INSEKTNA BIOKONVERZIJA

s črno bojevniško muho:

Koncept krožnega biogospodarstva

PROGRAM RAZVOJA PODEŽELJA

Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje

EIP-ŽUŽ

Naslov: INSEKTNA BIOKONVERZIJA S ČRNO BOJEVNIŠKO MUHO: Koncept krožnega biogospodarstva

Avtorji besedil: Luka Irenej Pečan, Ema Luna Karara Geršak, Luka Bonin, Luka Grgurič, Tim Ratajc, Aleš Kuhar

Avtorji fotografij: Luka Grgurič, Ema Luna Karara Geršak, Luka Bonin

Ilustracije: Ema Luna Karara Geršak, Luka Irenej Pečan

Oblikovanje: Ema Luna Karara Geršak, oblikovano v Canva.com

Tisk: Birografika Bori d.o.o., tiskano na 100 % recikliran papir s certifikatom FSC

Naklada: 1000 izvodov

Kraj in leto izida: Ljubljana, februar 2025

Založnik: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

636.087.6

INSEKTNA biokonverzija s črno bojevniško muho : koncept krožnega biogospodarstva / [avtorji besedil Luka Irenej Pečan ... [et al.] ; avtorji fotografij Luka Grgurič, Ema Luna Karara Geršak, Luka Bonin ; ilustracije Ema Luna Karara Geršak, Luka Irenej Pečan]. - Ljubljana : Biotehniška fakulteta, 2025

ISBN 978-961-6379-91-5
COBISS.SI-ID 223565571

Natisnjeno na 100% recikliranem papirju s certifikatom FSC.

Vodilni partner: E-ZAVOD, Zavod za projektno svetovanje, raziskovanje in razvoj celovitih rešitev

Člani partnerstva: :

- Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
- KGZS Zavod Murska Sobota
- KGZS Zavod Maribor
- Panvita, kmetijstvo in proizvodnja hrane, d.o.o
- KOTO proizvodno in trgovsko podjetje, d. o. o.
- PARADAJZ podjetje za proizvodnjo, trgovino, storitve in distribucijo d.o.o.
- Cornus d.o.o., raziskovanje in svetovanje v kmetijstvu
- ŽIPO živinoreja poljedelstvo Lenart d.o.o.
- Kmetija Jurič
- Kmetija Uranjek
- Kmetija Najvirt
- Zebec Stanislav – snemalec

Publikacija je nastala v okviru projekta Valorizacija stranskih proizvodov v rastlinski pridelavi z uvajanjem sodobnih konceptov in tehnologij krožnega biogospodarstva na kmetijah (EIP ŽUŽ), ki je sofinanciran iz
Programa razvoja podeželja Republike Slovenije 2014–2020 in Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja v okviru ukrepa Sodelovanje, podukrep M16.2 – Podpora za pilotne projekte ter za razvoj novih proizvodov, praks, procesov in tehnologij.
Za vsebino je odgovorna Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
Organ upravljanja, pristojen za izvajanje pomoči iz EKSRP je Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

PROGRAM RAZVOJA PODEŽELJA

Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje

Kazalo

1 Izzivi agroživilskega sektorja 1

2 Trajnostna krma za rejne živali 2

3 Žuželke kot alternativa tradicionalnim virom krme 3

4 Insektna biokonverzija 4

5 Življenjski cikel črne bojevniške muhe 5

6 Optimalni pogoji za rast ličink črne bojevniške muhe 7

7 Substrati 8

8 Zakonodaja o rabi substratov 10

9 Tehnični protokol gojenja črne bojevniške muhe 11

9.1 Ohranjanje matičnega roja 15

9.2 Proces biokonverzije za predelavo ličink 17

9.3 Potrebna oprema za gojenje črne bojevniške muhe 20

10 Postopki predelave ličink črne bojevniške muhe 22

11 Končni produkti 24

12 Beljakovinska moka iz ličink črne bojevniške muhe 27

13 Uporaba moke iz ličink črne bojevniške muhe v krmi 29

14 Uporaba *frassa* v kmetijstvu 31

15 Zaključek 34

Predgovor

Insektna biokonverzija je inovativni tehnološki proces, skladen s principi trajnostnega in krožnega biogospodarstva, ki ponuja pomembne rešitve za nekatere ključne izzive globalnega prehranskega sistema. Ta tehnologija reje in predelave specifičnih žuželčjih vrst omogoča pretvorbo biomase različnega izvora v visokokakovostne beljakovine in maščobe ter preostalo organsko frakcijo imenovano *frass*. Pridobljene beljakovine predstavljajo trajnostno alternativo tradicionalnim surovinam za proizvodnjo živalske krme, saj lahko dobro nadomeščajo sojine komponente, ki v sodobni prehrani rejnih živali predstavljajo znaten okoljski odtis. Tudi žuželčje maščobe so uporabne v prehrani rejnih živali ali pa se zaradi visoke energijske vrednosti vključujejo v različne formulacije za proizvodnjo biogoriv. *Frass*, ki je sestavljen iz žuželčjih iztrebkov, ostankov rastnega substrata v kolonijah in kutikul, pa je trajnostni vir bogatega organskega gnojila.

Na področju insektne biokonverzije v zadnjem desetletju zaznavamo krepitev raziskovalno-razvojnih in podjetniških aktivnosti tudi v državah EU, čemur sledi zakonodajni proces, ki ureja to kompleksno področje. Prav tako je bilo v zadnjih letih nekaj posamičnih raziskovalnih in podjetniških aktivnosti zaznati tudi v Sloveniji, zato smo maja 2023 na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani napovedali vzpostavitev partnerstva zainteresiranih kmetij, podjetij in raziskovalnih institucij. Formalno razvojno sodelovanje smo začeli v okviru Operativne skupine EIP, ki je povezala 12 partnerjev v projektu »Valorizacija stranskih proizvodov v rastlinski pridelavi z uvajanjem sodobnih konceptov in tehnologij krožnega biogospodarstva na kmetijah«, ki je sofinanciran iz Programa razvoja podeželja Republike Slovenije 2014–2020 in Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja.

V projektu smo razvili in na partnerskih kmetijah in podjetju uvedli sistem insektne biokonverzije, ki je prilagojen lokalnim razmeram v Sloveniji in ga predstavljamo v tem priročniku. Prilagoditev obstoječih tehnologij insektne biokonverzije je omogočilo učinkovito pilotno vpeljavo na slovenskih kmetijah, s čimer smo pridobili obsežne praktične izkušnje uvajanja te tehnologije. Prav tako smo uspešno izvedli validacijske analize in eksperimente, pri čemer so sodelovali vsi člani partnerstva ter oblikovali praktične rešitve, ki jih je možno prenesti na druge akterje v slovenskem agroživilstvu.

Razvili smo pet inovativnih produktov z visoko dodano vrednostjo, ki temeljijo na insektni biokonverziji in predstavljajo odlično priložnost za ekonomsko diverzifikacijo kmetijskih gospodarstev in podjetij. Poleg tega smo okrepili sodelovanje med kmetijskimi gospodarstvi, podjetji ter institucijami znanja, kar predstavlja odličen temelj za nadaljnji razvoj in aplikacijo trajnostnih praks v slovenskem prehranskem sistemu.

Priročnik obravnava trajnostne rešitve za agroživilski sektor, s posebnim poudarkom na uporabi črne bojevniške muhe (*Hermetia illucens,* BSF). Podrobno so predstavljeni procesi insektne biokonverzije, življenjski cikel BSF, izbor ustreznih substratov ter metode predelave, ki omogočajo pridobivanje ključnih produktov, kot so beljakovinska moka, maščobna frakcija in *frass* (organsko gnojilo). Priročnik prav tako izpostavlja praktične vidike uporabe teh produktov v agroživilstvu, z znanstveno podprtimi rezultati, ki potrjujejo njihov potencial za izboljšanje trajnostnega razvoja.

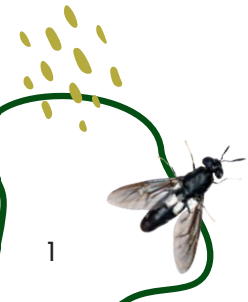
izr. prof. dr. Aleš Kuhar
strokovni vodja projekta, Biotehniška fakulteta UL

1 Izzivi agroživilskega sektorja

Prehranski sistemi po svetu se soočajo z vse večjimi pritiski. Spopadajo se z izzivi na področju prehranske varnosti in trajnostne oskrbe. Predvideva se, da bo svetovno prebivalstvo do leta 2050 naraslo na 9,7 milijarde ljudi, kar bo znatno povečalo potrebo po hrani. Hkrati se bo povečal pritisk na omejene vire, kot so zemljišča, energija in voda, kar pomeni, da bo treba pridelati več hrane z manjšo porabo virov.

Netrajnostne prakse, kot so prekomerni ribolov, degradacija tal in vpliv podnebnih sprememb, vključno z vse pogostejšimi ekstremnimi vremenskimi pojavi, kot so neurja, suše in poplave, vse bolj ogrožajo stabilnost preskrbe s hrano. Trenutni načini proizvodnje hrane močno prispevajo k emisijam toplogrednih plinov, negospodarno rabo vode in izgubi biotske raznovrstnosti. Poleg tega prekomerna poraba hrane in velike količine zavržene hrane dodatno obremenjujejo vzdržnost prehranskih sistemov.

V Evropski uniji se letno zavrže približno 20 % vse proizvedene hrane, kar znaša več kot 58 milijonov ton (131 kg na prebivalca). Več kot polovica teh odpadkov (54 %) nastane v gospodinjstvih. Odpadna hrana ne le obremenjuje okolje, temveč tudi povečuje ranljivost prehranske verige in prispeva k onesnaževanju. Zato je nujno iskanje rešitev za zmanjšanje količine zavržene hrane in spodbujanje njenega ponovnega izkoriščanja.



2 Trajnostna krma za rejne živali

Živinoreja je pomemben vir emisij toplogrednih plinov, saj skupaj s poljedeljstvom prispeva kar 11 % vseh emisij v EU. Proizvodnja mesa močno obremenjuje okolje, zlasti zaradi potreb po velikih količinah krme za živali. Glavna vira beljakovin v piščančji krmi sta sojina in ribja moka. EU je pri oskrbi s sojo močno odvisna od uvoza, pri čemer Brazilija in ZDA skupaj zagotovita večino evropskega povpraševanja. Pridelava soje povzroča krčenje gozdov in visoke emisije toplogrednih plinov, zlasti v Južni Ameriki, kjer intenzivno gojenje negativno vpliva na lokalne ekosisteme in življenje ljudi. Poleg tega so dobavne verige soje pogosto slabo nadzorovane, kar vodi v izgube med transportom.

Ribja moka, ki je poleg soje pomemben vir beljakovin v krmnih mešanicah, prav tako postaja vse bolj omejena surovina. Zaradi naraščajočega povpraševanja se pričakuje povečanje proizvodnje rib, kar bo povzročilo rast cen ribjih proizvodov. Zaradi teh omejitev bo v prihodnosti nujno potrebno iskati alternativne vire beljakovin za krmo. Evropska unija je z različnimi strategijami, kot sta Zeleni dogovor in Strategija »od vil do vilic«, začela spodbujati lokalno pridelavo beljakovinskih rastlin in zmanjševati uvoz soje, s čimer želi povečati stopnjo samooskrbe in zmanjšati negativne vplive na okolje. Stopnja samooskrbe EU z beljakovinskimi rastlinami se trenutno zelo razlikuje – medtem ko je pri koruzni silaži 100%, pri sojini moki dosega zgolj 3 %.

Izbira surovin za krmo je ključnega pomena, saj neposredno vpliva na okolje in gospodarsko učinkovitost živinoreje. Evropska komisija predlaga spodbujanje domače proizvodnje beljakovinskih virov, izboljšanje trajnosti kmetijskih praks in uvajanje alternativ, kot so žuželke, ki predstavljajo obetaven vir beljakovin za prihodnost.

3 Žuželke kot alternativa tradicionalnim virom krme

Žuželke postajajo vedno bolj priljubljene kot nadomestek za tradicionalne vire beljakovin in maščob v krmi za perutnino, ribe, prašiče ter hrani za hišne ljubljenčke. Njihova aminokislinska sestava, vsebnost in biorazpoložljivost beljakovin so primerljive s konvencionalnimi viri. Med najbolj obetavnimi so ličinke **črnih bojevniških muh** (**BSF**, *Hermetia illucens*), ki so od leta 2017 odobrene za uporabo v krmi za ribe, perutnino in prašiče.

Gojenje žuželk ima številne prednosti pred konvencionalno živinorejo. Zahteva manjše površine zemljišč in vode, pretvorba krme v biomaso pa je izjemno učinkovita. Poleg tega lahko sistemi za proizvodnjo žuželk temeljijo na uporabi organskih stranskih proizvodov iz kmetijstva, živilske industrije in drugih sektorjev. S tem se dragocena hranila vračajo v prehransko verigo, kar zmanjšuje količino neizrabljenih surovin in podpira načela krožnega gospodarstva.

PREDNOSTI V PRIMERJAVI Z OSTALIMI ŽIVALMI

- visoka stopnja plodnosti in rasti, kratek življenjski cikel, visoka učinkovitost izkoriščanja krme
- manj dovzetne za pojav bolezni in okužb

PREHRANSKI VIDIK

- vir beljakovin, maščob, mikrohranil, vlaknin
- del naravne prehrane nekaterih živali (perutnina, ribe)
- primerljive z ostalimi beljakovinskimi sestavinami krme
- vsebujejo snovi s protimikrobnim delovanjem in imunomodulatornim potencialom (protimikrobni peptidi, lavrinska kislina, hitin)

VELIKE INVESTICIJE

- veliko zanimanje, investicije in sredstva za spodbujanje reje žuželk s strani podjetij, EU, držav

OKOLJSKI VIDIK

- enostavno gojenje, zelo učinkovita raba vode, energije in zemljišč, manjši okoljski odtis
- za prirast enote telesne mase potrebno manjša količina krme

TRAJNOST

- hranijo se lahko s presežki, ostanki in stranskimi proizvodi s kmetijstva in živilske industrije (upoštevati je potrebno zakonske omejitve)
- zelo učinkovite pri pretvarjanju rastlinskih organskih snovi v živalske beljakovine in maščobe

KROŽNOST

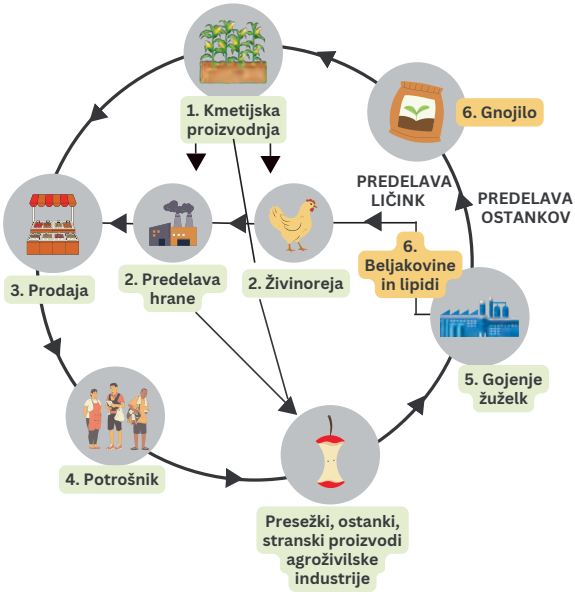
- odpadki in ostanki pri gojenju žuželk se lahko predelajo v visokokakovostno gnojilo

4 Insektna biokonverzija

Insektna biokonverzija je biotehnološki proces, pri katerem se organski material, kot so presežki hrane in drugi biološki stranski proizvodi, pretvarjajo v visokokakovostno biomaso in organsko gnojilo s pomočjo žuželk, najpogosteje ličink BSF.

Ličinke med rastjo razgrajujejo organske materiale in jih pretvarjajo v biomaso iz katere se pridobiva beljakovine in lipide, ki imajo pomembno aplikativno vrednost v krmni industriji, biotehnologiji in drugih panogah. Ostanek po razgradnji, *frass*, služi kot naravno bogato organsko gnojilo, primerno za izboljšanje kakovosti tal in podporo trajnostni kmetijski pridelavi.

Insektna biokonverzija temelji na načelih krožnega gospodarstva, saj omogoča učinkovito izrabo odpadkov ter zmanjšuje okoljske obremenitve, povezane z odlaganjem organskih materialov, hkrati pa spodbuja trajnostno rabo naravnih virov in zmanjšuje emisije toplogrednih plinov. Ta proces se uvršča med ključne inovacije v okviru bioekonomije, saj trajnostne prakse združuje z ekonomskimi in ekološkimi koristmi.



5 Življenjski cikel črne bojevniške muhe

Življenjski cikel BSF je sestavljen iz več faz, ki so med seboj povezane in ključne za učinkovito predelavo organskih odpadkov in proizvodnjo visokokakovostnih surovin.

JAJČECA

Samica BSF izleže od 400 do 800 jajčec v grozdih, ki jih odloži blizu razpadajoče organske snovi v majhne, suhe in zavarovane votline. Ta zaščitena mesta jajčeca varujejo pred plenilci in izsušitvijo. V povprečju jih izležejo po štirih dneh od oploditve, iz njih pa se razvijejo majhne ličinke, ki takoj začnejo z iskanjem organske snovi, njihovega vira hrane.

LIČINKE

Ličinke so najbolj aktivna faza življenjskega cikla, saj se v tem obdobju hranijo in rastejo. Iz začetne velikosti manj kot 1 mm zrastejo do dolžine približno 2,5 cm in širine 0,5 cm. Hranijo se z organsko snovjo in si ustvarijo maščobne ter beljakovinske rezerve, potrebne za nadaljnji razvoj. V optimalnih pogojih (primerni vlažnosti, temperaturi in količini hrane) ličinke dosežejo popoln razvoj v 14–16 dneh. Ob neugodnih pogojih lahko podaljšajo življenjski cikel, kar kaže na njihovo izjemno prilagodljivost.

PREDBUBA

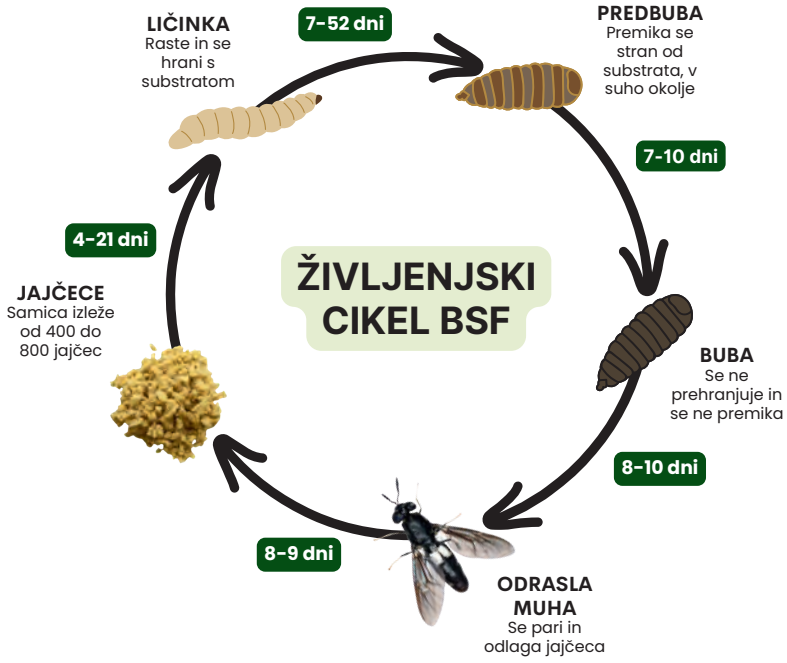
Ko ličinke dosežejo zadnjo stopnjo razvoja, preidejo v fazo predbube. V tej fazi postanejo temno rjave do črno-sive barve, njihov ustni aparat se spremeni v kavljičasto strukturo, ki jim omogoča premikanje stran od vira hrane v suho, zaščiteno in varno okolje, kjer nadaljujejo svoj razvoj.

BUBA

V tej fazi predbuba postane nepremična in togo zavarovana v ovoj bube, kjer poteka preobrazba v odraslo muho. Za uspešen razvoj so ključni stabilni okoljski pogoji – toplo, senčno in suho okolje. Faza traja približno 2–3 tedne in se zaključi, ko odrasla muha prebije ovoj bube, razpre krila in odleti.

ODRASLA MUHA

Odrasla BSF živi približno en teden. V tem času se ne hrani, potrebuje pa vodo ali vlažno površino. Glavni namen odrasle muhe je razmnoževanje. Samci in samice se parijo, samice pa iščejo primerno okolje za odlaganje jajčec, s čimer začnejo nov življenjski cikel. Odrasla muha potrebuje toplo (25–32 °C), vlažno in dobro osvetljeno okolje.



Razumevanje teh faz je ključno za optimizacijo procesa vzreje BSF, boljšo predelavo organskih odpadkov, večjo učinkovitost ter izboljšanje kakovosti in količine surovin, pridobljenih iz ličink.

6 Optimalni pogoji za rast ličink črne bojevniške muhe

Optimalna temperatura

Idealna temperatura za razvoj ličink je med 24 in 30 °C. Če je temperatura previsoka, se ličinke premikajo stran od hrane in iščejo hladnejši prostor. Če je temperatura prenizka, se metabolizem ličink upočasni, zaužijejo manj hrane in se razvijajo počasneje.

Senčno okolje

Ličinke se izogibajo svetlobi in se premikajo v senčno okolje. Če je vir hrane izpostavljen svetlobi, se bodo ličinke pomaknile v globlje plasti hrane, da bi ušle svetlobi.

Velikost delcev hrane

Ker imajo ličinke obustni aparat oblikovan v grizalo in sesalo, je dostop do hranil lažji, če je substrat razrezan na majhne koščke ali zmlet v kašo.

Vsebnost vode v substratu

Vir hrane mora biti dovolj vlažen, z vsebnostjo vode med 60 % in 90 %, da lahko ličinke snov sploh zaužijejo. V kontroliranih pogojih je idealna vlažnost med 70 % in 80 %.

Potrebe po hranilnih snoveh

Substrati, bogati z beljakovinami in lahko dostopnimi ogljikovimi hidrati, zagotavljajo dobro rast ličink. Raziskave kažejo, da ličinke lažje zaužijejo substrat, ki je že delno razgrajen s pomočjo bakterijskih ali glivnih procesov.

7 Substrati

Substrati predstavljajo vir hranil za gojenje žuželk. Za proces insektne biokonverzije so primerni predvsem stranski produkti agroživilske industrije ter drugi organski odpadki, ki pa morajo imeti ustrezno hranilno sestavo za optimalen razvoj ličink, odobreni morajo biti s strani regulatornih organov, poleg tega pa morajo omogočati ekonomsko upravičeno gojenje žuželk.

Na seznam potencialnih virov za substrat uvrščamo:

1. Organske stranske proizvode

- **Stranski produkti sadja in zelenjave:** bogati z vlakninami, vodo in sladkorji, kar spodbuja rast in razvoj ličink.
- **Stranski produkti pekarske industrije:** bogati s škrobom in sladkorji ter relativno enostavni za razgradnjo.
- **Stranski produkti mlevske industrije:** polni vlaknin in beljakovin, ki lahko prispevajo k hitri rasti žuželk.

2. Specifične substrate

- **Pivovarske tropine:** odlikuje jih visoka vsebnost beljakovin in vlaknin. Zagotavljajo visoko vsebnost beljakovin v moki žuželk (do 53 % v suhi snovi).
- **Krma za perutnino:** zaradi uravnotežene hranilne vrednosti zagotavlja najkrajši razvojni čas ličink, kar je ključno za učinkovit proces, vendar njena uporaba ni ekonomsko smiselna.

3. Primerni, vendar trenutno neodobreni substrati

- **Organski kuhinjski odpadki:** veljajo za enega najboljših substratov glede na učinkovitost biokonverzije in končno telesno maso žuželk. Praktični so za zmanjševanje zavržene hrane in pripomorejo k vpeljavi krožnega sistema.
- **Živalski gnoj:** je primeren zlasti za ličinke črne bojevniške muhe.

Ključni dejavniki pri izbiri substrata

- **Vhodni stroški:** substrati, ki so stranski produkti industrije ali kmetijskih gospodarstev, so stroškovno učinkoviti.
- **Hranilna vrednost:** višja vsebnost beljakovin in energijsko bogate komponente izboljšujejo kakovost končnih produktov.
- **Razvojni čas in preživetje žuželk:** uravnoteženi substrati omogočajo hiter razvojni čas in visoko stopnjo preživetja.
- **Učinkovitost biokonverzije:** substrati, ki omogočajo maksimalno pridobitev telesne mase žuželk, so optimalni. Za najbolj primerne substrate so se izkazali tisti, ki so vsebovali več različnih virov hranil.

Najprimernejši substrati za proces insektne biokonverzije so tisti, ki uravnotežijo nizke stroške proizvodnje, visok hranilni potencial in hitro rast žuželk. Navadno so to heterogeni substrati, sestavljeni iz različnih stranskih snovnih tokov. Uporaba teh substratov omogoča trajnostno in ekonomsko učinkovito predelavo surovin.

Rezultati projekta

Med poletnimi meseci se je najbolje izkazala piščančja krma, saj ima visoko vsebnost beljakovin in je na visokih temperaturah bolj obstojna ter manj podvržena kvarjenju. Pri pripravi substrata iz kmetijskih stranskih produktov smo na celoletni ravni kot osnovo uporabljali paradižnikove plodove, katerim smo dodajali še koruzni drobir, star kruh in pivske tropine. **Kombinacija različnih materialov** je ličinkam zagotavljala dostopna in raznovrstna hranila ter optimalne rezultate. Nasprotno je uporaba samostojnih substratov iz enega materiala pokazala izmerljivo slabše rezultate.

8 Zakonodaja o rabi substratov

Ena glavnih ovir za obsežno rejo žuželk, proizvodnjo žuželčjih surovin in njihovo vključevanje v živalsko krmo so **pravni predpisi**, ki urejajo varnost hrane.

Veljavna evropska zakonodaja določa, da se lahko žuželke, namenjene za živalsko krmo, hranijo **le z organskimi snovmi rastlinskega izvora**, pri čemer so dovoljene nekatere izjeme, kot so mleko, jajca, med, topljena maščoba in proizvodi živalskega izvora neprežvekovalcev.

Krmljenje žuželk z drugimi živalskimi proizvodi, kot so **ostanki iz klavnic, kafilerij, gnoj ali kuhinjski in gostinski odpadki**, je **prepovedano**. To omejuje eno ključnih prednosti reje žuželk – možnost uporabe surovin, ki bi sicer postale odpadek.

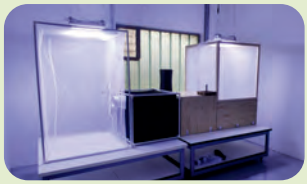
Poleg tega obstaja tveganje, da so žuželke prenašalci **bolezni**, povezanih s hrano. Prisotnost bioloških (bakterije, virusi, plesni, paraziti) in kemičnih (pesticidi, težke kovine) tveganj v krmnih proizvodih iz žuželk je povezana s številnimi dejavniki, kot so metode proizvodnje, substrati, s katerimi se žuželke hranijo, faza življenjskega cikla ob njihovi obdelavi, vrste žuželk in uporabljeni postopki predelave. Kljub temu pa je tveganja mogoče učinkovito zmanjšati z natančnim nadzorom in optimizacijo procesov reje in predelave.

9 Tehnični protokol gojenja črne bojevniške muhe

Protokol je prilagodljiv in omogoča implementacijo v različnih obsegih proizvodnje, od malih kmetijskih gospodarstev do večjih industrijskih obratov.
V grobem zajema naslednje **ključne korake:**

1 Priprava substrata

Pred pričetkom reje se pripravi ustrezen substrat, ki zagotavlja optimalne pogoje za rast ličink. Substrat naj bo razrezan na majhne koščke ali zmlet v kašo. Idealna vlažnost substrata je med 70 % in 80 %.



2 Razmnoževanje in vzreja mladih ličink

V tej fazi se odrasle muhe parijo v posebej nadzorovanih pogojih in jajčeca odlagajo v za to namenjena mesta. Jajčeca se nato prenesejo na substrat, kjer se izležejo mlade ličinke.

3 Reja ličink

Ličinke se hranijo z organskim substratom, ki ga postopoma razgrajujejo. Ta faza je ključna za njihovo rast in akumulacijo beljakovin ter lipidov. Za doseganje optimalne pretvorbe hranil so ključni natančen nadzor temperature, vlage in sestave substrata.

4 Ločevanje ličink od ostankov substrata

Ko ličinke dosežejo optimalno velikost in težo, jih ločimo od preostalega substrata. Ločevanje se izvaja mehansko ali s pomočjo posebnih naprav, ki zagotavljajo minimalno izgubo materiala.

5 Predelava ličink

Ličinke se predelajo v različne proizvode, kot so beljakovinska moka in olje. Ti izdelki so primerni za uporabo v krmi za živali ali kot surovina za druge industrijske namene. Pri tem velja poudariti, da ličinke črne bojevniške muhe niso primerne za uporabo v humani prehrani. S strani Evropske komisije so odobrene le za uporabo v krmi za živali.

6 Predelava ostanka substrata

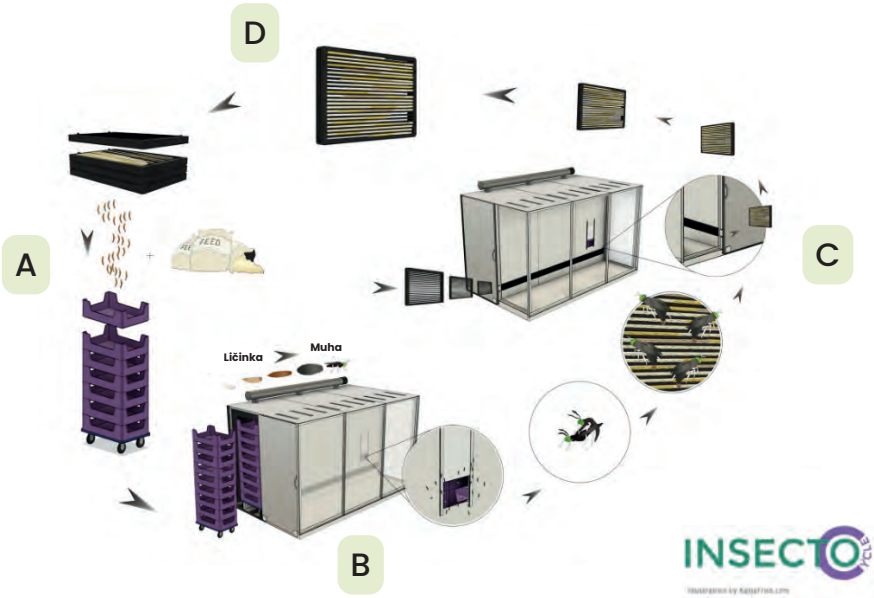
Preostanek substrata, ki je obogaten z organskim materialom in hranili, se predela v *frass*, visokokakovostno gnojilo za rastline.

Delitev procesa gojenja

Proces gojenja črne bojevniške muhe je mogoče razdeliti na **dva ključna dela:**

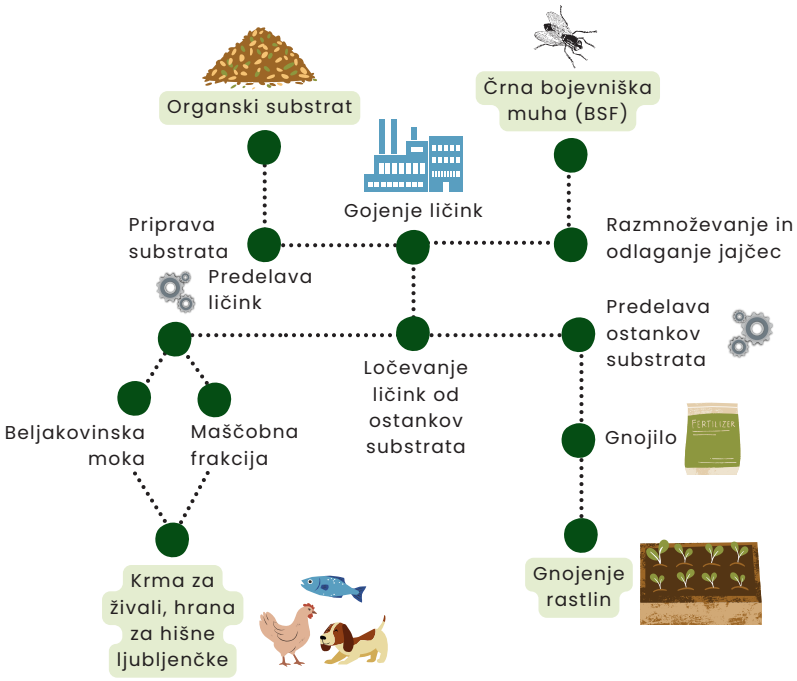
- **vzdrževanje matičnega roja** za zagotavljanje stabilne in zdrave kolonije (vključuje razvoj ličink do odraslih osebkov, parjenje in odlaganje jajčec in razvoj jajčec v ličinke),
- **biokonverzija** in **pridobivanje končnih produktov** (vključuje le razvoj jajčec do ličink primerne velikosti za predelavo).

Vzdrževanje matičnega roja vključuje vse faze postopka gojenja (na prikazu spodaj označene s črkami **od A do D**), medtem ko je za **pridobivanje končnih produktov** iz ličink ključna **faza A**. Običajno oba procesa potekata **sočasno** v okviru iste kolonije žuželk. Ko ličinke dosežejo zrelost za predelavo, se določen delež ličink v zabojih pusti, da se razvijejo v odrasle muhe, ki nato poskrbijo za parjenje in odlaganje jajčec ter tako omogočajo nadaljnjo vzdrževanje kolonije, preostanek ličink pa se predela v končne produkte.



Povzeto po: InsectoCyle, ilustracija Katjafred.com, https://www.linkedin.com/posts/insectocycle_circulareconomy-sustainableagriculture-activity-6902199626066116608-VVU5/

Proces	Namen	Končni rezultat
Ohranjenje matičnega roja	Zagotoviti ohranjanje populacije za nadaljnjo vzrejo	Jajčeca za nov matični roj in vzdrževanje cikla
Biokonverzija	Pretvoriti substrat v biomaso (ličinke)	Ličinke za uporabo ali predelavo (proteinska moka, olje, *frass* ali drugi proizvodi)



V nadaljevanju sta podrobneje ločeno predstavljena oba procesa za gojenje črne bojevniške muhe in potrebna oprema.

9.1 Ohranjanje matičnega roja

1 Priprava temnega prostora

Temen prostor opremimo z zaboji s steljo (npr. žagovina) za podporo zabubljanju.

Vzdržujemo stalne pogoje:

- Temperatura: 25 °C.
- Vlažnost: 60–65 %.

2 Izbor ličink za matični roj

Ličinke za matični roj hranimo enako kot ličinke za biokonverzijo, vendar izključno s piščančjim krmilom in vodo, vse dokler večina ličink ne potemni.

Ko dosežejo fazo predbube (temnejša barva, manjša gibljivost), jih presejemo in prestavimo v temen prostor.

3 Zabubljanje

Traja približno **10-14 dni**.

Ko se pojavijo prve odrasle muhe, temen prostor pustimo zaprt še **2–3 dni**, da se večina bub razvije v odrasle muhe.

4 Izpust muh

Po končani preobrazbi muhe izpustimo v zamrežen prostor za parjenje, kjer nadaljujejo svoj cikel. Vratca so odprta največ 2 dni, potem jih zapremo.

5 Parjenje in odlaganje jajčec

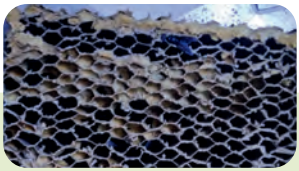
V zamrežen prostor namestimo:

- **Svetlobni spekter** za stimulacijo parjenja. Fotoperioda ~ 16h (16h svetlobe, 8h teme).
- **Odlagališče za jajčeca:** spodaj pladenj z atraktantom (del neporabljenega substrata iz predhodnega cikla), na sredi leseno satovje ali kartonska lepljenka, zgoraj pladenj s spužvo, ki jo predhodno dobro namočimo v vodo. Vodo v pladenj dolivamo vsak dan (največ do višine spužve). Vsake 3-4 dni odlagališča jajčec zamenjamo s svežimi.

6 Ponavljanje cikla

Po koncu parjenja in odlaganja jajčec del muh pustimo, da končajo svoj cikel. Ponovno začnemo s fazo pupacije.

9.2 Proces biokonverzije za predelavo ličink



1 Izbor ličink za biokonverzijo

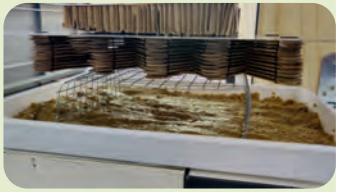
Ličinke za biokonverzijo pridobimo iz **jajčec**, ki jih odložijo muhe v zamreženem prostoru

2 Priprava substrata za jajčeca

- V posodo dodamo substrat:

140 g zmletega piščančjega krmila + 190 g vode

- V tem režimu dohranjujemo vsake 2-3 dni 2 do 3-krat.
- Kartonske lepljenke ali lesena satovja z jajčeci položimo na substratom z mrežo.



3 Izleganje jajčec

Jajčeca se izležejo v 2–3 dneh.
Ličinke iz kartonskih lepljenk ali lesenih satovij skozi mrežo padejo v substrat in pričnejo s hranjenjem.

4 Hranjenje in rast ličink

- Po 6–9 dneh ličinke prenesemo v **večje zaboje** (do **12.000** ličink/zaboj).
- V **2 g** homogene mešanice ličink in substrata preštejemo ličinke in preračunamo, koliko gramov jih je potrebno prenesti naprej v zaboje.
- Dodamo začetno količino substrata: **2 kg krmila** in **2,8 l vode** na zaboj.
- V substratu mora biti razmerje med krmilom in vodo približno 3:4.
- Substrat z ličinkami 1x dnevno temeljito premešamo.

5 Postopno dodajanje substrata

Redno spremljamo količino substrata, ki ga ličinke predelajo. Ko ocenimo, da ličinke potrebujejo nov substrat, ga dodajamo postopoma:

- **Prvo hranjenje:** 2–4 kg substrata (pribl. 22.-23. dan).
- **Drugo hranjenje:** 3 kg ali več substrata (pribl. 26.-27- dan).
- **Tretje hranjenje:** 1 kg substrata (pribl. 29.-30. dan), če ličinke še niso dosegle želene velikosti.

5 Zaključek biokonverzije

Ko ličinke dosežejo končno velikost:

- jih presejemo, da ločimo *frass* (ostanek substrata) od ličink,
- jih stehtamo, vakuumiramo in zamrznemo za predelavo (v beljakovinsko moko ali olje).

9.3 Potrebna oprema za gojenje črne bojevniške muhe

1 Prostori

- **Temen prostor** za razvoj bub:

Pogoji: 25 °C, 60–65 % relativne vlage. Prostor ima odprtino z vratci, ki jih odpiramo in zapiramo na posamezni stopnji procesa.

- **Zamrežen prostor za parjenje:**

za letenje, parjenje in odlaganje jajčec. Vključuje ustrezen svetlobni spekter (valovne dolžine pri 440 in/ali 540 nm).

2 Posode in zaboji

- **Manjše posode:** za pripravo substrata in začetno hranjenje ličink.
- **Večji zaboji** (600 x 400 x 145 mm): za intenzivno hranjenje ličink (kapaciteta približno 12.000 ličink na zaboj).
- **Posodice z gobico:** za zagotavljanje vode odraslim muham.

3 Pripomočki za manipulacijo jajčec in ličink

- **Kartonske lepljenke** ali **lesena satovja**: za odlaganje jajčec.
- **Mreže** za suspendiranje: za namestitev odlagališč jajčec nad substrat.
- **Sito:** za ločevanje ličink od *frassa* (0,3 in 10 mm).
- **Tehtnica:** za tehtanje substrata, ličink in *frassa*.
- **Vakuumski sistem**: za shranjevanje in inaktivacijo ličink.
- **Stelja** (npr. žagovina): za podporo pupaciji v temnem prostoru.

4 Substrat

- **Zmleto piščančje krmilo ali zmleti organski ostanki:** glavni vir hranil za larve.
- **Voda:** za vzdrževanje ustrezne vlažnosti substrata.

5 Oprema za nadzor prostora

- **Merilniki temperature in vlage:** za nadzor pogojev v temnem in zamreženem prostoru.
- **Prezračevalni sistem:** za preprečevanje prekomerne vlage in toplote.
- **Vlažilniki:** po potrebi za vzdrževanje relativne vlage.

6 Pripomočki za vzdrževanje higiene:

- **Razkužila:** za čiščenje opreme in prostorov.
- **Ščetke in lopatke:** za odstranjevanje ostankov substrata in *frassa*.

7 Oprema za shranjevanje:

- **Zamrzovalnik:** za inaktivacijo larv in njihovo dolgoročno shranjevanje.
- **Označevalni trakovi ali etikete:** za označevanje šarž larv, datumov in količin.

8 Svetlobni vir

- **Svetlobni spekter za parjenje:** spodbuja vedenje odraslih muh v zamreženem prostoru.

9 Oprema za beleženje in analizo

- **Dnevnik ali računalniški program:** za beleženje količine jajčec, rasti larv in predelave substrata.
- **Fotografiranje ali snemanje:** za spremljanje razvoja in analizo vedenja.

10 Postopki predelave ličink črne bojevniške muhe

Pred nadaljnjo predelavo je potrebno žuželke inaktivirati, pri čemer se najpogosteje uporablja zamrzovanje. Gre za visoko učinkovito metodo z minimalnim vplivom na kakovost surovin. Nato sledijo različni procesi, ki se razlikujejo glede na vrsto žuželk in želen končni izdelek. Razdelimo jih lahko v tri glavne skupine:

1 Toplotni procesi

Toplotni procesi se uporabljajo za zagotavljanje varnosti in podaljšanje obstojnosti surovin. Z njimi zmanjšamo število mikroorganizmov in inaktiviramo encime, ki bi lahko povzročili kvarjenje.

Najpogosteje uporabljeni metodi sta:

- **Blanširanje:** kratek termični postopek, ki ustavi encimske procese in pripravi žuželke za nadaljnjo predelavo.
- **Sušenje:** odstranjevanje vode iz surovin za stabilizacijo in preprečevanje rasti mikroorganizmov. Postopki sušenja (npr. liofilizacija ali sušenje z vročim zrakom) se prilagodijo glede na vrsto žuželk ter njihovo obliko (cele ali zmlete).

2 Mehanski procesi

Mehanski postopki služijo pripravi surovin za ločevalne procese in omogočijo boljšo učinkovitost nadaljnjih korakov.

Ti procesi vključujejo:

- **Sekljanje:** fizična obdelava, kjer ličinke zdrobimo ali zmeljemo.
- **Homogenizacija:** razgradnja tkiva za obdelavo v naslednjih fazah.

Mehanska obdelava ličink zagotavlja večjo dostopnost ciljnih komponent za ekstrakcijo in zmanjšuje tveganje za kontaminacijo.

3 Ločevalni procesi

Ločevalni postopki omogočajo pridobivanje specifičnih produktov iz surovin in vključujejo:

- **Ekstrakcijo:** izvleček beljakovin ali maščob z uporabo fizikalnih ali kemijskih metod.
- **Separacijo:** ločevanje komponent (npr. beljakovin, lipidov in hitina) s centrifugiranjem ali filtracijo.
- **Čiščenje:** dodatni koraki, ki vključujejo odstranjevanje neželenih nečistoč in izboljšanje kakovosti končnega izdelka.

Ti procesi omogočajo pridobivanje visokokakovostnih produktov, kot so:

- **Beljakovinska moka:** vsebuje visoko vsebnost prebavljivih beljakovin, primernih za krmo ali prehrano.
- **Maščobna frakcija:** uporabna za proizvodnjo biodizla, prehranskih dodatkov, krmil ali kozmetike.
- **Hitin in hitozan:** naravna polimera, ki se uporabljata v biomedicini, kmetijstvu in industriji pakiranja.

Raziskave kažejo, da so procesi blanširanja in sušenja ključni za zmanjšanje oksidativnih sprememb in mikrobiološke kontaminacije. Pomembno je upoštevati specifične značilnosti ličink, saj visoka vsebnost lipidov in hitina lahko zahteva prilagoditev nekaterih mehanskih in ločevalnih postopkov. Pri ekstrakciji beljakovin in lipidov, kombinacija mehanske priprave in encimske hidrolize izboljša donos in čistost produktov.

11 Končni produkti

BELJAKOVINSKA MOKA

Po izkoristljivosti beljakovin ter v aminokislinski sestavi podobna sojini moki

MAŠČOBA

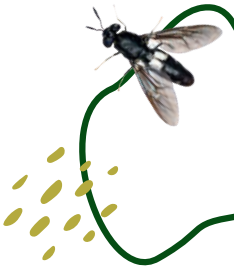
Vsebuje okoli 50 % lavrinske kisline, ki ima protimikrobne lastnosti in prispeva k zaščiti imunskega sistema rejnih živali in hišnih ljubljenčkov

FRASS

Stranski produkt iz zunanjega skeleta žuželk, iztrebkov ter preostankov substrata. Bogat z organskimi snovmi, minerali in hitinom, krepi naravno obrambo rastlin

ŽIVE ALI OBDELANE CELE LIČINKE

Imajo ugodno hranilno sestavo, ki vključuje visoko vsebnost surovih beljakovin, esencialnih aminokislin, lipidov in mineralov, kot sta kalcij in fosfor



Beljakovinska moka

Beljakovinska moka je eden najpomembnejših končnih produktov insektne biokonverzije. Uporablja se kot sestavina v krmi za akvakulturo in perutnino in v hrani za hišne ljubljenčke. Zaradi svoje uravnotežene aminokislinske sestave in visoke prebavljivosti, ki presega 85 %, predstavlja odlično alternativo sojini in ribji moki. Poleg beljakovin vsebuje tudi dragocene snovi, kot so hitin, protimikrobni peptidi in minerali, ki pozitivno vplivajo na zdravje in rast živali. Njen prijeten okus in vonj sta še posebej koristni v hrani za hišne ljubljenčke. Beljakovinska moka iz ličink spodbuja rast in izboljšuje izkoristek krme, zato postaja vse bolj zanimiva v sodobni živinorejski industriji.

Maščobna frakcija

Maščobna frakcija, pridobljena iz žuželk, je bogat in dostopen vir energije, ki je ključnega pomena za sestavo krmil za perutnino, prašiče in hišne ljubljenčke. Odlikuje jo visoka vsebnost lavrinske kisline, ki ima močne protimikrobne lastnosti, kar prispeva k boljši odpornosti in zdravju živali. Prav tako pozitivno vpliva na črevesno mikrobioto, zmanjšuje potrebe po uporabi antibiotikov ter znižuje umrljivost živali. Zaradi svoje sestave je maščobna frakcija lahko alternativa sojinemu olju in drugim rastlinskim oljem. Njena uporaba izboljša okus in hranilno vrednost krmil ter prispeva k splošnemu dobremu počutju živali.

Frass (gnojilo)

Frass je stranski produkt insektne biokonverzije, ki vključuje iztrebke žuželk, ostanke substrata in dele njihovih zunanjih skeletov. Bogat je z organskimi snovmi, dušikom, minerali in hitinom in deluje kot biostimulator ter naravni pesticid. Zaradi svoje sestave je zelo učinkovit za gnojenje in izboljšanje rodovitnosti tal, saj prispeva k večjemu pridelku in krepi naravno odpornost rastlin. Uporablja se lahko v obliki peletov, ki omogočajo počasno sproščanje hranil, kar zagotavlja dolgotrajno delovanje. *Frass* je nepogrešljiv pri trajnostnih kmetijskih praksah, saj izboljšuje kakovost tal in spodbuja zdrav razvoj pridelkov.

Žive ali obdelane cele ličinke

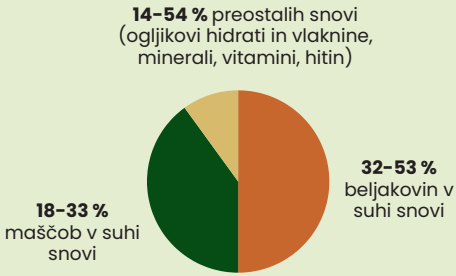
Obdelane (dehidrirane, liofilizirane) cele ličinke se lahko uporabljajo le v prehrani za hišne ljubljenčke in terarijske živali in niso dovoljene za uporabo v krmi za rejne živali. Za uporabo živih ličink v krmi ni poenotenih standardov na ravni EU zato njihova uporaba v krmi za rejne živali ostaja predmet odobritve na nacionalni ravni držav članic. Krmljenje rejnih živali s celimi ličinkami je zaradi bogate hranilne vrednosti in spodbujanja naravnega vedenja živali koristno za njihovo zdravje in dobrobit.

LIČINKE ŽUŽELK - TRAJNOSTNI VIR ZA IZBOLJŠANJE RASTI ŽIVALI IN KAKOVOSTI ŽIVIL

Številne raziskave kažejo pozitivne učinke uporabe produktov iz žuželk v krmi za piščance, prašiče in ribe

12 Beljakovinska moka iz ličink črne bojevniške muhe

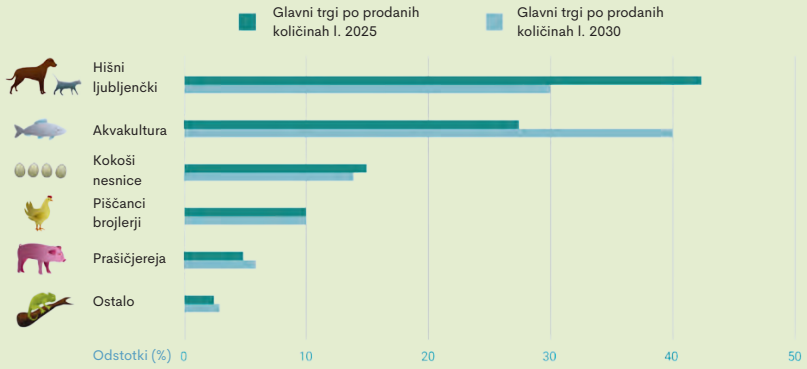
Ličinke žuželk, zlasti črnih bojevniških muh, so zaradi svoje bogate hranilne sestave primerne za predelavo v beljakovinsko moko. Ličinke vsebujejo med 18 in 33 % maščob ter 32 do 53 % beljakovin v suhi snovi, poleg tega pa tudi vitamine (A, B, E), minerale (kalcij, fosfor, magnezij, kalij) ter hitin in nasičene srednje verižne maščobne kisline, kot je lavrinska kislina. Njihova hranilna sestava je odvisna od vrste žuželk in substrata, s katerim se prehranjujejo.



Hranilne snovi v suhi snovi	Moka iz ličink BSF	Sojina moka	Ribja moka
BELJAKOVINE	40–50 %	44–48 %	60-72 %

Krma iz žuželk kljub številnim trajnostnim in funkcionalnim prednostim zaenkrat še ne more konkurirati konvencionalnim virom. Glavne ovire za širše vključevanje ličink v krmo vključujejo visoke stroške gojenja, omejene zmogljivosti, cene surovin in zakonodajne omejitve. Kljub temu industrija hitro napreduje, pri čemer razvoj omogočata predvsem avtomatizacija in izboljšanje stroškovne učinkovitosti procesov. Do konca desetletja se pričakujejo spremembe v zakonodaji, kot je odobritev novih substratov za žuželke, kar bo posledično vodilo v povečanje obsega proizvodnje in nižanje stroškov.

Spodnji graf prikazuje pričakovano rast in razporeditev uporabe beljakovin iz žuželk v različnih sektorjih v letih 2025 in 2030. Trenutno se približno 40-50 % vse proizvedene žuželčje beljakovinske moke uporabi v hrani za hišne ljubljenčke. Do leta 2030 naj bi se uporaba žuželčje moke v sektorju akvakulture močno povečala, pričakuje se, da bo ta trg prehitel trg hrane za hišne ljubljenčke. Te napovedi temeljijo na naraščajočem povpraševanju po ribjih proizvodih ter na dejstvu, da je Evropska komisija nedavno odobrila uporabo beljakovin iz žuželk v krmi za živali.



Povzeto po: IPIFF, 2022 (https://ipiff.org/wp-content/uploads/2021/04/Apr-27-2021-IPIFF_The-European-market-of-insects-as-feed.pdf)

13 Uporaba moke iz ličink črne bojevniške muhe v krmi

Uvod

Krma je izjemno pomembna za zdravje in produktivnost rejnih živali, kakovost njihovih proizvodov in stroške reje, ki lahko predstavljajo do 70 % vseh izdatkov v živinoreji. Prepoved uporabe predelanih živalskih beljakovin v krmi v EU je dolgo zavirala razvoj uporabe žuželk kot vira beljakovin. Preboj se je zgodil leta 2017, ko je Evropska komisija dovolila uporabo beljakovin iz žuželk v krmi za ribe, leta 2021 pa tudi za prašiče in perutnino.

Evropska zakonodaja

Po evropski zakonodaji je danes v prehrani ljudi in krmi za rejne živali dovoljeno uporabljati beljakovine sedmih vrst žuželk, kot so ličinke mokarja, žitni črnivec in hišni murn. V krmi za živali pa je poleg naštetih dovoljeno uporabiti tudi pet drugih vrst žuželk, ki za prehrano ljudi niso dovoljene. To so **črna bojevniška muha (BSF)**, domača muha, kratkokrili murnček, stepski murn in sviloprejke.

Potrebne so dodatne raziskave za določitev optimalnih količin žuželčjih beljakovin, ki bi zagotavljale zdravje, rast in razvoj živali. Prav tako je pomembno razumeti stališča potrošnikov o vključevanju ličink v krmo. Predvideva se, da bo do leta 2030 žuželčja moka predstavljala 20–30 % vseh beljakovin v krmi za perutnino, pri čemer bo 60 % teh beljakovin namenjenih kokošim nesnicam in 40 % pitovnim piščancem. Ocenjuje se, da bo približno 2,5 % vseh jajc in 2 % piščančjega mesa v EU pridelanih od živali, krmljenih z žuželčjo moko.

Vpliv ličink BSF na rejne živali

Raziskave o vključevanju ličink BSF v krmo za perutnino kažejo, da lahko te pozitivno vplivajo na rast, zdravje, produktivnost in kakovost proizvodov. Ti učinki so odvisni od vrste in deleža uporabljenih komponent, metode predelave ličink in pogojev reje BSF.

Razmaščena moka BSF, ki je bogata z beljakovinami, je obetavna alternativa sojini in ribji moki. Pri pitovnih piščancih lahko dodajanje 5–19 % te moke izboljša rast, kakovost mesa in zdravstveno stanje živali. Maščobna frakcija, ki vsebuje srednjeverižne maščobne kisline, lahko nadomesti tradicionalna olja in izboljša zdravje črevesja živali ter učinkovitost krme.

Krmljenje z živimi ličinkami BSF spodbuja naravno vedenje kokoši, kot je iskanje hrane, kar zmanjšuje stres in kljuvanje perja ter izboljšuje dobrobit živali. Pri nesnicah lahko ustrezno vključevanje živih ličink v krmo pripomore k večji teži jajc in debelini jajčne lupine. Optimalni deleži ličink v krmi, med 3–9 %, vodijo do večje teže nesnic in boljšega dnevnega prirasta.

Protimikrobno delovanje

Krma, ki vsebuje ličinke BSF ima tudi naravne protimikrobne lastnosti, saj vsebuje lavrinsko kislino, protimikrobne peptide in hitin, ki lahko izboljšajo črevesno mikrobioto, zmanjšajo razmnoževanje patogenih bakterij in krepijo imunski sistem. Tako povečujejo odpornost perutnine na okužbe in skrbijo za njihovo splošno zdravje.

Zaključek

Kljub velikemu potencialu se industrija krme iz žuželk v Evropi še razvija. Glavni izzivi vključujejo standardizacijo vsebnosti hranil, ekonomsko izvedljivost in sprejemanje takšne krme pri potrošnikih. Študije potrjujejo, da vključitev nižjih deležev ličink BSF (5–15 % beljakovinske moke) ali popolna zamenjava olja z oljem ličink BSF v krmi prinaša številne koristi brez negativnih učinkov na rast, kakovost mesa in jajc ter dobrobit živali.

14 Uporaba *frassa* v kmetijstvu

Frass, produkt insektne biokonverzije, je izjemno bogat s hranili, kar ga uvršča med obetavne dodatke za kompostiranje in gnojenje tal. Zaradi koncentracije hranil ni primeren za samostojno osnovno gnojenje, saj lahko pretirana uporaba povzroči neravnovesje hranil v tleh in negativno vpliva na rastline. Kot dodatek k organskim kompostom v odmerkih do 10 % celotne mase pa *frass* omogoča postopno sproščanje hranil, s čimer izboljša rodovitnost tal in podpira mikrobiološke procese.

V skladu z zakonodajo je potrebno frass termično obdelati pri temperaturi 70 °C za 60 minut.

Priporočilo za uporabo *frassa* pri vzgoji sadik in gnojenju vrtnin

Razmerje med fosforjem (P) in kalijem (K) v večini analiziranih vzorcev *frassa* je optimalno za vrtnine, kot so solata, paprika in paradižnik, saj te potrebujejo več kalija kot fosforja (razmerje P:K približno 1:5).

Rezultati raziskav vpliva *frassa* na solato, papriko in paradižnik

Frass je izboljšal rast in kakovost sadik, saj je zaradi vsebnosti kalija in dušika spodbujal vegetativno rast in zdrav razvoj koreninskega sistema. Podobne ugotovitve navajajo študije, ki potrjujejo pozitiven vpliv organskih gnojil na rast sadik solate zaradi boljše dostopnosti makro- in mikrohranil

Dodatek *frassa* je povečal velikost sadik v primerjavi z uporabo običajne prsti za vzgojo sadik. To je skladno z raziskavami, ki poudarjajo vlogo kalija v izboljšanju fotosinteze in translokacije hranil pri papriki.

Frass je izboljšal začetno rast in zdravje sadik, kar je bilo pripisano njegovemu pozitivnemu vplivu na biotsko aktivnost tal in oskrbo rastlin s fosforjem, ključnim za razvoj korenin in zgodnjo rast. Tudi druge študije potrjujejo, da organska gnojila podpirajo rast paradižnika zaradi uravnoteženega sproščanja hranil.

SOLATA

10 % dodatek *frassa*

kontrola (brez dodatka *frassa*)

PAPRIKA

kontrola (brez dodatka *frassa*)

10 % dodatek *frassa*

30 % dodatek *frassa*

PARADIŽNIK

10 % dodatek *frassa*

kontrola (brez dodatka *frassa*)

Rezultati raziskav poudarjajo prednosti uporabe organskih gnojil pri izboljšanju rodovitnosti tal in spodbujanju rasti sadik. Kljub temu pa raziskave opozarjajo na potrebo po previdni uporabi *frassa* zaradi možne preobremenitve tal s hranili in mikrobiološke aktivnosti, kar lahko povzroči stres rastlin.

Frass je obetaven dodatek za izboljšanje pridelave vrtnin, še posebej solate, paprike in paradižnika, če je njegova uporaba skrbno prilagojena potrebam tal in rastlin. Priporoča se, da se ga vključuje v kompostirane mešanice ali kot dopolnilo osnovnemu gnojenju v natančno odmerjenih količinah (do 10 %). Nadaljnje raziskave in prilagoditev uporabe v specifičnih okoljskih pogojih bodo dodatno pripomogle k optimizaciji njegovega potenciala kot gnojila.

Uporaba *frassa* v hidroponski pridelavi paradižnika

Frass, ki je znan po visoki mikrobiološki aktivnosti, je bil v hidroponski pridelavi paradižnika testiran kot potencialni dodatek. Rezultati raziskave so pokazali, da *frass* negativno vpliva na zdravje in rast korenin, kar lahko pripišemo prekomerni mikrobiološki aktivnosti, ki povzroča stres pri rastlinah. Poleg tega dodajanje *frassa* ni prineslo merljivih izboljšav v rasti zelenih delov rastlin niti ni vplivalo na razvoj in zorenje plodov.

V primerjavi z literaturo se ugotovitve ujemajo z nekaterimi preteklimi študijami, ki opozarjajo, da je uporaba *frassa* v hidroponiki lahko problematična zaradi hitrega sproščanja hranil in mikrobne aktivnosti, ki vodi do neravnovesja v koreninskem okolju. Na primer, raziskave o drugih organskih gnojilih v hidroponiki so pokazale, da prekomerna biološka aktivnost pogosto ovira optimalno rast rastlin. Nasprotno pa so druge študije poročale o uspešni uporabi *frassa* v tleh, kjer mikrobiološka aktivnost ni povzročila negativnih učinkov, temveč je podpirala rast.

kontrola

z dodatkom *frassa*

Te primerjave nakazujejo, da je učinkovitost *frassa* močno odvisna od sistema gojenja, pri čemer hidroponski sistemi zaradi načina namakanja, občutljivega ravnovesja med mikrobiološko aktivnostjo in hranili morda niso primerni za njegovo uporabo.

15 Zaključek

Gojenje črne bojevniške muhe za živalsko krmo predstavlja inovativno priložnost za prehod slovenskega agroživilskega sektorja k trajnostni in krožni proizvodnji. Insektna biokonverzija omogoča pretvorbo rastlinskih stranskih proizvodov in bioloških surovin v visokokakovostne hranilne vire, s čimer zmanjšuje okoljski odtis kmetijstva in izboljšuje rabo virov. V sklopu projekta EIP ŽUŽ smo razvili tehnološke rešitve za vzrejni in biokonverzijski proces ter protokole za vključitev teh tehnologij v slovensko kmetijsko prakso.

Slovenija ima zaradi svoje agroživilske tradicije in usmerjenosti v trajnostni razvoj ugodne pogoje za implementacijo tehnologij insektne biokonverzije. Napredek na tem področju pa je omejen z zakonodajnimi okvirji, pomanjkanjem raziskovalne infrastrukture in nizko ozaveščenostjo ključnih deležnikov. Rezultate projekta tako sestavljajo priporočila za uporabo beljakovinske moke v krmnih mešanicah, formulacijo vrtnarskih substratov in model upravljanja krožne ekonomije, ki lahko služijo kot temelj za nadaljnji razvoj.

Razvoj lokalnih rešitev za predelavo stranskih proizvodov in proizvodnjo hranilnih virov omogoča zmanjšanje odvisnosti od uvoza beljakovinskih surovin ter krepitev konkurenčnosti slovenskega agroživilskega sektorja. Ključno bo usklajeno sodelovanje med raziskovalci, industrijo in zakonodajnimi institucijami, da Slovenija postane referenčna država na področju trajnostne insektne biokonverzije.

Literatura

- Biasato I., Ferrocino I., Dabbou S., Evangelista R., Gai F., Gasco L., Cocolin L., Capucchio M. T., Schiavone A. 2020. **Black soldier fly and gut health in broiler chickens: insights into the relationship between cecal microbiota and intestinal mucin composition.** Journal of Animal Science and Biotechnology, 11, 1: 11, doi: 10.1186/s40104-019-0413-y.

- Bosch G., Van Zanten H. H. E., Zamprogna A., Veenenbos M., Meijer N. P., Van Der Fels-Klerx H. J., Van Loon J. J. A. 2019. **Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact**. Journal of Cleaner Production, 222, 355–363, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.270.

- Cámara-Ruiz M., Sánchez-Venegas A., Blasco-Lavilla N., Hernández M. D., Sánchez-Liarte F., Fernández-Gutiérrez D., Lara-Guillén A. J. 2023. **Comparative Assessment of Insect Processing Technologies for Sustainable Insect Protein Production. Sustainability**, 15, 18: 13735, doi: 10.3390/su151813735.

- Dortmans B.M.A, Diener S, Verstappen B.M, Zurbrügg C. 2017. **Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide.** Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.

- Fitches E. C., Smith R. 2018. **PROteINSECT: Insects as a Sustainable Source of Protein.** V: Edible Insects in Sustainable Food Systems. Halloran A., Flore R., Vantomme P., Roos N. (ur.). Cham, Springer International Publishing: 421–433.

- IPIFF. 2022. **EU Legislation – General Overview**, Brussels, IPIFF, https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/ (20. dec. 2024)

- Smetana S., Schmitt E., Mathys A. 2019. **Sustainable use of Hermetia illucens insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment.** Resources, Conservation and Recycling, 144, 285–296, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.01.042.

- Van Huis A. 2015. **Edible insects contributing to food security?** Agriculture & Food Security, 4, 20, doi: 10.1186/s40066-015-0041-5.

Opomba: Seznam vseh virov, uporabljenih pri pripravi tega priročnika, je na voljo pri avtorju in je na zahtevo dostopen bralcem.

Zapiski