

Marian Gil^{1,*}, Mariusz Rudy¹, Paulina Duma-Kocan¹, Renata Stanisławczyk¹,
Mateusz Rudy²

BEZPIECZEŃSTWO SPOŻYCIA ORAZ WYKORZYSTANIA OWADÓW W PRODUKCJI ŻYWNOSCI

Streszczenie: Zagadnienia bezpieczeństwa żywności w odniesieniu do jadalnych owadów muszą być gruntownie poznane, aby można oczekiwać przełamania oporów w społeczeństwach, dla których takie praktyki żywieniowe są nieznane. Wśród tych zagrożeń wykrycie potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń chemicznych może budzić poważne obawy. Obecność i poziom zanieczyszczeń w owadach jadalnych zależy od gatunku owadów, etapu zbioru, stosowanych podłoży paszowych oraz metod produkcji. Skuteczne środki kontroli i praktyki higieniczne w produkcji, przetwarzaniu, konserwacji i obchodzeniu się z jadalnymi owadami są potrzebne dla wyeliminowania ryzyka infekcji mikrobiologicznych i ochrony zdrowia konsumentów.

Wprowadzenie

Z żywieniowego punktu widzenia owady są bogatym źródłem kilku mikro- i makroskładników, takich jak minerały, witaminy, jedno- i wielonienasycone kwasy tłuszczowe oraz białka [Tang i in. 2019], a także chityny i obiecującego węglowodanu o szerokim zakresie możliwych zastosowań (takich jak żywność, kosmetyki, farmaceutyki, przemysł tekstylny itd.) [Caligiani i in. 2018, Fuso i in. 2024]. Uznaje się owady za niedostatecznie wykorzystany i niedoceniany zasób odnawialny, mają ogromny potencjał, aby stawić czoła kryzysom żywnościowym i zaspokoić rosnące potrzeby żywieniowe [Zhang i in. 2024]. Według statystyk około 25% światowej populacji spożywa już jadalne owady. Rozpowszechnione jest to w Azji, Afryce, Ameryce Południowej i Oceanii [Huis 2020].

Pomimo licznych funkcji biologicznych owadów jadalnych związanych ze zrównoważonym rozwojem bezpośrednio ich wykorzystanie jako pożywienia stoi przed kilkoma wyzwaniami, z których najważniejszym jest psychologiczna

¹ Zakład Przetwórstwa i Towaroznawstwa Rolniczego, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów.

² Studenckie Koło Naukowe Oceny i Przetwórstwa Żywności „Kabanosik”, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mgil@ur.edu.pl

bariera akceptacji, szczególnie w krajach zachodnich [López i in. 2023]. Z tego powodu strategie ukrywania obecności owadów w produktach spożywczych są już zdefiniowane. Owady jadalne mogą być przygotowywane jako smażone, suszone, marynowane, wędzone, mielone na proszek, przetwarzane na produkty takie jak mąka czy pasta lub mogą być frakcjonowane na różne składniki, jak białko, lipidy lub chityna, i dodawane do innych produktów spożywczych [Poma i in. 2022].

Wzrost zainteresowania owadami jadalnymi promowany przez Organizację Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) zmusza do zwrócenia większej uwagi na kwestie związane z bezpieczeństwem żywności [Baiano 2020, FAO 2021, Borges i in. 2022]. Obawy dotyczące bezpieczeństwa żywności produkowanej z jadalnych owadów muszą być rozwiane, aby zachęcać i promować jej stosowanie w diecie człowieka [Imathiu 2020]. Obecnie więcej uwagi poświęca się opracowywaniu strategii promowania owadów jadalnych, poznawaniu preferencji konsumenckich, podczas gdy to zbadanie i poznanie obaw jest kluczem do ich opanowania i przełamania barier akceptacji. Celem niniejszej pracy było przedstawienie zagrożeń związanych z pozyskiwaniem, produkcją i konsumpcją owadów jadalnych.

Zagrożenia bezpieczeństwa zdrowotnego owadów jadalnych

Oprócz korzyści odżywczych związanych ze spożywaniem jadalnych owadów mogą one przenosić egzogenne i endogenne czynniki ryzyka dla zdrowia ludzkiego. Potencjalne zagrożenia dla bezpieczeństwa żywności, które mogą być związane z jadalnymi owadami, można podzielić na trzy kategorie: chemiczne, biologiczne i alergeny [Murefu i in. 2019]. Zagrożenia dla zdrowia związane z wykorzystywaniem owadów jako pożywienia i paszy zależą od wykorzystywanych gatunków i ich podłoża oraz od sposobu ich hodowli i przetwarzania do spożycia [Turek i in. 2021].

Podczas opracowywania żywności lub paszy z jadalnych owadów i składników na bazie owadów należy zidentyfikować i zminimalizować potencjalne problemy dotyczące bezpieczeństwa konsumentów i zwierząt, aby zminimalizować ich skutki. Wśród tych zagrożeń wykrycie potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń środowiska może budzić poważne obawy [Poma i in. 2022].

Zagrożenia biologiczne

Owady nie są wolne od patogenów, posiadają złożoną mikrobiotę, której większość gatunków jest związana z przewodem pokarmowym. Jest ona również obecna w innych częściach anatomicznych owadów i może zostać wprowadzona

podczas hodowli i przetwarzania do produkowanej z nich żywności [Anusha i Negi 2022]. Owady jadalne mogą przenosić mikroorganizmy chorobotwórcze stanowiące zagrożenie dla zdrowia konsumentów, przy czym stopień zanieczyszczenia mikrobiologicznego owadów jadalnych zależy od ich gatunku, metody zbierania (dzikie lub udomowione), a także praktyk higienicznych oraz procedur przetwarzania i obchodzenia się z owadami stosowanych w ich przygotowaniu [Lange i Nakamura 2021]. Wśród zagrożeń biologicznych wykazano, że na mikrobiotę związaną z jelitami owadów i środowiskiem chowu duży wpływ ma pasza, a także pionowe przenoszenie mikroorganizmów z matki na potomstwo podczas składania jaj [Garofalo i in. 2019].

Badanie przeprowadzone w Tajlandii wykazało obecność różnych potencjalnie chorobotwórczych bakterii u jadalnych owadów, w tym: *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* i *Vibrio* [Osimani i in. 2018], a także *Campylobacter*, *Neisseria*, *Pseudomonas*, które znaleziono w surowych jadalnych konikach polnych w Ugandzie [Ssepuuya i in. 2019]. Inne bakterie chorobotwórcze występujące w owadach jadalnych to *Micrococcus*, *Salmonella* i *Shigella* [Mézès 2018, Ssepuuya i in. 2019], *Bacillus cereus* i *Escherichia coli* [Jensen i in. 2020, Marin i in. 2020]. Wśród nich patogeny zarodnikujące są najbardziej niepokojące ze względu na ich zdolność do tworzenia endospor, które są odporne na ciepło i wysuszenie [Ordoñez-Araque i Egas-Montenegro 2021]. Frigerio i współpracownicy [2020] podkreślili obecność *Bacillus* w większości próbek (80%) analizowanych komercyjnych produktów spożywczych na bazie owadów.

Owady mają specyficzną obfitość patogenów wirusowych, ale należy je rozpatrywać tylko z punktu widzenia zdrowia zwierząt, ponieważ wirusy te są uważane za bezpieczne dla ludzi. Niemniej jednak wirusy przenoszone przez stawonogi (arbowirusy) mogą również powodować choroby, takie jak denga, choroba Zachodniego Nilu, gorączka doliny Rift, gorączka krwotoczna i chikungunya u ludzi [Belluco i in. 2018]. Ponadto nie można wykluczyć możliwości, że niektóre wirusy wprowadzane do ferm owadów przez substrat są przenoszone na ludzi [Baiano 2020].

Stosowana w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności obróbka termiczna może skutecznie wyeliminować dużą liczbę chorobotwórczych mikroorganizmów obecnych w owadach jadalnych [Zhang i in. 2024], jednak przedłużona obróbka cieplna prowadzi do utraty substancji bioaktywnych i utleniania proszku owadziego [Cao i in. 2020].

Zagrożenia chemiczne

Przenoszenie lub bioakumulacja zanieczyszczeń chemicznych wydaje się zależeć od substancji chemicznej, gatunku owadów, etapu ich życia, źródła zanieczyszczenia (wzbogacone lub naturalne), podłoża i warunków hodowli [Meyer i in. 2021]. Badania wskazują, że metale ciężkie: ołów, arsen, rtęć i kadm, mogą się kumulować w organizmach owadów jadalnych. Wykazano, że arsen i kadm gromadzą się

odpowiednio w żółtych larwach mącznika młynarka i u czarnej muchy [Fels-Klerx i in. 2018]. Kumulację kadmu w przedpoczwarkach muchy czarnej wykazały badania Dienera i in. [2015]. Suszone koniki polne (*Chapulines*) uznano za jedno ze źródeł podwyższonego poziomu ołowiu we krwi ($> 10 \mu\text{g/dl}$) u dzieci i kobiet w ciąży w trzech klinikach hrabstwa Monterey w Kaliforni w latach 2001–2003 [Handley i in. 2007]. Nie potwierdzono kumulowania się w organizmach owadów mykotoksyn i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Wskazuje się natomiast, że mykotoksyny i leki weterynaryjne, takie jak linkomycyna [Luo i in. 2022], mogą być degradowane przez owady [Huis 2022]. Jednak obecność w jadalnych owadach różnych mikotoksyn [Fels-Klerx i in. 2018], w tym aflatoksyn, jako udowodnionych czynników rakotwórczych powoduje największe obawy zdrowotne [Lange i Nakamura 2021].

Oprócz zanieczyszczeń chemicznych pochodzenia środowiskowego, które trafiają do żywności, zagrożenie mogą stanowić substancje chemiczne wywarzone przez mechanizmy obronne owadów. Owady posiadają zdolność produkcji np. kwasów węglowych, alkoholi, aldehydów i fenoli, które mogą być miejscowo drażniące lub, w przypadku alkaloidów, steroidów, glukozydów cyjanogennych, (benzo)chinonów i alkenów, mogą wywoływać znaczące skutki ogólnoustrojowe [Belluco i in. 2018]. Doniesiono także, że niektóre jadalne gatunki owadów zawierają takie substancje antyodżywcze, jak: alkaloidy, saponiny, garbniki, szczawiany, fityniany i cyjanowodorek [EFSA 2015].

Żywność pochodząca z dziko zebranych owadów jadalnych jest zagrożona obecnością pozostałości pestycydów, ponieważ dzikie owady mogą żywić się uprawami lub roślinnością skażoną pestycydami [Poma i in. 2017]. Na przykład niedawne masowe opryski powietrza i gleby pestycydami o szerokim spektrum działania w celu zwalczania plag szarańczy w krajach Afryki Wschodniej mogą mieć znaczący negatywny wpływ na środowisko i zdrowie ludzi [McConnell 2021]. W Tajlandii owady skażone pestycydami spowodowały zatrucia pokarmowe u osób je spożywających [Lange i Nakamura 2021]. Akumulację czynników ryzyka związanego ze spożywaniem owadów można ograniczyć poprzez opróżnianie ich treści jelitowej, co eliminuje około 47% pozostałości deltametryny i 78% tebukonazolu oraz aż 100% chloru tetrachlorometanu i znacznie podnosi bezpieczeństwo zastosowań w przetwórstwie owadów [Dreassi i in. 2020]. Pozostałości treści pokarmowych w jelitach owadów i produktach owadzych mogą być niebezpieczne dla osób uczulonych. W artykułach tych mogą znajdować się nieznane substancje toksyczne i alergen. Żywienie nimi musi być ustandaryzowane, aby przesiać potencjalne zagrożenia [Tang i in. 2019].

Alergeny

Każdy pokarm zawierający białko może powodować reakcje alergiczne, a niektóre białka zawarte w jadalnych owadach, m.in. takie jak kinaza argininowa, α -amylaza i tropomiozyna, są uważane za alergen [Murefu i in. 2019]. Przyczyną

prawie jednej piątej śmiertelnych reakcji na żywność w Chinach było spożycie owadów [Ji i in. 2009], a u 7,6% osób spożywających owady w Laosie stwierdzono reakcje alergiczne [Barennes i in. 2015].

EFSA ds. żywienia, Panel ds. Nowej Żywności i Alergenów Żywnościowych, poza pozytywnymi opiniami naukowymi na temat owadów wskazuje, że spożywanie żywności z owadów jadalnych może wywoływać pierwotne uczulenie i reakcje alergiczne na białko owadzie oraz powodować reakcje alergiczne u osób z alergią na skorupiaki i roztocza kurzu domowego. Ponadto w produktach zawierających owady jadalne mogą znajdować się alergenzy z paszy dla owadów [Fuso i in. 2024]. Ważne jest określenie potencjalnej alergenicności nowej żywności, takiej jak jadalne owady [Gier i Verhoeckx 2018, Ribeiro i in. 2018], które stanowią realne ryzyko alergizacji, ponieważ białka owadów wykazują reaktywność krzyżową z panalergenami z rodzaju *Arthropoda*. Wykazano, że pacjenci uczuleni na skorupiaki mają specyficzną reaktywność krzyżową IgE z niektórymi gatunkami owadów, w tym świerszczami, mącznikami, konikami polnymi i czarnymi muchami żołnierskimi, przy czym głównymi białkami alergizującymi są tropomiozyna i kinaza argininowa [Hall i Liceaga 2021, Marchi i in. 2021].

Innym ryzykiem jest zanieczyszczenie alergizującymi białkami z podłoża hodowlanego. Istotnym aspektem entomofagii jest fakt, że zarówno larwy, jak i osobniki dorosłe owadów są zwykle przetwarzane w całości, najczęściej do postaci mąki, bez uprzedniej separacji poszczególnych części ciała. W rezultacie spożyciu podlega cały organizm owada, w tym egzoszkielet oraz zawartość przewodu pokarmowego. Jelita mogą zawierać resztki niestrawionej paszy, jeśli przed zbiorem i zabiciem owadów nie zostanie przeprowadzony odpowiedni post [Fuso i in. 2024]. Niedeklarowana obecność owadów w żywności może stanowić ryzyko alergii dla osób uczulonych na skorupiaki lub roztocza. Biorąc pod uwagę rzeczywiste ryzyko wystąpienia reakcji alergicznych w przypadku niektórych kategorii osób, prawidłowe etykietowanie ma zasadnicze znaczenie dla umożliwienia konsumentom dokonania świadomego wyboru [Fuso i in. 2024].

Zagrożenia bezpieczeństwa produkcji owadów jadalnych

Owady są uważane za jedną z najbardziej zrównoważonych alternatyw konwencjonalnej hodowli zwierząt gospodarskich [Kim i in. 2020], ponieważ emitują mniej gazów cieplarnianych i amoniaku, mają wysoką wydajność konwersji żywności i paszy, wymagają mniej ziemi i wody oraz mogą przekształcać niskowartościowe organiczne produkty uboczne w wysokiej jakości żywność lub paszę [Surendra i in. 2020]. Nieco inaczej prezentuje się ta kwestia, jeśli rozpatruje się produkcję w warunkach ściśle kontrolowanych na bezpiecznych, wysokiej jakości substratach przy zachowaniu warunków sanitarnych. Narracja o marketingu owadów jako panaceum na wyzwania klimatyczne związane z zasobami i źródłem może być myląca [Lange i Nakamura 2021].

Na występowanie i poziom zanieczyszczeń w owadach jadalnych mają wpływ gatunki owadów, etap zbioru, stosowane podłoże paszowe oraz metody produkcji. W szczególności stosowanie wolnego od zagrożeń podłoża paszowego ma zasadnicze znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa żywności z owadów jadalnych [EFSA 2015, Lange i Nakamura 2021]. Prawidłowy wybór wysokiej jakości substratu paszowego wolnego od zagrożeń wymaga oceny i kontroli, co jest możliwe tylko w przypadku kontrolowanej produkcji innej niż dzikie zbiory [Imathiu 2020]. Obecnie owady mogą być karmione wyłącznie dozwolonymi substratami, takimi jak materiały pochodzenia roślinnego, mleko, jaja i ich przetwory, miód, wytopione tłuszcze lub produkty krwiopochodne zwierząt innych niż przeżuwacze, natomiast stosowanie odpadów gastronomicznych, obornika, gnojowicy lub innych produktów pochodzenia zwierzęcego, jak niesprzedane produkty z supermarketów zawierające mięso i ryby, jest obecnie zabronione ze względów bezpieczeństwa [Huis i Gasco 2023, Fuso i in. 2024]. Przestrzeganie tych wymogów powinno być monitorowane w sposób analogiczny do tradycyjnych systemów produkcji zwierzęcej, ponieważ doniesienia o względnej odporności owadów na zagrożenia środowiskowe nie są równoznaczne z bezpieczeństwem owadów pozyskanych z takiego środowiska jako pokarmu dla człowieka.

W podmiotach, które nie wdrożyły środków bioasekuracji, owady i żywność na bazie owadów mogą zostać skażone mikroorganizmami chorobotwórczymi przenoszonymi przez personel i szkodniki [Bakula i Gałęcki 2021, Kwiatek i in. 2021]. Aby zminimalizować to ryzyko, fermy owadów powinny przestrzegać tych samych standardów bezpieczeństwa biologicznego, które są stosowane w konwencjonalnym sektorze spożywczym [Kok 2021, Żuk-Gołaszewska i in. 2022]. Skuteczne środki kontroli i praktyki higieniczne w całym łańcuchu pokarmowym jadalnych owadów, w tym w produkcji, przetwarzaniu, konserwacji i obchodzeniu się z jadalnymi owadami, są niezbędne dla ochrony zdrowia konsumentów i wyeliminowania ryzyka infekcji mikrobiologicznych i [Lange i Nakamura 2021].

Nie wszystkie gatunki owadów są dopuszczone jako żywność i pasza w Unii Europejskiej, co toruje drogę dla ewentualnych oszustw [Fuso i in. 2024]. Zagrożenie dla bezpieczeństwa mogą stanowić oszustwa dotyczące różnych aspektów związanych z nowym kierunkiem produkcji żywności, które mogą też powodować poważne konsekwencje zdrowotne. Może być podrabiane pochodzenie geograficzne owadów bądź dzikie owady mogą być wprowadzane do obrotu jako hodowlane. Owady hodowane w niedozwolony sposób mogą potencjalnie przenosić patogeny na ludzi [Gałęcki i Sokół 2019], ale także zanieczyszczenia chemiczne i procesowe. Również pewnego rodzaju zafałszowanie, takie jak substytucja białek owadów tańszymi, może wywołać reaktywność krzyżową między białkami a ludzkimi IgE [Leni i in. 2020]. Obawy związane z oszustwami w branży [Poma i in. 2022] wymuszają zapotrzebowanie na narzędzia analityczne do kontrolowania integralności łańcucha jakości owadów.

Podsumowanie

Owady uznaje się za zasób odnawialny o ogromnym potencjale mogący stawić czoło kryzysom żywnościowym i zaspokoić potrzeby żywieniowe ludności. Obawy jednak budzi wykrywanie w nich potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń środowiska. W jadalnych owadach wykrywa się potencjalnie chorobotwórcze bakterie, w tym: *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Vibrio*, *Campylobacter*, *Neisseria*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Salmonella*, *Shigella* *Bacillus cereus* i *Escherichia coli*. Pomimo że większość obecnych w owadach wirusów uznaje się za bezpieczne dla ludzi, wskazuje się jednak, że wirusy przenoszone przez stawonogi (arbowirusy) mogą wywoływać u ludzi choroby takie jak denga, choroba Zachodniego Nilu, gorączka doliny Rift, gorączka krwotoczna i chikungunya. W organizmach owadów mogą się kumulować metale ciężkie jak ołów, arsen, rtęć i kadm. Kumulacji mykotoksyn wprawdzie nie potwierdzono, ale zagrożeniem jest już sama ich obecność związana z podłożem służącym do hodowli. Spożywanie owadów pochodzących z nowej żywności może wywoływać pierwotne uczulenie i reakcje alergiczne na białko owadzie oraz reakcje alergiczne u osób z alergią na skorupiaki i roztocza kurzu domowego. Zagrożeniem mogą być także reakcje alergiczne wywołane zastosowaniem owadów jako dodatku do żywności. Ryzyko można ograniczyć poprzez wymóg stosowania w fermach owadów standardów bezpieczeństwa biologicznego analogicznych do tych w konwencjonalnym sektorze spożywczym. Warunkiem osiągnięcia bezpieczeństwa w tym zakresie jest zapewnienie ściśle kontrolowanych warunków produkcji na bezpiecznych, wysokiej jakości substratach przy zachowaniu wysokiego poziomu higieny na każdym etapie produkcji i dystrybucji produktów.

Bibliografia

- Anusha S., Negi P.S. (2022). Chapter 29 – Edible insects and gut health. [In:] D. Bagchi, S.E. Ohia (Eds.): Nutrition and Functional Foods in Boosting Digestion, Metabolism and Immune Health. Academic Press, 523–39.
- Baiano A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. Trends Food Sci Technol. 100, 35–50.
- Bakula T., Gałęcki R. (2021). Strategia wykorzystania owadów jako alternatywnych źródeł białka w żywieniu zwierząt oraz możliwości rozwoju jego produkcji na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Studio Reklamy Erzet.
- Barenes H., Phimmasane M., Rajaonarivo C. (2015). Insect Consumption to Address Undernutrition, a National Survey on the Prevalence of Insect Consumption among Adults and Vendors in Laos. PLOS ONE, 10(8), 1–16.
- Belluco S., Mantovani A., Ricci A. (2018). Edible Insects in a Food Safety Perspective. [In:] A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, N. Roos (Eds.): Edible Insects in Sustainable Food Systems. Springer International Publishing, Cham, 109–26.

- Borges M.M., Costa D.V. da, Trombete F.M., Câmara A.K.F.I. (2022). Edible insects as a sustainable alternative to food products: an insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Curr Opin Food Sci.*, 46, 100864.
- Caligiani A., Marseglia A., Leni G., Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Res. Int.*, 105, 812–820.
- Cao X., Islam M.N., Zhong S., Pan X., Song M., Shang F., Nie H., Xu W., Duan Z. (2020). Drying kinetics, antioxidants, and physicochemical properties of litchi fruits by ultrasound-assisted hot air-drying. *J Food Biochem.*, 44(1), e13073.
- Diener S., Zurrbrugg C., Tockner K. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *J. Insects Food Feed*, 1, 261–270.
- Dreassi E., Mancini A., Corbini G., Botta M., Tarchi F., Francardi V. (2020). Bioaccumulation of deltamethrin, tebuconazole and chlormequat chloride in *T. molitor* larvae and risks associated with their human consumption. *J. Insects Food Feed*, 6(5), 457–66.
- EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA J.*, 13(10), 4257.
- FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. *Angew Chem Int Ed.*
- Fels-Klerx H.J. van der, Camenzuli L., Belluco S., Meijer N., Ricci A. (2018). Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17(5), 1172–1183.
- Frigerio J., Agostinetti G., Sandionigi A., Mezzasalma V., Berterame N.M., Casiraghi M., Labra M., Galimberti A. (2020). The hidden ‘plant side’ of insect novel foods: A DNA-based assessment. *Food Res. Int.*, 128, 108751.
- Fuso A., Leni G., Prandi B., Lolli V., Caligiani A. (2024). Novel foods/feeds and novel frauds: The case of edible insects. *Trends Food Sci. Technol.*, 147, 104457.
- Gałęcki R., Sokół R. (2019). A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. *PloS One*, 14(7), e0219303.
- Garofalo C., Milanović V., Cardinali F., Aquilanti L., Clementi F., Osimani A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Res. Int.*, 125, 108527.
- Gier S. de, Verhoeckx K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Mol Immunol*, 100, 82–106.
- Hall F.G., Liceaga A.M. (2021). Isolation and proteomic characterization of tropomyosin extracted from edible insect protein. *Food Chem. Mol. Sci.*, 3, 100049.
- Handley M.A., Hall C., Sanford E., Diaz E., Gonzalez-Mendez E., Drace K., Wilson R., Villalobos M., Croughan M. (2007). Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *American Journal of Public Health*, 97, 900–906.
- Huis A. van (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *J. Insects Food Feed*, 6(1), 27–44.
- Huis A. van (2022). Edible insects: Challenges and prospects. *Entomol. Res.*, 52(4), 161–77.
- Huis A. van, Gasco L. (2023). Insects as feed for livestock production. *Science*, 379(6628), 138–139.
- Imathiu S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS J*, 18, 1–11.
- Jensen A.N., Hansen S.H., Baggesen D.L. (2020). *Salmonella typhimurium* level in mealworms (*Tenebrio molitor*) after exposure to contaminated substrate. *Front. Microbiol.*, 11, 1613.
- Ji K., Chen J., Li M., Liu Z., Wang C., Zhan Z., Wu X., Xia Q. (2009). Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. *Trends Food Sci. Technol.*, 20(5), 227–31.
- Kim B.F., Santo R.E., Scatterday A.P., Fry J.P., Synk C.M., Cebon S.R., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., Pee S. de, Bloem M.W., Neff R.A., Nachman K.E. (2020). Country-specific dietary shifts to mitigate climate and water crises. *Glob. Environ. Change*, 62, 101926.

- Kok R. (2021). Preliminary project design for insect production: part 4 – facility considerations. *J. Insects Food Feed*, 7(5), 541–52.
- Kwiatk K., Bakula T., Sieradzki Z., Osiński Z., Kowalczyk E. (2021). Wytyczne dobrej praktyki higienicznej w produkcji owadów dla celów paszowych i spożywczych. Zakład Hig. Pasz Państw. Inst. Weter. Inst. Badaw., 169.
- Lange K.W., Nakamura Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *J. Future Foods*, 1(1), 38–46.
- Leni G., Tedeschi T., Faccini A., Pratesi F., Folli C., Puxeddu I., Migliorini P., Gianotten N., Jacobs J., Depraetere S., Caligiani A., Sforza S. (2020). Shotgun proteomics, in-silico evaluation and immunoblotting assays for allergenicity assessment of lesser mealworm, black soldier fly and their protein hydrolysates. *Sci. Rep.*, 10(1), 1228.
- López M.F.O., Ghnimi S., Liu C. (2023). Willingness to consume insect-based food in France: Determinants and consumer perspectives. *LWT*, 185, 115179.
- Luo X., Yang Q., Lin Y., Tang Z., Tomberlin J.K., Liu W., Huang Y (2022). Black soldier fly larvae effectively degrade lincomycin from pharmaceutical industry wastes. *J. Environ. Manage.*, 307, 114539.
- Marchi L.D., Mainente F., Leonardi M., Scheurer S., Wangorsch A., Mahler V., Pilolli R., Sorio D., Zoccatelli G. (2021). Allergenicity assessment of the edible cricket *Acheta domesticus* in terms of thermal and gastrointestinal processing and IgE cross-reactivity with shrimp. *Food Chem.*, 359, 129878.
- Marin C., Ibañez D., Rios-Corripio G., Guerrero J.A., Rodrigo D., Martinez A. (2020). Nature of the inactivation by high hydrostatic pressure of natural contaminating microorganisms and inoculated *Salmonella Typhimurium* and *E. coli* O157: H7 on insect protein-based gel particles. *LWT*, 133, 109948.
- McConnell T. (2021). A locust plague hit East Africa. The pesticide solution may have dire consequences. *Natl. Geogr.*, 24.
- Meyer A.M., Meijer N., Hil E.F.H. van den, Fels-Klerx H.J. van der. (2021). Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *J. Insects Food Feed*, 7(5), 823–832.
- Mézes M. (2018). Food safety aspect of insects: A review. *Acta Aliment.*, 47(4), 513–522.
- Murefu T.R., Macheka L., Musundire R., Manditsera F.A. (2019). Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*, 101, 209–224.
- Ordoñez-Araque R., Egas-Montenegro E. (2021). Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *Int. J. Gastron. Food Sci.*, 23, 100304.
- Osimani A., Milanović V., Cardinali F., Roncolini A., Garofalo C., Clementi F., Pasquini M., Mozzon M., Foligni R., Raffaelli N., Zamporlini F., Aquilanti L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 48, 150–163.
- Poma G., Cuykx M., Amato E., Calaprice C., Focant J.F., Covaci A. (2017). Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food Chem. Toxicol.*, 100, 70–79.
- Poma G., Cuykx M., Silva K.M.D., Iturrospe E., Nuijs A.L.N. van, Huis A. van, Covaci A. (2022). Edible insects in the metabolomics era. First steps towards the implementation of entometabolomics in food systems. *Trends Food Sci. Technol.*, 119, 371–377.
- Ribeiro J.C., Cunha L.M., Sousa-Pinto B., Fonseca J. (2018). Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Mol. Nutr. Food Res.*, 62(1), 1700030.
- Ssepuuya G., Wynants E., Verreth C., Crauwels S., Lievens B., Claes J., Nakimbugwe D., Campenhout L.V. (2019). Microbial characterisation of the edible grasshopper *Ruspolia differens* in raw condition after wild-harvesting in Uganda. *Food Microbiol.*, 77, 106–117.
- Surendra K.C., Tomberlin J.K., Huis A. van, Cammack J.A., Heckmann L.H.L., Khanal S.K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Manag.*, 117, 58–80.

- Tang C., Yang D., Liao H., Sun H., Liu C., Wei L., Li F. (2019). Edible insects as a food source: a review. *Food Prod. Process. Nutr.*, 21, 1(1), 8.
- Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A., Mangelsdorf I., McArdle H.J., Naska A. i in. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J.*;19(8), e06778.
- Zhang Z.Q., Chen S.C., Xiao J.H., Huang D.W. (2024). State-of-the-art review of edible insect: from bioactives, pretreatment to enrichment. *Food Biosci.*, 59, 103879.
- Żuk-Golaszewska K., Gałęcki R., Obremski K., Smetana S., Figiel S., Golaszewski J. (2022). Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing-An Overview. *Insects*, 13(5).

Safety of consumption and use of insects in food production

Abstract: Food safety issues related to edible insects must be thoroughly understood if we are to overcome resistance in societies unfamiliar with such dietary practices. Among these threats, the detection of potential food pathogens, allergens, toxins, and chemical contaminants can be of major concern. The presence and level of contaminants in edible insects depends on the insect species, the stage of collection, the feed substrates used, and the production methods. Effective control measures and hygienic practices in production, processing, preservation, and handling of edible insects are needed to eliminate the risk of microbiological infections and protect the health of consumers.