

CÔN TRÙNG NHƯ MỘT DẠNG “GIA SÚC THU NHỎ”: XEM XÉT PHÚC LỢI CÔN TRÙNG TRONG SẢN XUẤT THỨC ĂN CHĂN NUÔI

Tác giả:

Anna Voulgari-Kokotaa, Martijn S. van Loonb and Bernice Bovenkerkb

Tạp chí:

Impact in agricultural and life sciences 2023, vol. 95, no. 1, 2191797

DOI:

<https://doi.org/10.1080/27685241.2023.2191797>

Giấy phép sử dụng:

Bài báo gốc được xuất bản theo giấy phép Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Theo giấy phép này, người dùng được phép sao chép, phân phối, chuyển ngữ và tạo tác phẩm phái sinh, kể cả cho mục đích thương mại, với điều kiện ghi rõ tác giả gốc, nguồn xuất bản, giấy phép sử dụng và nêu rõ đây là bản dịch hoặc tác phẩm phái sinh. Chi tiết giấy phép tại: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Bản dịch tiếng Việt:

Người dịch: Huỳnh Nguyễn Nguyên Hạ

Ngày hoàn thành: 14/08/2026

Original Article:

Insects as mini-livestock: Considering insect welfare in feed production

Authors:

Anna Voulgari-Kokotaa, Martijn S. van Loonb and Bernice Bovenkerkb

Journal:

Impact in agricultural and life sciences 2023, vol. 95, no. 1, 2191797

DOI:

<https://doi.org/10.1080/27685241.2023.2191797>

License:

The original article is published under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. This license permits copying, redistribution, translation, adaptation, and commercial use, provided that appropriate credit is given to the original authors, the source is cited, the CC BY 4.0 license is acknowledged, and any changes or translation are clearly indicated. Full license: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Vietnamese Translation:

Translator: Huỳnh Nguyễn Nguyễn Hạ

Completion date: August 14th , 2026

1. GIỚI THIỆU

Sản xuất chăn nuôi đòi hỏi 33% diện tích đất nông nghiệp của thế giới để sản xuất thức ăn chăn nuôi (Gerber et al., 2013). Thức ăn từ côn trùng, vốn mới được cấp phép sử dụng trong thức ăn cho gia cầm và lợn tại EU năm 2021, có yêu cầu về tài nguyên thấp hơn đáng kể và có thể góp phần giảm phát thải khí nhà kính (van Huis & Gasco, 2023). Đồng thời, một số loài côn trùng có thể được nuôi bằng các dòng chất thải hữu cơ còn lại của ngành nông nghiệp để đạt được mục tiêu sử dụng tài nguyên theo vòng tuần hoàn (van Huis et al., 2013). Do đó, việc sử dụng côn trùng làm thức ăn chăn nuôi thường được coi là một giải pháp thay thế tốt và bền vững cho sản xuất thức ăn chăn nuôi truyền thống (Dicke, 2018). Trong khi sản xuất côn trùng quy mô lớn đang phát triển nhanh chóng để đáp ứng xu hướng đổi mới đầy hứa hẹn này, việc sử dụng côn trùng như động vật sản xuất lại đặt ra những cân nhắc đạo đức về tác động môi trường, chất lượng sản phẩm và việc tôn trọng phúc lợi động vật trong các cơ sở như vậy (Gjerris et al., 2016). Trong bài báo này, chúng tôi đề cập đến vấn đề phúc lợi, đồng thời thảo luận về các khía cạnh đạo đức và thực nghiệm của các điều kiện sản xuất phù hợp.

Không giống như các loài động vật khác được sử dụng trong các hoạt động kinh tế, loài côn trùng thường xuyên thoát khỏi sự suy xét về mặt đạo đức. Loo và Sellbach (2013) gọi côn trùng là "phần thừa của sản xuất nông nghiệp" và do đó cũng là "phần thừa của đạo đức học động vật". Để tránh những sai lầm về đạo đức đã từng xảy ra trong quá khứ với việc khai thác động vật có xương sống, chúng tôi kêu gọi một nỗ lực chung kết hợp sinh học và đạo đức học nhằm đề xuất một chương trình nghiên cứu liên ngành (Webster, 1998), coi đây là điều cần thiết cho sự hình thành một quan điểm mới, được thông tin đầy đủ và tích hợp về phúc lợi côn trùng — độc lập với các cân nhắc kinh tế và tinh thần khởi nghiệp — nhằm đồng hành cùng ngành thức ăn côn trùng đang phát triển.

Trong số các loài côn trùng có tiềm năng được nuôi làm thức ăn chăn nuôi, ruồi lính đen (*Hermetia illucens*), ruồi nhà (*Musca domestica*) và các loại sâu bột như sâu bột vàng (*Tenebrio molitor*) hiện là những loài được sử dụng chủ yếu (van Huis & Gasco, 2023). Sự quan tâm của giới học thuật đã tăng lên đáng kể trong những năm gần đây, khi 80–90% tổng số ấn phẩm liên quan đến chủ đề này được công bố trong sáu năm qua, trong đó ruồi lính đen hiện dẫn đầu trong tài liệu về côn trùng làm thực phẩm và thức ăn chăn nuôi (Van Huis, 2023). Trước sự đa dạng to lớn trong lớp Côn trùng (Insecta), chúng tôi cho rằng phúc lợi côn trùng cần được xem xét theo đặc điểm riêng của từng loài. Vì lý do đó, chúng tôi sẽ tập trung vào ruồi lính đen (*Hermetia illucens*) và ruồi nhà (*Musca domestica*). Chúng tôi xem xét hai loài này cùng nhau vì chúng có vòng đời tương tự nhau về thời gian và các giai đoạn phát triển, cũng như có quan hệ phát sinh chủng loài gần gũi (bộ Hai cánh – Diptera) (Kortsmits et al., 2022). Ngoài ra, cả hai loài đang nhanh chóng phát triển thành vật nuôi cỡ

nhỏ nhờ khả năng chuyển hóa các dòng chất thải hữu cơ còn lại từ nông nghiệp thành protein động vật có giá trị dinh dưỡng cao (Barragan-Fonseca et al., 2017), qua đó tạo ra việc sử dụng tài nguyên theo vòng tuần hoàn (van Zanten et al., 2015). Chúng tôi cũng sẽ tham khảo ở một mức độ nhất định các tài liệu về những loài côn trùng khác đã được nghiên cứu sâu rộng hơn, chủ yếu là các loài ruồi khác như *Drosophila* và các loài ong đã được nghiên cứu về khả năng cảm nhận, nhằm mượn các câu hỏi nghiên cứu và giả thuyết cần được kiểm chứng để đưa ra các quy định phúc lợi chính xác.

Sản xuất côn trùng không phải là một ý tưởng mới. Côn trùng làm thực phẩm cho con người, thức ăn chăn nuôi và thức ăn cho thú cưng đã được sản xuất tại nhiều cơ sở, cả lớn lẫn nhỏ, trong nhiều năm trên khắp thế giới. Nhìn chung, con người từ lâu đã nhận ra tiềm năng to lớn của các dịch vụ và sản phẩm mà côn trùng mang lại. Boppré và Vane-Wright (2019) đưa ra một tổng quan sâu rộng về các ví dụ lịch sử và đương đại như vậy, bao gồm mật ong và tơ lụa, cũng như việc thụ phấn cho cây trồng và dọn dẹp chất thải, minh họa giá trị công cụ và kinh tế to lớn của côn trùng. Tuy nhiên, xét về mặt đạo đức, vẫn chưa rõ côn trùng nên được nhìn nhận giá trị như thế nào. Theo truyền thống, động vật không xương sống, bao gồm cả côn trùng, thường bị cho là không đáp ứng các tiêu chí phù hợp để được xem xét về mặt đạo đức. Lý do là vì thiếu sự đồng thuận về việc liệu côn trùng có phải là "sinh vật có tri giác" hay không, cũng như về khả năng (được cho là không có) trải nghiệm cảm xúc của chúng (Allen-Hermanson, 2008). Hơn nữa, có những trường hợp mà khi thảo luận về việc nuôi côn trùng, người ta tránh gọi côn trùng là động vật mà thay vào đó gọi chúng là sản phẩm (Santaoja & Niva, 2019). Tuy nhiên, van Huis đã đề cập trong bài xã luận năm 2019 của ông về phúc lợi của côn trùng nuôi rằng, mặc dù trước khi ngành công nghiệp sử dụng côn trùng làm thực phẩm và thức ăn chăn nuôi xuất hiện, chưa từng có ai quan tâm đến phúc lợi côn trùng, nhưng tình hình đã bắt đầu thay đổi. Ông cho rằng điều này bắt nguồn từ việc con người liên hệ côn trùng với những gì họ coi là vật nuôi "thông thường" (van Huis, 2019). Do đó, chúng tôi tin rằng việc nuôi côn trùng như động vật sản xuất cũng nên đặt ra những câu hỏi tương tự như những câu hỏi đã từng được đặt ra đối với vật nuôi thông thường.

Về mặt lịch sử, những thay đổi trong nhận thức về việc đối xử có đạo đức với động vật đã dẫn đến sự ra đời của các tiêu chuẩn phúc lợi động vật vào những năm 1960, áp dụng cho các loài động vật có xương sống được nuôi trong điều kiện công nghiệp thâm canh (Brambell, 1965). Tuy nhiên, những cân nhắc đạo đức về phúc lợi và sự an lành của động vật gần đây mới được mở rộng sang cá (Bovenkerk & Meijboom, 2013), cũng như một số nhóm động vật không xương sống nhất định (ví dụ: động vật chân đầu, giáp xác mười chân), qua đó đưa côn trùng vào phạm vi quan tâm đạo đức của chúng ta (Barrett et al., 2022; Boppré & Vane-Wright, 2019; Drinkwater et al., 2019; Mather, 2001; Singer, 2016). Tuy nhiên, những mối quan tâm này vẫn chưa được chuyển hóa thành luật pháp, ngoại trừ một

số quy định ở cấp quốc gia (xem Lotta, 2019). Trong bối cảnh thiếu các quy định chính thức dành cho côn trùng, các nhà sản xuất côn trùng đã tự phát triển các thực hành sản xuất riêng (Barrett et al., 2022; De Goede et al., 2013; Erens et al., 2012). Các nhà sản xuất côn trùng không chỉ phải tìm ra cách chăm sóc vật nuôi cỡ nhỏ của mình, mà còn phải cân nhắc xem liệu việc chăm sóc đó có thực sự cần thiết hay không (Bear, 2021). Hơn nữa, khuôn khổ hiện có để bảo vệ phúc lợi côn trùng trong hầu hết các trường hợp là khái niệm Năm Quyền Tự do (Five Freedoms) của Brambell (De Goede et al., 2013; Erens et al., 2012; Hội đồng các Vấn đề Động vật Hà Lan, 2018; van Huis et al., 2013), vốn tồn tại một số hạn chế quan trọng (xem Hộp). Thứ nhất, việc áp dụng các khái niệm phúc lợi động vật vốn được thiết kế ban đầu cho vật nuôi thông thường

Bảng 1. Yêu cầu về phúc lợi động vật: một bản tóm tắt ngắn gọn.

Ủy ban Brambell được chính phủ Anh thành lập nhằm đáp ứng những lo ngại của công chúng sau khi cuốn sách *Animal Machines* của Ruth Harrison được xuất bản, trong đó mô tả điều kiện sống của động vật trong các hệ thống sản xuất hiện đại. Các kết quả trong Báo cáo Brambell đã được phát triển thành cái gọi là Năm Quyền Tự do bởi Hội đồng Phúc lợi Động vật Nông trại (FAWC). Những quyền tự do này nhằm bảo vệ động vật khỏi: (1) khát, đói và suy dinh dưỡng; (2) khó chịu về thể chất và sinh lý; (3) đau đớn, thương tích và bệnh tật; (4) sợ hãi, đau khổ và căng thẳng mãn tính; (5) bị hạn chế hành vi tự nhiên. Những quyền tự do này đã ảnh hưởng đến các quy định phúc lợi động vật của châu Âu, khi khái niệm này trở thành cơ sở cho các quyết định quản lý (Simonin & Gavinelli, 2019). Hội đồng các Vấn đề Động vật Hà Lan (2018) khẳng định rằng các yêu cầu phúc lợi đối với côn trùng cũng nên tuân theo khái niệm Năm Quyền Tự do này.

Tuy nhiên, khái niệm này cũng vấp phải chỉ trích vì những hạn chế của nó, liên quan đến các giả định chuẩn tắc làm nền tảng cho các phép đo (được cho là) khách quan về phúc lợi động vật. Cụ thể, phúc lợi được hiểu theo hướng tiêu cực, chỉ giới hạn ở việc không có các trạng thái tiêu cực (Korte et al., 2007; Mellor, 2016a, 2016b; Mellor & Beausoleil, 2015; Yeates & Main, 2008). Cách tiếp cận phúc lợi kiểu này bị phê phán vì chấp nhận hầu hết mọi cách sử dụng động vật, miễn là giảm thiểu được đau đớn và khổ sở (Haynes, 2011). Hơn nữa, nó loại trừ những định nghĩa phúc lợi tập trung vào toàn bộ quá trình sống của động vật cũng như một phổ rộng các hành vi tự nhiên (Fraser et al., 1997). Ví dụ, cái gọi là "mô hình cân bằng nội môi thích ứng" (allostasis) cho thấy khả năng thích nghi và thay đổi là những yếu tố quyết định quan trọng đối với phúc lợi, và do đó khái niệm Năm Quyền Tự do là quá tĩnh (Korte et al., 2007; McEwen & Wingfield, 2003). Các tác nhân gây căng thẳng ngắn hạn không nhất thiết là vấn đề, miễn là con vật nhanh chóng trở lại mức phúc lợi cơ bản sau khi bị xáo trộn; việc thách thức động vật bằng cách cho chúng

tiếp xúc với môi trường đa dạng nhiều khả năng góp phần tạo nên phúc lợi tích cực (Mellor & Beausoleil, 2015, tr. 245; Spinka & Wemelsfelder, 2011, tr. 27). Khả năng thực hiện tính chủ động của bản thân (Wemelsfelder, 1997) mang lại trải nghiệm tích cực về cảm giác kiểm soát (Mellor & Beausoleil, 2015, tr. 247).

Mellor và Beausoleil (2015) đề xuất một mô hình thay thế cho Năm Quyền Tự do – "mô hình Năm Lĩnh vực mở rộng" (extended Five Domains) – vốn chi tiết hơn, có tính đến phúc lợi tích cực, xem xét cả phúc lợi tại một thời điểm cụ thể lẫn phúc lợi trong một giai đoạn dài hơn, đồng thời phân biệt giữa các loài động vật khác nhau, các giai đoạn vòng đời và các bối cảnh nuôi giữ khác nhau (ví dụ: trang trại, vườn thú, thú cưng). Một sáng kiến khác nhằm bao gồm một phạm vi tiêu chí rộng hơn, đặc biệt là phúc lợi tích cực cũng như các tham số theo ngữ cảnh (Blokhuys et al., 2010), được đưa ra bởi Mạng lưới Chất lượng Phúc lợi (Welfare Quality Network) (Blokhuys et al., 2013). Ví dụ, khi xem xét phúc lợi của ấu trùng ruồi, có thể sẽ hữu ích nếu ưu tiên các yếu tố như sở thích về chất nền, hoặc các điều kiện phi sinh học mô phỏng chu kỳ ngày đêm tự nhiên (nhiệt độ dao động và mức độ chiếu sáng thay đổi). Cách tiếp cận như vậy nhiều khả năng sẽ khác với cách tiếp cận chỉ tập trung vào việc tối đa hóa tăng trưởng, vốn có thể không phù hợp với môi trường tự nhiên, hành vi và nhu cầu của động vật.

Việc đưa vào một phạm vi rộng hơn gồm cả các hiệu ứng tiêu cực lẫn tích cực đã chuyển trọng tâm từ việc chỉ đảm bảo các điều kiện tối thiểu sang việc làm giàu môi trường sống. Ví dụ, Mallory et al. (2016) đã chỉ ra rằng việc làm giàu môi trường ảnh hưởng đến trí nhớ của dế nhà trưởng thành (*Acheta domesticus*), và Julita et al. (2020) đã chứng minh rằng, dưới ánh nắng mặt trời trực tiếp và đầy đủ trong môi trường nhiệt đới, ruồi lính đen thể hiện hành vi giao phối và sinh sản tối ưu, tức là khi được nuôi trong điều kiện bán ngoài trời. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng điều kiện bán ngoài trời ở các vùng khí hậu ôn đới khó có thể tạo ra một môi trường làm giàu tương tự, do nhiệt độ thấp hơn và thời lượng chiếu sáng tương đối ngắn. Cuối cùng, việc tập trung vào phúc lợi tích cực có thể ảnh hưởng đến lợi ích môi trường, tính khả thi về kinh tế và hiệu quả sinh thái cuối cùng của toàn bộ hệ thống (Spykman et al., 2021). Việc áp dụng các khái niệm phúc lợi động vật vốn được thiết kế ban đầu cho vật nuôi thông thường đã bỏ qua thực tế rằng nhiều loài côn trùng có thể cần các điều kiện sống khác biệt hoàn toàn so với những loài động vật mà khuôn khổ này ban đầu được xây dựng cho. Chẳng hạn, quyền tự do "đứng dậy; nằm xuống; xoay người; chải chuốt; và duỗi chân tay" không thể áp dụng cho ấu trùng của các loài côn trùng mục tiêu của chúng tôi. "Tiếp cận dễ dàng với thức ăn và nước sạch" cũng không phải là điều kiện tiên quyết đối với nhiều loài côn trùng vốn tự nhiên sinh sống trong môi trường ô úế. Đối với các quyền tự do khác, chẳng hạn như "tránh đau khổ mãn tính" hay "buồn chán", vẫn còn rất ít nghiên cứu chứng minh được khả năng côn trùng rơi vào những trạng thái như vậy. Do đó, Hội đồng các Vấn đề Động vật Hà Lan đã kêu gọi tiến hành một cuộc điều tra

để xác định đâu là "điều kiện nhà ở và nuôi dưỡng tối ưu, chẳng hạn như khí hậu, ánh sáng, chất nền và mật độ quần thể" (Hội đồng các Vấn đề Động vật Hà Lan, 2018, tr. 30) cho hoạt động sản xuất côn trùng. Vấn đề này có tầm quan trọng rất lớn, đặc biệt nếu xét đến nhu cầu chuyên biệt hóa các quy định phúc lợi ngay cả trong phạm vi động vật có xương sống (Bracke, 2006). Thứ hai, khái niệm này ngày càng bị chỉ trích nhiều hơn, chủ yếu vì nó loại trừ các trạng thái phúc lợi tích cực (Mellor, 2016a) và bỏ qua tính chủ động của động vật (Spinka & Wemelsfelder, 2011) (xem Hộp).

Cách tiếp cận của chúng tôi hướng tới hai mục tiêu. Thứ nhất, chúng tôi sẽ bàn về mức độ mà những cân nhắc đạo đức về phúc lợi và sự an lành của vật nuôi thông thường có thể mở rộng sang côn trùng. Nhìn chung, côn trùng thường bị loại khỏi các cuộc thảo luận về đạo đức; ở đây, chúng tôi muốn đi qua các lý do cho điều đó và đánh giá tính hợp lý của chúng. Thứ hai, chúng tôi sẽ xác định các yêu cầu phúc lợi hiện đang được dùng để đánh giá phúc lợi động vật, đồng thời thảo luận các nghiên cứu liên quan đã thực hiện trên côn trùng. Chúng tôi sẽ đề cập đến các yêu cầu vốn là một phần của, hoặc bắt nguồn từ, các khái niệm phúc lợi truyền thống, nhưng cũng bao gồm các yêu cầu về phúc lợi tích cực (Mellor, 2016a, 2016b) — vốn thường bị bỏ qua. Các yêu cầu này sẽ được nhóm thành những phạm trù tổng quát hơn, như đã được thực hiện trước đây (Appleby et al., 2018; Mellor & Beausoleil, 2015), và được điều chỉnh cho phù hợp với hiểu biết hiện nay về sinh học côn trùng. Chúng tôi hướng tới việc bao quát mọi khía cạnh liên quan của nghiên cứu sinh học, bao gồm các nghiên cứu về hành vi, miễn dịch, hệ vi sinh vật và động lực học quần thể của côn trùng, kết hợp với những hiểu biết từ đạo đức học động vật và triết học về tâm trí, nhằm khám phá cách hiểu về việc đối xử có đạo đức với côn trùng và phúc lợi côn trùng. Cuối cùng, mục tiêu của chúng tôi khá mang tính thực dụng: chúng tôi chủ yếu hướng đến việc xác định các yếu tố sinh học cần thiết để thiết kế những điều kiện nuôi côn trùng khả thi và phù hợp.

2. TRI GIÁC, VỊ THẾ ĐẠO ĐỨC VÀ CÁC CÂN NHẮC VỀ PHÚC LỢI Ở CÔN TRÙNG

Như đã nêu trong phần giới thiệu, chúng tôi sẽ lập luận rằng việc nuôi côn trùng làm vật nuôi cỡ nhỏ nên đặt ra những câu hỏi tương tự như những câu hỏi đã từng được đặt ra đối với vật nuôi thông thường, nhằm ngăn ngừa những sai lầm về đạo đức đã từng xảy ra trong các hệ thống chăn nuôi. Tuy nhiên, điểm xuất phát này không phải là điều phổ biến: nhiều loài động vật không xương sống, bao gồm cả côn trùng, thường bị loại khỏi các cuộc thảo luận đạo đức và phần lớn được miễn trừ trong luật pháp về phúc lợi. Chẳng hạn, tại Liên minh châu Âu, Chỉ thị của Hội đồng về bảo vệ động vật được nuôi vì mục đích nông nghiệp (98/58/EC) quy định rõ rằng chỉ thị này không áp dụng cho "bất kỳ động vật không xương sống nào" (điều 1, khoản d). Điều này có nghĩa là, trong khi các công ty nuôi côn trùng quy mô lớn đã đi vào sản xuất, các nhà sản xuất côn trùng tại Liên minh châu Âu hiện đang được

miễn trừ khỏi mọi nghĩa vụ pháp lý liên quan đến phúc lợi động vật. Do đó, phúc lợi của động vật không xương sống đã được gọi một cách chính xác là một vấn đề bị bỏ quên (Horvath et al., 2013).

Lý do cho sự loại trừ này liên quan đến sự thiếu chắc chắn về việc liệu côn trùng (và các động vật không xương sống khác) có phải là "sinh vật có tri giác" hay không: vì được cho là có hệ thần kinh tương đối đơn giản so với động vật có xương sống, nên dường như có một giả định ngầm rằng những động vật này không thể có tri giác. Giả định này làm suy yếu ý nghĩa đạo đức của côn trùng, ít nhất là theo các nhánh đạo đức học vị lợi và phúc lợi luận, vốn dựa vào khả năng tri giác để xác định xem một động vật có xứng đáng có vị thế đạo đức hay không. Lập trường này gợi nhắc đến tuyên bố của nhà vị lợi cổ điển Jeremy Bentham (1748–1832) rằng khả năng trải nghiệm đau đớn và khổ sở nên là điểm khởi đầu cho các cân nhắc đạo đức của chúng ta. Theo hướng này, tri giác thường được định nghĩa là khả năng cảm nhận đau đớn và khổ sở, và trong lịch sử đã từng có những nghi ngờ về việc liệu côn trùng có thể cảm nhận đau đớn hay không (Tiffin, 2016). Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây sử dụng khung phân tích do Birch et al. (2021) xây dựng đã tìm thấy bằng chứng về khả năng cảm nhận đau đớn ở sáu bộ côn trùng, bao gồm cả bộ Hai cánh (Diptera) ở giai đoạn trưởng thành (Gibbons, Crump, et al., 2022).

Tương tự, một số loài động vật không xương sống "đặc biệt" hoặc "tiên tiến", nhất là động vật chân đầu, gần đây đã được đưa vào Chỉ thị 2010/63/EU (Sykes et al., 2012). Điều này có nghĩa là, khi được sử dụng cho mục đích thí nghiệm hoặc các mục đích khoa học khác, những động vật này cần được đối xử như những sinh vật có tri giác và được pháp luật bảo vệ (Berry et al., 2015). Việc đưa vào này dựa trên các phát hiện cho thấy những động vật này có khả năng "trải nghiệm và biểu lộ đau đớn, khổ sở, đau khổ và tổn hại lâu dài" (như trên, tr. 268). Điều này phù hợp với một khối lượng tài liệu ngày càng tăng cho thấy nhiều loài động vật không xương sống sở hữu những năng lực cần thiết để được xem là có tri giác (ví dụ: Elwood & Appel, 2009; Elwood, 2011; Mather, 2001).

Dựa trên những phát hiện này, Hội đồng các Vấn đề Động vật Hà Lan đã tuyên bố, liên quan đến ngành công nghiệp côn trùng đang phát triển, rằng "(...) dựa trên bằng chứng hiện có, các đánh giá và báo cáo khoa học gần đây nhất cho phép nhìn nhận động vật không xương sống theo hướng có lợi khi xét đến khía cạnh đau đớn và sự an lành" (2018, tr. 30). Tuy nhiên, cùng lúc đó, hội đồng cũng nhận xét rằng "ngay cả các phương pháp khoa học hiện đại cũng không thể xác định chắc chắn các trạng thái chủ quan của động vật" (2018, tr. 29). Nhận định thứ hai này liên quan đến "khoảng cách giải thích" (Levine, 1983) và cái gọi là "vấn đề khó của ý thức" (Chalmers, 1995), đồng thời định nghĩa tri giác là khả năng cảm nhận (tương tự cách hiểu của Broom, 2019) — điều thường được gọi là "ý thức hiện tượng học" trong triết học về tâm trí và khoa học nhận thức. Các mô tả về loại ý thức này thường

được diễn đạt theo kiểu "cảm giác sẽ như thế nào" (Nagel, 1974): tức là, sẽ như thế nào đối với một con người hay một động vật (ví dụ nổi tiếng của Nagel là con dơi) khi trải qua những trạng thái tinh thần cụ thể (chẳng hạn như một tri giác, cảm giác, niềm tin, mong muốn, chủ đích) từ "góc nhìn ngôi thứ nhất". Vì những "cảm nhận thô" hay các mô tả trải nghiệm này không thể được diễn đạt bằng các thuật ngữ chức năng, một số học giả cho rằng không thể giải thích khía cạnh này của ý thức bằng thuyết duy vật quy giản (2015). Do đó, Pali-Schöll et al. (2019, tr. 2767) khẳng định rằng "rất có thể chúng ta sẽ không bao giờ xác định được một cách chắc chắn liệu côn trùng có tri giác hay không".

Trái với kiểu huyền bí hóa này, có một số lý thuyết về ý thức thực sự cố gắng thu hẹp khoảng cách giải thích bằng phương pháp giản lược (thần kinh học) – dù bằng chứng thực nghiệm đơn thuần không thể cho chúng ta kết luận về tri giác. Tuy nhiên, các lý thuyết này lại đưa ra những kết luận khác nhau về việc liệu côn trùng có khả năng trải nghiệm chủ quan hay không, tức là liệu một con côn trùng có thực sự cảm thấy đau khi tiếp xúc với kích thích gây hại hay không. Chẳng hạn, các nhà lý thuyết bậc một như Dretske (1995) và Tye (1995) giải thích ý thức hiện tượng học theo hướng các trạng thái chủ ý hướng về thế giới bên ngoài (tức là bậc một), và ủng hộ quan điểm rằng côn trùng sở hữu ý thức hiện tượng học (Tye, 2016). Barron và Klein (2016) cũng đồng tình, dù dựa trên những cân nhắc lý thuyết khác, cụ thể là lý thuyết tích hợp thông tin về ý thức (Tononi, 2004, 2008). Tuy nhiên, Carruthers (2004b, 2007, 2019) đã chỉ trích các lập trường này và lập luận, dựa trên lý thuyết không gian làm việc toàn cục (Baars, 1988, 1997), rằng các loài chân khớp khác nhau (như nhện nhảy và ong mật) sở hữu một số trạng thái ý thức nhất định (gọi là trạng thái "tiếp cận" – access), nhưng không có ý thức hiện tượng học. Dù phủ nhận tri giác ở côn trùng, Carruthers vẫn cho rằng côn trùng và các động vật không xương sống khác vẫn có thể đáng được quan tâm về mặt đạo đức (Carruthers, 2004a), đồng thời thúc giục chúng ta suy nghĩ về phúc lợi mà không cần đến ý thức – một quan điểm cũng được Dawkins (2017) thể hiện.

Việc xác định liệu côn trùng có khả năng trải nghiệm chủ quan hay không càng trở nên phức tạp hơn khi ta xét đến sự đa dạng vô cùng lớn của côn trùng (Stork, 2018). Do đó, chúng tôi kết luận rằng hiện chưa có sự đồng thuận giữa các nhà khoa học và triết gia về việc liệu côn trùng có tri giác hay không. Trong sự đa dạng loài rộng lớn này, chắc chắn tồn tại đủ loại khác biệt về hành vi, nhận thức cũng như khả năng trải nghiệm. Do đó, côn trùng dường như không phải là đối tượng phù hợp cho những khái quát hóa và ngoại suy có cơ sở. Ở đây, chúng tôi đề xuất — bất chấp sự không chắc chắn về tri giác ở côn trùng, và chính vì vậy như một biện pháp phòng ngừa — cần tiếp tục nghiên cứu và xây dựng các hướng dẫn phúc lợi riêng cho từng loài côn trùng được nuôi để làm thực phẩm, thức ăn chăn nuôi, hoặc phục vụ các hoạt động kinh tế khác của con người. Chúng tôi tin rằng bằng chứng cho thấy côn trùng có thể sở hữu các trạng thái cảm xúc, dù các nghiên cứu liên quan vẫn còn khan hiếm (xem Perry & Baciadonna, 2017), cùng với nguyên tắc phòng ngừa liên quan đến phúc

lợi côn trùng, nên được xem là những động lực thỏa đáng. Hơn nữa, số lượng lớn côn trùng được nuôi để sản xuất thực phẩm và thức ăn chăn nuôi trong điều kiện nuôi hàng loạt (Rowe, 2020) càng thúc giục chúng tôi cho rằng nghiên cứu về phúc lợi côn trùng và các quy định phúc lợi động vật liên quan là cần thiết.

3. PHÚC LỢI CÔN TRÙNG: MỘT CÁCH TIẾP CẬN THỰC DỤNG

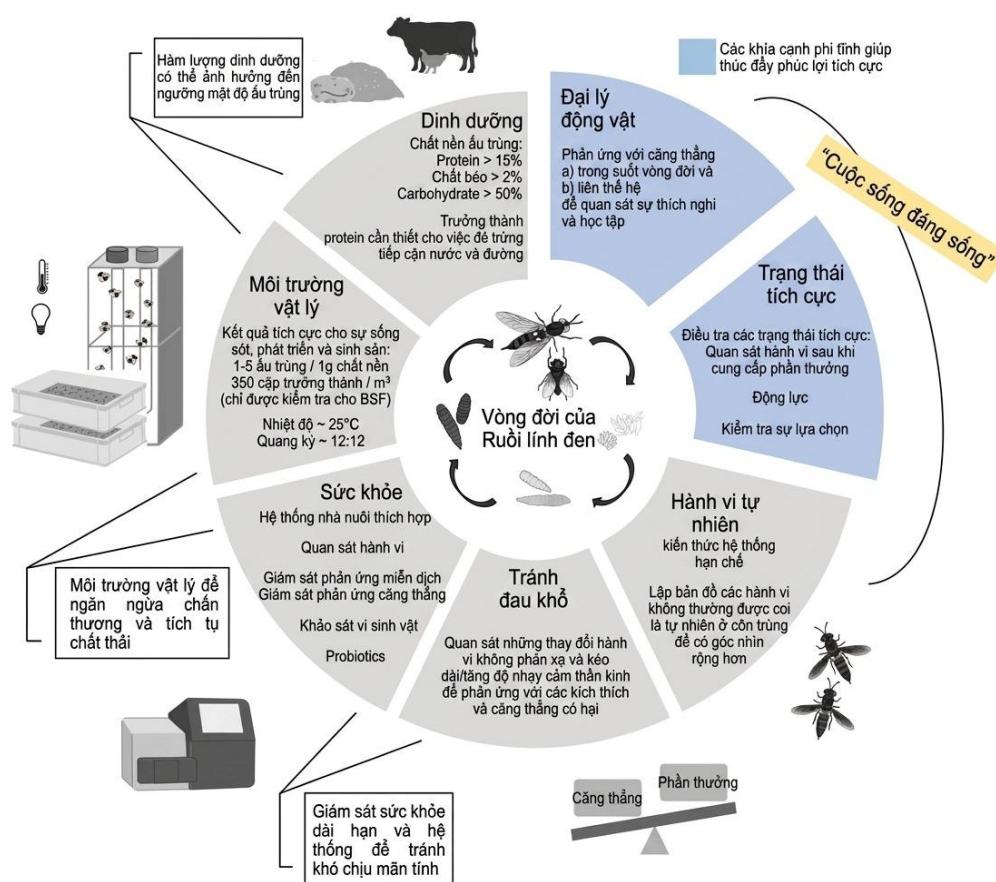
Tiếp nối phần thảo luận hiện tại về các yêu cầu phúc lợi động vật (xem Hộp), chúng tôi mong muốn điểm lại các nghiên cứu liên quan đã được thực hiện trên côn trùng. Cách tiếp cận của chúng tôi nhằm kết hợp giữa những gì có thể gây hại cho côn trùng, và những gì sẽ tạo nên một môi trường góp phần vào phúc lợi tích cực và thúc đẩy tính chủ động của động vật. Cũng với tinh thần đó, chúng tôi tiếp cận việc đánh giá phúc lợi không chỉ thông qua việc bàn về sức khỏe, hành vi và sinh lý học, mà còn thông qua việc thể hiện sở thích hoặc động lực (Appleby et al., 2018) (Hình 1).

3.1. Dinh dưỡng

Có thể ngăn ngừa đói, khát và suy dinh dưỡng bằng cách đảm bảo tiếp cận dễ dàng với nguồn nước và thức ăn chất lượng tốt, phù hợp với nhu cầu dinh dưỡng tự nhiên của côn trùng. Trên thực tế, các chế độ ăn nhân tạo hoặc bán nhân tạo có thể mang lại những kết quả khác nhau đối với sinh lý học của côn trùng, trong khi một số thành phần nhất định có thể gây căng thẳng tiêu hóa (Francuski & Beukeboom, 2020; Pisa et al., 2022). Ví dụ, đối với ấu trùng ruồi nhà, các loại phân chuồng khác nhau có tác động khác nhau đến thể trạng của chúng (Ganda et al., 2022; Khan et al., 2012), trong khi đối với ruồi lính đen, các tổ hợp dòng chất thải khác nhau từ nông nghiệp và ngành sản xuất bia lại có tác động khác nhau đến hiệu suất tổng thể của chúng (Chia et al., 2018; Scala et al., 2020). Thời gian phát triển của các giai đoạn sống của côn trùng, từ trứng đến khi trưởng thành, cùng với khả năng sinh sản và tỷ lệ sống sót, đều là những thông số quan trọng để đánh giá mức độ phù hợp của các loại chất nền khác nhau trong cả hai trường hợp.

Một nghiên cứu gần đây cho thấy ấu trùng ruồi lính đen ưa thích phân chuồng hơn chế độ ăn nhân tạo, và ấu trùng càng lớn thì sở thích này càng mạnh (Parodi et al., 2020). Trên thực tế, các dòng chất thải hữu cơ còn lại, chẳng hạn như phân chuồng, hiện chưa được sử dụng trong ngành công nghiệp thức ăn côn trùng vì chưa được pháp luật cho phép. Sự hạn chế này từ phía các nhà lập pháp xuất phát từ những lo ngại chưa rõ ràng về việc liệu việc sử dụng phân chuồng và các "dòng chất thải" khác sẽ ảnh hưởng ra sao đến phúc lợi động vật và an toàn thực phẩm, do khả năng nhiễm bẩn, chẳng hạn như bởi độc tố nấm mốc (mycotoxin), vốn có thể gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người và động vật (Niermans et al., 2021; Zain, 2011). Tuy nhiên, đây có thể là hướng đi mà ngành này sẽ được phép theo đuổi trong tương lai nhằm đạt được việc sử dụng tài nguyên theo vòng tuần hoàn.

Tuy nhiên, một thách thức khác mà ngành này phải đối mặt là "dòng chất thải" có thể thiếu một số dưỡng chất thiết yếu. Vì vậy, chúng nên được trộn với các nguyên liệu nhân tạo có nguồn gốc từ cám lúa mì hoặc các loại ngũ cốc khác, vốn đã được chứng minh là phù hợp cho sự phát triển khỏe mạnh của cả ruồi nhà lẫn ruồi lính đen (Barragan-Fonseca et al., 2017; Kökdener et al., 2021; Leyo et al., 2022). Nhìn chung, hàm lượng tối thiểu 10% protein và 2% chất béo có thể duy trì đủ cho sự phát triển của ấu trùng, với điều kiện đủ carbohydrate; trong khi tỷ lệ protein trên carbohydrate là 17:55 đã được chứng minh là hỗ trợ hiệu suất cao ở cả giai đoạn ấu trùng và trưởng thành, với hàm lượng protein cao và chất béo ở mức trung bình trong ấu trùng (Barragan Fonseca et al., 2019). Tương tự, ấu trùng ruồi nhà đã được nuôi thành công trên nhiều loại phân chuồng khác nhau có hàm lượng protein và chất béo lần lượt là 15,3–23,3% và 1,2% (Hussein et al., 2017).



Hình 1. Cách tiếp cận thực dụng đối với phúc lợi côn trùng, tập trung vào ruồi lính đen và ruồi nhà, kết hợp các tiêu chí phúc lợi động vật truyền thống với phúc lợi tích cực và tính chủ động của động vật.

Hơn nữa, cần lưu ý rằng các giai đoạn phát triển khác nhau của côn trùng có thể có nhu cầu dinh dưỡng khác nhau. Chẳng hạn, phân động vật có thể là một chất nền phát triển tuyệt vời cho ấu trùng ruồi nhà, nhưng ruồi nhà trưởng thành lại sống lâu hơn khi được tiếp cận với đường (Lysyk, 1991). Đồng thời, ruồi cái trưởng thành cần được tiếp cận với protein để đẻ trứng, và phân chuồng đơn thuần là không đủ (Pastor et al., 2011). Đối với ruồi lính đen, trước đây người ta thường tin rằng loài ruồi này không ăn. Tuy nhiên, một nghiên cứu gần đây cho thấy con trưởng thành có hệ tiêu hóa hoạt động và việc cho ăn có ảnh hưởng đến tuổi thọ của ruồi trưởng thành (Bruno et al., 2019).

3.2. Môi trường vật lý

Vấn đề về môi trường vật lý phù hợp và việc tránh khó chịu về thể chất ban đầu được đặt ra cho các loài động vật có xương sống không được cung cấp đủ không gian và điều kiện phi sinh học phù hợp (xem Hộp). Đối với côn trùng, cần có nghiên cứu để xác định mật độ phù hợp cho từng giai đoạn phát triển, vì sự khó chịu không thể được theo dõi và đánh giá dễ dàng như ở động vật có xương sống, đặc biệt nếu xét đến mật độ ấu trùng tự nhiên cao ở một số loài côn trùng. Một mặt, mật độ ấu trùng cao có thể thúc đẩy quá trình tiêu hóa mang tính xã hội và bảo vệ chống lại nhiệt độ môi trường thấp, nhưng mặt khác, chúng cũng có thể dẫn đến tích tụ chất thải hoặc cạnh tranh tài nguyên (Barragan-Fonseca et al., 2017; Green & Popa, 2012).

Các nghiên cứu trên ruồi lính đen cho thấy tỷ lệ sống sót của ấu trùng có tương quan nghịch với mật độ nuôi được thử nghiệm, với mức mật độ thấp hơn được đặt ở 5 ấu trùng/1 g chất nền trong một nghiên cứu (Dzepe et al., 2020) và 1 ấu trùng/cm³ hoặc 2 ấu trùng/1 g chất nền trong một nghiên cứu khác (Opore et al., 2021). Ngược lại, thời gian phát triển của ấu trùng lại có tương quan thuận với mật độ (Barragan-Fonseca et al., 2017; Dzepe et al., 2020). Tương tự, ấu trùng ruồi nhà được nuôi trong cốc với tỷ lệ 1 ấu trùng/1 g chất nền cho thấy tỷ lệ sống sót cao hơn so với mật độ cao hơn, bất kể loại chế độ ăn được sử dụng (Kökdenler et al., 2021).

Đối với côn trùng trưởng thành, mật độ nên được điều chỉnh sao cho tránh được thương tích. Mật độ quần thể trưởng thành kết hợp với mức độ hoạt động bay có thể dẫn đến tình trạng quá tải, gây thương tích. Dữ liệu từ một nghiên cứu gần đây cho thấy tổn thương cánh ở ruồi nhà xảy ra trung bình sau 6 giờ bay và phụ thuộc vào điều kiện nuôi nhốt (Wehmann et al., 2022). Cụ thể hơn, những con ruồi sống trong điều kiện chật chội hơn chịu tổn thương gấp 20 lần so với những con côn trùng trong lồng rộng rãi trong một thí nghiệm bay tự do. Vì vậy, hoạt động bay và không gian nên

được cân đối theo một tỷ lệ sao cho ngăn ngừa được tình trạng này. Mặt khác, mật độ cũng cần đủ dày để sinh sản thành công có thể diễn ra (Čičková et al., 2012). Một nghiên cứu cho thấy ruồi lính đen sinh sản thành công trong lồng ở mật độ từ 350 cặp/m³ (Nakamura et al., 2016). Sản lượng trứng cao hơn ở mật độ cao hơn, nhưng tỷ lệ sống sót ở giai đoạn trưởng thành lại thấp hơn (Liu et al., 2022). Ngoài ra, các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của côn trùng trưởng thành ở một mật độ nhất định, như nhiệt độ và chu kỳ chiếu sáng, cũng cần được theo dõi. Ví dụ, ở ruồi nhà, sự kết hợp giữa mật độ quần thể và nhiệt độ đã được chứng minh là dẫn đến các mức độ hoạt động bay khác nhau (Schou et al., 2013). Chu kỳ chiếu sáng với tỷ lệ sáng/tối 12:12 và nhiệt độ khoảng 25°C có liên quan đến sự phát triển nhanh ở cả ruồi lính đen (Harnden & Tomberlin, 2016) lẫn ấu trùng ruồi nhà, trong đó tốc độ phát triển tăng đáng kể ở khoảng nhiệt độ từ 16°C đến 25°C, và chậm hơn ở khoảng từ 28°C đến 34°C (Wang et al., 2018).

3.3. Sức khỏe

Các nghiên cứu trên côn trùng đã tìm hiểu về đau đớn ngắn hạn và dài hạn (Sherwin, 2001), nhưng sự khác biệt giữa não bộ của động vật không xương sống và động vật có xương sống không phải lúc nào cũng cho phép đưa ra kết luận chắc chắn về cách côn trùng trải nghiệm đau đớn, hay bác bỏ những cách giải thích về đau mà loại trừ khái niệm khổ sở (Adamo, 2016). Tuy nhiên, các phản ứng hành vi và sinh lý đối với kích thích gây hại hoặc các chất giảm đau có thể là dấu hiệu cho thấy sự tồn tại của cảm giác đau (Elwood, 2011; Sherwin, 2001). Mặc dù vậy, cách đối xử với côn trùng trong ngành công nghiệp này không phải lúc nào cũng minh bạch (Erens et al., 2012). Người ta có thể kỳ vọng rằng ít nhất các phương pháp giết mổ sẽ được quy định; tuy nhiên, thực tế không phải vậy. Theo hiểu biết của chúng tôi, chưa có nghiên cứu hệ thống hay sự đồng thuận rõ ràng nào về việc phương pháp nào là "nhân đạo" hơn. Các nhà sản xuất côn trùng đã tự xử lý vấn đề này, cân nhắc cả yếu tố phương pháp nào ít gây đau đớn hơn cho côn trùng lẫn phương pháp nào dễ được người tiêu dùng chấp nhận hơn (Bear, 2019). Đông lạnh côn trùng là một thực hành phổ biến vì động vật biến nhiệt trở nên lơ đãng ở nhiệt độ thấp, tuy nhiên chưa có bằng chứng nào cho thấy chúng không còn cảm nhận được đau (Cooper, 2011).

Cũng theo tinh thần nhận diện các dấu hiệu tồn tại của cơn đau ở côn trùng, thương tích và bệnh tật nên được phòng ngừa hoặc được chẩn đoán và điều trị nhanh chóng. Liên quan đến việc tránh khó chịu như đã bàn ở phần trước, tình trạng quá tải nên được ngăn chặn hoặc giới hạn ở mức không gây thương tích. Hơn nữa, các vi sinh vật có khả năng gây hại cũng cần được theo dõi dễ dàng. Trong tài liệu học thuật, có ý kiến

cho rằng sức khỏe và thể trạng của côn trùng dễ bị ảnh hưởng bởi vi sinh vật gây bệnh đến mức việc đề xuất bảo vệ hoàn toàn sức khỏe côn trùng là không thực tế (De Goede et al., 2013; Maciel-Vergara et al., 2021). Tuy nhiên, việc phòng ngừa nhiễm trùng thông qua thiết kế cơ sở nuôi phù hợp và chẩn đoán nhanh không phải là điều bất khả thi. Một ví dụ là việc theo dõi biểu hiện của các gen miễn dịch, vốn đã được xác định có vai trò như cơ chế phòng vệ chống lại các nhiễm trùng vi sinh vật (M. Vogel et al., 2022; Sackton et al., 2017).

Mặc dù hiện vẫn còn thiếu các hệ thống theo dõi sức khỏe tự động trong điều kiện nuôi côn trùng hàng loạt, chúng tôi tin rằng nghiên cứu về hệ miễn dịch và hệ vi sinh vật của côn trùng có thể giúp đảm bảo và đánh giá sức khỏe côn trùng trong các trang trại quy mô lớn. Hệ miễn dịch của côn trùng có thể chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố có thể được điều chỉnh trong môi trường nuôi hàng loạt (M. Vogel et al., 2022). Ví dụ, nhiệt độ có thể ảnh hưởng đến sinh lý học và tốc độ trao đổi chất, gây gián đoạn cân bằng nội môi (Wojda, 2017). Hơn nữa, cần nghiên cứu tác động của các chế độ ăn nhân tạo đối với hệ miễn dịch. Ở *Drosophila* và ruồi lính đen, thành phần dinh dưỡng của khẩu phần ăn có vai trò đối với hệ miễn dịch (Ayres et al., 2009; H. Vogel et al., 2018). Một nghiên cứu gần đây cho thấy việc bổ sung chất thải từ dịch vụ ăn uống vào khẩu phần ăn của ruồi lính đen có tác động tích cực đến hệ miễn dịch của loài này (Candian et al., 2023). Việc điều chỉnh biểu hiện của các peptide kháng khuẩn (AMP) thông qua chế độ ăn có thể là một công cụ để quản lý sức khỏe côn trùng trong các trang trại nuôi hàng loạt. Bên cạnh đó, một hướng nghiên cứu khác nên tập trung vào kho gen miễn dịch đa dạng vốn được tăng cường biểu hiện sau khi bị nhiễm vi sinh vật (M. Vogel et al., 2022; Sackton et al., 2017). Việc đo lường biểu hiện của AMP và các gen phản ứng với căng thẳng khác cung cấp một công cụ để phát hiện các nhiễm trùng đe dọa sức khỏe côn trùng, ngay cả trước khi chúng gây ra những ảnh hưởng có thể nhìn thấy từ bên ngoài. Ngoài ra, cần nghiên cứu thêm về các vi sinh vật có lợi liên quan đến côn trùng, vốn đóng góp đáng kể vào thể trạng và sức khỏe của chúng (De Smet et al., 2018; Engel & Moran, 2013; M. Vogel et al., 2022), nhằm xác định các điều kiện (ví dụ: nhiệt độ, chế độ ăn) không làm tổn hại đến hệ vi sinh vật khỏe mạnh của côn trùng trong các cơ sở nuôi hàng loạt. Việc sử dụng vi khuẩn probiotic trong chăn nuôi côn trùng cũng có thể là một hướng đi hứa hẹn để bảo vệ sức khỏe côn trùng (Jordan & Tomberlin, 2021).

3.4. Tránh đau khổ

Các chỉ dấu sinh học vốn thường được dùng để đánh giá mức độ căng thẳng ở động vật không thể đóng vai trò là tín hiệu trực tiếp cho các trạng thái tiêu cực trong trường

hợp của côn trùng. Ví dụ, Cơ quan An toàn Thực phẩm châu Âu đã xếp loại các loài côn trùng không có tính xã hội được sử dụng trong thí nghiệm khoa học là không có khả năng trải nghiệm đau đớn và khổ sở (Dzepe et al., 2005). Về mặt lý thuyết, chúng ta biết rằng có thể tránh được các tình huống căng thẳng bằng cách đảm bảo các điều kiện ngăn ngừa khổ sở mãn tính; tuy nhiên, khổ sở mãn tính không dễ được chẩn đoán ở côn trùng. Nghiên cứu trên động vật có vú đã định lượng trải nghiệm đau đớn thông qua việc quan sát những thay đổi hành vi không phản xạ và kéo dài, được điều hòa bởi các cơ chế kiểm soát từ trên xuống (Sadler et al., 2022). Theo cách tương tự, những ví dụ về côn trùng thể hiện các hành vi như vậy có thể ủng hộ ý tưởng rằng côn trùng cảm nhận được đau (Gibbons, Sarlak, et al., 2022). Để làm được điều đó, chúng ta cần tiến hành kiểm tra một cách hệ thống đối với nhiều tác nhân gây căng thẳng tiềm ẩn khác nhau. Một bài tổng quan gần đây về nhận thức và tri giác ở côn trùng đã thu thập được bằng chứng cho thấy nhiều loài côn trùng, trải rộng trên một phạm vi phân loại rộng, sở hữu khả năng nhận thức, và hơn thế nữa, có thể trải nghiệm các trạng thái cảm xúc như căng thẳng (Lambert et al., 2021).

Ví dụ, các nghiên cứu trên *Drosophila* cho thấy tổn thương dây thần kinh dẫn đến tình trạng nhạy cảm thần kinh mãn tính (Khuong et al., 2019). Tương tự, các nghiên cứu khác trên ruồi *Drosophila* đã kiểm tra các phản ứng sợ hãi, lo âu và né tránh đối với các tác nhân gây căng thẳng như mô phỏng cuộc tấn công của kẻ săn mồi, và tìm thấy bằng chứng về các trạng thái hành vi phòng vệ kéo dài hoặc "bất lực học được" (Batsching et al., 2016; Gibson et al., 2015; Mohammad et al., 2016; Yang et al., 2013). Ruồi *Drosophila* đã được dùng làm mô hình để nghiên cứu các cơ chế phân tử của cảm giác đau, kể cả ở con người, đặc biệt là dựa trên các mô hình "đau" đã được xây dựng trên *Drosophila* (Milinkeviciute et al., 2012).

3.5. Cho phép hành vi tự nhiên

Để tránh hạn chế hành vi tự nhiên của côn trùng, cần có thêm nghiên cứu nhằm đánh giá điều gì có thể được xem là hành vi tự nhiên ở côn trùng. Việc chúng ta không thể rút ra kết luận về trải nghiệm của côn trùng thông qua việc quan sát biểu cảm khuôn mặt hay tư thế cơ thể — như phần nào có thể làm được với động vật có xương sống — chắc chắn là một trở ngại trong các nghiên cứu về hành vi. Chẳng hạn, việc tránh gây sợ hãi, như chúng tôi đã bàn ở đoạn trước, là một thách thức khi xem xét côn trùng như động vật sản xuất. Chúng tôi tin rằng thách thức này ít liên quan đến việc thiếu hiểu biết về khả năng côn trùng có trải nghiệm cảm xúc hay không, mà liên quan nhiều hơn đến sự hạn chế trong hiểu biết có hệ thống về hành vi tự nhiên của chúng (McKellar & Wytenbach, 2017).

Khi hiểu biết về sinh học của các loài côn trùng sản xuất ngày càng mở rộng, chúng ta nên tập trung vào việc mô tả hành vi tự nhiên của chúng để đánh giá chất lượng trải nghiệm của chúng (Wemelsfelder, 2007). Các quan sát có hệ thống trong nhiều điều kiện khác nhau có thể giúp nhận diện những phản ứng khác có thể lặp lại trong các hoàn cảnh mang tính khen thưởng hoặc gây căng thẳng (ví dụ: phần thưởng từ thức ăn hoặc đói) (xem Cassill et al., 2016; Kortsmit et al., 2022). Chúng tôi tin rằng việc nghiên cứu các hành vi thường không được xem là tự nhiên ở côn trùng (ví dụ: chơi đùa, được định nghĩa là tham gia tương tác với đồng loại để đạt được phúc lợi tích cực) sẽ mở rộng góc nhìn của chúng ta về những gì nên được coi là "hành vi tự nhiên".

3.6. Tìm hiểu các trạng thái tích cực ở côn trùng

Việc định nghĩa các trạng thái tiêu cực và tích cực là một vấn đề khó khăn trong trường hợp côn trùng. Tuy nhiên, dù việc hiểu được nhận thức của côn trùng có khó khăn đến đâu, thì sự tương đối đơn giản của hệ thần kinh của chúng cũng có thể là một lợi thế khi nghiên cứu các khía cạnh trải nghiệm của chúng (Perry & Baciadonna, 2017). Ví dụ, các nhà nghiên cứu tiến hành thí nghiệm trên ruồi *Drosophila* đã lập được bản đồ các neuron liên quan đến nhiều quan sát hành vi (Dickson, 2008; Donlea et al., 2014; Iliadi, 2009). Hơn nữa, nghiên cứu về các hiện tượng cảm xúc trong não bộ động vật đã góp phần vào hiểu biết của chúng ta về các chức năng của não người (LeDoux, 2012). Dù phần lớn vẫn còn thiếu vắng, đã có những nghiên cứu cho thấy các phát hiện rất thú vị liên quan đến trạng thái cảm xúc ở côn trùng. Ong mật và ong nghệ đã được đưa vào các nghiên cứu về thiên kiến phán đoán (lạc quan/bi quan) bằng cách điều chỉnh các quy trình thí nghiệm vốn được áp dụng cho động vật có xương sống (Bateson et al., 2011; Perry et al., 2016; Schlüns et al., 2017). Do đó, chúng tôi cho rằng các nghiên cứu hành vi như vậy trên côn trùng sẽ mang lại cho chúng ta thêm nhiều công cụ để tiếp cận nhận thức của động vật.

3.7. Thúc đẩy tính chủ động của động vật

Liên quan đến các mục 3.5 và 3.6, việc bảo vệ khả năng thể hiện hành vi tự nhiên nhấn mạnh rằng động vật cần có những trải nghiệm tích cực để thúc đẩy hoạt động sinh học của chúng. Vì vậy, chúng ta nên quan tâm đến việc xác định liệu hành vi của động vật có cho phép nó đáp ứng được các yêu cầu từ hoàn cảnh môi trường xung quanh hay không. Có những điều kiện có thể được xem là các áp lực tự nhiên, chẳng hạn như thay đổi nhiệt độ hoặc khan hiếm thức ăn, vốn bị loại bỏ trong điều kiện nuôi được kiểm soát. Theo Hoffmann và Ross (2018), điều này có thể khiến các dòng côn trùng dễ bị tổn thương trước áp lực hơn so với quần thể tự nhiên. Chúng tôi cho rằng

các nghiên cứu về phản ứng của côn trùng đối với nhiều loại áp lực khác nhau có thể giúp chúng ta quan sát xem liệu những thách thức này có thúc đẩy quá trình học tập ở côn trùng hay không (xem Alem et al., 2016; Giurfa, 2013). Nhờ đó, chúng ta có thể nghiên cứu cách thức, và liệu một số thách thức nhất định có thể giúp loài côn trùng quan tâm ứng phó hiệu quả hơn với môi trường của chúng qua các thế hệ hay không.

4. KẾT LUẬN

Chăn nuôi côn trùng quy mô lớn nhằm sản xuất thức ăn chăn nuôi chắc chắn sẽ dẫn đến việc nuôi côn trùng hàng loạt. Các điều kiện thâm canh và công nghiệp hóa theo sau đó đặt ra câu hỏi về cách thiết kế các cơ sở chăn nuôi sao cho tôn trọng phúc lợi côn trùng. Việc coi côn trùng là "vật nuôi cỡ nhỏ" không phải là một hiện tượng hoàn toàn mới; đúng hơn, việc nuôi côn trùng là một hoạt động dường như phần lớn đã thoát khỏi sự suy xét về mặt đạo đức. Chúng tôi đã bàn rằng, mặc dù các khái niệm phúc lợi phổ biến có thể đóng vai trò làm cơ sở để thiết kế hệ thống chăn nuôi, chúng chỉ định nghĩa phúc lợi như một khái niệm tĩnh về việc tránh các tình huống gây hại, và chỉ áp dụng được một phần cho côn trùng như ruồi, vì các khái niệm này ban đầu được xây dựng cho những loài động vật vốn được nuôi làm gia súc truyền thống. Cách tiếp cận của chúng tôi muốn kết hợp hiểu biết về những gì có thể gây hại cho các loài côn trùng cụ thể, đồng thời bàn về điều gì sẽ tạo nên một môi trường thúc đẩy phúc lợi tích cực và tính chủ động của động vật. Sau khi xem xét các tài liệu liên quan về ruồi lính đen và ruồi nhà, chúng tôi nhận thấy rằng mặc dù một số quy định phúc lợi đã có thể được xây dựng dựa trên kiến thức khoa học hiện có, vẫn cần thêm rất nhiều nghiên cứu để giải quyết các khía cạnh khác của phúc lợi, chẳng hạn như việc cho phép hành vi tự nhiên, các trạng thái phúc lợi tích cực, hay tính chủ động của động vật.

Cụ thể hơn, về mặt dinh dưỡng, các nghiên cứu đã chỉ ra hàm lượng protein, chất béo và carbohydrate tối ưu trong chất nền cho ấu trùng nhằm thúc đẩy tỷ lệ sống sót cao và thể trạng tốt. Nhu cầu dinh dưỡng của ruồi trưởng thành cũng đã được nghiên cứu. Mặc dù một số tiêu chí được sử dụng chủ yếu liên quan đến giá trị thương mại của côn trùng (ví dụ: hàm lượng protein trong ấu trùng), vẫn có những tiêu chí khác gắn liền chặt chẽ với phúc lợi, chẳng hạn như tỷ lệ sống sót, thể trạng và hiệu quả sinh sản. Hơn nữa, môi trường vật lý của hai loài đã được nghiên cứu nhằm tìm ra mật độ quần thể và điều kiện phi sinh học nào thúc đẩy phúc lợi của chúng. Đối với ấu trùng, thách thức là cho phép chúng tập trung thành nhóm để hỗ trợ tiêu hóa mang tính xã hội và điều hòa vi môi trường, nhưng đồng thời cũng phải ngăn ngừa tích tụ chất thải và cạnh tranh tài nguyên. Ngược lại, đối với côn trùng trưởng thành, mật độ cần đạt được sự cân bằng để tránh gây thương tích nhưng vẫn đảm bảo khả năng sinh sản

thành công. Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường và chu kỳ chiếu sáng cũng đã được kiểm chứng. Cuối cùng, cùng với sự phát triển của ngành chăn nuôi côn trùng, ngày càng có nhiều thảo luận về điều kiện nuôi nhốt phù hợp và hợp vệ sinh. Chúng tôi đề xuất rằng việc khảo sát vi sinh vật thường xuyên cùng với việc theo dõi biểu hiện của gen peptide kháng khuẩn và gen phản ứng căng thẳng ở côn trùng có thể phục vụ cho việc chẩn đoán và phòng ngừa bệnh nhanh chóng. Chúng tôi tin rằng cần dành thêm sự quan tâm cho các vi sinh vật có lợi liên quan đến côn trùng và việc sử dụng probiotic.

Ngược lại, các quan sát hành vi tổng quát và nghiên cứu về khả năng cảm nhận của côn trùng vẫn còn hạn chế hơn nhiều. Các nghiên cứu hệ thống về hành vi côn trùng chủ yếu tập trung vào phản ứng đối với các yếu tố phi sinh học hoặc liên quan đến hành vi giao phối. Chúng tôi đề xuất rằng việc nghiên cứu các hành vi thường không được xem là tự nhiên ở côn trùng (ví dụ: chơi đùa) sẽ mở rộng góc nhìn của chúng ta về những gì nên được coi là "tự nhiên". Hơn nữa, các nghiên cứu về việc liệu côn trùng có thể chịu khổ sở hay cảm nhận đau hay không phần lớn chỉ giới hạn ở ruồi *Drosophila* và một số loài thuộc bộ Cánh màng (Hymenoptera), cho thấy côn trùng hoàn toàn có khả năng rơi vào trạng thái khó chịu mãn tính hoặc nhạy cảm hóa. Dù các nghiên cứu này có giá trị, chúng tôi đề xuất mạnh mẽ rằng cần mở rộng nghiên cứu sang các loài côn trùng được sử dụng trong ngành chăn nuôi côn trùng. Các thí nghiệm như vậy nên bao gồm việc quan sát các phản ứng phản xạ và không phản xạ, cũng như những thay đổi hành vi kéo dài, để đáp ứng với các kích thích gây hại và các tác nhân gây căng thẳng (ví dụ: đói, cắt cụt chi, sốc nhiệt). Những thay đổi hành vi khi phản ứng với phần thưởng (ví dụ: phần thưởng từ thức ăn) cũng sẽ giúp chúng ta hiểu cách nhận biết phúc lợi tích cực ở côn trùng. Chúng tôi tin rằng cả việc quan sát hành vi lẫn theo dõi sức khỏe nên diễn ra xuyên suốt vòng đời của con vật, cũng như qua nhiều thế hệ, để nghiên cứu khả năng của côn trùng trong việc phục hồi sau các tình huống gây hại và/hoặc học cách tránh né chúng.

Tóm lại, chúng tôi cho rằng cần có một khái niệm mới về phúc lợi động vật, có tính đến các trường hợp đặc thù của côn trùng được nuôi làm vật nuôi cỡ nhỏ, đồng thời vượt ra khỏi sự huyền bí hóa trải nghiệm chủ quan. Để điều chỉnh các giả định chung về phúc lợi động vật cho phù hợp với côn trùng, các ngành sinh học có thể giúp diễn giải hành vi và sinh lý học theo hướng nhận thức của động vật, trong khi vẫn thừa nhận những nhu cầu đặc thù của từng loài. Nhu cầu suy xét về đạo đức và triết học đối với bản chất của ý thức cũng như ý nghĩa đạo đức của nó vẫn còn đó, và cần được giải quyết song song với những câu hỏi sinh học này. Việc xác định các chủ đề cho nghiên

cứu trong tương lai — chẳng hạn như nhận thức, hành vi, cảm xúc, phản ứng với các kích thích gây hại và giảm đau, mối quan hệ giữa hệ miễn dịch (bẩm sinh) và hệ thần kinh trung ương — có thể mang lại sự chắc chắn hơn cho câu hỏi về cách một loài côn trùng cụ thể nên được đối xử như thế nào.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn tất cả các thành viên của tổ hợp nghiên cứu Insect Feed đã đóng góp ý kiến phản hồi cho bản thảo này.

CÔNG BỐ XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả không báo cáo bất kỳ xung đột lợi ích tiềm ẩn nào.

TÀI TRỢ

Nghiên cứu của chúng tôi được tài trợ bởi Hội đồng Nghiên cứu Hà Lan (NWO; chương trình NWA, dự án InsectFeed, mã số NWA.1160.18.144).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Adamo, S. A. (2016). Do insects feel pain? A question at the intersection of animal behaviour, philosophy and robotics. *Animal Behaviour*, 118, 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.05.005>
- Alem, S., Perry, C. J., Zhu, X., Loukola, O. J., Ingraham, T., Søvik, E., Chittka, L., & Louis, M. (2016). Associative mechanisms allow for social learning and cultural transmission of string pulling in an insect. *PLoS Biology*, 14, e1002564. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002564>
- Allen-Hermanson, S. (2008). Insects and the problem of simple minds. *The Journal of Philosophy*, 105, 389–415. <https://doi.org/10.5840/jphil2008105833>
- Appleby, M. C., Olsson, I. A. S., & Galindo, F. (2018). *Animal welfare* (3rd edit. (CABI)377 ed.).
- Ayres, J. S., Schneider, D. S., & Promislow, D. (2009). The role of anorexia in resistance and tolerance to infections in *Drosophila*. *PLoS Biology*, 7, e1000150. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000150>
- Baars, B. J. (1988). *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge University Press.

- Baars, B. J. (1997). In the theatre of consciousness: Global workspace theory, a rigorous scientific theory of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 4(4), 292–309.
- Barragan Fonseca, K., Gort, G., Dicke, M., & van Loon, J. (2019). Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*: Nutrition of black soldier fly. *Physiological Entomology*, 44, 148–159. <https://doi.org/10.1111/phen.12285>
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- Barrett, M., Chia, S., Fischer, B., & Tomberlin, J. (2022). Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): A model for the insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 0, 1–30. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0041>
- Barron, A. B., & Klein, C. (2016). What insects can tell us about the origins of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(18), 4900–4908. <https://doi.org/10.1073/pnas.1520084113>
- Bateson, M., Desire, S., Gartside, S. E., & Wright, G. A. (2011). Agitated honeybees exhibit pessimistic cognitive biases. *Current Biology*, 21, 1070–1073. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.05.017>
- Batsching, S., Wolf, R., Heisenberg, M., & Tanimoto, H. (2016). Inescapable stress changes walking behavior in flies - learned helplessness revisited. *Plos One*, 11, e0167066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167066>
- Bear, C. (2019). Approaching insect death: Understandings and practices of the UK's edible insect farmers. *Society & Animals*, 27(7), 751–768. <https://doi.org/10.1163/15685306-00001871>
- Bear, C. (2021). Making insects tick: Responsibility, attentiveness and care in edible insect farming. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 4(3), 1010–1030. <https://doi.org/10.1177/2514848620945321>
- Berry, A., Vitale, A., Carere, C., & Alleva, E. (2015). EU guidelines for the care and welfare of an exceptional invertebrate class scientific research. *Annali*

dell'Istituto Superiore di Sanità, 51(4), 267–269.
https://doi.org/10.4415/ANN_15_04_04

Birch, J., Burn, C., Schnell, A., Browning, H., & Crump, A. (2021). Review of the evidence of sentience in cephalopod molluscs and decapod crustaceans. LSE consulting. LSE Enterprise Ltd. The London school of economics and political Science. Available at: <https://www.lse.ac.uk/News/News-Assets/PDFs/2021/Sentience-in-Cephalopod-Molluscs-and-Decapod-Crustaceans-Final-Report-November-2021.pdf>.

Block, N. (1995). On a confusion about a function of consciousness. *The Behavioral and Brain Sciences*, 18(2), 227–247.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00038188>

Blokhuys, H. J., Veissier, I., Jones, B., & Miele, M. (2013). The welfare quality® vision. In

H. Blokhuys, M. Miele, I. Veissier, & B. Jones Eds., *Improving farm animal welfare*

Wageningen Academic Publishers https://doi.org/10.3920/978-90-8686-770-7_4

Blokhuys, H. J., Veissier, I., Miele, M., & Jones, B. (2010). The welfare quality® project and

beyond: Safeguarding farm animal well-being. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 60(3), 129–140.
<https://doi.org/10.1080/09064702.2010.523480>

Boppré, M., & Vane-Wright, R. I. (2019). Welfare dilemmas created by keeping insects in captivity. In C. Carere & J. Mather (Eds.), *The welfare of invertebrate animals* (pp. 23–67). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-13947-6_3

Bovenkerk, B., & Meijboom, F. L. B. (2013). Fish welfare in aquaculture: Explicating the chain of interactions between science and ethics. *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 26(1), 41–61.
<https://doi.org/10.1007/s10806-012-9395-x>

Bracke, M. B. M. (2006). Providing cross-species comparisons of animal welfare with a scientific basis. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(1), 61–75. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(06\)80004-7](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(06)80004-7)

- Brambell, R. F. W. (1965). Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. Retrieved from: [https:// edepot.wur.nl/134379](https://edepot.wur.nl/134379)
- Broom, D. M. (2019). Sentience. In J. C. Choe (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behaviour* (Vol. 1, pp. 13–133). Elsevier, Academic Press.
- Bruno, D., Bonelli, M., Cadamuro, A. G., Reguzzoni, M., Grimaldi, A., Casartelli, M., & Tettamanti, G. (2019). The digestive system of the adult *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Morphological features and functional properties. *Cell and Tissue Research*, 378, 221–238. <https://doi.org/10.1007/s00441-019-03025-7>
- Candian, V., Meneguz, M., & Tedeschi, R. (2023). Immune responses of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) reared on catering waste. *Life*, 13, 213. <https://doi.org/10.3390/life13010213>
- Carruthers, P. (2004a). Suffering without subjectivity. *Philosophical Studies*, 121(2), 99–125. <https://doi.org/10.1007/s11098-004-3635-5>
- Carruthers, P. (2004b). On being simple minded. *American Philosophical Quarterly*, 41 (3), 205–220. <https://doi.org/10.1093/0199277362.003.0012>
- Carruthers, P. (2007). Invertebrate minds: A challenge for ethical theory. *The Journal of Ethics*, 11(3), 275–297. <https://doi.org/10.1007/s10892-007-9015-6>
- Carruthers, P. (2019). *Human and animal minds: The consciousness questions laid to rest*. Oxford University Press.
- Cassill, D., Ford, K., Huynh, L., Shiffman, D., & Vinson, S. B. (2016). A study on abdominal wagging in the fire ant, *Solenopsis invicta*, with speculation on its meaning. *Journal of Bioeconomics*, 18, 159–167. <https://doi.org/10.1007/s10818-016-9226-7>
- Chalmers, D. J. (1995). Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 2(3), 200–219.
- Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe, K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke, M., Ekesi, S., & Falabella, P. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *Plos One*, 13(11), e0206097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>

- Čičková, H., Pastor, B., Kozánek, M., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., Takač, P., & Palli, S. R. (2012). Biodegradation of pig manure by the housefly, *Musca domestica*: A viable ecological strategy for pig manure management. *Plos One*, 7(3), e32798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032798>
- Commission regulation (EU) 2021/1372. (2021). Amending annex iv to regulation (EC) no 999/2001 of the European parliament and of the council as regards the prohibition to feed non-ruminant farmed animals, other than fur animals, with protein derived from animals. Retrieved online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2021:295:FULL&from=EN>
- Cooper, J. E. (2011). Anesthesia, Analgesia, and Euthanasia of Invertebrates. *ILAR Journal*, 52(2), 196–204. <https://doi.org/10.1093/ilar.52.2.196>
- Dawkins, M. S. (2017). Animal welfare with and without consciousness. *Journal of Zoology*, 301, 1–10. <https://doi.org/10.1111/jzo.12434>
- De Goede, D. M., Erens, J., Kapsomenou, E., & Peters, M. (2013). Large scale insect rearing and animal welfare. In H. Röcklinsberg & P. Sandin (Eds.), *The ethics of consumption*. Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-784-4_38
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., van Campenhout, L., & Drake, H. L. (2018). Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 84, e02722–02717. <https://doi.org/10.1128/AEM.02722-17>
- Dicke, M. (2018). Insects as feed and the sustainable development goals. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4, 147–156. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0003>
- Dickson, B. J. (2008). Wired for sex: The neurobiology of *Drosophila* mating decisions. *Science*, 322, 904–909. <https://doi.org/10.1126/science.1159276>
- Donlea, J. M., Pimentel, D., & Miesenböck, G. (2014). Neuronal machinery of sleep homeostasis in *Drosophila*. *Neuron*, 81, 860–872. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.013>
- Dretske, F. (1995). *Naturalizing the Mind*. MIT Press/A Bradford Book.
- Drinkwater, E., Robinson, E. J. H., Hart, A. G., & Ellison, A. (2019). Keeping invertebrate research ethical in a landscape of shifting public opinion. *Methods*

- in *Ecology and Evolution*, 10(8), 1265–1273. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13208>
- Dzepe, D., Nana, P., Fotso, A., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. (2005). Aspects of the biology and welfare of animals used for experimental and other scientific purposes. *The EFSA Journal*, 3, 292. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.292>
- Dzepe, D., Nana, P., Fotso, A., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. (2020). Influence of larval density, substrate moisture content and feedstock ratio on life history traits of black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6, 133–140. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0034>
- Elwood, R. W. (2011). Pain and suffering in invertebrates? *ILAR Journal*, 52(2), 175–184. <https://doi.org/10.1093/ilar.52.2.175>
- Elwood, R. W., & Appel, M. (2009). Pain experience in hermit crabs? *Animal Behaviour*, 77(5), 1243–1246. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.01.028>
- Engel, P., & Moran, N. A. (2013). The gut microbiota of insects – diversity in structure and function. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 699–735. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12025>
- Erens, J., van Es, S., Haverkort, F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). A bug's life: Large-scale insect rearing in relation to animal welfare. 57 pp. Retrieved from: <https://venik.nl/onewebmedia/Rapport-Large-scale-insect-rearing-in-relation-to-animal-welfare.pdf>
- Francuski, L., & Beukeboom, L. W. (2020). Insects in production – an introduction. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 168(6–7), 422–431. <https://doi.org/10.1111/eea.12935>
- Fraser, D., Weary, D. M., Pajor, E. A., & Milligan, B. N. (1997). A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Animal Welfare*, 6, 187–205. Retrieved from: <https://www.wellbeingintlstudiesrepository.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=ethawel>
- Ganda, H., Zannou, E. T., Kenis, M., Abihona, H. A., Houndonougbo, F. M., Chrysostome, C. A. A. M., Chougourou, D. C., & Mensah, G. A. (2022). Effect of four rearing substrates on the yield and the chemical composition of housefly larvae, *Musca domestica* L. 1758 (Diptera: Muscidae). *International Journal of*

Tropical Insect Science, 42, 1331–1339. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00651-z>

- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Available online: <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf>
- Gibbons, M., Crump, A., Barrett, M., Sarlak, S., Birch, J., & Chittka, L. (2022). Can insects feel pain? A review of the neural and behavioural evidence. *Advances in Insect Physiology*, 63, 155–229. <https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2022.10.001>
- Gibbons, M., Sarlak, S., & Chittka, L. (2022). Descending control of nociception in insects? *Proceedings Biological Sciences*, 289, 20220599. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0599>.
- Gibson, W. T., Gonzalez, C. R., Fernandez, C., Ramasamy, L., Tabachnik, T., Du, R. R., Felsen, P. D., Maire, M. R., Perona, P., & Anderson, D. J. (2015). Behavioral responses to a repetitive visual threat stimulus express a persistent state of defensive arousal in *Drosophila*. *Current Biology*, 25, 1401–1415. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.058>
- Giurfa, M. (2013). Cognition with few neurons: Higher-order learning in insects. *Trends in Neurosciences*, 36, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2012.12.011>
- Gjerris, M., Gamborg, C., & Röcklinsberg, H. (2016). Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(2), 101–110. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0097>
- Green, T. R., & Popa, R. (2012). Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 166, 1381–1387. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9530-6>
- Harnden, L. M., & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*, 266, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007>

- Haynes, R. P. (2011). Competing conceptions of animal welfare and their ethical implications for the treatment of non-human animals. *Acta Biotheoretica*, 59(2), 105–120. <https://doi.org/10.1007/s10441-011-9124-2>
- Hoffmann, A. A., & Ross, P. A. (2018). Rates and patterns of laboratory adaptation in (mostly) insects. *Journal of Economic Entomology*, 111, 501–509. <https://doi.org/10.1093/jee/toy024>
- Horvath, K., Angeletti, D., Nascetti, G., & Carere, C. (2013). Invertebrate welfare: An overlooked issue. *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 49(1), 9–17. https://doi.org/10.4415/ann_13_01_04
- Hussein, M., Pillai, V. V., Goddard, J. M., Park, H. G., Kothapalli, K. S., Ross, D. A., Ketterings, Q. M., Brenna, J. T., Milstein, M. B., Marquis, H., Johnson, P. A., Nyrop, J. P., Selvaraj, V., & Qiu, X. (2017). Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *Plos One*, 12(2), e0171708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171708>
- Iliadi, K. G. (2009). The genetic basis of emotional behavior: Has the time come for a *Drosophila* model? *Journal Neurogenetocs. Journal of Neurogenetics*, 23, 136–146. <https://doi.org/10.1080/01677060802471650>
- Jordan, H. R., & Tomberlin, J. K. (2021). Microbial influence on reproduction, conversion, and growth of mass produced insects. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.10.001>
- Julita, U., Lusianti F, L. L., Putra, R. E., & Permana, A. D. (2020). Mating success and reproductive behavior of black soldier fly *Hermetia illucens* l. (Diptera, Stratiomyidae) in Tropics. *Journal of Entomology*, 17(3), 117–127. <https://doi.org/10.3923/je.2020.117.127>
- Khan, A., Shad, S., & Akram, W. (2012). Effect of livestock manures on the fitness of house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Parasitology Research*, 111(3), 1165–1171. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2947-1>
- Khuong, T. M., Wang, Q. P., Manion, J., Oyston, L. J., Lau, M. T., Towler, H., Lin, Y. Q., & Neely, G. G. (2019). Nerve injury drives a heightened state of vigilance and neuro-pathic sensitization in *Drosophila*. *Science Advances*, 5 (7), eaaw4099. *Science advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw4099>

- Kökdener, M., Kiper, F., & Brent, C. (2021). Effects of larval population density and food type on the life cycle of *Musca domestica* (diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*, 50(2), 324–329. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa165>
- Korte, S. M., Olivier, B., & Koolhaas, J. M. (2007). A new animal welfare concept based on allostasis. *Physiology & Behavior*, 92(3), 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.10.018>
- Kortsmit, Y., van der Bruggen, M., Wertheim, B., Dicke, M., Beukeboom, L. W., & van Loon, J. J. A. (2022). Behaviour of two fly species reared for livestock feed: Optimising production and insect welfare. *Journal of Insects as Food and Feed*, 0 (0), 1–22. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0214>
- Lambert, H., Elwin, A., & D’cruze, N. (2021). Wouldn’t hurt a fly? A review of insect cognition and sentience in relation to their use as food and feed. *Applied Animal Behaviour Science*, 243, 105432. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105432>
- LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 73(4), 653–676. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.02.004>
- Levine, J. (1983). Materialism and qualia: The explanatory gap. *Pacific Philosophical Quarterly*, 64(4), 354–361.
- Leyo, I. H., Ousmane, Z. M., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2022). Optimal substrates for producing housefly larvae with high nutritional composition for sustainable poultry feed in Niger. *Journal of Insects as Food and Feed*, 0, 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0013>
- Liu, Z., Najar-Rodriguez, A. J., Morel, P. C. H., Minor, M. A., & Lohmeyer, K. (2022). Reproduction of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) under different adult densities and light regimes. *Journal of Economic Entomology*, 115(1), 37–45. <https://doi.org/10.1093/jee/toab225>
- Loo, S., & Sellbach, U. (2013). Eating (with) insects: Insect gastronomies and upside-down ethics. *Parallax*, 19(1), 12–28. <https://doi.org/10.1080/13534645.2013.743290>
- Lotta, F. (2019). Insects as Food: The Legal Framework. In G. Sogari, C. Mora, & D. Menozzi (Eds.), *Edible Insects in the Food Sector*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22522-3_8

- Lysyk, T. J. (1991). Effects of temperature, food, and sucrose feeding on longevity of the house fly (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*, 20, 1176–1180. <https://doi.org/10.1093/ee/20.4.1176>
- Maciel-Vergara, G., Jensen, A. B., Lecocq, A., & Eilenberg, J. (2021). Diseases in edible insect rearing systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 621–638. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0024>
- Mallory, H. S., Howard, A. F., Weiss, M., & Raine, N. E. (2016). Timing of Environmental Enrichment Affects Memory in the House Cricket, *Acheta domesticus*. *Plos One*, 11(4), e0152245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152245>
- Mather, J. A. (2001). Animal Suffering: An Invertebrate Perspective. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 4 (2), 151–156. https://doi.org/10.1207/S15327604JAWS0402_9
- McEwen, B. S., & Wingfield, J. C. (2003). The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior*, 43(1), 2–15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
- McKellar, C. E., & Wyttenbach, R. A. (2017). A protocol demonstrating 60 different *Drosophila* behaviors in one assay. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 15(2), A110–116. PMID: 28690431.
- Mellor, D. J. (2016a). Moving beyond the “Five Freedoms” by updating the “Five Provisions” and introducing aligned “Animal Welfare Aims”. *Animals*, 6(10), 59. <https://doi.org/10.3390/ani6100059>
- Mellor, D. J. (2016b). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “a Life Worth Living”. *Animals*, 6(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ani6030021>
- Mellor, D. J., & Beausoleil, N. J. (2015). Extending the ‘Five Domains’ model for animal welfare assessment to incorporate positive welfare states. *Animal Welfare*, 24(3), 241. <https://doi.org/10.7120/09627286.24.3.241>
- Milinkeviciute, G., Gentile, C., & Neely, G. G. (2012). *Drosophila* as a tool for studying the conserved genetics of pain. *Clinical Genetics*, 82, 359–366. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0004.2012.01941.x>
- Mohammad, F., Aryal, S., Ho, J., Stewart, J. C., Norman, N. A., Tan, T. L., Eisaka, A., & Claridge-Chang, A. (2016). Ancient anxiety pathways influence

- Drosophila* defense behaviors. *Current Biology*, 26(7), 981–986. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.031>
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, 83(4), 435–450. <https://doi.org/10.2307/2183914>
- Nakamura, S., Ichiki, R. T., Shimoda, M., & Morioka, S. (2016). Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: Low-cost and year-round rearing. *Applied Entomology and Zoology*, 51, 161–166. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0376-1>
- Niermans, K., Meyer, A. M., den Hil, E. F. H. V., van Loon, J. J. A., & van der Fels-Klerx, H. J. (2021). A systematic literature review on the effects of mycotoxin exposure on insects and on mycotoxin accumulation and biotransformation. *Mycotoxin Research*, 37(4), 279–295. <https://doi.org/10.1007/s12550-021-00441-z>
- Opare, L. O., Holm, S., & Esperk, T. (2021). Temperature-modified density effects in the black soldier fly: Low larval density leads to large size, short development time and high fat content. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(7), 783–802. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0147>
- Pali-Schöll, I., Binder, R., Moens, Y., Polesny, F., & Monsó, S. (2019). Edible insects – defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2760–2771. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>
- Parodi, A., van Dijk, K., van Loon, J. J. A., de Boer, I. J. M., van Schelt, J., & van Zanten, H. H. E. (2020). Black soldier fly larvae show a stronger preference for manure than for a mass-rearing diet. *Journal of Applied Entomology*, 144, 560–565. <https://doi.org/10.1111/jen.12768>
- Pastor, B., Čickova, H., Kozanek, M., Martinez-Sanchez, A., Takac, P., & Rojo, S. (2011). Effect of the size of the pupae, adult diet, oviposition substrate and adult population density on egg production in *Musca domestica* (diptera: Muscidae). *European Journal of Entomology*, 108(4), 587–596. <https://doi.org/10.14411/eje.2011.076>

- Perry, C. J., & Baciadonna, L. (2017). Studying emotion in invertebrates: What has been done, what can be measured and what they can provide. *The Journal of Experimental Biology*, 220(21), 3856–3868. <https://doi.org/10.1242/jeb.151308>
- Perry, C. J., Baciadonna, L., & Chittka, L. (2016). Unexpected rewards induce dopamine-dependent positive emotion-like state changes in bumblebees. *Science*, 353, 1529–1537. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4454>
- Pisa, L., Oonincx, D. G. A. B., Bosch, G., & Hendriks, W. H. (2022). Bioconversion of fresh chicken excreta by housefly larvae (*Musca domestica* L.) in relation to excreta sterilisation and carbohydrate addition. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(10), 1–10. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0161>
- Rowe, A. (2020). Insects farmed for food and feed — global scale, practices, and policy. <https://doi.org/10.31219/osf.io/nh6k3>
- Sackton, T. B., Lazzaro, B. P., & Clark, A. G. (2017). Rapid expansion of immune-related gene families in the house fly, *Musca domestica*. *Molecular Biology and Evolution*, 34, 857–872. <https://doi.org/10.1093/molbev/msw285>
- Sadler, K. E., Mogil, J. S., & Stucky, C. L. (2022). Innovations and advances in modelling and measuring pain in animals. *Nature Reviews Neuroscience*, 23, 70–85. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00536-7>
- Santaoja, M., & Niva, M. (2019). The missing animal in entomophagy-ethical, ecological and aesthetic considerations on eating insects. In E. Vinnari & M. Vinnari (Eds.), *Sustainable governance and management of food systems, ethical perspectives* (pp. 310–316). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-892-6_43
- Scala, A., Cammack, J. A., Salvia, R., Scieuzo, C., Franco, A., Bufo, S. A., Tomberlin, J. K., & Falabella, P. (2020). Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Scientific Reports*, 10(1), 19448. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76571-8>
- Schlüns, H., Welling, H., Federici, J. R., & Lewejohann, L. (2017). The glass is not yet half empty: Agitation but not Varroa treatment causes cognitive bias in honey bees. *Animal Cognition*, 20, 233–241. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-1042-x>

- Schou, M. T., Faurby, S., Kjærsgaard, A., Pertoldi, C., Loeschcke, V., Hald, B., & Bahrndorff, S. (2013). Temperature and population density effects on locomotor activity of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) *Environmental entomology* 42 6 1322–1328 <https://doi.org/10.1603/EN13039>
- Sherwin, C. M. (2001). Can invertebrates suffer? or, how robust is argument-by-analogy
? *Animal Welfare*, 10, 103–118.
- Simonin, D., & Gavinelli, A. 2019 The European Union legislation on animal welfare: State of play, enforcement and future activities In S. Hild & L. Schweitzer Eds. *Animal welfare, from science to law* pp. 59–70 Retrieved from <https://www.fondation-droit-animal.org/documents/6-SIMONIN-et-al-AnimalWelfare2019.v1.pdf>
- Singer, P. (2016). Sting in the tail. *New Scientist*, 232(3094), 20–21. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(16\)31838-3](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(16)31838-3)
- Spinka, M., & Wemesfelder, F. (2011). Environmental challenge and animal agency. *Animal welfare*, CAB International. p27–44. Retrieved from: https://www.wellbeingintlstudiesrepository.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1106&context=acwp_asie
- Spykman, R., Hossaini, S. M., Peguero, D. A., Green, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia Illucens* larvae as a protein source for food and feed. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), 1959–1976. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01986-y>
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? *Annual Review of Entomology*, 63(1), 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- Sykes, A. V., Baptista, F. D., Gonçalves, R. A., & Andrade, J. P. (2012). Directive 2010/63/ EU on animal welfare: A review on the existing scientific knowledge and implications in cephalopod aquaculture research. *Reviews in Aquaculture*, 4(3), 142–162. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01070.x>
- The Dutch Council of Animal Affairs. (2018). The Emerging Insect Industry; Invertebrates as production animals. Retrieved from:

<https://english.rda.nl/publications/publications/2018/09/03/the-emerging-insect-industry>

- Tiffin, H. (2016). Do insects feel pain? *Animal Studies Journal*, 5(1), 80–96. Available at. <https://ro.uow.edu.au/asj/vol5/iss1/6>
- Tononi, G. (2004). An information integration theory of consciousness. *BMC Neuroscience*, 5(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42>
- Tononi, G. (2008). Consciousness as integrated information: A provisional manifesto.
- The Biological Bulletin, 215(3), 216–242. <https://doi.org/10.2307/25470707>
- Tye, M. (1995). *Ten Problems of Consciousness*. The MIT Press. 264.
- Tye, M. (2016). *Tense bees and shell-shocked crabs: Are animals conscious?*. Oxford University Press.
- van Huis, A. (2019). Welfare of farmed insects. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.x004>
- Van Huis, A. (2023). Increasing academic interest in edible insects: The journal of insects as food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(1), 1–2. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.x008>
- van Huis, A., & Gasco, L. (2023). Insects as feed for livestock production. *Science*, 379 (6628), 138–139. <https://doi.org/10.1126/science.adc9165>
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security (No. 171). Food and agriculture organization of the United Nations. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- van Zanten, H. H. E., Mollenhorst, H., Oonincx, D. G. A. B., Bikker, P., Meerburg, B. G., & de Boer, I. J. M. (2015). From environmental nuisance to environmental opportunity: Housefly larvae convert waste to livestock feed. *Journal of Cleaner Production*, 102, 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.106>
- Vogel, H., Müller, A., Heckel, D. G., Gutzeit, H., & Vilcinskas, A. (2018). Nutritional immunology: Diversification and diet-dependent expression of antimicrobial peptides in the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *Developmental & Comparative Immunology*, 78, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.09.008>

- Vogel, M., Shah, P. N., Voulgari-Kokota, A., Maistrou, S., Aartsma, Y., Beukeboom, L. W., Falcao Salles, J., van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Wertheim, B. (2022). Health of the black soldier fly and house fly under mass-rearing conditions: Innate immunity and the role of the microbiome. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(8), 1–22. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0151>
- Wang, Y., Yang, L., Zhang, Y., Tao, L., & Wang, J. (2018). Development of *Musca domestica* at constant temperatures and the first case report of its application for estimating the minimum postmortem interval. *Forensic Science International*, 285, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.02.004>
- Webster, A. J. (1998). What use is science to animal welfare? *Naturwissenschaften*, 85(6), 262–269. <https://doi.org/10.1007/s001140050496>
- Wehmann, H. N., Engels, T., & Lehmann, F. O. (2022). Flight activity and age cause wing damage in house flies. *The Journal of Experimental Biology*, 225(1), jeb242872. <https://doi.org/10.1242/jeb.242872>
- Wemelsfelder, F. (1997). The scientific validity of subjective concepts in models of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 53(1–2), 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(96\)01152-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(96)01152-5)
- Wemelsfelder, F. (2007). How animals communicate quality of life: The qualitative assessment of behaviour. *Animal Welfare*, 16(S1), 25–31.
- Wojda, I. (2017). Temperature stress and insect immunity. *Journal of Thermal Biology*, 68, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.12.002>
- Yang, Z., Bertolucci, F., Wolf, R., & Heisenberg, M. (2013). Flies cope with uncontrollable stress by learned helplessness. *Current Biology*, 23, 799–803. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.03.054>
- Yeates, J. W., & Main, D. C. J. (2008). Assessment of positive welfare: A review. *The Veterinary Journal*, 175(3), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.05.009>
- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129–144. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2010.06.006>