoạch tài chính và tuân thủ quy định (Berckmans, 2013).

Thông qua công nghệ PLF, nông dân có thể nhận biết các dấu hiệu căng thẳng ở giai đoạn đầu. Điều này có giá trị lớn vì căng thẳng có thể làm giảm lượng thức ăn ăn vào và làm thay đổi quần thể vi sinh vật cũng như quá trình lên men trong dạ cỏ, dẫn đến những thay đổi trong sản xuất khí mê-tan. Ngoài ra, căng thẳng gây ra phản ứng nội tiết tố và thay đổi trao đổi chất ảnh hưởng đến hiệu quả tiêu hóa và sản xuất khí mê-tan (Shields và Orme-Evans, 2015). Do

đó, việc phát hiện sớm căng thẳng trong chăn nuôi có thể làm giảm lượng khí thải mêtan và gián tiếp hạn chế sản xuất khí nhà kính. PLF cũng cho phép giám sát liên tục phúc lợi động vật. Việc phát hiện bệnh kịp thời thông qua các mẫu dữ liệu bất thường giúp can thiệp nhanh chóng, từ đó giảm bớt đau khổ và chi phí điều trị. Hơn nữa, bằng cách xác định sớm các bệnh nhiễm trùng và theo dõi mức độ căng thẳng, người chăn nuôi có thể giảm thiểu chi phí thú y bằng cách giải quyết các vấn đề trước khi chúng leo thang (Wathes và cs., 2008). Cuối cùng, PLF góp phần nâng cao phúc lợi động vật bằng cách xác định kịp thời các bệnh và theo dõi mức độ căng thẳng. Các trang trại áp dụng công nghệ PLF thể hiện cam kết của họ đối với phúc lợi động vật và bảo vệ môi trường và do đó có thể cải thiện nhận thức của công chúng. Đề cao việc đối xử có đạo đức với động vật và các hoạt động bền vững sẽ thúc đẩy niềm tin và sự hỗ trợ của cộng đồng (Berckmans, 2017; Wathes và cs., 2008; Berckmans, 2013).

Nhìn chung, việc sử dụng công nghệ PLF có thể giúp cải thiện sức khỏe và phúc lợi động vật, tăng năng suất và hiệu quả, giảm lãng phí tài nguyên, nâng cao khả năng ra quyết định và tính bền vững tổng thể của hệ thống chăn nuôi. Đặc biệt, thông qua việc kết hợp các công nghệ tiên tiến và hiểu biết sâu sắc dựa trên dữ liệu, công nghệ PLF có tiềm năng chuyển đổi ngành chăn nuôi và góp phần phát triển các hệ thống canh tác bền vững và linh hoạt hơn (Wathes và cs., 2008; EU-PLF Project, 2016).

### **Những thách thức của PLF trong chăn nuôi**

Bất chấp những cơ hội mà công nghệ PLF mang lại, vì chúng có thể cải thiện phúc lợi động vật, tăng hiệu quả sản xuất và giảm tác động đến môi trường, chúng cũng đặt ra một số thách thức. Đặc biệt, công nghệ PLF còn mang đến nhiều thách thức khác nhau cho người nông dân và những cân nhắc về phúc lợi động vật (Werkheiser, 2020).

#### *Những thách thức đối với nông dân*

Độ phức tạp về mặt kỹ thuật là một trong những mối quan tâm chính trong việc xác nhận các công nghệ PLF. Quá trình xác nhận rất quan trọng vì nó thể hiện khả năng của hệ thống đạt được mục tiêu trong các tình huống thực tế. Do tính chất nhiều mặt của chăn nuôi, việc xác nhận yêu cầu thử nghiệm công nghệ trong các môi trường và hoàn cảnh khác nhau. Những thách thức như điều kiện thời tiết bất lợi, vị trí của động vật và khả năng kết nối Internet hạn chế ở khu vực nông thôn có thể cản trở việc thu thập dữ liệu, đặc biệt là trong các hệ thống canh tác quảng canh (Bozzo và cs., 2017; EU-PLF Project, 2016). Ngoài ra, các vấn đề như tuổi thọ pin hạn chế và cấu trúc tòa nhà không phù hợp không phải lúc nào cũng tương thích với việc sử dụng công nghệ PLF, trong khi điều kiện bản hoặc ẩm ướt có thể ảnh hưởng đến hiệu quả (Werkheiser, 2020; Schillings và cs., 2021; Kuch và cs., 2020; Miles, 2019).

Có nhiều mối quan tâm khác nhau liên quan đến công nghệ PLF, chẳng hạn như nhu cầu đầu tư đáng kể, kiến thức vận hành chuyên môn và sự cần thiết phải hỗ trợ tư vấn. Việc áp dụng PLF có thể có xu hướng mang lại lợi ích cho các trang trại lớn hơn với nhiều nguồn lực hơn, bằng chứng là nghiên cứu về công nghệ vắt sữa bằng robot (Yang và cs., 2021). Việc tích hợp dữ liệu đặt ra một trở ngại đáng chú ý vì các công nghệ PLF tạo ra các bộ dữ liệu cụ thể có khả năng khiến nông dân choáng ngợp và cản trở việc giải thích hiệu quả (Miles, 2019). Điều quan trọng là phải thu hẹp khoảng cách giữa hứa hẹn về mặt lý thuyết và ứng dụng thực tế, đảm bảo rằng nông dân có thể tự tin tận dụng các lợi thế canh tác chính xác để nâng cao kết quả và thực hành nông nghiệp. Hiện nay, hầu hết các công nghệ thương mại sẵn có đều hoạt



động độc lập với nhau và không thể tương tác được. Họ tạo ra khối lượng lớn dữ liệu về sức khỏe, hành vi và hiệu suất của động vật. Do đó, họ có thể khiến nông dân choáng ngợp khi giải thích và ra quyết định, vì họ phải có các công cụ và kỹ năng cần thiết để thu thập, lưu trữ, quản lý và phân tích những dữ liệu này một cách hiệu quả. Sự phức tạp của các công nghệ mới nổi và chuyên môn cần thiết để sử dụng chúng có thể ngăn cản một số nông dân chấp nhận chúng (Barrett và Rose, 2020). Ngoài ra, còn xuất hiện mối lo ngại về tác động bất lợi tiềm ẩn của PLF đối với tương tác giữa người và động vật và kỹ năng chăn nuôi, có thể ảnh hưởng đến phúc lợi động vật (Werkheiser, 2018; Butler và Holloway, 2016). Việc diễn giải dữ liệu và biến nó thành những hiểu biết sâu sắc có thể hành động cũng có thể là một thách thức đối với những người nông dân không có kinh nghiệm phân tích dữ liệu (Schillings và cs., 2021; Kuch và cs., 2020; Miles, 2019).

Công nghệ PLF cũng mang đến nhiều thách thức khác nhau về bảo vệ và bảo mật dữ liệu. Đặc biệt, việc thực hiện nó liên quan đến việc thu thập và lưu trữ thông tin nhạy cảm, chẳng hạn như hồ sơ về sức khỏe động vật và thực hành quản lý trang trại. Nông dân phải giải quyết những lo ngại này để bảo vệ dữ liệu của họ khỏi bị truy cập trái phép, tấn công mạng và vi phạm (Fielke và cs., 2020; Klerkx và cs., 2019; Wiseman và cs., 2019; Gupta và cs., 2020; Hazrati và cs., 2022). Một trở ngại khác đối với nông dân sử dụng công nghệ chăn nuôi chính xác là việc tuân thủ quy định và tiêu chuẩn ngành. Việc tuân thủ các nghĩa vụ pháp lý liên quan đến bảo vệ dữ liệu, phúc lợi động vật và bảo vệ môi trường đòi hỏi sự chú ý cẩn thận và tuân thủ các nguyên tắc liên quan (Kuch và cs., 2020; Jouanjean và cs., 2020). Mặc dù công nghệ chăn nuôi chính xác có thể cải thiện khả năng ra quyết định và năng suất nhưng vẫn có nguy cơ phụ thuộc quá mức vào các hệ thống và thuật toán tự động. Nông dân phải duy trì chuyên môn và trực giác của mình để giải thích chính xác dữ liệu và giảm thiểu rủi ro tiềm ẩn liên quan đến việc phụ thuộc quá nhiều vào công nghệ (Gupta và cs., 2020; Jouanjean và cs., 2020).

Một vấn đề khác khi áp dụng công nghệ PLF là chi phí ban đầu có thể rất lớn. Nông dân phải mua các thiết bị chuyên dụng như cảm biến, thiết bị giám sát, hệ thống cho ăn tự động, thiết bị theo dõi GPS và robot vắt sữa, chi phí có thể khác nhau tùy thuộc vào loại, chất lượng và số lượng (Knight và Malcolm, 2009; Kamphuis và cs., 2015). Ngoài ra, việc tích hợp công nghệ này có thể yêu cầu nâng cấp cơ sở hạ tầng trang trại hiện có, chẳng hạn như thiết lập mạng Wi-Fi, cải thiện kết nối di động hoặc thiết lập nguồn điện cho các thiết bị giám sát từ xa, tất cả đều làm tăng thêm chi phí triển khai (Banhazi và cs., 2015). Nông dân và công nhân trang trại có thể cần được đào tạo để vận hành và quản lý công nghệ chăn nuôi chính xác một cách hiệu quả. Do đó, các chương trình đào tạo, hội thảo và dịch vụ hỗ trợ kỹ thuật có thể phát sinh thêm chi phí nhưng rất quan trọng để triển khai đúng cách và tối đa hóa lợi ích của công nghệ (Kamphuis và cs., 2015; Banhazi và cs., 2015).

Các câu hỏi liên quan đến quyền tự chủ và sự phụ thuộc của nông dân vào các thiết bị bên ngoài góp phần làm tăng thêm sự hiểu biết về tác động biến đổi của PLF đối với lĩnh vực nông nghiệp, có khả năng làm thay đổi sự hấp dẫn của nó đối với những người mới đến (Rose và cs., 2018). Bất chấp những thách thức này, công nghệ PLF có khả năng thu hút nhân tài mới và chuyển đổi các phương pháp canh tác. Tuy nhiên, việc giải quyết những mối lo ngại này là rất quan trọng để lồng ghép PLF một cách có trách nhiệm và bền vững vào các hoạt động chăn nuôi.

### *Cần nhắc về phúc lợi động vật*

Các quy trình đánh giá phúc lợi động vật bao gồm cả các chỉ số dựa trên động vật và không dựa trên động vật, tập trung vào các biện pháp đã được xác thực về mặt khoa học nhằm giải quyết tất cả các khía cạnh của phúc lợi (Bozzo và cs., 2021). Dự án Chất lượng Phúc lợi<sup>®</sup> của Liên minh Châu Âu (EU) đã đóng một vai trò quan trọng trong việc xây dựng các quy trình đánh giá phúc lợi tại trang trại, đánh giá việc tuân thủ các nguyên tắc phúc lợi cơ bản như đủ ăn, nhà ở, sức khỏe và hành vi (Blokhuys, 2008). EU đã vạch ra các mục tiêu cụ thể cho ngành chăn nuôi thông qua các sáng kiến như Chiến lược Thỏa thuận Xanh và chiến lược “Từ trang trại đến bàn ăn”. Những mục tiêu này đòi hỏi phải giảm tác động đến môi trường, nâng cao phúc lợi động vật và hạn chế sử dụng thuốc thú y, đặc biệt là thuốc kháng sinh (Bozzo và cs., 2021). Để phù hợp với các cam kết về khí hậu của mình, EU đặt mục tiêu đạt được sự cân bằng về khí hậu vào năm 2050 và giảm lượng khí thải ít nhất 55% vào năm 2030 (Bozzo và cs., 2021). Công nhận động vật là chúng sinh, EU và các quốc gia thành viên có nghĩa vụ pháp lý và đạo đức để ngăn chặn sự ngược đãi và đau khổ (Barzanti, 2013). Sự thừa nhận này nhấn mạnh nhu cầu ngày càng tăng của xã hội trong việc thừa nhận phẩm giá và phúc lợi động vật, vượt qua các quan điểm pháp lý lịch sử (Bozzo và cs., 2021).

PLF, một lĩnh vực mới nổi, đang trải qua những tiến bộ công nghệ nhanh chóng mà không xem xét đến các tác động đạo đức đối với phúc lợi động vật và mối quan hệ giữa con người và động vật. Điều cần thiết là phải đặt câu hỏi về các khía cạnh đạo đức của việc số hóa chăn nuôi hiện đại, đặc biệt liên quan đến mối quan hệ giữa con người và động vật và nguy cơ khách quan hóa (Berckmans, 2013; Yadav và cs., 2022; Van der Burg và cs., 2019).

Mối quan tâm chính về đạo đức là khả năng giảm tương tác giữa con người và động vật do công nghệ chăn nuôi kỹ thuật số, có thể gây ảnh hưởng bất lợi đến phúc lợi động vật. Mối quan hệ chặt chẽ giữa con người và động vật là trọng tâm của hiệu quả canh tác (Yadav và cs., 2022). Việc sử dụng các công cụ kỹ thuật số trong chăn nuôi đang thay đổi các mối quan hệ truyền thống bằng cách giảm sự tham gia trực tiếp của con người vào việc chăm sóc động vật và biến nông dân thành người giám sát. Ví dụ, các hệ thống tự động có thể tước đi sự tiếp xúc vật lý và xã hội hóa cần thiết của động vật, do đó ảnh hưởng đến phúc lợi của chúng. Lấy ví dụ về hệ thống cho ăn tự động ở các trang trại chăn nuôi lợn hoặc gia cầm lớn. Những hệ thống này được thiết kế để cung cấp thức ăn cho động vật một cách hiệu quả mà không cần sự can thiệp trực tiếp của con người. Mặc dù việc tự động hóa này có thể tăng hiệu quả và giảm chi phí lao động nhưng điều đó cũng có nghĩa là người nông dân có ít cơ hội tương tác trực tiếp với động vật hơn. Mối quan hệ chặt chẽ giữa con người và động vật là trung tâm của hiệu quả canh tác. Cụ thể, sự tương tác giữa con người và động vật có lợi cho cả động vật và con người. Đối với động vật, sự tương tác tích cực với người chăm sóc có thể làm giảm mức độ căng thẳng và cải thiện sức khỏe tổng thể. Đối với con người, việc tương tác với động vật có thể mang lại cảm giác thỏa mãn và kết nối với những động vật mà họ chăm sóc (Hackfort, 2021; Neethirajan, 2021). Do đó, điều quan trọng là phải duy trì mối quan hệ giữa con người và động vật và đảm bảo rằng động vật nhận được sự chăm sóc và tương tác xã hội thích hợp bất chấp những tiến bộ kỹ thuật số (Shepherd và cs., 2020; Papst và cs., 2019).

Ngoài ra, có nguy cơ động vật sẽ bị coi là điểm dữ liệu đơn thuần thông qua công nghệ cảm biến và giám sát (Yadav và cs., 2022; Neethirajan, 2021). Công nghệ ghi âm và giám sát thường tập trung vào các khía cạnh có thể định lượng được về hành vi của động vật,

chẳng hạn như mô hình chuyển động, thông số sinh lý hoặc tiếng kêu. Hơn nữa, sự sẵn có và tiên bộ của công nghệ ghi âm và giám sát có thể thúc đẩy các chương trình nghiên cứu và thiên hướng tìm hiểu khoa học về khả năng của công nghệ hơn là nhu cầu và lợi ích của động vật hoặc hệ sinh thái (Van der Burg và cs., 2019). Mặc dù những dữ liệu này có giá trị để hiểu về hệ sinh thái và hành vi của động vật nhưng chúng có thể đơn giản hóa quá mức sự phức tạp của đời sống động vật và các tương tác trong hệ sinh thái của chúng. Việc giải quyết những rủi ro này đòi hỏi một cách tiếp cận đa ngành kết hợp các cân nhắc về đạo đức, các nguyên tắc phúc lợi động vật và hiểu biết rộng hơn về hệ sinh thái và hành vi của động vật (Shepherd và cs., 2020; Papst và cs., 2019). Các nhà nghiên cứu và thực hành phải cố gắng sử dụng có trách nhiệm các công nghệ đo lường và giám sát, thừa nhận giá trị nội tại của động vật và tầm quan trọng của việc duy trì phúc lợi và tính toàn vẹn sinh thái của chúng. Điều quan trọng là phải nhận ra nhu cầu nhạy cảm và phức tạp của động vật và việc áp dụng các công nghệ này không được bỏ qua phúc lợi động vật hoặc làm giảm trách nhiệm của con người đối với chúng.

Việc PLF dựa vào các thuật toán để phân tích dữ liệu và đưa ra quyết định đặt ra các vấn đề về đạo đức vì nó có thể dẫn đến sự phân biệt đối xử và đối xử không công bằng. Các thuật toán được sử dụng trong PLF có thể có sai lệch, do dữ liệu mà chúng được đào tạo hoặc do chính thiết kế của thuật toán (Neethirajan, 2021). Các thuật toán sai lệch có thể dẫn đến đối xử không công bằng với động vật hoặc đưa ra các quyết định không chính xác, ảnh hưởng đến phúc lợi động vật và năng suất trang trại. Đặc biệt, họ có thể bỏ qua sự đa dạng của các giống vật nuôi và những khác biệt trong hành vi của từng cá thể, dẫn đến những dự đoán hoặc quyết định không chính xác. Ngoài ra, sự phức tạp của các thuật toán này có thể gây khó khăn cho việc hiểu quá trình ra quyết định (Yadav và cs., 2022; Van der Burg và cs., 2019). Sự thiếu minh bạch có thể dẫn đến sự ngờ vực giữa các bên liên quan và cản trở trách nhiệm giải trình đối với các quyết định được đưa ra dựa trên thuật toán (Papst và cs., 2019). Đảm bảo tính công bằng, minh bạch và khách quan của các thuật toán thông qua việc kiểm tra và xác nhận thường xuyên là điều cần thiết.

Hơn nữa, một số nghiên cứu đã nhấn mạnh tính đa dạng của hệ thống sản xuất, bao gồm các biến thể về loài, đa dạng di truyền, môi trường nuôi dưỡng và các đặc điểm hành vi cá thể như hành vi cho ăn và uống (Berckmans, 2017; Berckmans, 2013; Schillings và cs., 2021; Miles, 2019; Werkheiser, 2018). Vì vậy, các thiết bị không được thiết kế đặc biệt cho một loài cụ thể hoặc được tái sử dụng cho các loài khác nhau có thể không phải lúc nào cũng phù hợp. Có nguy cơ là các thiết bị như vậy có thể gây tổn hại về mặt vật lý, ví dụ: do mang theo cảm biến nặng hoặc ảnh hưởng đến hành vi của động vật, đặc biệt nếu một con vật mang nhiều thiết bị (Schillings và cs., 2021). Cũng có lo ngại rằng việc áp dụng PLF có thể dẫn đến những điều chỉnh trong quản lý trang trại để phù hợp với công nghệ thay vì ưu tiên phúc lợi động vật. Ví dụ: có thể thực hiện các điều chỉnh như tăng thời gian phơi sáng cho máy ảnh hoặc đơn giản hóa môi trường nhà ở để cải thiện hiệu quả của máy ảnh (Schillings và cs., 2021; Werkheiser, 2018).

### *Tác động môi trường*

Mặc dù chăn nuôi kỹ thuật số hứa hẹn cải thiện tính bền vững của môi trường bằng cách tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và giảm thiểu chất thải, nhưng nó cũng gây ra các vấn đề như tăng mức tiêu thụ năng lượng, chất thải điện tử và lượng khí thải carbon trong sản

xuất, bảo trì và xử lý thiết bị (Berckmans, 2017; Berckmans, 2013; Neethirajan, 2021). Việc sản xuất và bảo trì hệ thống chăn nuôi chính xác (PLF) có thể có tác động gián tiếp đến chất lượng đất và nước thông qua nhiều cơ chế khác nhau. Các chất độc hại, chẳng hạn như carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) và oxit nitơ (N<sub>2</sub>O), có thể được sử dụng trong quá trình sản xuất, có thể gây ô nhiễm đất và nước nếu không được xử lý đúng cách. Trong quá trình bảo trì, việc sử dụng hóa chất có thể thải chất ô nhiễm ra môi trường (Berckmans, 2013; Neethirajan, 2021). Một số khía cạnh của PLF, chẳng hạn như thiết bị và máy móc tự động, có thể góp phần gây ô nhiễm tiếng ồn ở trang trại. Điều này có thể ảnh hưởng đến cả động vật và người dân địa phương nếu không được quản lý đúng cách (Neethirajan, 2021). Hơn nữa, các thiết bị điện tử, cảm biến và hệ thống quản lý dữ liệu khác nhau thường được sử dụng trong chăn nuôi kỹ thuật số. Năng lượng cần thiết để vận hành các thiết bị này, dù là thông qua năng lượng điện trực tiếp hay sử dụng pin. Các trung tâm dữ liệu và máy chủ cần thiết để lưu trữ và xử lý lượng lớn dữ liệu do hệ thống kỹ thuật số tạo ra cũng tiêu thụ một lượng năng lượng đáng kể. Việc tiêu thụ năng lượng liên quan đến các hoạt động này có thể góp phần vào tác động chung đến môi trường, đặc biệt nếu năng lượng đến từ các nguồn không thể tái tạo (Berckmans, 2017; Berckmans, 2013; Van der Burg và cs., 2019). Ngoài ra, các thiết bị PLF, giống như tất cả các thiết bị điện tử, có tuổi thọ giới hạn và cuối cùng sẽ trở nên lỗi thời. Việc tiêu hủy các thiết bị này có thể tạo ra một lượng rác thải điện tử đáng kể nếu không được xử lý một cách có trách nhiệm. Các phương pháp xử lý không đúng cách, chẳng hạn như chôn lấp hoặc đốt, có thể thải ra các chất độc hại vào môi trường và góp phần gây ô nhiễm đất, nước và không khí (Yadav và cs., 2022; Neethirajan, 2021). Việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, xử lý rác thải điện tử đúng cách và giảm tiêu thụ năng lượng là rất quan trọng để giảm tác động tiêu cực đến môi trường (Shepherd và cs., 2020; Papst và cs., 2019).

### **Khung pháp lý về phúc lợi động vật và biến đổi khí hậu**

Lĩnh vực nông nghiệp-thực phẩm đang phát triển nhanh chóng, cùng với tiến bộ và đổi mới công nghệ, càng làm nổi bật thêm sự cần thiết của các sáng kiến về môi trường, xã hội và quản trị (ESG). Xem xét cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, rõ ràng là việc kết hợp các hoạt động công nghiệp vào nông nghiệp và chăn nuôi, cùng với nền giáo dục không đầy đủ và thiếu các quy định pháp lý, có thể tác động đến biến đổi khí hậu. Trong khuôn khổ hội nhập châu Âu và chiến lược đa dạng sinh học đến năm 2030, Liên minh châu Âu đang nỗ lực luật hóa lĩnh vực nông nghiệp-thực phẩm phức tạp và đa cấp. Do đó, để đạt được các Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDG) được nêu trong Chương trình nghị sự 2030, các nỗ lực của tổ chức này hướng tới việc đảm bảo phúc lợi động vật, hạn chế phát thải ô nhiễm công nghiệp và chống phá rừng (European Commission, 2016a).

Cụ thể, liên quan đến các khía cạnh ESG trong lĩnh vực nông nghiệp-thực phẩm, từ góc độ môi trường, tác động của chăn nuôi đến biến đổi khí hậu là rõ ràng. Phát thải khí nhà kính, chất thải của ngành nông nghiệp thực phẩm và ô nhiễm ảnh hưởng đến đa dạng sinh học, tài nguyên thiên nhiên và bảo tồn nước. Từ góc độ xã hội, việc áp dụng các biện pháp tập trung vào việc giải quyết đại dịch và đảm bảo an toàn thực phẩm và thức ăn chăn nuôi, nhằm bảo vệ sức khỏe con người, dinh dưỡng và phúc lợi tổng thể của động vật. Ngoài ra, trong khuôn khổ quản trị doanh nghiệp trong lĩnh vực nông sản thực phẩm, tính minh bạch của hệ thống và quy trình ra quyết định cũng như việc quản lý, giám sát, đánh giá và truy xuất nguồn gốc phúc lợi

động vật được chú trọng. Do đó, rõ ràng là phúc lợi động vật và biến đổi khí hậu hoàn toàn phù hợp với các khía cạnh ESG và các mục tiêu rộng hơn của EU về bền vững môi trường.

Theo Thỏa thuận xanh Châu Âu, Chiến lược đa dạng sinh học của EU và Chiến lược lâm nghiệp mới của EU đến năm 2030, Quy định (EU) 2023/1115 (European Parliament, 2023) đề cập đến các nhà điều hành và thương nhân trong EU, cấm đưa sản phẩm vào thị trường Châu Âu hoặc xuất khẩu một số hàng hóa và sản phẩm nhất định (bao gồm cả gia súc và thức ăn chăn nuôi) được sản xuất trên “đất bị phá rừng” hoặc “đất bị suy thoái”. Mục tiêu của EU là giảm thiểu sự đóng góp của mình vào “xu hướng toàn cầu” về nạn phá rừng và suy thoái rừng, mất đa dạng sinh học và phát thải khí nhà kính.

Quy định (EU) 2016/429 (European Commission, 2016), còn được gọi là “Luật Thú y của EU”, có cơ sở trong các lĩnh vực chăn nuôi và sản xuất thực phẩm, bổ sung và thay thế các quy định hiện hành của EU, cung cấp một văn bản pháp lý duy nhất nhằm mục đích giải quyết bệnh vật nuôi. Cụ thể, nó thiết lập khuôn khổ để kiểm soát, loại trừ và phòng ngừa dịch bệnh cũng như các biện pháp cấm vận chuyển động vật và các thủ tục giết mổ, tiêm chủng hoặc an toàn sinh học trong trường hợp bùng phát dịch bệnh mới. Nó cũng đưa ra các yêu cầu về truy xuất nguồn gốc, nhận dạng và đăng ký cũng như các điều kiện nhập cảnh hoặc di chuyển đối với động vật và sản phẩm động vật ở EU. Các Quốc gia Thành viên và cơ quan có thẩm quyền của quốc gia, những người điều hành chịu trách nhiệm về động vật, cũng như bác sĩ thú y và những người xử lý các tác nhân gây bệnh, vắc xin và các sản phẩm sinh học khác (tức là các phòng thí nghiệm, đơn vị và tổ chức), có trách nhiệm bảo vệ sức khỏe động vật. Cần lưu ý rằng Quy định nói trên có thể không bảo vệ trực tiếp quyền lợi của động vật; tuy nhiên, mối liên hệ gián tiếp giữa sức khỏe động vật và phúc lợi của chúng đã được công nhận. Trong bối cảnh quản lý dịch bệnh tương tự, Quy định (EC) số 999/2001 (European Commission, 2001) thiết lập các quy tắc để phòng ngừa, kiểm soát và loại trừ bệnh xốp não lây truyền (TSE) ở mọi giai đoạn sản xuất, phân phối và xuất khẩu động vật và động vật. các sản phẩm. Để đạt được các mục tiêu do Quy định nói trên đặt ra, các phòng thí nghiệm tham chiếu quốc gia và nghĩa vụ của các Quốc gia Thành viên phải được xác định, các chương trình giám sát, xét nghiệm và phát hiện bệnh (chẳng hạn như BSE hoặc phế liệu) được thực hiện và các thủ tục chia sẻ thông tin với cơ quan có thẩm quyền được thiết lập. đảm bảo thống nhất chấp hành đúng quy định và ứng phó kịp thời với dịch bệnh. Ngoài ra, Chỉ thị 2003/99/EC (European Commission, 2003) về giám sát các bệnh lây truyền từ động vật sang người và các tác nhân gây bệnh từ động vật bổ sung cho các yêu cầu hiện có nhằm tăng cường hệ thống giám sát các bệnh và nhiễm trùng có thể lây truyền trực tiếp hoặc gián tiếp giữa động vật và con người. Để hỗ trợ giám sát và trao đổi thông tin, Hệ thống cảnh báo nhanh về thực phẩm và thức ăn chăn nuôi (RASFF) được triển khai.

Về việc đảm bảo phúc lợi cho động vật, EU đã thiết lập các yêu cầu tuân thủ tối thiểu đối với các Quốc gia Thành viên, cơ quan có thẩm quyền của quốc gia và các cá nhân hoạt động ở từng giai đoạn của chuỗi nông sản thực phẩm, đặc biệt là trong chăn nuôi, giết mổ và vận chuyển động vật. Nền tảng của việc bảo vệ động vật trong quá trình vận chuyển được đặt ra bởi Quy định của Hội đồng (EC) số 1/2005 (European Commission, 2005), quy định việc tuân thủ các biện pháp thực hành thích hợp. Mục đích chính là đáp ứng nhu cầu của động vật, giảm thiểu thời gian hành trình và tránh căng thẳng và chấn thương quá mức. Các nguyên tắc cơ bản chi phối việc vận chuyển động vật có thể được tóm tắt như sau: Thứ nhất,

động vật phải phù hợp để vận chuyển. Phương tiện vận chuyển cho các hành trình đường bộ và đường biển dài phải đáp ứng các tiêu chuẩn thiết kế, xây dựng, bảo trì và vận hành, cùng với việc cung cấp đầy đủ phương tiện bốc dỡ để đảm bảo sức khỏe và an toàn cho động vật. Cần phải kiểm tra trước khi vận chuyển về diện tích sàn đủ và khoảng trống chiều cao của phương tiện vận chuyển cũng như đào tạo đầy đủ nhân viên đi kèm xử lý động vật. Việc kiểm tra thường xuyên trong từng giai đoạn vận chuyển động vật là bắt buộc để đảm bảo phúc lợi cho chúng, bao gồm việc cung cấp liên tục nước, thức ăn và điều kiện nghỉ ngơi. Do đó, người ta hiểu rằng đảm bảo an toàn và sức khỏe động vật là nghĩa vụ đạo đức của các Quốc gia Thành viên, đòi hỏi phải có quy định pháp lý toàn diện để đảm bảo phúc lợi cho động vật.

Các quy định trên của EU được củng cố bởi Quy định (EU) 2017/625 (European Commission, 2017), đưa ra các biện pháp kiểm soát và thực thi chính thức trong toàn bộ chuỗi nông sản-thực phẩm. Cụ thể, nó nhằm mục đích đảm bảo thực hiện đúng pháp luật liên quan đến sức khỏe và phúc lợi động vật, sức khỏe thực vật và các sản phẩm bảo vệ thực vật. Dựa trên nguyên tắc phúc lợi động vật, đạo luật sửa đổi và điều chỉnh khuôn khổ kiểm soát chính thức và hành động của các cơ quan có thẩm quyền quốc gia trong quá trình vận chuyển, chăn nuôi và giết mổ động vật. Cần có sự hợp tác giữa các Quốc gia Thành viên để đảm bảo phúc lợi động vật và do đó, quy định này thiết lập các trung tâm tham chiếu của EU để hỗ trợ các hoạt động kiểm soát chính thức của các Quốc gia Thành viên, cung cấp chuyên môn khoa học và kỹ thuật.

Để tăng cường các quy định pháp lý và đạt được các mục tiêu của EU trong việc bảo vệ sức khỏe động vật và giải quyết vấn đề biến đổi khí hậu, Quy định (EU) 2018/848 (European Commission, 2018) về sản xuất hữu cơ và ghi nhãn các sản phẩm hữu cơ đã được ban hành. Đáng chú ý là nguyên tắc cơ bản của canh tác hữu cơ là đảm bảo tiêu chuẩn cao về điều kiện sống và tôn trọng sức khỏe động vật. Hơn nữa, canh tác hữu cơ tập trung vào giá trị sinh sản, khả năng thích ứng, tuổi thọ, sức sống và khả năng kháng bệnh của động vật.

EU đã xác định các yêu cầu và quy định về số hóa và PLF như một phần của Chính sách nông nghiệp chung (CAP). CAP được cải cách đều đặn, gần đây nhất là cải cách CAP sau năm 2020 (Agriculture and Rural Development, 2024). Mặc dù PLF không được đề cập rõ ràng nhưng CAP nhấn mạnh đến sự đổi mới và tính bền vững trong nông nghiệp. Các yêu cầu về số hóa và PLF ở EU được đưa vào luật bảo vệ dữ liệu, môi trường và nông nghiệp rộng hơn, đã được báo cáo. Ngoài ra, EU tài trợ cho các dự án nghiên cứu và đổi mới thông qua các chương trình như Horizon Europe và Đối tác Đổi mới Nông nghiệp Châu Âu (EIP-AGRI). Các chương trình này hỗ trợ phát triển và áp dụng các công nghệ kỹ thuật số trong nông nghiệp, bao gồm PLF, thông qua tài trợ, trao đổi kiến thức và cơ hội kết nối (Agriculture and Rural Development, 2024). Nhìn chung, các mục tiêu bao quát của EU nhằm thúc đẩy tính bền vững, đổi mới và hiệu quả trong nông nghiệp có thể đóng vai trò là khuôn khổ để thúc đẩy việc tiếp thu các công nghệ PLF ở các Quốc gia Thành viên.

Tóm lại, trong khuôn khổ “Chính sách nông nghiệp chung: 2023–2027” và xem xét các chiến lược “Từ trang trại đến bàn ăn” và Đa dạng sinh học, các quy tắc hỗ trợ các kế hoạch chiến lược của chính sách nông nghiệp chung đã được thiết lập. Đặc biệt, Quy định (EU) 2021/2115 đặt nền tảng cho một mặt cải thiện phúc lợi động vật và chống lại tình trạng kháng kháng sinh, mặt khác hiện đại hóa nông nghiệp thông qua số hóa, đổi mới, tiếp cận nghiên cứu, đào

tạo và trao đổi kiến thức. Đồng thời, mục đích là giảm thiểu và thích ứng với biến đổi khí hậu bằng cách giảm phát thải khí nhà kính, tăng cường hấp thụ carbon dioxide và thúc đẩy năng lượng bền vững.

Dựa trên tài liệu tham khảo mang tính biểu thị ở trên đối với luật pháp của EU, rõ ràng là mặc dù Liên minh Châu Âu đã quy định các yêu cầu tối thiểu đối với các Quốc gia Thành viên, cơ quan có thẩm quyền của quốc gia và các cá nhân liên quan đến việc chăn nuôi, giết mổ và vận chuyển động vật, nhưng khuôn khổ pháp lý của Liên minh này lại chưa đầy đủ. Trong việc đảm bảo đầy đủ phúc lợi của động vật.

### **Đánh giá tính hiện đại của pháp luật EU về phúc lợi động vật và biến đổi khí hậu**

Cần lưu ý rằng nhu cầu bảo vệ pháp lý liên quan đến phúc lợi của động vật đã được công nhận từ năm 1974. Pháp luật hiện hành về bảo vệ động vật trong quá trình vận chuyển (Quy định (EC) số 1255/97 và Quy định (EC) số 1/2005), đã tồn tại được hơn hai thập kỷ, chứng tỏ sự vượt thời gian của nó. Tuy nhiên, những tiến bộ khoa học và công nghệ, những thay đổi trong sở thích xã hội và những thách thức ngày càng tăng về tính bền vững không còn được phản ánh trong các quy định hiện hành. Do đó, nhu cầu về các tiêu chuẩn cao hơn về phúc lợi động vật trong quá trình vận chuyển đã dẫn đến việc đệ trình lên Hội đồng Liên minh Châu Âu một Quy định Đề xuất kể từ ngày 7 tháng 12 năm 2023, liên quan đến việc bảo vệ động vật trong quá trình vận chuyển và các hoạt động liên quan cũng như Quy định sửa đổi (EC) Số 1255/97 của Hội đồng và bãi bỏ Quy định (EC) số 1/2005 của Hội đồng. Mục đích của đề xuất trên là phối hợp với các sáng kiến và chính sách khác của EU liên quan đến động vật cũng như việc vận chuyển chúng. Cụ thể, đề xuất này bao gồm các điều khoản mới và rõ ràng hơn về các quy tắc phúc lợi động vật áp dụng cho việc vận chuyển động vật từ nước thứ ba đến EU và ngược lại (tức là nhập khẩu và xuất khẩu), cũng như các quy tắc bảo vệ dữ liệu (đặc biệt là Dữ liệu chung). Quy định bảo vệ trong khuôn khổ giám sát phương tiện theo thời gian thực.

Thời gian biểu lập pháp của EU thực sự thể hiện các quy định lâu đời về các vấn đề như phúc lợi động vật và quản lý dịch bệnh, đồng thời nhấn mạnh nỗ lực thể chế hóa hơn nữa để hài hòa hoàn toàn với các tiến bộ khoa học và công nghệ của ngành nông nghiệp-thực phẩm. Cụ thể, Quy định (EU) 2018/848 đã củng cố nguyên tắc cơ bản của canh tác hữu cơ, cụ thể là đảm bảo tiêu chuẩn cao về điều kiện sống và tôn trọng sức khỏe động vật. Hơn nữa, với Quy định (EU) 2021/2115, nền tảng đã được đặt ra để cải thiện phúc lợi động vật, hiện đại hóa nông nghiệp và thích ứng với biến đổi khí hậu. Cuối cùng, với Quy định (EU) 2023/1115 gần đây nhất, EU tìm cách giảm thiểu tác động của mình vào nạn phá rừng và suy thoái rừng, mất đa dạng sinh học và phát thải khí nhà kính.

Chương hiện tại, thông qua việc xem xét thư mục và pháp lý, đã chứng minh các xu hướng hiện đại trong lĩnh vực nông nghiệp-thực phẩm, đặc biệt nêu bật những tiến bộ công nghệ thông qua việc triển khai các hệ thống kỹ thuật số đổi mới trong chăn nuôi. Vấn đề phúc lợi động vật chuyển đổi giữa tiến hóa công nghệ và cách tiếp cận lập pháp bảo thủ của EU. Dựa trên phân tích trên, rõ ràng là EU đang tiến triển chậm về mặt quy định pháp lý đối với lĩnh vực nông sản thực phẩm, đặc biệt liên quan đến việc đảm bảo phúc lợi động vật và giảm thiểu biến đổi khí hậu. Với những thách thức trong tương lai liên quan đến tính bền vững và bảo vệ động vật cũng như xem xét tiến bộ khoa học và công nghệ, EU cần có

một “bước nhảy vọt về mặt pháp lý” để hài hòa các thực tiễn và thủ tục hiện có với kỹ nguyên kỹ thuật số.

## KẾT LUẬN

Chăn nuôi chính xác (PLF) đại diện cho một tầm nhìn hấp dẫn về tương lai của nền nông nghiệp bền vững. Nó trình bày một chiến lược dựa trên dữ liệu và công nghệ, cung cấp cách tiếp cận có hệ thống để quản lý và ra quyết định thông qua việc thu thập, xử lý, hiểu và ứng dụng thông tin. Cách tiếp cận này có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc mở rộng chăn nuôi công nghiệp một cách hiệu quả, an toàn và tiết kiệm chi phí cũng như đạt được mục tiêu hiện đại hóa chăn nuôi. Tuy nhiên, việc giải quyết các thách thức liên quan đến chi phí, độ phức tạp và phúc lợi động vật là rất quan trọng để nhận ra toàn bộ tiềm năng của phương pháp này và đảm bảo áp dụng rộng rãi trong ngành chăn nuôi. Do đó, việc tích hợp PLF với các nguyên tắc của nông nghiệp bền vững là một hướng đi đầy hứa hẹn. Nó thể hiện quan điểm rằng công nghệ và tính bền vững có thể bổ sung cho nhau để đáp ứng nhu cầu lương thực của thế giới đồng thời bảo vệ sức khỏe của hành tinh và phúc lợi của cư dân trên đó. Nghiên cứu trong tương lai về PLF nên ưu tiên giao tiếp và hợp tác giữa các tổ chức và liên ngành. Ngoài ra, các khía cạnh khoa học xã hội cần được giải quyết thỏa đáng trong PLF và cần cải thiện việc kết hợp các công nghệ thông minh trong chăn nuôi, tập trung vào phúc lợi động vật và tác động môi trường của chăn nuôi để thúc đẩy tiến bộ bền vững.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Agriculture and Rural Development. 2024. Available online: [https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/9a459d2e-3de0-499e-8b8c-124540e0b9e2\\_en?filename=building-stronger-akis\\_en.pdf](https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/9a459d2e-3de0-499e-8b8c-124540e0b9e2_en?filename=building-stronger-akis_en.pdf) (accessed on 3 April 2024).
- Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V.P., Pragna, P., Lees, A.M. and Sejian, V. 2019. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Res. Vet. Sci.* 126, pp. 94–102. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Banhazi, T., Vranken, E., Berckmans, D. and Rooijackers, L. 2015. 3.4. Word of caution for technology providers: Practical problems associated with large scale deployment of PLF technologies on commercial farms. In *Precision Livestock Farming Applications: Making Sense of Sensors to Support Farm Management*, Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2015, pp. 2–10. (Google Scholar)
- Barrett, H. and Rose, D.C. 2020. Perceptions of the fourth agricultural revolution: What’s In, What’s Out, and What Consequences are Anticipated? *Sociol. Rural* 2020, 62, pp. 162–189. (Google Scholar) (CrossRef)
- Basiricò, L., Bernabucci, U., Morera, P., Lacetera, N. and Nardone, A. 2009. Gene expression and protein secretion of apolipoprotein B100 (ApoB100) in transition dairy cows under hot or thermoneutral environments. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, pp. 592–594. (Google Scholar) (CrossRef)
- Barzanti, F. 2013. La tutela del benessere degli animali nel Trattato di Lisbona. *Riv. Dirit. Agrar.* 1, 49. (Google Scholar)
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B. and Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4, pp. 1167–1183. (Google Scholar) (CrossRef)
- Bernabucci, U., Colavecchia, L., Danieli, P.P., Basirico, L., Lacetera, N., Nardone, A. and Ronchi, B. 2011. Aflatoxin B1 and fumonisin B1 affect the oxidative status of bovine peripheral blood mononuclear cells. *Toxicol. Vitro*, 25, pp. 684–691. (Google Scholar) (CrossRef)



- Bernabucci, U., Lacetera, N., Ronchi, B. and Nardone, A. 2002. Effects of the hot season on milk protein fractions in Holstein cows. *Anim. Res.* 51, pp. 25–33. (Google Scholar) (CrossRef)
- Berckmans, D. 2013. Basic principles of PLF: Gold standard, labelling and field data. In *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF2013, Leuven, Belgium, 10–12 September 2013*, pp. 21–29. (Google Scholar)
- Berckmans, D. 2017. General introduction to precision livestock farming. *Anim. Front.* 7, 6–11. (Google Scholar) (CrossRef)
- Blokhuis, H.J. 2008. International cooperation in animal welfare: The Welfare Quality® project. *Acta Vet. Scand.* 50, S10. (Google Scholar) (CrossRef)
- Boddicker, R.L., Seibert, J.T., Johnson, J.S., Pearce, S.C., Selsby, J.T., Gabler, N.K., Lucy, M.C., Safranski, T.J., Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., et al. 2014. Gestational heat stress alters postnatal offspring body composition indices and metabolic parameters in pigs. *PLoS ONE*, 9, e110859. (Google Scholar) (CrossRef)
- Bozzo, G., Corrente, M., Testa, G., Casalino, G., Dimuccio, M.M., Circella, E., Brescia, N., Barrasso, R. and Celentano, F.E. 2021. Animal Welfare, Health and the Fight against Climate Change: One Solution for Global Objectives. *Agriculture*, 11, 1248. (Google Scholar) (CrossRef)
- Bozzo, G., Di Pinto, A., Bonerba, E., Ceci, E., Mottola, A., Roma, R., Capozza, P., Samoilis, G., Tantillo, G. and Celano, G.V. 2017. Kosher slaughter paradigms: Evaluation of slaughterhouse inspection procedures. *Meat Sci*, 128, 30–33. (Google Scholar) (CrossRef)
- Butler, D. and Holloway, L. 2016. Technology and restructuring the social field of dairy farming: Hybrid capitals, ‘stockmanship’ and automatic milking systems. *Sociol. Rural.* 56, 513–530. (Google Scholar) (CrossRef)
- Capper, J.L., Cady, R.A. and Bauman, D.E. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* 87, 2160–2167. (Google Scholar) (CrossRef)
- Caulfield, M.P., Cambridge, H., Foster, S.F. and McGreevy, P.D. 2014. Heat stress: A major contributor to poor animal welfare associated with long-haul live export voyages. *Vet. J.* 2014, 199, 223–228. (Google Scholar) (CrossRef)
- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M. and Palmer, T.M. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sci. Adv.* 1, e1400253. (Google Scholar) (CrossRef)
- Collins, T., Hampton, J.O. and Barnes, A.L. 2018. A systematic review of heat load in Australian livestock transported by sea. *Animals*, 8, 164. (Google Scholar) (CrossRef)
- Cook, N.B. and Nordlund, K.V. 2009. The influence of the environment on dairy cow behavior, claw health and herd lameness dynamics. *Vet. J.* 179, 360–369. (Google Scholar) (CrossRef)
- Dahl, G.E., Tao, S. and Monteiro, A.P.A. 2016. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.* 99, 3193–3198. (Google Scholar) (CrossRef)
- Denadai, J.C., Mendes, A.A., Garcia, R.G., Almeida, I.L., Moreira, J., Takita, T.S., Pavan, A.C. and Garcia, E.A. 2002. Effect of feed and water withdrawal on carcass yield and breast meat quality of broilers. *Braz. J. Poult. Sci.* 4, 101–109. (Google Scholar) (CrossRef)
- Dopelt, K., Radon, P. and Davidovitch, N. 2019. Environmental Effects of the Livestock Industry: The Relationship between Knowledge, Attitudes, and Behavior among Students in Israel. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 1359. (Google Scholar) (CrossRef)
- European Commission. 2001. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Off. J. Eur. Union*, 147, 1–40. (Google Scholar)

- European Commission. 2003. Directive 2003/99/EC of the European Parliament and of the Council of 17 November 2003 on the monitoring of zoonoses and zoonotic agents, amending Council Decision 90/424/EEC and repealing Council Directive 92/117/EEC. *Off. J. Eur. Union*, 325, 31–40. (Google Scholar)
- European Commission. 2005. Council Regulation (EC) No 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations and amending Directives 64/432/EEC and 93/119/EC and Regulation (EC) No 1255/97. *Off. J. Eur. Union*, 3, 1–44. (Google Scholar)
- European Commission. 2016. Regulation (EU) 2016/429 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on transmissible animal diseases and amending and repealing certain acts in the area of animal health ('Animal Health Law'). *Off. J. Eur. Union*, 59, 1–208. (Google Scholar)
- European Commission. 2016a. Sustainable Development: EU Sets Out Its Priorities (22 November 2016). Available online: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_16\\_3883](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_16_3883) (accessed on 5 March 2024).
- European Commission. 2017. Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the application of food and feed law, rules on animal health and welfare, plant health and plant protection products, amending Regulations (EC) No 999/2001, (EC) No 396/2005, (EC) No 1069/2009, (EC) No 1107/2009, (EU) No 1151/2012, (EU) No 652/2014, (EU) 2016/429 and (EU) 2016/2031 of the European Parliament and of the Council, Council Regulations (EC) No 1/2005 and (EC) No 1099/2009 and Council Directives 98/58/EC, 1999/74/EC, 2007/43/EC, 2008/119/EC and 2008/120/EC, and repealing Regulations (EC) No 854/2004 and (EC) No 882/2004 of the European Parliament and of the Council, Council Directives 89/608/EEC, 89/662/EEC, 90/425/EEC, 91/496/EEC, 96/23/EC, 96/93/EC and 97/78/EC and Council Decision 92/438/EEC (Official Controls Regulation). *Off. J. Eur. Union*, 95, 1–142. (Google Scholar)
- European Commission. 2018. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. *Off. J. Eur. Union*, 150, 1–92. (Google Scholar)
- European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on the making available on the Union market and the export from the Union of certain commodities and products associated with deforestation and forest degradation and repealing Regulation (EU) No 995/2010. *Off. J. Eur. Union* 2023, 150, 206–247. (Google Scholar)
- EU-PLF Project. 2016. Bright Farm by Precision Livestock Farming, Grant Agreement no: 311825, Final report, Katholieke Universiteit Leuven: Leuven, Belgium, 2016. (Google Scholar)
- Fielke, S., Taylor, B.M. and Jakku, E. 2020. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. *Agric. Syst.* 180, 102763. (Google Scholar) (CrossRef)
- Forastiere, F. 2010. Climate change and health: A challenge for epidemiology and public health. *Int. J. Public Health*, 55, 83–84. (Google Scholar) (CrossRef)
- Gebreyes, W.A., Dupouy-Camet, J., Newport, M.J., Oliveira, C.J., Schlesinger, L.S., Saif, Y.M., Kariuki, S., Saif, L.J., Saville, W., Wittum, T., và cs. 2014. The global one health paradigm: Challenges and opportunities for tackling infectious diseases at the human, animal, and environment interface in low resource settings. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8, e3257. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Godde, C.M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D.E., Thornton, P.K. and Herrero, M. 2021. Impacts of climate change on the livestock food supply chain, a review of the evidence. *Glob. Food Sec.* 28, 100488. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Goodland, R. and Anhang, J. 2009. *Livestock and Climate Change: What If the Key Actors in Climate Change Are... Cows, Pigs, and Chickens?* World Watch, World Bank Group: Washington, DC, USA, 2009, pp. 10–19. (Google Scholar)

- Gonzalez-Rivas, P.A., Chauhan, S.S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F.R. and Warner, R.D. 2020. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci.* 162, 108025. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Gomes, A.S., Quinteiro-Filho, W.M., Ribeiro, A., Ferraz-de-Paula, V., Pinheiro, M.L., Baskeville, E., Akamine, A.T., Astolfi-Ferreira, A.P. and Palermo-Neto, J. 2014. Overcrowding stress decreases 14 macrophage activity and increases *Salmonella enteritidis* invasion in broiler chickens. *Avian Pathol.* 43, 82–90. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A. and Williams, A. 2018. Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Anim. Front.* 9, pp. 69–76. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S. and Mittal, S. 2020. Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. *IEEE Access.* 8, pp. 34564–34584. (Google Scholar) (CrossRef)
- Hackfort, S. 2021. Patterns of Inequalities in Digital Agriculture: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2021, 13, 12345. (Google Scholar) (CrossRef)
- Hazrati, M., Dara, R. and Kaur, J. 2022. On-farm data security: Practical recommendations for securing farm data. *Front. Sustain. Food Syst.* 6, 884187. (Google Scholar) (CrossRef)
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A.M., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D. and Obersteiner, M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 110, 20888. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Hirakawa, R., Nurjanah, S., Furukawa, K., Murai, A., Kikusato, M., Nochi, T. and Toyomizu, M. 2020. Heat stress causes immune abnormalities via massive damage to effect proliferation and differentiation of lymphocytes in broiler chickens. *Front. Vet. Sci.* 7, 46. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Ilea, R.C. 2009. Intensive livestock farming: Global trends, increased environmental concerns, and ethical solutions. *J. Agric. Environ. Ethics*, 22, 153–167. (Google Scholar) (CrossRef)
- Johnson, J.S., Sanz Fernandez, M.V., Patience, J.F., Ross, J.W., Gabler, N.K., Lucy, M.C., Safranski, T.J., Rhoads, R.P. and Baumgard, L.H. 2015. Effects of in utero heat stress on postnatal body composition in pigs: II. Finishing phase. *J. Anim. Sci.* 93, 82–92. (Google Scholar) (CrossRef)
- Jouanjean, M.A., Casalini, F., Wiseman, L. and Gray, E. 2020. Issues Around Data Governance in the Digital Transformation of Agriculture: The Farmers' Perspective, OECD Publishing: Paris, France, 2020. (Google Scholar)
- Kamphuis, C., Steeneveld, W. and Hogeveen, H. 2019. Economic modelling to evaluate the benefits of precision livestock farming technologies. In *Precision Livestock Farming Applications: Making Sense of Sensors to Support Farm Management*, Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2015, pp. 163–171. (Google Scholar)
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P. 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and T agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS Wagening. J. Life Sci.* 2019, 90–91, 100315. (Google Scholar) (CrossRef)
- Knight, B. and Malcolm, B. 2009. A whole-farm investment analysis of some precision agriculture technologies. *AFBM J.* 2009, 6, 41–54. (Google Scholar)
- Kuch, D., Kearnes, M. and Gulson, K. 2020. The promise of precision: Datafication in medicine, agriculture and education. *Policy Stud.* 2020, 41, 527–546. (Google Scholar) (CrossRef)
- Lacetera, N. 2018. Impact of climate change on animal health and welfare. *Anim. Front.* 2018, 9, 26–31. (Google Scholar) (CrossRef)
- Leitzmann, C. 2003. Nutrition ecology: The contribution of vegetarian diets. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003, 78, 657S–659S. (Google Scholar) (CrossRef)

- Leytem, A.B., Dungan, R.S., Bjorneberg, D.L. and Koehn, A.C. 2011. Emissions of ammonia, methane, carbon dioxide, and nitrous oxide from dairy cattle housing and manure management systems. *J. Environ. Qual.* 2011, 40, 1383–1394. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Mashaly, M.M., Hendricks, G.L., Kalama, M.A., Gehad, A.E., Abbas, A.O. and Patterson, P.H. 2004. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. *Poult. Sci.* 2004, 83, 889–894. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- McMichael, A.J., Powles, J.W., Butler, C.D. and Uauy, R. 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet* 2007, 370, 1253–1263. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Miles, C. 2019. The combine will tell the truth: On precision agriculture and algorithmic rationality. *Big Data Soc.* 2019, 6, 1–12. (Google Scholar) (CrossRef)
- Monteiro, A.P.A., Tao, S., Thompson, I.M.T. and Dahl, G.E. 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *J. Dairy Sci.* 2016, 99, 8443–8450. (Google Scholar) (CrossRef)
- Mostert, P.F., Bokkers, E.A., de Boer, I.M. and van Middelaar, C.E. 2019. Estimating the impact of clinical mastitis in dairy cows on greenhouse gas emissions using a dynamic stochastic simulation model: A case study. *Animal* 2019, 13, 2913–2961. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Mostert, P.F., van Middelaar, C.E., Bokkers, E.M. and de Boer, I.M. 2018. The impact of subclinical ketosis in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *J. Clean. Prod.* 2018, 171, 773–782. (Google Scholar) (CrossRef)
- Muluneh, M.G. 2021. Impact of climate change on biodiversity and food security: A global perspective—A review article. *Agric. Food Secur.* 2021, 10, 36. (Google Scholar) (CrossRef)
- Nawab, A., Ibtisham, F., Li, G., Kieser, B., Wu, J., Liu, W., Zhao, Y., Nawab, Y., Li, K., Xiao, M., et al. 2018. Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. *J. Therm. Biol.* 2018, 78, 131–139. (Google Scholar) (CrossRef)
- Neethirajan, S. 2021. Is Seeing Still Believing? Leveraging Deepfake Technology for Livestock Farming. *Front. Vet. Sci.* 2021, 8, 740253. (Google Scholar)
- Oppenlander, R. 2013. *Food Choice and Sustainability: Why Buying Local, Eating Less Meat, and Taking Baby Steps Won't Work*, Hillcrest Publishing Group: Minneapolis, MN, USA, 2013. (Google Scholar)
- Papatsiros, V.G., Katsogiannou, E.G., Papakonstantinou, G., Michel, A., Petrotos, K. and Athanasiou, L.V. 2022. Effects of Phenolic Phytogetic Feed Additives on Certain Oxidative Damage Biomarkers and the Performance of Primiparous Sows Exposed to Heat Stress under Field Conditions. *Antioxidants* 2022, 11, 593. (Google Scholar) (CrossRef)
- Papst, F., Saukh, O., Römer, K., Grandl, F., Jakovljevic, I., Steininger, F., Mayerhofer, M., Duda, J. and Egger-Danner, C. 2019. Embracing Opportunities of Livestock Big Data Integration with Privacy Constraints. In *Proceedings of the 9th International Conference on the Internet of Things*, Bilbao, Spain, 22–25 October 2019, Volume 27, pp. 1–4. (Google Scholar)
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A.G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 2017, 100, 8645–8657. (Google Scholar) (CrossRef)
- Rashamol, V.P., Sejian, V., Pragna, P., Lees, A.M., Bagath, M., Krishnan, G., Gaughan, J.B. 2019. Prediction models, assessment methodologies and biotechnological tools to quantify heat stress response in ruminant livestock. *Int. J. Biometeorol.* 2019, 63, 1265–1281. (Google Scholar) (CrossRef)
- Rauw, W.M., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E.N., Grommers, F.J. 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: A review. *Livest. Prod. Sci.* 1998, 56, 15–33. (Google Scholar) (CrossRef)

- Rose, D.C., Morris, C., Lobley, M., Winter, M., Sutherland, W.J., Dicks, L.V. 2018. Exploring the spatialities of technological and user re-scripting: The case of decision support tools in UK agriculture. *Geoforum* 2018, 89, 11–18. (Google Scholar) (CrossRef)
- Russell, S. 2014. World Resources Institute. Everything You Need to Know about Agricultural Emissions. Available online: <http://www.wri.org/blog/2014/05/everything-you-need-know-about-agricultural-emissions> (accessed on 24 November 2018).
- Shepherd, M., Turner, J.A., Small, B., Wheeler, D. 2020. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. *J. Sci. Food Agric.* 2020, 100, 5083–5092. (Google Scholar) (CrossRef)
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. *Livestock’s Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2006, pp. 1–392. (Google Scholar)
- Shields, S., Orme-Evans, G. 2015. The Impacts of Climate Change Mitigation Strategies on Animal Welfare. *Animals* 2015, 5, 361–394. (Google Scholar) (CrossRef)
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, E52–E77. (Google Scholar) (CrossRef)
- Saeed, M., Abbas, G., Alagawany, M., Kamboh, A.A., Abd El-Hack, M.E., Khafaga, A.F., Chao, S. 2019. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. *J. Therm. Biol.* 2019, 84, 414–425. (Google Scholar) (CrossRef)
- Sevi, A., Caroprese, M. 2012. Impact of heat stress on milk production, immunity and udder health in sheep: A critical review. *Small Rumin. Res.* 2012, 107, 1–7. (Google Scholar) (CrossRef)
- Sapolsky, R.M., Romero, L.M., Munck, A.U. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr. Rev.* 2000, 21, 55–89. (Google Scholar) (PubMed)
- Schillings, J., Bennett, R., Rose, D.C. 2021. Animal welfare and other ethical implications of Precision Livestock Farming technology. *CABI Agric. Biosci.* 2021, 2, 17. (Google Scholar) (CrossRef)
- Van der Burg, S., Bogaardt, M.-J., Sjaak, W. 2019. Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS—Wagening. J. Life Sci.* 2019, 90–91, 100289. (Google Scholar) (CrossRef)
- Wathes, C.M., Kristensen, H.H., Aerts, J.M., Berckmans, D. 2008. Is precision livestock farming an engineer’s daydream or nightmare, an animal’s friend or foe, and a farmer’s panacea or pitfall? *Comput. Electron. Agric.* 2008, 64, 2–10. (Google Scholar) (CrossRef)
- Werkheiser, I. 2018. Precision livestock farming and farmers’ duties to livestock. *J. Agric. Environ. Ethics* 2018, 31, 181–195. (Google Scholar) (CrossRef)
- Werkheiser, I. 2020. Technology and responsibility: A discussion of underexamined risks and concerns in Precision Livestock Farming. *Anim. Front.* 2020, 10, 51–57. (Google Scholar) (CrossRef)
- Wiseman, L., Sanderson, J., Zhang, A., Jakku, E. 2019. Farmers and their data: An examination of farmers’ reluctance to share their data through the lens of the laws impacting smart farming. *NJAS Wageningen J. Life Sci.* 2019, 90–91, 100301. (Google Scholar) (CrossRef)
- Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Sala, E. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 2006, 314, 787–790. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)
- Yadav, S., Kaushik, A., Sharma, M., Sharma, S. 2022. Disruptive Technologies in Smart Farming: An Expanded View with Sentiment Analysis. *Agric. Eng.* 2022, 4, 424–460. (Google Scholar) (CrossRef)

Yang, W., Edwards, J.P., Eastwood, C.R., Rue, B.T.D., Renwick, A. 2021. Analysis of adoption trends of in-parlor technologies over a 10-year period for labor saving and data capture on pasture-based dairy farms. *J. Dairy Sci.* 2021, 104, 431–442. (Google Scholar) (CrossRef) (PubMed)

## ABSTRACT

### **Applications and Challenges of Animal Welfare and Climate Change**

This review aims to examine recent developments in the agri-food industry, focusing on the integration of innovative digital systems into the livestock industry. Over the last 50 years, the production of animal-based foods has increased significantly due to the rising demand for meat. As a result, farms have increased their livestock numbers to meet consumer demand, which has exacerbated challenges related to environmental sustainability, human health, and animal welfare. In response to these challenges, precision livestock farming (PLF) technologies have emerged as a promising solution for sustainable livestock production. PLF technologies offer farmers the opportunity to increase efficiency while mitigating environmental impact, securing livelihoods, and promoting animal health and welfare. However, the adoption of PLF technologies poses several challenges for farmers and raises animal welfare concerns. Additionally, the existing legal framework for the use of PLF technologies is discussed. In summary, further research is needed to advance the scientific understanding of PLF technologies, and stakeholders, including researchers, policymakers, and funders, need to prioritize ethical considerations related to their implementation.

**Keywords:** *animal welfare; farming; legislation; livestock; precision; technology*

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 30/6/2024