

## Tehnologije insektne biokonverzije - izkoriščanje priložnosti in premagovanje izzivov

### Sprejeto

21. 11. 2023

### Izdano

22. 11. 2024

LUKA IRENEJ PEČAN, EMA LUNA KARARA GERŠAK IN ALEŠ  
KUHAR

Luka Irenej Pečan, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija,  
e-pošta: luka.irenejpecan@bf.uni-lj.si.

Ema Luna Karara Geršak, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Slovenija,  
e-pošta: ema.luna.k.g@gmail.com

Izr. prof. dr. Aleš Kuhar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slove-  
nija, e-pošta: ales.kuhar@bf.uni-lj.si

### DOPISNI AVTOR

luka.irenejpecan@bf.uni-lj.si

**Povzetek** V agroživilski industriji smo priča inovacijam, ki jih poganjajo makro trendi, s poudarkom na trajnosti in vse večjem povpraševanju po beljakovinah. To je privedlo do razcveta področja, ki se ukvarja z implementacijo tehnologij reje insektov z namenom pridobivanja visokokakovostne krme za živali in iskanja naravnih in trajnostnih virov beljakovin. Priložnosti v tej panogi vključujejo trajnostne koristi, saj imajo žuželke visoko stopnjo pretvorbe hrane, za gojenje pa potrebujejo majhne površine in manj energije v primerjavi s preostalimi rejnimi živalmi. Uvedba tehnologij insektne biokonverzije lahko bistveno pripomore k zmanjšanju količine zavrženih organskih surovin. Robotika in avtomatizacija imata prav tako pomembno vlogo pri zagotavljanju doslednosti proizvodnih procesov. Enega največjih izzivov predstavljajo regulatorni okvirji, ki so, zaradi relativne novosti tega področja, večinoma neznani. Velik izziv ostaja tudi prenos tehnologij v večja, industrijska merila.

Treba bo premagati različne ovire in poiskati inovativne rešitve, da bo krma iz žuželk postala učinkovit in trajnosten vir beljakovin.

### Ključne besede:

insektna biokonverzija,  
krožno gospodarstvo,  
proteinska tranzicija



<https://doi.org/11.18690/po.11.21.9-14.2024>

Besedilo © Irenej Pečan, Karara Geršak in Kuhar, 2024



## 1 Uvod

Danes se spopadamo z mnogimi globalnimi izzivi, ki nas silijo v iskanje rešitev. Pričakuje se, da bo leta 2050 na svetu živelo skoraj 10 milijard ljudi. Da bi nahranili vse, bomo predvidoma potrebovali dodatnih 250 milijonov ton beljakovin, kar je 50 % več, kot jih proizvedemo danes. To predstavlja velik izziv, saj vemo, da je že danes večina pridelovalnih površin zasedenih, okolje pa je že zelo obremenjeno. Drug pereč problem, s katerim se srečujemo, je količina odpadne hrane. Letno zavržemo tretjino pridelane in proizvedene hrane, namenjene prehrani ljudi, kar je približno 1,3 milijarde ton hrane letno.<sup>7</sup> V kontekstu naraščajočega svetovnega prebivalstva, vedno večjega pomena in pozornosti, ki jo potrošniki posvečajo dobremu počutju živali in velikim količinam zavržene hrane, postajajo raziskave o alternativnih virih beljakovin, ki pomagajo zmanjšati onesnaževanje okolja, povečati dobro počutje živali in povečati razpoložljivost virov beljakovin, vedno bolj potrebne in pomembne.<sup>8</sup> Žuželke, ki se prehranjujejo z organskimi snovmi, kot so npr. stranski proizvodi in odpadki hrane, ki nastanejo v prehranjevalnih sistemih, lahko proizvedejo biomaso, bogato z beljakovinami, maščobami, vitamini in minerali. Tako lahko nadomestijo običajne sestavine krme, kot sta soja in ribja moka, ki negativno vplivata na podnebje in biotsko raznovrstnost. Poleg tega cene sojine in ribje moke, ki veljata za glavni vir beljakovin za živalsko krmo, naraščajo. Zaradi vseh izzivov, s katerimi se soočamo, narašča zanimanje za uporabo alternativnih virov beljakovin, tako v krmi za živali kot v prehrani ljudi.<sup>9</sup>

## 2 Insektna biokonverzija

Za učinkovito upravljanje z odpadki in stranskimi proizvodi ter vzpostavitev krožnega gospodarstva je ključno zagotoviti biokonverzijo odpadkov v visokovrednostne izdelke. Žuželke imajo izjemno sposobnost biološke pretvorbe nizkokakovostnih substratov v cenovno dostopno in visokokakovostno krmo za živali, medtem ko se njihovi ostanki in iztrebki uporabljajo za ustvarjanje gnojil. V primerjavi z gojenjem rastlin in živinorejo imajo žuželke številne prednosti, vključno s hitrim življenjskim ciklom, vzrejo na cenovno ugodnih surovinah (organski odpadki), omejenimi potrebami po zemlji in vodi ter nizkimi emisijami plinov. To naredi vzrejo žuželk trajnostno in okolju prijazno.<sup>9</sup>

V zadnjem času so žuželke pridobile več pozornosti, saj predstavljajo pomemben vir trajnostnih surovin za živalsko krmo, še posebej v prehrani rib, perutnine, in prašičev, poleg tega pa se vse bolj uporabljajo tudi v hrani za hišne ljubljence. Kljub tehničnim, finančnim in regulativnim izzivom so žuželke v krmi trenutno prisotne v omejenih količinah. Pri tem je ključnega pomena, da se poudari potreba po dodatnih analizah odnosa potrošnikov do uporabe žuželk v živalski krmi ter upoštevati njihova stališča.<sup>10</sup>

## 3 Substrat in vrste insektov v biokonverziji

Hranilna vrednost žuželk, uspešnost rasti in proizvodnje žuželk so močno odvisne od substrata na katerem rastejo. Pri substratu je potrebno paziti predvsem na primerno strukturo in optimalno hranilno vrednost. Žuželke, ki so opredeljene kot najbolj obetavne za industrijsko proizvodnjo v zahodnem svetu, so črna bojevniška muha - BSF (*Her-*

*metia illucens*), navadna hišna muha (*Musca domestica*) in veliki mokaar (*Tenebrio molitor*). V največji meri zato, ker se lahko dobro in učinkovito hranijo z organskimi stranskimi proizvodi in so relativno nezahtevne glede substrata.<sup>11</sup>

Primernost substrata se ocenjuje glede na to, kako ta vpliva na vhodne stroške, vsebnost hranilnih snovi v žuželkah, končno telesno maso žuželk, razvojni čas žuželk, delež njihovega preživetja ter učinkovitost biokonverzije substrata. Največji potencial za rejo žuželk imajo tako stranski produkti sadja in zelenjave, organski kuhinjski odpadki in živalski stranski produkti, stranski produkti pekarske industrije, stranski produkti mlevske industrije, pivovarske tropine, živalski gnoj in krma za perutnino.<sup>11</sup> Pri uporabi substrata za rejo žuželk pa je potrebno upoštevati tudi zakonodajne okvirje.

#### 4 Zakonodaja

Področje gojenja žuželk ob hkratni izrabi odpadnih surovin kot substratov je trenutno močno omejeno z zakonodajo, ki tega področja večinoma ne ureja posebej, kar predstavlja veliko tržno in konkurenčno omejitev za podjetja, ki s tovrstnimi surovinami razpolagajo. Vendar pa je potrebno poudariti, da je bilo zakonodajnih predpisov, ki urejajo večino stopenj ravnanja z vhodnimi surovinami, žuželkami in tehnologijami predelave žuželk, v zadnjih treh letih veliko, prinesle so obilico dobrodošlih sprememb in omogočile uporabo smotrnih rešitev v postopkih vzreje in predelave. Trend hitrih zakonodajnih sprememb se bo zagotovo nadaljeval in tako omogočil razvoj področja insektne biokonverzije. Zakonodajne spremembe glede žuželk v krmi za perutnino in prašiče bodo ponudile nove priložnosti začevši z vključevanjem tovrstnih sestavin v prehrano živali.<sup>12</sup> Trenutno veljavna evropska zakonodaja za vzrejo žuželk dovoljuje uporabo substratov rastlinskega izvora, z nekaterimi izjemami, kot so mleko, jajca in proizvodi, med, topljena maščoba ali proizvodi iz krvi neprežvekovalcev. Ne dovoljuje pa uporabe živalskih stranskih proizvodov, živalskega gnoja, organskih kuhinjskih odpadkov, neprodanih živil iz trgovin in živilske industrije, če te vsebujejo meso ali ribe. Izjema so ličinke muh, namenjene za akvakulturo, ki se lahko hranijo s kuhinjskimi odpadki in živalskim gnojem.<sup>12</sup>

#### 5 Hranilna vrednost žuželk

Na splošno žuželke predstavljajo dober vir beljakovin (visoko prebavljive esencialne aminokisliline), maščob, vitaminov (predvsem vitamini B), mineralov (kalcij, fosfor, baker, železo, magnezij, mangan, selen in cink). Zanje je značilna zelo dobra hranilna vrednost (visoka vsebnost beljakovin ter visoka vsebnost esencialnih aminokislin in maščobnih kislin), ki se lahko primerja s hranilno vrednostjo različnih vrst mesa, pa tudi z beljakovinsko krmo za živino, zato lahko predstavlja dober nadomestek konvencionalnih virov krme. Poleg vseh navedenih hranil, žuželke vsebujejo tudi bioaktivne, protimikrobne snovi z imunomodulacijskimi učinki, kot so protimikrobni peptidi, maščobne kisline (lavrinska kislina) in polisaharidi (hitin in hitozan). Ti lahko prispevajo k izboljšanju zdravja rejnih živali, krmljenih s tovrstnimi snovmi in zmanjšanju uporabe antibiotikov. Vsebnost hranilnih snovi v žuželkah lahko močno variira, odvisna pa je predvsem od vrste žuželke, od razvojne stopnje (ličinka, buba, odrasla žival), od substrata ter od načina predelave.<sup>13</sup>

## 6 Beljakovinska moka iz žuželk

V primerjavi s sojino in ribjo moko beljakovinska moka iz žuželk sicer vsebuje nekoliko manj beljakovin, vendar primerljivo aminokislinsko sestavo. Študije nakazujejo, da je moka iz ličink črne bojevniške muhe odlična alternativa sojini moki in delna nadomestitev za ribjo moko, kar omogoča zmanjšanje stroškov proizvodnje perutnine. Različne raziskave so preučevale vpliv zamenjave ribje in sojine moke z moko iz žuželk. Stopnje največje zamenjave konvencionalne moke z moko iz žuželk se razlikujejo med vrstami rib. Po ugotovitvah ene študije naj bi največji delež moke iz žuželk, brez negativnih vplivov na ribe, znašal od 20 % do 30 %.<sup>14</sup> Pri zamenjavi konvencionalne krme z moko iz žuželk pri perutnini, različne raziskave navajajo različne največje količine zamenjave brez negativnih vplivov na perutnino. Rezultati kažejo, da žuželke v krmi ne vplivajo na učinkovitost krme in ne škodujejo rasti ter drugim lastnostim perutnine, če nadomestijo manj kot 10 % običajnih virov beljakovin.<sup>15</sup> Pri vključevanju žuželk v hrano za hišne ljubljence so prisotne omejitve, saj višje vrednosti vplivajo na okusnost hrane in jo psi ter mačke zavračajo. Prednost moke iz žuželk pa je v tem, da je hipoalergena, ne povzroča alergijskih reakcij, in vsebuje vlaknine, ki blagodejno vplivajo na črevesno mikrofloro živali.<sup>16</sup>

## 7 Ekonomika reje in napovedi

Ekonomska učinkovitost reje žuželk se močno razlikuje glede na lokacijo delovanja, uporabljene substrate, obseg proizvodnje in predvidene končne izdelke. Nekatere študije o ekonomski učinkovitosti proizvodnje biomase žuželk za živalsko krmo so pokazale, da ima uporaba trenutne tehnologije, kjer prevladuje reja z uporabo sistema vertikalnih pladnjev, ki ni le delovno intenzivna, temveč zahteva tudi precej prostora, višje stroške kot običajna krma za živali, kot sta ribja moka in sojina moka.<sup>17</sup>

Predvideva se, da bo do sredine desetletja večina povpraševanja po moki iz insektov v sektorju hrane za hišne živali (približno 40-50 % proizvedene moke žuželk). Trend opažen po odobritvi predelanih živalskih beljakovin za žuželke v krmi za ribogojstvo se bo nadaljeval in vodil do povečanja z deležem med 25–35 %, predvsem zaradi naraščajočega povpraševanja po izdelkih iz ribogojstva, kot so mesojede ribe (npr. postrvi, losos). Po napovedih sledita trga s krmo za perutnino (20–30 %) in prašičereja (5–15 %) katerih deleži se bodo predvidoma hitro povečali ob začetku veljavnosti vseh zakonodajnih sprememb.

Do konca desetletja se pričakujejo nove regulacije področja, ki vključuje predvsem avtorizacijo novih substratov, kar bo imelo ključno vlogo pri povečevanju proizvodnje žuželk in njihovih sestavin in implicitno vodilo do znižanja cen proizvodov. Zaradi opisanih dejavnikov bodo izdelki, pridobljeni iz žuželk, najverjetneje postali privlačnejši za nekatere trge. Do leta 2030 bo delež moke iz žuželk, ki se uporablja v ribogojstvu, verjetno presegel trg hrane za hišne živali. Sektorju reje in predelave žuželk se sicer napoveduje hitra rast po vsem svetu, Evropska komisija pa nakazuje, da bi tovrstna rast prispevala k zmanjšanju okoljskega odtisa prehranskih sistemov EU.<sup>18</sup>

## 8 Prihodnost

Insektna biokonverzija živilskih odpadkov in stranskih proizvodov živilske industrije ponuja vizijo za bolj trajnostno prihodnost in nove možnosti trajnostne proizvodnje krme za živali (predvsem krme za perutnino, ribe in hrano za hišne ljubljence). Tudi v Evropi se ustanavlja čedalje več podjetij, ki se ukvarjajo z insektno biokonverzijo, njihova proizvodnja dosega velik obseg, postaja dobičkonosna in se seli na mednarodne trge. V naslednjem desetletju bo v tem sektorju opazna znatna rast, ki bo prinesla nova delovna mesta, nove dobrine, nove vloške v oskrbo s hrano in krmo ter zmanjšanje in ponovno uporabo tokov živilskih odpadkov, ki trenutno veljajo za problematične. Da bi se ta vizija uresničila, so potrebne dodatne raziskave, da bi našli več virov živilskih odpadkov in stranskih proizvodov in primernih žuželk, ter uporabili selektivno vzrejo za razvoj specializiranih sevov žuželk z izboljšanimi značilnostmi.<sup>19</sup>

## 9 Zaključek

Moka iz žuželk predstavlja alternativen vir visokokakovostnih beljakovin, maščob in drugih koristnih snovi ter ima potencial postati alternativni vir dohodka tako za male kmetije kot velike industrije. Kljub temu pa je za širšo uporabo v krmi nujno zmanjšati stroške proizvodnje, nadzorovati tveganje kontaminacije in preprečevati širjenje patogenov. Poleg svoje bogate hranilne sestave lahko žuželke proizvajajo tudi bioaktivne spojine, ki bi lahko delovale kot spodbujevalci zdravja pri rejnih živalih in hišnih ljubljencih. Zaradi bioloških lastnosti njihovih antimikrobnih peptidov ter sinergijskih učinkov peptidov z maščobnimi kislinami ter hitinom ali hitozanom, se lahko žuželke uporabljajo kot dopolnitev pri tretiranju z antibiotiki.<sup>13</sup>

Potrebne so dodatne raziskave, da bi premostili vrzel med podjetji, ki se ukvarjajo z insektno biokonverzijo, in omejitvami zakonodaje. Več študij o varnosti proizvodov, pridobljenih iz žuželk, bo verjetno privedlo do sprememb na področju evropske zakonodaje ter sprejemanja žuželk s strani potrošnikov. Reja žuželk ni samo ekonomsko upravičena, temveč lahko predstavlja tudi korak naprej k ohranjanju okolja in vzpostavitvi trajnostnega ter krožnega gospodarstva. Biološka pretvorba stranskih proizvodov živilske industrije in odpadkov iz živilske industrije v visokokakovostne izdelke lahko predstavlja rešitev za odpravljanje živilskih odpadkov, ustvarjanje novih delovnih mest ter zagotavljanje okolju prijaznega vira beljakovin, ki bo pomagal nahraniti nenehno rastoče svetovno prebivalstvo.<sup>19</sup>

## Viri in literatura

- (1) Cappellozza, S.; Leonardi, M. G.; Savoldelli, S.; Carminati, D.; Rizzolo, A.; Cortellino, G.; Terova, G.; Moretto, E.; Badaile, A.; Concheri, G.; Saviane, A.; Bruno, D.; Bonelli, M.; Caccia, S.; Casartelli, M.; Tettamanti, G. A First Attempt to Produce Proteins from Insects by Means of a Circular Economy. *Animals* 2019, 9 (5), 278. <https://doi.org/10.3390/ani9050278>.
- (2) Chavez, M. The Sustainability of Industrial Insect Mass Rearing for Food and Feed Production: Zero Waste Goals through by-Product Utilization. *Current Opinion in Insect Science* 2021, 48, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.003>.

- (3) Melgar-Lalanne, G.; Hernández-Álvarez, A.; Salinas-Castro, A. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2019, 18 (4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>.
- (4) Edible Insects in Sustainable Food Systems; Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., Roos, N., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9>.
- (5) Pleissner, D.; Smetana, S. Estimation of the Economy of Heterotrophic Microalgae- and Insect-Based Food Waste Utilization Processes. *Waste Management* 2020, 102, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.031>.
- (6) Insect Protein Market Size, Share & Trends Analysis Report By Source (Coleoptera, Orthoptera), By Application (Animal Nutrition, Food & Beverages), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/insect-protein-market>.
- (7) Looking at Edible Insects from a Food Safety Perspective; FAO, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4094en>.
- (8) Edible Insects in the Food Sector: Methods, Current Applications and Perspectives; Sogari, G., Mora, C., Menozzi, D., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22522-3>.
- (9) Mannaa, M.; Mansour, A.; Park, I.; Lee, D.-W.; Seo, Y.-S. Insect-Based Agri-Food Waste Valorization: Agricultural Applications and Roles of Insect Gut Microbiota. *Environmental Science and Ecotechnology* 2024, 17, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100287>.
- (10) Sogari, G.; Amato, M.; Biasato, I.; Chiesa, S.; Gasco, L. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals* 2019, 9 (4), 119. <https://doi.org/10.3390/ani9040119>.
- (11) Dossey, A. T.; Morales-Ramos, J. A.; Rojas, M. G. Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications; Academic Press is an imprint of Elsevier: London, United Kingdom, 2016.
- (12) IPIFF Guide on Good Hygiene Practices for European Union Producers of Insect Food and Feed, 2022. <https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/12/IPIFF-Guide-on-Good-Hygiene-Practices.pdf>.
- (13) Belhadj Slimen, I.; Yerou, H.; Ben Larbi, M.; M'Hamdi, N.; Najar, T. Insects as an Alternative Protein Source for Poultry Nutrition: A Review. *Front. Vet. Sci.* 2023, 10, 1200031. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1200031>.
- (14) Maulu, S.; Langi, S.; Hasimuna, O. J.; Missinhoun, D.; Munganga, B. P.; Hampuwo, B. M.; Gabriel, N. N.; Elsabagh, M.; Van Doan, H.; Abdul Kari, Z.; Dawood, M. A. O. Recent Advances in the Utilization of Insects as an Ingredient in Aquafeeds: A Review. *Animal Nutrition* 2022, 11, 334–349. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.013>.
- (15) Moula, N.; Detilleux, J. A Meta-Analysis of the Effects of Insects in Feed on Poultry Growth Performances. *Animals* 2019, 9 (5), 201. <https://doi.org/10.3390/ani9050201>.
- (16) Bosch, G.; Swanson, K. S. Effect of Using Insects as Feed on Animals: Pet Dogs and Cats. *Journal of Insects as Food and Feed* 2021, 7 (5), 795–805. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0084>.
- (17) Surendra, K. C.; Tomberlin, J. K.; van Huis, A.; Cammack, J. A.; Heckmann, L.-H. L.; Khanal, S. K. Rethinking Organic Wastes Bioconversion: Evaluating the Potential of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management* 2020, 117, 58–80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>.
- (18) Kee, P. E.; Cheng, Y.-S.; Chang, J.-S.; Yim, H. S.; Tan, J. C. Y.; Lam, S. S.; Lan, J. C.-W.; Ng, H. S.; Khoo, K. S. Insect Biorefinery: A Circular Economy Concept for Biowaste Conversion to Value-Added Products. *Environmental Research* 2023, 221, 115284. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115284>.
- (19) Fowles, T. M.; Nansen, C. Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste. In *Food Waste Management*; Närvänen, E., Mesiranta, N., Mattila, M., Heikkinen, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp 321–346. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12).