

UPOTREBA INSEKATA U HRANIDBI ŽIVOTINJA

Beljan, Antun

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Veterinary Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:113514>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Veterinary Medicine -
Repository of PHD, master's thesis](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
VETERINARSKI FAKULTET

Antun Beljan

UPOTREBA INSEKATA U HRANIDBI
ŽIVOTINJA

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

Zavod za prehranu i dijetetiku životinja

Predstojnica: doc. dr. sc. Diana Brozić

Zavod za kemiju i biokemiju

Predstojnik: doc. dr. sc. Luka Krstulović

Mentori:

Prof. dr. sc. Tomislav Mašek

Doc. dr. sc. Kristina Starčević

Članovi povjerenstva:

1. izv. prof. dr. sc. Gordana Gregurić Gračner

2. doc. dr. sc. Kristina Starčević

3. prof. dr. sc. Tomislav Mašek

4. prof. dr. sc. Željko Mikulec

ZAHVALA

Prije svega zahvaljujem se svim članovima obitelji, pogotovo roditeljima koji su me od prvog do zadnjeg dana školovanja usmjeravali, bili puni razumijevanja, poticali me da budem bolji i bili financijska i moralna podrška bez čega ne bih postigao dosadašnje uspjehe.

Veliko hvala svim kolegama, prijateljima i cimerima koji su uvijek bili spremni pomoći, s kojima sam dijelio sve teške i radosne trenutke studiranja i studentskog života i zbog kojih sam postao bolja i sretnija osoba.

Zahvaljujem se i svim djelatnicima Veterinarskog fakulteta koji su me poštovali i mnogo toga naučili. Posebno se zahvaljujem mentorima prof. dr. sc. Tomislavu Mašku i doc. dr. sc. Kristini Starčević na strpljenju, savjetima i uloženom vremenu i trudu kao pomoći pri izradi diplomskog rada.

POPIS PRILOGA:

POPIS SLIKA:

Slika 1. Ličinka crne vojničke muhe

Slika 2. Kukuljica crne vojničke muhe

Slika 3. Odrasli oblik crne vojničke muhe

Slika 4. Karton sa položenim jajima

Slika 5. Uzgoj ličinki u plastičnim kontejnerima

Slika 6. Ličinka velikog brašnara

Slika 7. Odrasli oblik velikog brašnara

Slika 8. Kontejneri za uzgoj različitih razvojnih stadija velikog brašnara

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Udio sirovog proteina i sirove masti u suhoj tvari (%) u najčešće korištenim izvorima proteina za hranidbu životinja i ličinkama odabranih kukaca

Tablica 2. Količina esencijalnih aminokiselina izražena u g na 100 g suhe tvari u velikom brašнару i crnoj vojničkoj muhi

POPIS KRATICA:

1. EU- Europska Unija
2. FAO- Organizacija za prehranu i poljoprivredu (eng. *Food and Agriculture Organization*)
3. BSE- goveđa spongiformna encefalopatija (eng. *Bovine Spongiform Encefalopathy*)
4. SŽS- središnji živčani sustav
5. LED- svjetleća dioda (eng. *Light Emitting Diode*)
6. UV- ultraljubičasto (eng. *Ultraviolet*)

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. ZAKONODAVSTVO	3
3. MORFOLOGIJA, BIOLOGIJA I UZGOJ KUKACA.....	5
3.1. Opća entomologija	5
3.1.1. Morfologija kukaca	5
3.1.2. Anatomija i fiziologija kukaca	7
3.2. Crna vojnička muha.....	12
3.2.1. Morfologija i biologija.....	12
3.2.2. Uzgoj.....	15
3.3. Veliki brašnar.....	17
3.3.1. Morfologija i biologija.....	17
3.3.2. Uzgoj.....	19
4. NUTRITIVNA VRIJEDNOST KUKACA.....	22
4.1. Bjelančevine i aminokiseline	22
4.2. Masti i masne kiseline	24
4.3. Vlakna	25
4.4. Vitamini i minerali	26
5. UPORABA KUKACA U HRANIDBI POJEDINIH SKUPINA ŽIVOTINJA.....	28
5.1. Ribe.....	28
5.2. Perad.....	33
5.3. Svinje	35
5.4. Psi i mačke.....	37
6. RASPRAVA	41
7. ZAKLJUČAK	43
8. LITERATURA.....	44
9. SAŽETAK.....	50
10. SUMMARY	51
11. ŽIVOTOPIS	52

1. UVOD

Uz konstantan rast broja stanovnika, danas na Zemlji živi otprilike 8 milijardi ljudi. Pretpostavka je da će do 2050. godine na Zemlji biti oko 9 milijardi ljudi (LEE, 2011.) što će rezultirati i povećanom potrebom za hranom, odnosno proteinima, dok će se količina prirodnih izvora i obradive površine smanjivati. Povećavanjem potrebe za hranom, povećava se i potreba za krmivima koji su uglavnom sastavljeni od ribljeg brašna i sojine sačme (VAN HUIS i sur., 2013.), što bi moglo predstavljati veliki problem za Europsku Uniju koja uvozi oko 80% soje (RURALIS i sur., 2018.). Prema FAO-u (eng. *Food and Agriculture Organization*) konzumacija kukaca može imati pozitivan učinak na Zemlju s obzirom na probleme vezane uz globalnu proizvodnju hrane kao što su: negativan učinak na okoliš, malnutricija i nedostatak hrane (PAYNE, 2018.).

Zbog navedenih problema, danas se sve više priča o okretanju alternativnim izvorima proteina za hranidbu ljudi i životinja kao što su kukci. Pozitivne strane uporabe pojedinih kukaca u hranidbi ljudi i životinja su te da je za njihov uzgoj potrebna manja površina i uporaba manje količine vode nego kod uzgoja domaćih životinja, visoki udio proteina, vitamina, minerala i bolji aminokiselinski sastav, jednostavnost uzgoja i proizvodnje, manji štetni učinak na okoliš i niska konverzija hrane (VAN HUIS i OONINCX, 2017.). Biljne i životinjske vrste koje se tradicionalno uzgajaju za proizvodnju hrane i krmiva zauzimaju određeni prostor nerijetko nastao deforestacijom pa se samim time gubi određena flora i fauna zbog gubitka prirodnog staništa. Osim smanjenja biološke raznolikosti, negativne strane su i zagađenje okoliša. Štetni nusproizvodi ovakve industrije kao što su metan, dušikov oksid, amonijak, pesticidi i antibiotici zagađuju zrak, vodu i tlo. OONINCX i sur. (2010.) svojim istraživanjem zaključuju da se uzgojem kukaca otpušta manja količina stakleničkih plinova (ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid) i amonijaka, nego prilikom uzgoja domaćih životinja.

Kukci su poikilotermne životinje, metaboliziraju organske tvari bez njihovog korištenja za održavanje tjelesne temperature, stoga je konverzija hrane niža nego kod domaćih sisavaca i ptica (PAYNE, 2018.). Intenzivnim uzgojem domaćih životinja povećava se incidencija bolesti, pojava novih bolesti i patogena rezistentnih na antibiotike. Nasuprot tome, uporabom kukaca u hranidbi smanjuje se vjerojatnost prenošenja zoonoza pošto su kukci, u odnosu na domaće sisavce i perad, taksonomski udaljeniji od ljudi (VAN HUIS i sur., 2013.). Unatoč brojnim prednostima, još uvijek se ne pridaje dovoljna važnost uzgoju kukaca kao alternativnim

izvorima proteina. Mogući razlog tome je odbojnost ljudi prema kukcima, nedovoljna istraženost uzgoja i prerade kukaca za hranu i krmiva te zakonodavstvo koje ograničava takvu praksu.

2. ZAKONODAVSTVO

Zakoni Europske Unije (EU) definiraju uvjete pod kojima proizvođači hrane za ljude i hrane za životinje mogu proizvoditi i prodavati hranu u EU. Ranih 2000-ih godina prihvaćen je zakonodavni paket koji definira opće odredbe i standarde u području sigurnosti hrane za ljude i hrane za životinje. Riječ je o Zakonu o hrani i Higijenskom paketu kojim su obuhvaćene opće higijenske mjere za namirnice, mjere u higijeni namirnica animalnog podrijetla, mjere službene kontrole, uvjeti zdravlja životinja namijenjenih proizvodnji namirnica te mnoge druge. Tako se i proizvođači hrane nastale preradom kukaca moraju pridržavati svih mjera kako bi se osigurala sigurnost hrane i dobrobiti zdravlja ljudi, životinja i biljaka. Pristup Europe prema kukcima u hranidbi životinja pod velikim je utjecajem problema s goveđom spongiformnom encefalopatijom (BSE) koja predstavlja veliki rizik na zdravlje i sigurnost potrošača.

2001. godine, uporaba prerađenih životinjskih proteina zabranjena je zbog propisa vezanih uz BSE (Uredbe (EU) 999/2001). Iduće godine Direktivom 2002/32/EZ utvrđene su tvari namijenjeni za hranidbu životinja, kao i nepoželjne tvari i njihova maksimalna dozvoljena količina. To je bitno zbog toga što svaki dodani element, tako i kukci ili njihovi dijelovi, u hrani mora biti u skladu sa propisima o nedozvoljenim tvarima. Odlukom EU uspostavljaju se i uvjeti odnosno ograničenja u smislu hrane kojom se hrane farmske životinje u koje ubrajamo i kukce. Propisuje se da kukci koji služe kao hrana smiju biti hranjeni odnosno uzgajani na podlogama od tvari biljnog porijekla, uz izuzetke kao što su mlijeko, jaja, med i proizvodi krvi nepreživača. Tako se zabranjuje uporaba klaoničkog i ugostiteljskog otpada, mesa i štalskog gnoja u hranidbi kukaca. Isto tako proizvođači moraju osigurati biosigurnost i zdravlje svake životinje kako ne bi došlo do izbijanja i širenja bolesti što je regulirano Zakonom o zdravlju životinja (Uredba (EU) 2016/429). Također, proizvođači iz trećih zemalja koji proizvode hranu koja sadrži kukce i žele ju izvoziti u EU moraju se pridržavati sličnih standarda propisanih zakonodavstvom EU, a proizvodi od kukaca koje izvoze moraju biti porijekla iz tih zemalja i praćeni zdravstvenim certifikatom.

Europski proizvođači hrane od kukaca moraju se pridržavati Uredbe o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta (Uredba (EU) 1143/2014) čiji je cilj prevencija uvođenja invazivnih vrsta kukaca koji mogu naštetiti bioraznolikosti i ekosustavu u slučaju oslobađanja kukaca iz uzgajališta. Provedbom Uredbe komisije (EU) 1141/2016 o donošenju popisa invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u Uniji u skladu s Uredbom

(EU) 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća na listi je od kukaca trenutno prisutan samo azijski stršljen (*Vespa velutina nigrithorax*). Zakonodavstvo EU izostavilo je beskralježnjake pa tako i kukce u pitanju dobrobiti životinja što znači da su uzgajivači i proizvođači hrane koja sadrži kukce oslobođeni europskih pravnih obaveza po tom pitanju. Proizvođači hrane za životinje koja sadrži kukce moraju se registrirati nadležnom tijelu što je definirano Uredbom (EZ) 183/2005 o utvrđivanju zahtjeva u pogledu higijene hrane za životinje. Kukci i proizvodi od kukaca namijenjeni za hranidbu životinja svrstavaju se u nusproizvode životinjskog porijekla koji se navode u Uredbi komisije (EU) 142/2011 o provedbi Uredbe (EZ) 1069/2009 Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju zdravstvenih pravila za nusproizvode životinjskog podrijetla i od njih dobivene proizvode koji nisu namijenjeni prehrani ljudi. Uredbom (EU) 2017/893 dozvoljen je uzgoj pojedinih vrsta kukaca i proizvodnja prerađenog proteina od kukaca u hranidbi životinja akvakulture, a prije toga mogli su se uzgajati samo za hranu za kućne ljubimce.

U travnju 2021., zemlje članice EU glasale su za dozvolu uporabe prerađenih proteina kukaca u hranidbi peradi i svinja. Ovaj prijedlog bio je veliki korak za pokretanje tog postupka. Stoga od 7. rujna 2021. stupa na snagu Uredba komisije (EU) 2021/1372 o izmjeni Uredbi (EZ) 999/2001 Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu zabrane hranidbe nepreživača iz uzgoja, osim krznaša, bjelančevinama dobivenima od životinja. Kao posljedica te Uredbe uporaba proteina dobivenih od kukaca dozvoljena je u hranidbi svinja, peradi, kućnih ljubimaca (psi, mačke, ptice, gmazovi), krznaša (vidrice) i u akvakulturi. Uredbom (EU) 2017/893 utvrđuju se vrste kukaca koje se uzgajaju u EU i koje zadovoljavaju sigurnosne uvjete za proizvodnju kukaca za upotrebu u hrani za životinje, a to su: crna vojnička muha (*Hermetia illucens*), kućna muha (*Musca domestica*), veliki brašnar (*Tenebrio molitor*), manji brašnar (*Alphitobius diaperinus*), kućni šturak (*Acheta domesticus*), tropski kućni zrikavac (*Grylloides sigillatus*) i livadski zrikavac (*Gryllus assimilis*). Uredbom 2021/1925 dozvoljena je uporaba još jednog kukca, a to je dudov svilac (*Bombyx mori*).

3. MORFOLOGIJA, BIOLOGIJA I UZGOJ KUKACA

3.1. Opća entomologija

3.1.1. Morfologija kukaca

Tijelo kukaca je bilateralno simetrično i kolutićave građe. Tijelo odraslih kukaca sastoji se od 3 dijela: glave (caput), prsa (thorax) i zatka (abdomen).

Glava je čvrsta hitinska čahura različitog oblika ovisno o vrsti kukaca koja je nastala spajanjem 6 kolutića (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Na glavi se nalaze oči, ticala i usni organi. Oči su dobro razvijene u kukaca koji su dobri letači i grabežljivci, a zakržljala u onih koji žive u tlu ili nametnički. Oči mogu biti: jednostavne (čeone), lateralne (bočne) i sastavljene (mrežaste) (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Ticala su smještena između očiju. Na ticalima su osjetila okusa i mirisa, kod nekih i sluha, a pomoću njih osjećaju toplinu, vibraciju zraka, orijentiraju se u prostoru, pronalaze hranu, a kod mnogih kukaca ticala su i sekundarne spolne odlike. Usni organi sastoje se od: gornje usne (labrum), parne gornje čeljusti (mandibule), parne donje čeljusti (maxille) i donje usne (labium). Prilagodbom na različitu vrstu hrane mijenjali su se i oblici usnih organa. Prema tome razlikujemo usne organe za grizenje i žvakanje, za grizenje i sisanje, za lizanje i sisanje i za bodenje i sisanje.

Prsa su građena od 3 kolutića: prednjeg (prothorax), srednjeg (mesothorax) i stražnjeg (metathorax) kolutića. Na svakom kolutiću se nalazi po jedan par nogu, a na srednjem i stražnjem kolutiću s leđne strane nalaze se po jedan par krila. Prsne kolutiće s dorzalne strane pokriva leđna hitinizirana pločica (tergum), s lateralne strane mekše pločice (pleurae) povezuju leđnu sa trbušnom pločicom (sternum) na ventralnoj strani (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Kolutići prsa mogu biti različite građe i veličine ovisno o funkciji organa za pokretanje (noge i krila). Kukci imaju 3 para člankovitih nogu sastavljenih od 6 članaka. Ti članci su: kuk (coxa), prstenak (trochanter), bedro (femur), goljenica (tibia), stopalo (tarsus) i predstopalo (praetarsus). Stopalo može biti sastavljeno od jednog do 5 članaka, ovisno o vrsti kukca. Na stopalu se nalaze pandžice (ungues). Između ili uz njih mogu se nalaziti posebni dodaci kao što su jatučići, čekinje ili proširenja pandžica koji služe za bolje prianjanje uz glatku površinu. Noge kukaca ovisno o potrebama mogu biti značajno izmijenjene pa ih možemo podijeliti na noge za hodanje, trčanje, skakanje, kopanje, sabiranje, čišćenje, grabljenje, plivanje i veslanje. Krila su karakteristična za kukce iz podrazreda Pterygota (krilaši), dok ih nemaju oni iz

podrazreda Apterygota (beskrilci). Beskrilnost je prisutna i kod nekih krilaša kao sekundarna pojava jer se krila naknadno gube ili reduciraju kao posljedica posebnog načina života (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Beskrilnost može biti prisutna kod jednog spola (spolni dimorfizam) gdje je češća kod ženki ili npr. kod mrava i termita gdje nespolni oblici (radnici i vojnici) nemaju krila dok ih spolni oblici imaju. Krila su smještena na drugom i trećem kolutiću prsa, a nastali su od postranih udvostručenja kože na rubovima leđne pločice prsnih kolutića. Dakle krila su lagane i čvrste pločice od dva sloja epiderme pokrivene hitinskim listićima (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Na svakom krilu razlikujemo rub, vrh, zglobni dio i krilnu plohu. Na krilima su vidljive poprečne i uzdužne žile kojima prolaze živci, dušnice i hemolimfa. Raspored žila na krilima karakterističan je za svaku pojedinu vrstu kukaca (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Također, krila kukaca s obzirom na vrstu razlikuju se po obliku, veličini i građi.

Zadak je građen od najviše 12 kolutića. Kod većine kukaca, kolutići zatka su reducirani pa ih je vidljivo samo nekoliko. Granica između prsa i zatka jasna je jer na zatku odrasli kukci nemaju noge (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Tijelo kukaca prekriveno je kožom. Zadaća kožnog sustava je zaštita tijela od mehaničkih ozljeda, prodiranja bakterija i drugih patogena i štetnih kemijskih tvari, sprječavanje prevelikog gubitka tjelesne tekućine te obrana organizma od djelovanja ultraljubičastih zraka. Isto tako koža daje stalan oblik tijela, služi za pričvršćivanje mišića te su u njoj smješteni osjetni organi, dlake, pigmenti i brojne žlijezde koje luče različite sekrete (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Na poprečnom presjeku razlikuju se: kutikula (cuticula), epiderma (epidermis) i bazalna membrana (membrana basilaris). Kutikula je površinski sloj kože, građen od nežive tvari, a izlučuje ju epiderma. Epiderma je jednoslojni epitel koji na površini izlučuje čvrstu kutikulu (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Pošto kutikula onemogućava rast, ona se mora odbaciti nakon čega epiderma izgrađuje novu kutikulu. Od stanica epiderme diferenciraju se trihogene stanice koje stvaraju korijen dlake, stanice žlijezdi i osjetne stanice (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Bazalna membrana je opna koja se nalazi ispod epiderme i povezuje kožu i mišiće.

3.1.2. Anatomija i fiziologija kukaca

U zatku je smještena tjelesna šupljina gdje je s 2 dijafragme (dorzalna i ventralna) podijeljena na 3 sinusa. Tako na poprečnom presjeku razlikujemo perikardijalni, perivisceralni i perineuralni sinus. Perikardijalni sinus (sinus pericardialis) nalazi se između leđne stijenke i dorzalne dijafragme, a u njemu se nalazi srce. Perivisceralni sinus (sinus perivisceralis) nalazi se između dorzalne i ventralne dijafragme, a unutar njega nalaze se probavni i spolni organi. Perineuralni sinus (sinus perineuralis) nalazi se između ventralne dijafragme i trbušne stijenke, a kroz njega proteže se trbušna moždina (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Probavni sustav

Probavilo kukaca proteže se od usnog do analnog otvora, a čine ga prednje, srednje i stražnje crijevo (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Prednje crijevo (stomodeum) sastoji se od: usne šupljine, ždrijela, jednjaka, guše i žvačnog želudca koje završava mišićnim prstenom. Usna šupljina smještena je između usnog otvora i gornjih čeljusti. Građena je od prednjeg dijela (meatus oris) u kojem se hrana usitnjava i stražnjeg dijela (cibarium) u kojem se hrana skuplja i postikuje dalje u ždrijelo (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Unutar usne šupljine nalaze se žlijezde koje djelomično razgrađuju hranu. Ždrijelo (pharynx) se nastavlja na usnu šupljinu. To je mišićna cijev čija je unutarnja stijenka obrasla resicama pomoću kojih je onemogućeno vraćanje hrane u usnu šupljinu (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Jednjak (oesophagus) ima ulogu prenošenja hrane iz ždrijela u želudac odnosno srednje crijevo. Guša (ingluvies) često predstavlja samo proširenje jednjaka, dok je jasno odvojena kod kukaca koji se hrane tekućom hranom. Njezina funkcija je skladištenje i probava hrane pomoću enzima žlijezda slinovnica i srednjeg crijeva. Žvačni želudac (proventriculus) građen je od snažnih mišića i hitinskih zubića koji obavljaju funkciju usitnjavanja hrane. Žvačni želudac prisutan je samo u kukaca koji uzimaju tvrdnu hranu. Mišićni prsten (valvula cardiaca) potiskuje hranu u srednje crijevo i sprječava njezino vraćanje u prednje crijevo (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Srednje crijevo (mesenteron) predstavlja dio probavnog sustava u kojem se izlučuju probavni sokovi, a hrana se probavlja i resorbira. Ovisno o vrsti hrane koju kukac uzima, srednje crijevo može biti različite duljine i širine.

Stražnje crijevo (proctodeum) dijeli se na prednji, srednji i zadnji dio. Prednji dio (pylorus) kratak je i građen od jakih mišića, a unutar njega nalazi se zalistak (valvula pylorica) koji ima funkciju regulacije prolaza hrane. Na prijelazu želuca u stražnje crijevo nalaze se Malpigijeve cjevčice (Vasa Malpighii) koje imaju ekskrecijsku funkciju (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Srednji dio odnosno tanko crijevo, kod većine kukaca dijeli se na ileum i colon. Zadnji dio (rectum) odvojen je od srednjeg dijela pomoću zaliska (valvula rectalis). U rektumu se nalaze rektalne bradavice koje resorbiraju vodu, ione i aminokiseline. Crijevni otvor (anus) je završetak probavnog sustava. Okružen je kružnim mišićima koji oblikuju sfinkter.

Probava kod kukaca odvija se pomoću brojnih enzima u različitim dijelovima probavila. Probavljanje hrane započinje u usnoj šupljini pod utjecajem žlijezdi slinovnica. Glavna probava hrane odvija se u srednjem crijevu gdje se nalazi najviše enzima za probavu ugljikohidrata, masti i proteina. Proteaza razgrađuje proteine do polipeptida, a peptidaza dalje do aminokiselina. Polisaharidi i disaharidi razgrađuju se do monosaharida pomoću različitih karbohidraza kao što su: amilaza, maltaza, saharaza, invertaza i laktaza. Lipaza je enzim koji masti razgrađuje na glicerol i više masne kiseline (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Ovisno o vrsti hrane koju konzumiraju, kukci mogu biti: biljojedi, mesojedi, svejedi ili se hraniti organskim tvarima u raspadanju (saprofagi) (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Dišni sustav

Kukci dišu pomoću uzdušnica (traheje) koje se na površini tijela otvaraju odušcima (stigme). U tijelu kukaca uzdušnice se granaju u trahealne kapilare (traheole) koje ulaze u stanice kojima dovode kisik, a odvođe ugljikov dioksid. Trahealni sustav ektodermalnog je podrijetla pa su i uzdušnice presvučene hitinskom kutikulom koja se obnavlja nakon presvlačenja kukaca (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Kukci koji žive u vodi dišu pomoću trahealnih škruga.

Odušci (stigme) smješteni su na bočnim stranama kolutića prsa i zatka. Većina kukaca ima 10 pari stigmi, po jedan par na drugom i trećem kolutiću prsa i ostatak na kolutićima zatka (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Broj i oblik stigmi može varirati u pojedinim vrstama kukaca. Stigme su zaštićene dlačicama, čekinjama, resicama ili drugim tvorevinama koje onemogućavaju ulazak prašine i zemlje u uzdušnice. Prostor iza otvora stigme naziva se predvorje (atrium). U predvorju se nalaze mišićne usne koje otvaraju i zatvaraju prolaz u dišnu

cijev (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Dišne cijevi odnosno uzdušnice iznutra su pojačane hitinskim nitima oblika spirale ili prstenova. Građa uzdušnica slojevita je kao i građa kože. U mnogih kukaca (skakavci, kornjaši, muhe pčele, leptiri itd.) uzdušnice su proširene u zračne vrećice te služe kao rezervoari zraka.

U kukaca razlikujemo pasivno disanje (difuzija) i aktivno disanje (ventilacija) (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Pasivno disanje podrazumijeva izmjenu plinova bez mehaničkog pokretanja, a prisutno je kod mirovanja (presvlačenje, stadij kukuljice). Aktivno disanje praćeno je respiracijskim pokretima koji se mogu uočiti kao ritmično stezanje i rastezanje zatka (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Prvo se zadak širi dok zrak ulazi kroz stigme u uzdušnice, a stigme se zatvore. Zatim se zadak steže, a zrak iz uzdušnica odlazi u trahealne kapilare te se odvija izmjena plinova difuzijom. Nakon toga zadak se širi uz zatvorene stigme, a zrak s ugljikovim dioksidom i vodenom parom iz trahealnih kapilara ulazi dišne cijevi odnosno uzdušnice. Zatim se zadak steže, stigme otvaraju, a zrak sa ugljikovim dioksidom i vodenom parom izlazi iz tijela (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Cirkulacijski sustav

Kukci imaju vrlo pojednostavljen cirkulacijski sustav pošto razgranate uzdušnice i trahealne kapilare zamjenjuju krvne žile. Glavni dio cirkulacijskog sustava čini leđna žila na kojoj se razlikuje aorta (prednji dio) i srce (stražnji dio) (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Krvožilni sustav u kukaca je otvoren pošto se krv iz aorte izlijeva u tjelesnu šupljinu.

Srce (cor) je smješteno u perikardijalnom sinus. Može biti građeno od jedne ili više klijetki koje su odvojene zaliscima. Aorta je prednji dio krvne žile koji ide od srca kroz prsa do glave gdje se otvara (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Kukci iz podrazreda Pterygota (krilaši) imaju stezljive mjehuriće koji su smješteni na dorzalnoj strani aorte, kolutićima prsa, osnovici ticala i nogu, a služe za pojačavanja optjecanja krvi u njima.

Krv kukaca odnosno hemolimfa (haemolympha) je tekućina koja sadrži krvne stanice (hemociti i leukociti), organske tvari (proteini i pigmenti), neorganske tvari (kalcij, natrij, kalij, magnezij, željezo, bakar) i vodu (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Glavne funkcije krvi su: prijenos enzima, hormona, hranjivih i štetnih tvari te obrana. Krv kroz tijelo prenosi hranjive tvari do svih tkiva i organa, a istovremeno preuzima produkte metabolizma i ostale štetne tvari koje predaje organima za izmetanje (Malpigijeve cjevčice) koji ih ubacuju u stražnje crijevo, a

dalje se zajedno s neprobavljenim ostacima hrane izbacuju kroz analni otvor u obliku ekskremenata.

Živčani sustav

Živčani sustav zaslužan je za prijenos podražaja i reakciju organizma na primljene podražaje iz okoline ili iz unutrašnjosti tijela, a prijenos podražaja od osjetila do tkiva i organa obavljaju živčane stanice (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Živčani sustav kukaca dijeli se na 3 osnovne cjeline: središnji, periferni i simpatički.

Ličinke i jednostavni kukci na ventralnoj strani imaju razvijen ljestvičasti oblik živaca (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Kod potpuno razvijenih kukaca u prsima i zatku stopili su se u veća živčana središta odnosno ganglije. U glavi se nalaze 3 ventralna para ganglija koji čine podždrijelni ganglij, a 3 dorzalna para ganglija čine nadždrijelni ganglij. Nadždrijelni ganglij je najrazvijeniji dio živčanog sustava stoga se naziva mozak (cerebrum) (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). U prvom dijelu mozga nalazi se centar svih asocijacijskih djelatnosti koji je razvijeniji kod društvenih kukaca (pčele, mravi) i centar vida. U drugom dijelu mozga nalaze se centri za miris, okus, opip i sluh. Iz trećeg dijela izlaze živci koji su dio simpatičkog sustava. Iz podždrijelnog ganglija izlaze živci za gornje i donje čeljusti te donju usnu. Iz prsnih ganglija izlaze živci za inervaciju nogu i krila, a iz ganglija zatka živci ulaze u kolutiće zatka i spolne organe (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Periferni živčani sustav sastoji se od ogranaka središnjeg živčanog sustava (SŽS), koji su razgranati po cijelom tijelu kukca (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Živčana vlakna koja prenose podražaje do SŽS nazivaju se senzibilna ili centripetalna živčana vlakna, a ona koja prenose podražaje od SŽS do mišića ili žlijezde nazivaju se motorna ili centrifugalna živčana vlakna.

Simpatički živčani sustav sastoji se od 3 dijela: stomatogastričnog, kaudalnog i ventralnog dijela (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Stomatogastrični dio izlazi iz moždanog ganglija, iz kojeg živci odlaze u prednji dio probavila. Kaudalni dio izlazi iz posljednjeg trbušnog ganglija iz kojeg živci odlaze u stražnji dio probavila i u spolne organe. Ventralni dio izlazi iz stražnjeg dijela svakog trbušnog ganglija, a iz njega živci odlaze u uzdušnice.

Spolni sustav

Organi za reprodukciju smješteni su u zatku. Reproductivni sustav kukaca sastoji se od: parnih gonada, parnih izvodnih cijevi (gonodukti), kopulacijskog organa i žljezdanih dodataka (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

Ženke kukaca imaju parne jajnike (ovarium) izgrađene od nekoliko jajnih cjevčica (ovariollae). Svaka jajna cjevčica građena je od vršnog vlakna (terminalni filum), zametne komorice (germarium) i žumanjčališta (vitellarium) (Oštrec i Gotlin Čuljak, 2005.). Vršna vlakna spajaju se tvoreći ligament koji pričvršćuje jajnike za stijenk u tjelesne šupljine. U zametnoj komorici nastaju oogonije koje se kasnije dijele na oocite koje se raspoređuju u nizove po sredini jajnih cjevčica (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Zatim, u vitelariju oociti primaju žumanjak. Najstariji i najveći oociti prelaze u jajovode (oviductus). Parni jajovodi spajaju se u neparnu spolnu cijev (oviductus communis, vagina) koja završava spolnim otvorom (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). U živorodnih kukaca vagina je proširena u uterus za prihvaćanje ličinki koje su izašle iz jaja (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Uz rasplodne organe, ženke imaju i žlijezde koje se nazivaju glandulae appendiculares. Pomoću sekreta te žlijezde ženke pričvršćuju jaja za podlogu ili se njime hrane ličinke dok se razvijaju u uterusu.

Mušjaci imaju parne sjemenike (testis) građeni od nekoliko sjemenih cjevčica ili folikula u kojima se u procesu spermatogeneze oblikuju spermatozoidi (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.). Sjemenici su obavijeni posebnom opnom (scrotum). Svaki folikul kanalićem je povezan za sjemenovod (vasa deferens). Parni sjemenovodi spajaju se u jednu izvodnu cjevčicu za izbacivanje sjemena (ductus ejaculatorius) koja završava otvorom na vrhu penisa. Na sjemenovodima se nalaze proširenja, tj. sjemene vrećice (vesicula seminalis) u kojima se skupljaju spermatozoidi, koji se prelaskom u sjemenovode miješaju sa izlučinama parnih spolnih žlijezdi (glandulae accessoriae) stvarajući spermu koja se preko organa za parenje unosi u spolne organe ženke (OŠTREC i GOTLIN ČULJAK, 2005.).

3.2. Crna vojnička muha

3.2.1. Morfologija i biologija

Crna vojnička muha (*Hermetia illucens*) je kukac iz roda dvokrilaca (Diptera) i porodice vojničkih muha (Stratiomyidae). Rasprostranjena je uglavnom u zapadnoj hemisferi, u područjima tropske i tople klime i ekosustavima bogatih hranjivim tvarima kao što su gnoj i kompost (OLIVEIRA i sur., 2015.).

Životni ciklus crne vojničke muhe sastoji se od 5 razvojnih stadija: jaje, ličinka, pretkukuljica, kukuljica i odrasli oblik. Dakle ovi kukci prolaze potpunu preobrazbu (metamorfozu). Iako podaci različitih autora o trajanju pojedine faze životnog ciklusa variraju, u prosjeku inkubacija jaja traje 4 dana, stadij ličinke 2-3 tjedna, stadij pretkukuljice 10 dana, stadij kukuljice od 8 dana do nekoliko tjedana, a stadij odrasle muhe 7 dana. Ovi podaci variraju ovisno o uvjetima držanja kao što su temperatura, postotak vlage i dnevna količina svjetla.

Tek izlegle ličinke dužine su nekoliko milimetara, a na kraju dosegnu dužinu do 2.5 cm i širinu 5 mm (Slika 1.) (DORTMANS i sur., 2017.). Glava im je dugačka, uska, manja od tijela i može se uvući u prsa. Veličina glave i razmak između očiju može poslužiti u određivanju dobi ličinke pošto se opseg glave povećava se sa starosti. Dorzalna strana glave obrasla je dlačicama (cilia) u nekoliko redova. Prsa su sastavljena od 3 kolutića također obrasla dlačicama i nekoliko pari pravih dlaka (setae). Zadak se sastoji od 8 kolutića obraslih dlačicama koje kaudalno postaju veće i deblje. Od prvog do sedmog kolutića sa svake strane uočavaju se odušci (OLIVEIRA i sur., 2016.). Zadnji kolutić je zaobljeniji od ostalih i na njemu se nalazi analni otvor. Nakon izlaska iz jaja, ličinke se presvuku nekoliko puta prije nego postanu kukuljice. U stadiju ličinke, crne vojničke muhe konstantno se hrane. Za uspješan uzgoj ličinki BAVA i sur. (2019.) u svom istraživanju koristili su okaru (nusproizvod proizvodnje sojinog mlijeka i tofua), ostatke pivarske industrije i destilirani kukuruz, SHEPPARD i sur. (2002.) koristili su mješavinu pšeničnih mekinja, lucerne i kukuruza, HOC i sur. (2019.) koristili su destilirane žitarice, hmelj i korice mrkve, a OLIVEIRA i sur. (2015.) stajski gnoj krava. Ovi podaci govore da su ličinke crne vojničke muhe saprofagi i polifagi pošto se mogu hraniti različitom vrste hrane i otpada. DORTMANS i sur. (2017.) kažu kako za razvoj ličinki idealna temperatura iznosi između 24 i 30°C. Ako je previsoka temperatura, ličinke će se udaljiti od izvora hranjivih tvari u potrazi za hladnijim okruženjem. Ako je temperatura preniska, ličinkama će se usporiti

metabolizam, odnosno uzimat će manje hrane i sporije se razvijati. Ličinke izbjegavaju izravno sunčevo svjetlo. Ako je izvor hrane na svjetlu, sakrit će se u dublje slojeve hrane. Ženske ličinke razvijaju se duže od mužjaka i veće su mase pošto im je potrebno više energije za razvoj jaja (HOC i sur., 2019.). Na početku istraživanja OLIVEIRA i sur. (2015.) ličinke, uzgajane na temperaturi 28-30°C i 70% relativne vlažnosti, veličine su oko 5 mm, bjelkaste boje, a glava im sadrži usne organe namijenjene za žvakanje. Nakon 15 dana ličinke su postale svijetlosmeđe boje i dužine oko 12 mm. Idućih 15 dana narasle su do 19 mm. Kroz idućih 18 dana prešle su iz stadija pretkukuljice u kukuljicu pa u odrasli oblik.

Kada se razvijaju u pretkukuljicu, ličinke postaju tamnosmeđe do sive boje i mijenjaju oblik usnih organa u kukicu (DORTMANS i sur., 2017.). Pomoću toga se lakše kreću i pronalaze toplo, suho, sjenovito i skriveno mjesto gdje će se bez smetnji pretvoriti u kukuljicu (Slika 3.) pa odraslu jedinku. Samo izlaženje iz kukuljice i početak letenja traje nekoliko minuta.



Slika 1. Ličinka crne vojničke muhe
(Izvor: www.insektarij.com)



Slika 2. Kukuljica crne vojničke muhe
(Izvor: www.insektarij.com)

Odrasle muhe (Slika 3.) su tamnosive do crne boje sa tamnim krilima i crnobijelim nogama, u prosjeku su dužine 2 cm, a izgled podsjeća na osu. Glava odraslih crnih vojničkih muha kao i kod ličinki manja je i uža od ostatka tijela. U oba spola oči su široko razmaknute. Ticala su im dvostruka duža od glave. Prsa se sastoje od 3, a zadak od 5 vidljivih kolutića. Na

drugom prsnom kolutiću nalazi se jedan par krila. Ženke su nešto veće od mužjaka, ali nema jasno vidljivih razlika među spolovima (OLIVEIRA i sur., 2016.). Jedina razlika je u izgledu odnosno građi spolnog sustava. Odrasle crne vojničke muhe žive oko tjedan dana. U tom vremenu odrasli će tražiti partnera i razmnožavati se. U ovom stadiju potrebna im je velika količina prirodnog svjetla i temperatura 25-32°C (DORTMANS i sur., 2017.). Vlažna sredina može im produljiti životni vijek pa tako i šanse za uspješnu reprodukciju, a uočeno je da se najčešće pare uz jutarnju svjetlost. U područjima tropske klime uočava se parenje i polaganje jaja tokom cijele godine (HOC i sur., 2019.). Glavna uloga odraslih jedinki je razmnožavanje, a za uspješno parenje koje obavljaju u letu i polaganje jaja potrebna im je samo voda. Pošto odrasle crne vojničke muhe gube funkcionalne usne organe za žvakanje, ne mogu se hraniti, ali do kraja života preživljavaju pomoću masti koju su nakupljali u stadiju ličinke. Ubrzo nakon parenja, ženke polažu jaja u pukotinama ili na skrivenom mjestu u blizini organske tvari u raspadanju kako bi se ličinke nakon izlijevanja mogle odmah hraniti. Jaja moraju biti podalje od izravnog sunčevog svjetla kako bi se spriječilo isušivanje, skrivene od predatora, ali i vlage jer će u protivnom doći do razvoja gljivica koje uzrokuju propadanje jaja. Ženke će polagati jaja kada osjeti hlapljive organske spojeve koji se otpuštaju iz obližnje tvari u raspadanju (HOC i sur., 2019.). Ženka sveukupno položi od 400 do 800 jaja, a ubrzo nakon toga ugiba.



Slika 3. Odrasli oblik crne vojničke muhe (Izvor: www.insektarij.com)

Crna vojnička muha zanimljiva je vrsta pošto ima veliki potencijal za rješavanje važnih problema današnjeg društva kao što su nestašica hrane i gomilanje otpada. Ličinke crne vojničke muhe mogu se hraniti nusproizvodima poljoprivrede i organskim otpadom biljnog i

životinjskog porijekla što bi mogao biti inovativni način zbrinjavanja otpada (HOC i sur., 2019.). Ne samo da se hrane različitom vrstom otpada i postaju vrijedan izvor proteina, masti, minerala i vitamina, nego i sami otpad postaje ekološki prihvatljivo gnojivo u poljoprivredi. LIU i sur. (2019.) navode kako ličinke crne vojničke muhe mogu razgraditi štetne bakterije kao što su *E. Coli* i *Salmonella* spp., a OLIVEIRA i sur. (2015.) kako one mogu znatno smanjiti koncentraciju dušika i fosfora u stajskom gnoju. Tako je uzgoj crne vojničke muhe namijenjene za hranidbu životinja usko povezan sa ekologijom. Također, povećavanjem populacije crne vojničke muhe smanjuje se populacija kućne muhe za razliku od kojih nisu nametnici na usjevima, nisu vektori bolesti niti na bilo kakav način štete okolišu (LIU i sur., 2019.).

3.2.2. Uzgoj

Za uspješan uzgoj crnih vojničkih muha kao hrane za životinje i kontinuiranog zbrinjavanja velike količine biootpada potrebno je u objektima održavati uvjete kao i u prirodi, odnosno kako je navedeno u tekstu iznad. Za početak potrebno je stalno održavanje i praćenje broja ličinki pošto su one ključne za obradu biootpada (DORTMANS i sur., 2017.). Kasnije u stadiju pretkukuljice dio njih može se koristiti kao hrana za životinje ili ostati u pogonu da bi se razvile u odrasle muhe pomoću koji će se održavati broj jedinki u populaciji.

Nastamba za uzgoj odraslih crnih vojničkih muha treba biti izrađena od mreže kako bi bilo prozračno, ali i onemogućilo izlazak muha. SHEPPARD i sur. (2002.) su u svrhu istraživanja odrasle jedinke držali u mrežastim nastambama dimenzija 2x2x4 metra. U njima su se nalazile 2 plastične biljke, raspršivač vode, grijač i sigurna mjesta za polaganje jaja napravljenih od kartona (Slika 4.) dimenzije 2.5x2 cm blizu supstrata za ličinke koji će privući ženke. Kao mjesto za polaganje jaja mogu se koristiti i drvene ili plastične letvice. U svom istraživanju ZHANG i sur. (2010.) zaključuju da uporaba halogenih žarulja (snage 500 W i intenziteta svjetla 135 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) može potaknuti parenje i polaganje jaja, a naknadni razvoj ličinki i kukuljice sličan je kao i pod prirodnim sučevim svjetlom. MACAVEI i sur. (2020.) uočavaju kako je veća produkcija jaja i duže vrijeme polaganje jaja kod uporabe kombiniranih LED svjetla (UV:plava:zelena=1:1:3) u odnosu na bijela LED svjetla i neonska svjetla.

Nakon uspješnog parenja i polaganja jaja, letvice koje u svojim procjepima sadrže jaja stavljaju se iznad kontejnera sa hranom za mlade ličinke. Kao hrana za ličinke stare nekoliko

dana može se koristiti *starter* hrana za piliće (DORTMANS i sur., 2017.). Kada se ličinke izlegu iz jaja, padaju u kontejner sa hranom kojom će se hraniti 5 dana. Nakon toga premještaju se u kontejnere sa biootpadom kojim će se hraniti do razvijanja u idući razvojni stadij. U ovoj fazi uzgoja može se smjestiti 40000 ličinki na 1 kvadratni metar koje će kroz 12 dana konzumirati 60 kg biootpada (DORTMANS i sur., 2017.). Biootpad koji se koristi za prehranu ličinki može sadržavati: komunalni biootpad, ostatke hrane iz restorana, tvornica ili trgovina, klaonički otpad ili stajski gnoj različitih vrsta životinja. Hrana za ličinke mora biti vlažna, tj. sadržavati 60-90% vode. Za uzgoj ličinki najbolje je koristiti plastične kontejnere (Slika 5.) zbog njihove niske cijene, lakše manipulacije i čišćenja u odnosu na druge materijale. Dimenzije ovise o količini supstrata i ličinki koje se planiraju uzgajati. SHEPPARD i sur. (2002.) navode da se ličinke mogu dobro razvijati na gustoći 2.5 jedinke na površini od jednog kvadratnog centimetra supstrata.



Slika 4. Karton sa položenim jajima
(Izvor: www.insektarij.com)



Slika 5. Uzgoj ličinki u plastičnim kontejnerima
(Izvor: www.insektarij.com)

Kontejneri sa biootpadom trebali bi imati i posebne suhe odjeljke gdje bi starije ličinke odnosno pretkukuljice mogle pobjeći i nastaviti svoj razvoj. Iz tog dijela ih se prebacuje u kontejnere sa supstratom u kojeg će se pretkukuljice zakopati. Takvi kontejneri stavljaju se u odjeljke prekrivene dvoslojnim crnim platnom gdje ostaju do razvoja u idući stadij (DORTMANS i sur., 2017.).

Nakon izlaska iz kukuljice, odrasle crne vojničke muhe ostat će nepomične pošto su u mraku. Nakon 15 dana, tamni odjeljak tunelom se poveže sa osvjetljenim mrežastim kavezom namijenjenim za reprodukciju. Svjetlo privlači odrasle muhe koje će same krenuti prema

mrežastom kavezu (DORTMANS i sur., 2017.). Čim izađu na svjetlo, crne vojničke muhe krenu se pariti, a nakon par dana ženke polažu jaja što u konačnici zatvara životni ciklus crne vojničke muhe.

Uzgoj ličinki crnih vojničkih muha moguć je u vlastitom vrtu na područjima gdje se one prirodno nalaze. Samo su potrebni kontejner koji se može izgraditi kod kuće i supstrat za uzgoj. Kao supstrat može poslužiti vrtni i kućanski biootpad koji će privući slobodnoživuće odrasle ženke koje će u njih polagati jaja. Izlegle ličinke pretvorit će biootpad u vrijedno gnojivo za vrt, a kada se razviju u pretkukuljice mogu poslužiti kao hrana za domaću perad i sisavce.

3.3. Veliki brašnar

3.3.1. Morfologija i biologija

Veliki brašnar (*Tenebrio molitor*) je kukac iz reda kornjaša (Coleoptera) i porodice crnokrilaca (Tenebrionidae). Potekao je iz Europe, ali je kozmopolitska vrsta što znači da se može pronaći gotovo u svim krajevima svijeta. Veliki brašnar je štetnik u skladištima brašna i proizvodima od brašna, žita, mliječnog praha i mesa (BAŽOK i sur., 2019.). Usprkos tome, veliki brašnar je vrlo bitan dio ekosustava pošto se može hraniti različitim tvarima organskog porijekla pa tako i tvarima u raspadanju, a također je hrana mnogim divljim životinjama kao što su pauci, drugi kukci, glodavci, ptice i gmazovi.

Isto kao i crna vojnička muha, ovaj kukac u svom razvoju prolazi proces potpune preobrazbe (metamorfoza). U prirodi kompletni razvoj od jaja do odraslog oblika traje oko 10 mjeseci. Kada su uzgajani u inkubatorima sa idealnim uvjetima temperature, vlage i hrane, moguće je uočiti sve razvojne oblike tokom cijele godine (COTTON, 1927.).

Nekoliko dana nakon kopulacije, ženka se ukopava u tlo ili neki drugi supstrat i polaže bijela duguljasto ovalna jaja dužine do 2 mm. Jaja su prekrivena ljepljivom sluzi pomoću koje se za njih prihvate čestice hrane odnosno supstrata i tako se slabije uočavaju (COTTON, 1927.). Embrionalni razvoj traje 4-6 dana, a pri temperaturi od 27°C i kraće (BAŽOK i sur., 2019.). KIM i sur. (2015.) navode kako je postotak izlijeganja jaja držanih na temperaturi 17.5-27.5°C bio iznad 70%, a na temperaturi 25°C-35°C inkubacija jaja traje 5-7 dana. COTTON (1927.) uočava da pri temperaturi 26-31°C, inkubacija traje od 4 dana do tjedan dana, a pri temperaturi

18-21°C, vrijeme inkubacije može trajati do 19 dana. Nadalje, COTTON (1927.) u svom istraživanju navodi da je najmanji broj položenih jaja jedne ženke iznosio 77, a najveći 576. Vremenski period polaganja jaja iznosio je minimalno 21 dan, a maksimalno 67 dana. Vrijeme između polaganja jaja može varirati od nekoliko sati do nekoliko dana. Najviše položenih jaja u periodu od 24 sata iznosio je 40.

Razvoj ličinke traje oko 3 mjeseca (BAŽOK i sur., 2019.). Odrasla ličinka (Slika 6.) je žutosmeđe boje dužine 2-3 cm i mase 130-160 mg (TRAN i sur., 2019.). U prirodi se hrane biljkama i uginulim kukcima. Neki uzgajivači u prehranu ličinki uključuju juvenilne hormone koji sprečavaju razvoj u odrasli oblik pa ličinke mogu doseći masu od 300 mg (TRAN i sur., 2019.). Na glavi ličinke nalaze se oči, antene i usni organ namijenjen za grizenje. Oči su slabo razvijene pošto ličinke većinu vremena provode zakopane u supstratu. Prsa su sastavljena od tri kolutića. Na svakom kolutiću nalazi se par sitnih nogu namijenjenih za kopanje. Zadak je građen od 9 kolutića. Na zadnjem kolutiću nalaze se anus i bodlja. U zatku se pohranjuju masti kao izvor energije za razvoj u ostale razvojne stadije. COTTON (1927.) u svom istraživanju uočava da tokom razvoja ličinke, najmanji broj presvlačenja iznosi 9, a najveći 20 puta. U približno 50% slučajeva, ličinke su se presvukle 17 ili 18 puta.

Pred kraj svog razvoja ličinka odlazi na površinu i prelazi u mliječno bijelu kukuljicu koja s vremenom posmeđi. Duljina trajanja stadija kukuljice također ovisi o temperaturi. Pri temperaturi od 18°C stadij kukuljice traje oko 18 dana, a pri 27°C traje oko 6 dana (COTTON, 1927.). TRAN i sur. (2019.) navode kako pri temperaturi od 25°C stadij kukuljice traje 7-9 dana, a pri nižim temperaturama do 20 dana. U laboratorijskim uvjetima prve kukuljice uočavaju se pred kraj siječnja, a u skladištima u lipnju (COTTON, 1927.).

U prirodi u odrasli oblik (Slika 7.) razvijaju se u proljeće i ljeto pa žive 2-3 mjeseca nakon čega uginu. COTTON (1927.) navodi kako se uzgajanjem nekoliko stotina brašnara u laboratorijskim uvjetima uočava da odrasle ženke žive minimalno 37, a maksimalno 96 dana odnosno u prosjeku 65 dana, dok mužjaci žive minimalno 39, a maksimalno 92 dana, odnosno 58 dana u prosjeku. Parenje se uočava par dana nakon izlaska iz kukuljice. Kao i svi odrasli kukci, odrasli oblik velikog brašnara ima 3 para nogu, 2 antene, složene oči, a tijelo mu je prekriveno kutikulom. Također, tijelo mu se sastoji od glave, prsa i zatka. Na početku odrasli oblik je bijele boje, a kasnije postane smeđe do crne boje. Dužina odraslog oblika brašnara nešto je kraća od ličinke i iznosi oko 2 cm. Veliki brašnar izbjegava svjetlost. Preko dana se nalazi zakopan u zemlji ili nekom drugom mediju, a na površinu izlazi po noći.



Slika 6. Ličinka velikog brašnara
(Izvor: www.istockphoto.com)



Slika 7. Odrasli oblik velikog brašnara
(Izvor: en.wikipedia.org/wiki/Mealworm)

3.3.2. Uzgoj

Uzgoj velikog brašnara jednostavan je i jeftin. Zbog toga se sve više ljudi odlučuje za uzgoj brašnara kod kuće u svrhu dobivanja nutritivno vrijednog izvora hrane za svoje ljubimce (gmazove i ptice), a u nerazvijenim dijelovima Zemlje uzgaja se i u svrhu prehrane ljudi. Za početak potrebno je nabaviti žive ličinke, kontejnere za držanje, podlogu i hranu. Kontejner treba imati glatke površine i ne mora biti posebno visok pošto brašnari ne mogu letjeti niti se penjati po glatkim površinama. Dimenzije ovise o broju jedinki koje se planiraju uzgajati. MORALES-RAMOS i sur. (2012.) navode kako je u svrhu intenzivnog uzgoja optimalna gustoća naseljenosti odraslih jedinki 8.4 jedinke/dm². Prenapučenost nastambe dovodi do pojave kanibalizma, smanjenog prirasta, smanjene plodnosti ženki i povećanja temperature koja može biti letalna (RIBEIRO i sur., 2018.). Svaki razvojni stadij treba se uzgajati u posebnim kontejnerima. Razlog tome je što se ličinke i odrasli stadiji mogu hraniti kukuljicama. Kontejner bi se trebao pokriti mrežom kako ostali kukci ne bi ulazili u njega. Također treba biti prozračan kako se ne bi stvarao višak topline i vlage. Da bi se to postiglo mogu se napraviti otvori na bočnim stranama kontejnera koji se također trebaju osigurati mrežom. Među uzgajivačima popularni su plastični kontejneri na kat namijenjeni za istovremeni uzgoj različitih razvojnih stadija velikog brašnara koji funkcioniraju kao ladice (Slika 8.).

RIBEIRO i sur. (2018.) navode da je za uzgoj velikog brašnara idealna temperatura 25-28°C, a relativna vlažnost oko 70%. Pri uvjetima niske relativne vlažnosti ličinke će prestati

uzimati hranu, a njihov razvoj će se znatno usporiti (RIBEIRO i sur., 2018.). Što je veća relativna vlažnost veći je i prirast. Nije potreban dodatni izvor svjetla, nego je dovoljna sunčeva svjetlost, stoga ih se može smjestiti blizu prozora. Pošto su ovi kukci nokturalne životinje, nastamba im treba sadržavati neki oblik skrovišta, npr. komad kartonske kutije, drveta ili nekog sličnog predmeta ispod kojeg se mogu skrivati.

BAŽOK i sur. (2019.) zaključuju da vrsta hrane utječe na razvoj i preživljavanje pojedinih stadija razvoja. Značajno manji broj uginulih ličinki zabilježen je kod hranjenja sa pšeničnim brašnom i zobnim pahuljicama, nasuprot hranjenja kukuruznim brašnom i jabukom. Ličinke hranjene zobnim pahuljicama najviše su se puta presvlačile, dok su se ličinke hranjene samo jabukom najmanje puta presvlačile. Najviše se kukuljica razvilo nakon ishrane kukuruznim brašnom. Ličinke se mogu hraniti različitom vrstom hrane, ali najbitnije je da ona bude vlažna. S druge strane previše vlage može uzrokovati razvoj plijesni koje im mogu naštetiti. Ličinke i odrasle jedinke velikog brašnara hrane se istom vrstom hrane. Veliki brašnar može se hraniti mekinjama žitarica u velikom postotku (RIBEIRO i sur., 2018.). One sadrže sve potrebne hranjive tvari, ali ne u dobrom omjeru. Stoga bi im se u prehranu trebalo dodavati različito voće i povrće bogato hranjivim tvarima i vodom kao što su jabuka, rajčica, mrkva, salata i krumpir. Krumpir je najbolji izbor pošto se ne suši niti kvari brzo. Ne smije im se staviti posuda s vodom pošto se ličinke mogu u njoj utopiti, nego je dovoljno održavati uvjete visoke vlažnosti zraka i nuditi im vlažnu hranu. Zaključno tome, veliki brašnar trebao bi se uzgajati u prozračnim plastičnim kontejnerima u kojima se nalazi pšenično brašno i zobene pahuljice dubine nekoliko centimetara uz dodavanje voća i povrća.



Slika 8. Kontejneri za uzgoj različitih razvojnih stadija velikog brašnara
(Izvor: www.tarrivertradingpost.us/default.asp)

4. NUTRITIVNA VRIJEDNOST KUKACA

Zanimanje za kukce kao hrane za ljude i hrane za životinje temelji se na činjenicama da su odličan izvor hranjivih tvari, imaju visoki udio proteina i aminokiselina i mogu se hraniti tvarima niske kvalitete (HAWKEY i sur., 2021.). Nadalje, kukci se lako uzgajaju i razmnožavaju i imaju visoku konverziju hrane. Stoga mnogi autori tvrde da su obroci od kukaca odlična alternativa za djelomičnu ili potpunu zamjenu ribljih obroka i obroka od soje. Nutritivne vrijednosti kukaca ovise o vrsti, razvojnom stadiju kukaca i njihovoj hranidbi (HAWKEY i sur., 2021.).

4.1. Bjelančevine i aminokiseline

Proteini su makromolekule sastavljene od aminokiselina povezanih peptidnim vezama. Oni imaju mnogo uloga u organizmu, a neke od njih su: izgradnja staničnih membrana, mišića, kože, dlake, kopita i razne metaboličke uloge pošto su dio hormona, imunoglobulina i enzima. Proteini kukaca također su izvor antimikrobnih peptida koji djeluju protiv patogenih bakterija poticanjem nespecifičnog imunološkog odgovora i imunomodulatornog učinka (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Udio sirovih proteina u obroku od kukaca varira u prosjeku 42-63%, što je slično kao kod obroka od soje i nešto niža od ribljih obroka (TRAN i sur., 2015.), a HAWKEY i sur. (2021.) navode kako udio sirovih proteina u kukcima može biti 23-76% što je više od udjela u obroku od soje i ribljem obroku. NOGALES-MÉRIDA i sur. (2018.) na temelju dosadašnjih istraživanja navode kako udio sirovih proteina ličinke velikog brašnara s obzirom na hranidbu može varirati od 77 g do čak 598.1 g u kg uzorka, a udio sirovih proteina ličinke crne vojničke muhe od 399 g do 588 g na kg uzorka. U tablici 1. naveden je udio sirovih proteina i sirove masti (% u suhoj tvari) u odmašćenoj sojinoj sačmi, ribljem brašnu i ličinkama crne vojničke muhe i velikog brašnara. Osim količine proteina i aminokiselinskog sastava proteina u različitim vrstama kukaca, bitno je uzeti u obzir i probavljivost. Probavljivost proteina kukaca iznosi 76-96% (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.).

Smatra se da kukci imaju povoljan aminokiselinski sastav koji ovisi o ranije navedenim čimbenicima. Također, životinje imaju različite potrebe za aminokiselinama ovisno o vrsti i dobi, stoga se sve to treba uzeti u obzir pri sastavljanju obroka od kukaca u hranidbi životinja

kako bi se sastavila što kvalitetnija smjesa prikladna određenoj životinji. Kukci mogu biti dobar izvor esencijalnih aminokiselina kao što je metionin i to u rasponu od 0.47 do 4.03 g na 100 g suhe tvari, što je veći sastav nego u ostalim vrstama krmiva (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Obrok od ličinki crne vojničke muhe ima sličan aminokiselinski sastav kao i riblji obrok, ali manje triptofana i metionina što su dokazali BELGHIT i sur. (2018.). Nadalje, SÁNCHEZ-MUROS i sur. (2014.) tvrde da su najčešće limitirajuće aminokiseline u kukcima triptofan, lizin i histidin. Tablica 2. prikazuje količinu esencijalnih aminokiselina u velikom brašnaru i crnoj vojničkoj muhi izraženu u g na 100 g suhe tvari.

Omjer esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina bitan je parametar koji pokazuje je li obrok uravnotežen. Ako je omjer približno 1.0 znači da je obrok uravnotežen, a ako je omjer ispod 1.0 znači da se uz taj obrok moraju koristiti dodaci koji sadrže esencijalne aminokiseline koje nedostaju. Omjer esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina u uzorku ličinke crne vojničke muhe iznosi 0.73-0.95, a u uzorku pretkukuljica crne vojničke muhe 1-1.12 (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). U uzorku ličinke velikog brašnara omjer iznosi 0.78-0.91, a u uzorku odraslog oblika velikog brašnara 0.81-0.82. Omjer u ribljem obroku iznosi 1.01, a u obroku od soje 0.78 (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.).

Tablica 1. Udio sirovog proteina i sirove masti u suhoj tvari (%) u najčešće korištenim izvorima proteina za hranidbu životinja i ličinkama odabranih kukaca (DUVNJAK i sur., 2019.)

	SIROVE BJELANČEVINE (%)	SIROVA MAST (%)
Ličinka crne vojničke muhe	41-44	15-35
Ličinka velikog brašnara	42-60	9-26
Riblje brašno	61-77	11-17
Odmašćena sojina saćma	49-56	3

Tablica 2. Količina esencijalnih aminokiselina izražena u g na 100 g suhe tvari u velikom brašнару i crnoj vojničkoj muhi (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.)

Naziv esencijalne aminokiseline	Ličinka crne vojničke muhe	Pretkukuljica crne vojničke muhe	Ličinka velikog brašnara	Odrasli oblik velikog brašnara
arginin	1.94-3.17	1.99-2.03	2.03-4.44	2.46-2.89
histidin	1.06-1.63	1.24-1.38	1.07-1.93	1.64-1.82
izoleucin	1.72-2.4	1.72-1.84	1.39-2.93	2.37-2.48
leucin	2.4-3.67	2.8-3	2.81-5.57	3.94-4.72
lizin	2.1-3.72	2.26-2.57	1.86-3.59	2.53-3.11
metionin	0.63-1.16	0.71-0.87	0.54-1.01	0.72-0.94
fenilalanin	1.44-2.35	1.63-1.87	1.36-2.1	1.49-2.09
treonin	1.52-2.24	1.54-1.68	1.57-2.43	1.95-1.96
triptofan	0.54-0.77	0.54-0.67	0.39-0.74	0.5-0.63
valin	2.2-3.78	2.41-2.82	2.65-4.26	3.31-3.61

4.2. Masti i masne kiseline

Masti su neizostavni dio obroka pošto služe kao gradivna tvar u organizmu, otapalo za vitamine A, D, E i K i izvor su energije. Masti čine veliki dio obroka mesojeda, ali one su potrebne i visokoproizvodnim biljojedima.

KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ (2016.) navode kako kukci u prosjeku sadrže između 10 i 60% masti u suhoj tvari, a udio je veći u ličinkama nego u odraslim oblicima. 80% masti kukaca čine trigliceridi koji služe kao rezerva energije za razdoblja visokog energetskog intenziteta kao što je dugotrajno letenje. Fosfolipidi su druga najvažnija skupina koja služi za izgradnju stanične membrane. Kukci obično sadrže manje od 20% fosfolipida u masti, ali to ovisi o razvojnom stadiju (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.).

Postoji mnogo masnih kiselina od kojih su linolna, linolenska i arahidonska kiselina esencijalne za životinje pošto ih same ne mogu izgraditi. Vrsta masnih kiselina u kukcima ovisit će o njihovoj prehrani, a količina o razvojnem stadiju u kojem se nalaze i načinu držanja. U masti kukaca zabilježen je visoki udio oleinske, linolne (omega-6) i linoleinske (omega-3) kiseline, a u prosjeku kukci sadrže 3.6% kolesterola u masti (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.). Količina omega-6 masnih kiselina u obrocima od različite vrste kukaca iznosi 3.3-36.32% što je više nego u ribljem ulju, ali manje nego u ulju od soje (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Jedan od načina utvrđivanja kvalitete masnih kiselina je određivanje omjera između omega-6 i omega-3 masnih kiselina. Manji omjer ukazuje na dobar izvor omega-3 masnih kiselina. U pojedinim kukcima omjer iznosi 3:1 (ROOS, 2018.). Visoki omjer mogao bi predstavljati problem ako se riblje ulje potpuno zamjeni sa obrokom od kukaca. Stoga je potrebno provesti još istraživanja da bi se utvrdilo koja hrana može povećati vrijednosti, pogotovo kod crnih vojničkih muha pošto se one najbolje prilagode na promjenu prehrane.

Koncentracija nezasićenih masnih kiselina visoka je kod ličinki brašnara, kućnih muha i cvrčaka (60-70%), a niska kod ličinki crne vojničke muhe (19-37%) (TRAN i sur., 2015.). Dodavanjem ribljeg ulja u kravlju balegu (omjer 1:1) kao hranu za crne vojničke muhe, uočava se porast koncentracije omega-3 masne kiseline sa 0.2% na 2% i ukupna koncentracija lipida sa 20% na 31% (TRAN i sur., 2015.).

Energetska vrijednost kukaca najviše ovisi o udjelu masti. Ličinke i kukuljice često imaju veću energetska vrijednost od odraslih oblika iste vrste kukaca, a vrste koje imaju veći udio proteina imaju manju energetska vrijednost (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.). KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ (2016.) navode kako kalorijska vrijednost kukaca varira 293-762 kcal na 100 g suhe tvari. DUVNJAK i sur., (2019.) navode rad u kojem se spominje da su ličinke crne vojničke muhe bogate proteinom i mastima te siromašne hitinom, sadrže visokih 21,46 MJ, a odrasla muha koja sadrži puno hitina sadrži 15,22 MJ metaboličke energije (ME)/kg suhe tvari što je više nego sojina sačma (13,9 MJ ME/kg) i riblje brašno (14,6 MJ/kg).

4.3. Vlákna

Kukci sadrže značajnu količinu vlakana (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.). Netopivi hitin najzastupljeniji je oblik vlakna u tijelu kukaca koji je uglavnom koncentriran u

kutikuli. Hitin je polisaharid sastavljen od glukozamina i N-acetilglukozamina (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Tvrda kutikula u suhoj tvari sadrži 70-85% proteina odnosno 30-15% hitina, dok meka kutikula sadrži oko 50% proteina i 50% hitina (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Proteini kutikule sastavljeni su od aminokiselina i proteina sličnih hitinazi. Hitinaza je enzim koji prekida glikozidne veze hitina. Aktivnost enzima hitinaze prisutna je u probavnom sustavu mnogih životinja. Aktivnost tog enzima odgovorna je za redukciju *E. coli* i *Salmonella* sp., ali i povećanjem populacije *Lactobacillus* sp. (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Zbog toga bi dodavanje kukaca u hranu za životinje mogla smanjiti uporabu antibiotika i tako smanjiti pojavu antimikrobne rezistencije određenih mikroorganizama koji preko konzumacije mesa prijete i zdravlju ljudi (VAN HUIS, 2013.). U komercijalno uzgajanih kukaca, hitin čini 11.6-137.2 mg po kg suhe tvari (VAN HUIS i sur., 2013.). Hitin je u pravilu nisko probavljiv, a smatra se neprobavljivim za ljude i neke životinje stoga može prouzročiti i po život opasne zatvore u nedostatku hitinaze (VAN HUIS i sur., 2013.). Uklanjanjem hitina iz kukaca povećava se njihova probavljivost (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.).

4.4. Vitamini i minerali

Vitamini su organske tvari različite strukture i kemijskih svojstava koji su potrebni u malim količinama za normalnu funkciju organizma. Sadržaj vitamina u kukcima uzgojenih na farmama najviše ovisi o supstratu za uzgoj, a u divljim kukcima ovisi o sezoni (KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ, 2016.). Vitamin A je skupina spojeva sastavljenih od retinoida i karotenoida. Kao i većina kralježnjaka, kukci dobivaju retinoide cijepanjem karotenoida (OONINCX i FINKE, 2021.). Takvo cijepanje kod sisavaca odvija se u crijevima, a kod kukaca u složenim očima. Zbog toga ličinke koje nemaju složene oči ne sadrže retinoide kao odrasli oblici (OONINCX i FINKE, 2021.). KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ (2016.) navode da kukci sadrže 0.1-4 mg tiamina (vitamin B1) na 100 g suhe tvari i 0.11-8.9 mg riboflavina (vitamin B2) na 100 g suhe tvari. Ličinke velikog brašnara imaju visoki udio vitamina B12 (0.47 µg u 100 g suhe tvari). Navode i kako su kukci generalno dobar izvor riboflavina (vitamin B2), pantotenske kiseline (vitamin B5) i biotina (vitamin B7), ali nisu dovoljan izvor vitamina A, Vitamina C i niacina (vitamin B3). Razine vitamina E također variraju zbog različite prehrane kukaca. OONINCX i FINKE (2021.) navode da je razina tog vitamina manja u kukaca iz uzgoja, a veća u divljih kukaca.

Minerali su neorganske tvari koje su najčešće u obliku soli. S obzirom na količinu koja se mora unijeti hranom, minerali se dijele na makroelemente i mikroelemente. Makroelementi su: natrij, klor, kalcij, fosfor, magnezij, kalij i sumpor. Neki od važnih mikroelemenata su: bakar, jod, željezo, mangan, cink, selen itd. KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ (2016.) navode kako kukci mogu biti dobar izvor željeza, cinka, kalija, natrija, kalcija, magnezija, mangana, bakra i fosfora. Kukci generalno sadrže niske razine kalcija pošto nemaju mineralizirani koštani sustav. Ipak, ličinke crne vojničke muhe bogate su kalcijem (7.6% u suhoj tvari), dok je kod drugih kukaca postotak puno niži (TRAN i sur., 2015.). Omjer kalcija i fosfora varira od 0.2 do 1.2, a u ličinke crne vojničke muhe omjer kalcija i fosfora iznosi 8.4 (TRAN i sur., 2015.). Razina magnezija u kukcima vjerojatno zadovoljavaju prehrambene potrebe većine vrsta životinja (OONINCX i FINKE, 2021.). Ličinka crne vojničke muhe sadrži 3-10 puta više magnezija od većine vrsta (OONINCX i FINKE, 2021.).

5. UPORABA KUKACA U HRANIDBI POJEDINIH SKUPINA ŽIVOTINJA

5.1. Ribe

Smatra se da je riba odličan izvor nezasićenih masnih kiselina i proteina zbog čega je sve više ljudi konzumira. Uzgoj ribe je u posljednjih desetak godina porastao za više od 200% (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.) što rezultira povećanom potražnjom za obrocima koji se koriste u hranidbi riba, ali i njihovim poskupljenjem. Najčešće korišteni obroci u hranidbi životinja kao izvori proteina su riblji obroci i obroci od soje. Riblji obroci kao hrana za ribe primarni su izvor proteina i poznati su po visokoj kvaliteti i probavljivosti (NUGROHO i NUR, 2018.). NUGROHO i NUR (2018.) navode da se čak 63% proizvedenih ribljih obroka koristi samo u akvakulturi. Zbog smanjene dostupnosti i povećanja cijene ribljih obroka, danas se pokušava pronaći jeftiniji i ekološki prihvatljiviji alternativni izvor hranjivih tvari u akvakulturi. Tako se sve više uzima u obzir zamjena uobičajenih obroka sa obrocima od kukaca. Mnoga istraživanja pokazala su da obroci koji sadrže kukce mogu djelomično zamijeniti obroke od ribe i soje (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.).

Kukci su dio prirodne prehrane mesojednih i svejednih riba, a pogotovo mlađi (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Takve ribe zahtijevaju veći udio proteina u hrani za razliku od riba dna i biljojeda. Ribama mesojedima potrebno je do 55%, a ribama svejedima do 45% sirovih proteina u obroku što odgovara sastavu pojedinih vrsta kukaca (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Morske ribe su većinom mesojedi stoga zahtijevaju više proteina u hrani (40-55%) za razliku od slatkovodnih riba čiji su zahtjevi puno manji (25-40%) (HENRY i sur., 2015.). Treba uzeti u obzir da se ribe u prirodi hrane različitom vrstom kukaca zbog čega bi i obroci trebali sadržavati različite kukce kako bi se poboljšala kvaliteta hrane. Udio sirovih proteina u obroku od kukaca varira od 42 do 63%, što je slično kao kod obroka od soje i nešto niža od ribljih obroka (TRAN i sur., 2015.). Obrok od odmašćenih kukaca bogatiji je proteinima od obroka od soje i ribljeg obroka što ga čini odličnim dodatkom u hranidbi riba. Proteini kukaca također su izvor antimikrobnih peptida koji djeluju protiv patogenih bakterija poticanjem nespecifičnog imunološkog odgovora i imunomodulatornog učinka (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.).

Smatra se da su u hranidbi riba potrebne iduće esencijalne aminokiseline: arginin, histidin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan i valin (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Kao komercijalna hrana za ribe koriste se riblji obroci jer oni sadrže visok postotak proteina i uravnotežen aminokiselinski sastav sa visokim udjelom probavljivih esencijalnih aminokiselina kao što su lizin, metionin i leucin (HENRY i sur., 2015.). Obroci biljnog porijekla često imaju manjak lizina i metionina i sadrže manje proteina. Obroci od kukaca imaju uglavnom povoljan aminokiselinski sastav za hranidbu riba, koji ovisi o vrsti, hranidbi kukaca i njihovom razvojnom stadiju. Generalno gledano aminokiselinski sastav kukaca iz reda dvokrilaca odgovara ribljim obrocima, a onih iz reda kornjaša odgovara sastavu obroka od soje (HENRY i sur., 2015.). BELGHIT i sur. (2018.) dokazali su da obrok od ličinki crne vojničke muhe ima sličan aminokiselinski sastav kao i riblji obrok, ali manje triptofana i metionina koji bi se trebao nadomjestiti. U obrocima od kukaca također je zabilježena i smanjena koncentracija taurina (BELGHIT i sur., 2018.). Taurin je neesencijalni metabolit zadužen za održavanje osmotskog tlaka u stanicama i regulacije metabolizma lipida. U slučaju niske koncentracije taurina u hrani, ribe ga mogu proizvesti pomoću metionina i cistina. Međutim, ako u obroku nedostaje i metionina i cistina dolazi do poremećaja metabolizma lipida odnosno njihovog nakupljanja u organizmu. NOGALES-MÉRIDA i sur. (2018.) u svom radu navode da kod različitih vrsta riba (kalifornijska pastrva, lubin, atlantski losos i sjevernoafrički som) postotak probavljivosti aminokiselina iz obroka koji sadrže crnu vojničku muhu iznosi 88-97.5%.

Kukci sadrže relativno niske razine ugljikohidrata (obično ispod 20%) u usporedbi sa biljkama (TRAN i sur., 2015.). Ugljikohidrati koje grabežljive ribe prirodno unesu obično potječu od hitina čiji udio ovisi o vrsti i razvojnom stadiju kukca. Komercijalni obrok za ribe koji sadrži 10% hitina u hranidbi **japanske jegulje** (*Anguilla japonica*) i **japanskog žutorepa** (*Seriola quinqueradiata*) stimulirao je njihov rast (HENRY i sur., 2015.). Slični rezultati u istim uvjetima uočeni su i kod **japanskog pagara** (*Pagrus major*), a pri povećanju koncentracije hitina njihov rast se usporio (HENRY i sur., 2015.). U hranidbi mlađi **brancina** (*Dicentrarchus labrax*), hitin se pokazao vrlo koristan pošto je zabilježen prirast i povećanje dužine resica u crijevima (NOGALES-MÉRIDA i sur., 2018.). Pretpostavlja se da monogastrične životinje ne mogu u potpunosti probaviti hitin (HENRY i sur., 2015.) stoga visoka koncentracija hitina u obroku može naštetiti njihovom zdravlju. To se odnosi i na ribe koje u svom probavnom sustavu imaju enzime za razgradnju hitina (hitinaza, lizozim i hitobiaza). Hitin iz kukaca može se ukloniti alkalnom ekstrakcijom ili dodavanjem hitinaze i hitinolitičnih bakterija u hranidbu

kukaca (HENRY i sur., 2015.). Nadalje, hitin se može rastaviti na jednostavnije spojeve kemijskim ili enzimatskim metodama. Tako nastaju hito-oligosaharidi, N-acetilglukozamin i hitozan koji se lakše probavljaju i imaju isti učinak na imunološki sustav riba kao i hitin u malim količinama (HENRY i sur., 2015.). I dalje se ne može u potpunosti objasniti zašto prevelika količina hitina u obrocima ima negativan učinak na razvoj riba. Unatoč brojnim prednostima hitina, mnogi smatraju da je on limitirajući faktor u hranidbi riba (TRAN i sur., 2015.).

Kukci su općenito dobar izvor različitih minerala i vitamina. Ličinke crne vojničke muhe bogate su kalcijem (7.6% suhe tvari), dok je kod drugih kukaca postotak puno niži stoga bi se kalcij trebao dodavati u obroke namijenjenima za hranidbu riba (TRAN i sur., 2015.). Omjer kalcija i fosfora varira od 0.2 do 1.2 što je manje od optimalnog omjera za ribe koji bi trebao biti 1.1-1.4 (TRAN i sur., 2015.). Izuzetak su ličinke crne vojničke muhe čiji omjer kalcija i fosfora iznosi 8.4 (TRAN i sur., 2015.).

Energetske potrebe riba manje su od potreba sisavaca. Razina lipida u ribljem obroku (8.2%) i obroku od soje (3%) manja je nego u kukaca koja varira od 10 do 30% (HENRY i sur., 2015.). Prevelika količina lipida u hrani, koje se može smanjiti odmašćivanjem, dovodi do pretjeranog odlaganja masti u organizmu i narušavanja zdravlja ribe. Koncentracija nezasićenih masnih kiselina visoka je kod ličinki brašnara, kućnih muha i cvrčaka (60-70%), a niska kod ličinki crne vojničke muhe (19-37%) (TRAN i sur., 2015.). Iako kopneni kukci obično sadrže nedovoljnu količinu visoko nezasićenih masnih kiselina za uporabu u hranidbi morskih riba, njihove vrijednosti mogu povećati. Ličinke crne vojničke muhe hranjene kravljim gnojem sadržavaju uglavnom zasićene i mono nezasićene masne kiseline, a samo 0.2% omega-3 masnih kiselina (HENRY i sur., 2015.). Dodavanjem ribljih iznutrica (22%) u kravljij gnoj u roku od 24 h povećava se postotak omega-3 masnih kiselina na 4% (HENRY i sur., 2015.). Dodavanjem ribljih iznutrica (25-50%) u hranu za ličinke nastaju pretkukuljice koje mogu zamijeniti riblji obrok do 50% bez vidljivih razlika u razvoju **kalifornijske pastrve** (*Oncorhynchus mykiss*) (HENRY i sur., 2015.). Dodavanje smeđih algi u hranu ličinki crne vojničke muhe poboljšavaju njihovu nutritivnu vrijednost povećanjem koncentracije omega-3 masnih kiselina, joda i vitamina E (BELGHIT i sur., 2018.). Tada one mogu biti povoljne za hranidbu mesojednih morskih riba. Danas je ipak isplativija hranidba riba sa obrocima bogatih omega-3 masnim kiselinama (npr. ostaci industrije filetiranja ribe, fitoplanktoni i mikroalge), nego hranidba obrocima od kukaca obogaćenih visoko nezasićenim masnim kiselinama. Iz tog razloga bi se u obrocima za morsku ribu trebali dodavati vodeni kukci koji su uglavnom predatori pa tako i bogatiji omega-3 masnim kiselinama.

Na temelju dosadašnjih istraživanja TRAN i sur. (2015.) navode da sami obroci od ličinki crne vojničke muhe uzgajanih na kokošjem gnoju ili u kombinaciji sa komercijalnim obrocima pokazuju vrlo slične rezultate u razvoju **kanalskog soma** (*Ictalurus punctatus*) kao i u kontrolnoj grupi. Miris i tekstura takve ribe bila je prihvatljiva za potrošače. Iako mlađ kanalskog soma više voli usitnjene ličinke, takvi obroci se ne preporučuju kod uzgoja odraslih jedinki pošto je uočeno da tada uzimaju više hrane i povećava im se masa, ali im je zapravo smanjen prirast i više hrane završi kao otpad (TRAN i sur., 2015.). Zamjena 10% ribljeg obroka sa obrokom od ličinki crne vojničke muhe u periodu od 15 tjedana rezultirao je usporenim rastom kanalskih somova držanih u kavezima, ali ne i onih držanih u bazenima (TRAN i sur., 2015.). Potpuna zamjena ribljeg obroka sa obrokom od sušenih ličinki crne vojničke muhe nije osigurala dovoljnu količinu suhe tvari i sirovih proteina za dobar razvoj kanalskog soma (TRAN i sur., 2015.).

Zamjenom 25% ribljeg obroka sa obrokom od ličinki crne vojničke muhe nije pokazao značajne razlike u razvoju **žutog soma** (*Pelteobagrus fulvidraco*) u odnosu na kontrolnu grupu (TRAN i sur., 2015.).

Svježje i sušene ličinke velikog brašnara pokazale su se kao prihvatljivi alternativni izvor proteina za hranidbu **sjevernoafričkog soma** (*Clarias gariepinus*), a čak su im i izrazito palatabilni (TRAN i sur., 2015.). Zamjena 40% ribljeg obroka sa obrokom od brašnara pokazala je iste rezultate prirasta i konverzije hrane, čak nema značajnih odstupanja i pri 80% zamjeni (TRAN i sur., 2015.). Sjevernoafrički somovi hranjeni živim ličinkama velikog brašnara ujutro, a popodne sa komercijalnim peletama za somove pokazali su jednake ili bolje rezultate u prirastu, nego onih hranjenih samo sa peletama (TRAN i sur., 2015.). HENRY i sur., (2015.) navode kako obrok od sušenih ličinki velikog brašnara u kombinaciji sa ribljim obrokom rezultira optimalnim razvojem sjevernoafričkog soma i čak pokazuje bolje rezultate nego kod somova hranjenih samo ribljim obrokom.

Plava tilapija (*Oreochromis aureus*) hranjena usitnjenim ličinke crne vojničke muhe hranjene kokošjim gnojem ili u kombinaciji s komercijalnim obrocima imala je sličnu tjelesnu masu i dužinu kao i tilapija iz kontrolne grupe (TRAN i sur., 2015.), a meso takve ribe bilo je prihvatljivo za potrošače. Potpuna zamjena ribljeg obroka sa obrokom od sušenih ličinki crne vojničke muhe nije osigurala dovoljnu količinu suhe tvari i sirovih proteina za dobar razvoj plave tilapije (TRAN i sur., 2015.). Međutim, usitnjavanjem ličinki pokazala je poboljšanje u rastu odnosno prirastu.

Uporaba obroka od pretkukuljica crne vojničke muhe hranjenih gnojivom mliječnih krava obogaćenih iznutricama pastrva mogla bi se koristiti u djelomičnoj zamjeni (do 50%) ribljih obroka za hranidbu **kalifornijske pastrve** (*Oncorhynchus mykiss*) pošto u tom slučaju nije bilo zabilježeno značajnih posljedica, osim malo sporijeg razvoja (TRAN i sur., 2015.). Zamjena 25% ribljeg obroka sa obrokom od pretkukuljica crne vojničke muhe hranjenih svinjskim gnojem nije utjecala na razvoj i konverziju hrane kalifornijske pastrve (TRAN i sur., 2015.). BELGHIT i sur. (2018.) navode kako je povećan prirast uočen kod kalifornijske pastrve dodavanjem obroka s uljem ličinki crne vojničke muhe koje su se hranile kravljom balegom i ribljim iznutricama. Kalifornijska pastrva hranjena ribljim obrokom koji je do 50% zamijenjen obrokom od ličinki brašnara nije pokazala pogoršanje u svom razvoju (TRAN i sur., 2015.).

TRAN i sur. (2015.) navode da zamjena ribljeg obroka u različitim postocima sa obrokom od ličinki crne vojničke muhe u hranidbi **atlantskog lososa** (*Salmo salar*) nije pokazala znatna odstupanja u masi i prirastu, a nije bilo ni histoloških ni senzoričkih promjena. BELGHIT i sur. (2018.) u svom radu navode kako uporaba ličinki crne vojničke muhe u hranidbi atlantskog lososa nije utjecala na učestalost uzimanja hrane, odnosno nije imala negativan učinak na palatabilnost obroka. Čak ni uporaba 600 g ličinki na kg smjese nije negativno utjecala na rast, konverziju hrane i probavljivost. Losos hranjen obrokom s uljem od ličinki koje su konzumirale biootpad imao je slabiji prirast od onih hranjenih obrokom s uljem ličinki koje su konzumirale alge ili hranjenih s biljnim uljem (BELGHIT i sur., 2018.).

Smjesa koja sadrži 33% odmašćenih ličinki crne vojničke muhe kao zamjene za riblji obrok u hranidbi ribe **rombač kvrgaš** (*Psetta maxima*) nije pokazala značajne razlike u prirastu i konverziji hrane, no povećavanjem postotka zamjene dolazi do smanjenja uzimanja hrane i sporijeg razvoja (TRAN i sur., 2015.).

Mlađ **komarče** (*Sparus aurata*) hranjene sa ribljim obrokom koji je 25% zamijenjen sa obrokom od ličinki brašnara nije pokazala nikakve promjene, dok se mlađ hranjena ribljim obrokom koji je 50% zamijenjen sa obrokom od ličinki brašnara slabije razvijala, imala manji prirast i manju konverziju hrane (TRAN i sur., 2015.).

Lubin odnosno brancin (*Dicentrarchus labrax*) hranjen ribljim obrokom koji je 50% zamijenjen obrokom od ličinki brašnara slabije se razvijao, imao manji prirast i manje uzimao hranu, a kod 25% zamjene nisu se uočavali takvi negativni učinci na razvoj (TRAN i sur., 2015.).

5.2. Perad

Kukci su dio prirodne prehrane mnogih ptica pa tako i domaće peradi. Oni sadrže između 30 i 70% proteina u suhoj tvari, a bogati su još i mastima, mineralima i vitaminima (BOVERA i sur., 2015.). Mnogi smatraju da kukci mogu zamijeniti dio dosadašnjih obroka u hranidbi peradi jer sadrže visokovrijedne proteine i aminokiseline, a također zbog ekonomskih razloga (PETRIĆ i sur., 2015.). Esencijalne aminokiseline koje su neophodne za rast pilića nadoknađuju se u sintetskom obliku, što je vrlo skupo i podiže cijenu obroka za perad (PETRIĆ i sur., 2015.). Također, uzgoj kukaca i proizvodnja hrane od kukaca relativno je jednostavna i jeftina. Korištenje brašna od kukaca moglo bi pojeftiniti proizvodnju jer je proteinska komponenta najskuplja hranjiva tvar krmiva (PETRIĆ i sur., 2015.). BOVERA i sur. (2015.) navode istraživanje u kojem su se koristile ličinke velikog brašnara u hranidbi brojlera. Rezultati ukazuju na to da se ličinke velikog brašnara hranjene na organskom otpadu mogu dodavati u krmiva do 10% i tako biti odličan izvor proteina, a troškovi njihovog uzgoja mogu biti manji od troškova konvencionalnih izvora proteina (obrok od soje) kao i troškovi zbrinjavanja stajskog otpada pošto ono može poslužiti kao hranjiva podloga za uzgoj različitih vrsta kukaca. Uvođenje kukaca u hranidbu kokoši se sve više uzima u obzir nakon što je FAO (Organizacija za prehranu i poljoprivredu) istaknula potrebu za pronalaskom alternativnih izvora proteina u obrocima za domaće životinje (BOVERA i sur., 2015.).

Od ugljikohidratnih krmiva u hranidbi peradi najčešće se koriste kukuruz, ječam, zob i raž. Kukuruz dolazi u najvećoj količini pa u ukupnoj smjesi čini do 70%. Kao bjelančevinasta krmiva najčešće se koriste sojina i suncokretova sačma i kukuruzni gluten. Kao izvor minerala koriste se mineralna krmiva kao kod ostalih vrsta.

Udio sirovih proteina kukaca varira ovisno o vrsti i razvojnom stadiju. Ličinke velikog brašnara i ličinke kućne muhe imaju sličan udio sirovih proteina (49.1-50.8% u suhoj tvari) (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). Glavni izvor proteina korišten u hranidbi peradi, obrok od soje, ima između 49 i 56% sirovih proteina u suhoj tvari (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). Obroci od soje su nusproizvod ekstrakcije ulja zbog čega sadrži samo 3% sirove masti u suhoj tvari, dok median sirovih masti u ličinkama i pretkukuljicama crne vojničke muhe iznosi 27.1 i 28.8% u suhoj tvari (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). Odmaščivanjem kukaca postiže se obrok sa manjim udjelom masti i većim udjelom proteina što nadmašuje udio u sojinom obroku (VELDKAMP I BOSCH, 2015.).

Ako obrok nema dovoljnu količinu neke esencijalne aminokiseline, ne može se nastaviti sinteza proteina iznad razine koju bi postigla da su sve aminokiseline prisutne u dovoljnoj količini. Takva aminokiselina naziva se limitirajuća aminokiselina. VELDKAMP I BOSCH (2015.) navode kako su za potrebe hranidbe brojlera, prve limitirajuće aminokiseline u ličinki i pretkukuljici crne vojničke muhe i ličinki kućne muhe metionin i cistin. Prve limitirajuće aminokiseline u ličinki velikog brašnara su metionin, cistin i arginin (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). U svrhu uzgoja brojlera, najveće vrijednosti indeksa esencijalnih aminokiselina bio je u pretkukuljicama crne vojničke muhe i ličinkama velikog brašnara (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). Najmanje vrijednosti zabilježene su u kukuljicama kućne muhe koje su vrijednosti manje nego u obrocima od soje (VELDKAMP I BOSCH, 2015.). Ove činjenice ukazuju na to da se pojedine vrste kukaca mogu koristiti u hranidbi peradi uz kontrolu limitirajućih aminokiselina.

BOVERA i sur. (2015.) navode istraživanje u kojem se dokazalo da uporaba krmiva koji sadrži ličinke velikog brašnara do 25% može biti prikladna za prehranu peradi. Jedini nedostatak je manjak metionina, kalcija i neprikladan omjer kalcija i fosfora koji bi mogao naštetiti kokošima nesilicama. Problem nedostatka kalcija i neprikladan omjer može se riješiti dodavanjem kalcija u hranu za ličinke u periodu 1-2 dana (BOVERA i sur., 2015.). BOVERA i sur. (2015.) proveli su istraživanje u kojem su htjeli saznati može li obrok od ličinki velikog brašnara potpuno zamijeniti obrok od soje u uzgoju brojlera od 30 do 62 dana starosti koji u prosjeku imaju masu 1.76 kg. Tokom cijelog istraživanja nije se pojavilo uginuće kokoši, ni u eksperimentalnoj ni u kontrolnoj grupi. U prvom tjednu zabilježena je veća masa kokoši hranjene krmivom koje sadrži soju. Na kraju drugog tjedna masa kokoši iz obje grupe bila je približno jednaka (2.51 kg hranjenih krmivom koje sadrži soju i 2.49 kg hranjenih krmivom koje sadrži ličinke velikog brašnara), ali je zabilježen veći prirast u kokoši hranjenih krmivom koje sadrži ličinke velikog brašnara (64.04 g dnevno) u odnosu na drugu grupu (59.81 g dnevno). Zadnji dan istraživanja kokoši hranjene krmivom koje sadrži ličinke velikog brašnara imale su u prosjeku veću masu za 100 g, a u konačnici prirast veći za otprilike 3 g dnevno. Također nisu uočena značajna odstupanja u biokemijskim parametrima među grupama. BOVERA i sur. (2015.) zaključuju da bi obroci od ličinki velikog brašnara mogli zamijeniti obroke od soje u hranidbi brojlera starosti od 30 do 62 dana.

BIASATO i sur. (2016.) proveli su istraživanje na 140 kokoši Label Hubbard hibrida iz slobodnog uzgoja (free range). Podijelili su ih u 2 grupe, a sve kokoši bile su 43 dana starosti i prosječne mase 715 g. Smjesa prve grupe sadržavao je gluten, ali ne i ličinke velikog brašnara,

a smjesa druge grupe obrnuto. Obje smjese sadržavale su soju u jednakoj količini. Istraživanje je trajalo 54 dana. Na kraju istraživanja kokoši hranjene krmivom koje sadrži ličinke velikog brašnara imale su u prosjeku 30 g veću masu od onih iz druge grupe. Parametri krvi i biokemije obje grupe bili su u fiziološkim granicama. Niti jedna jedinka u istraživanju nije uginula. BIASATO i sur. (2016.) zaključuju da dodavanje ličinki velikog brašnara u krmiva za slobodno držane kokoši ne utječe negativno na dobrobit i produktivnost.

JÓZEFIÁK i ENGBERG (2015.) navode istraživanje u kojem su krmiva koja sadrže ličinke crne vojničke muha pokazali slične rezultate u prirastu kokoši uz smanjeni unos hrane u odnosu na obroke od soje. Visoka razina hitina u kutikuli kukaca dovela je do smanjenog unosa hrane i utjecala na iskorištavanje proteina. Iako kokoši u svom probavnom sustavu imaju hitinazu, probavljivost hitina je ograničena, pogotovo kod mladih jedinki. Također, treba biti oprezan kod uporabe živih ličinki kukaca, pogotovo onih hranjenih organskim otpadom ili stajskim gnoje jer bi se u njima mogli nalaziti patogeni mikroorganizmi koji mogu naštetiti zdravlju peradi. JÓZEFIÁK i ENGBERG (2015.) navode i istraživanje provedeno u Belgiji kojim se zaključuje da uporaba kukaca u hranidbi životinja ima manji štetni utjecaj na okoliš, smanjuje ovisnost o uvozu drugih izvora proteina i donosi održivost uzgoja što je važnije od rizika mikrobiološke kontaminacije i smanjenog unosa hrane. JÓZEFIÁK i ENGBERG (2015.) u konačnici smatraju da je uporaba kukaca u hranidbi prikladna za uzgoj peradi.

5.3. Svinje

Svinjogojstvo je jedna od najbrže rastućih grana stočarstva, pogotovo u razvijenim zemljama. Razlog tome je povećana potražnja za mesom, njihov kratki graviditet, visoka plodnost i dobra konverzija hrane. Zbog visoke cijene tradicionalnih izvora proteina, obroci za svinje čine 60-70% ukupnih troškova u intenzivnom uzgoju svinja (CHIA i sur., 2019.). To predstavlja veliki problem malim uzgajivačima iz siromašnih nerazvijenih zemalja stoga neki prelaze na alternativne izvore proteina (CHIA i sur., 2019.).

Svinje uspješno iskorištavaju krmiva s visokom koncentracijom energije i nižim udjelom vlakana. Najvažniji izvor ugljikohidrata u hranidbi svinja je kukuruz, a kao izvor proteina najčešće se koristi sojina sačma. U uzgoju svinja svaka kategorija mora se zasebno držati, a također i hraniti različitom vrstom krmiva jer im se potrebe za određenim hranjivim

tvarima mijenjaju tokom rasta i razvoja. Zbog toga svinje iz različitih kategorija neće jednako reagirati na krmiva s različitim udjelom, vrstom i razvojnim stadijem kukaca.

HONG i KIM (2022.) navode istraživanje u kojem se uočava da je odbijena prasadi, hranjena obrocima od neodmašćenih ličinki crne vojničke muhe koje u različitim postocima zamjenjuju druge izvore proteina, na kraju istraživanja imala podjednaki prosječni dnevni prirast i masu. Poboljšanje u konverziji hrane uočilo se od 7. do 21. dana istraživanja (ličinke čine 7.5% smjese) bez promjena mase jetre i histomorfoloških promjena tankog crijeva. HONG i KIM (2022.) navode i kako uporaba pretkukuljica crne vojničke muhe (8% smjese) i odmašćenih pretkukuljica (5.42% smjese) ne utječe na produktivnost, dužinu resica i dubinu kripi jejunuma niti broj bakterija *Lactobacillus* i *D-Streptococcus*. Također, navode i kako zamjena ribljeg obroka sa obrokom od ličinki velikog brašnara (20% smjese) u hranidbi odbijene prasadi ne utječe negativno na prirast. Nadalje, navode kako zamjena proteina plazme u obroku sa ličinkama velikog brašnara (5% smjese) ne utječe negativno na prirast odbijene prasadi, a smanjuje se učestalost proljeva. CHIA i sur. (2019.) navode istraživanje u kojem je uočena smanjena probavljivost pretkukuljica crne vojničke muhe u hranidbi odbijene prasadi pa samim time i smanjena produktivnost. Objašnjavaju kako je to posljedica veće količine hitina u pretkukuljicama.

DIGIACOMO i LEURY (2019.) navode istraživanje provedeno 1977. godine u kojem su se u hranidbu svinja koristile sušene ličinke crne vojničke muhe hranjene goveđim gnojem. U istraživanju je dokazano da su ličinke crne vojničke muhe prikladne za hranidbu svinja. Također, navode različita istraživanja u kojima su se svinje različitih kategorija hranile djelomično odmašćenim ličinkama crne vojničke muhe u različitim udjelima u smjesi i uspoređivalo sa ostalim vrstama obroka. Pokazalo se da hranidba sa djelomično odmašćenim ličinkama crne vojničke muhe nije negativno utjecala na prirast svinja, a čak su zabilježena bolja senzorička svojstva svinjetine (DIGIACOMO i LEURY, 2019.). Izuzetak je uporaba ličinki crne vojničke muhe kao jedinog izvora proteina gdje se uočava smanjeni prirast (DIGIACOMO i LEURY, 2019.).

CHIA i sur. (2019.) proveli su istraživanje u kojem duži vremenski period (>60 dana) koriste obroke od ličinki crne vojničke muhe kao zamjene za riblje obroke. U istraživanju ocjenjivali su prirast, krvnu sliku, biokemijske parametre seruma i ekonomičnost uporabe kukaca u hranidbi svinja. Svinje su podijelili u 5 skupina u kojima su se hranile smjesama s različitim postotkom zamjene ribljeg obroka kao izvora proteina (0, 25, 50, 75 i 100%). Ličinke crne vojničke muhe hranjene su ostacima žitarica pivarske industrije. Svinje su bile mase oko

18.25 kg. Tokom cijelog istraživanja niti jedna svinja nije uginula. Na kraju istraživanja uočeno je da su svinje koje nisu hranjene ličinkama i svinje koje su hranjene obrokom ličinki koji 50% zamjenjuje riblji obrok imale najveći dnevni prirast i masu na kraju istraživanja, ali se te vrijednosti nisu puno razlikovale od onih iz ostalih skupina. Parametri krvne slike svinja koje nisu hranjene ličinkama bili su u fiziološkim granicama, dok je u ostalim skupinama uočeno blago odstupanje od fiziološkim granica pojedinih parametara. Manji ukupni broj trombocita uočen je kod skupina hranjenih ličinkama koje zamjenjuju riblji obrok za 25, 75 i 100%, a manji MCHC u svim skupinama hranjenih ličinkama. Ipak, krvna slika svinja hranjenih ličinkama pokazala je veći ukupni broj eritrocita i koncentraciju hemoglobina u krvi. Biokemijski parametri svih skupina bili su u fiziološkim granicama. Također, financijski troškovi i dobit nisu se previše razlikovali među skupinama, ali ovdje daju prednost ličinkama crne vojničke muhe pošto one mogu smanjiti troškove zbrinjavanja otpada. U konačnici CHIA i sur. (2019.) zaključuju da su ličinke crne vojničke muhe prikladne za hranidbu svinja, čak i kada se koriste kao jedini izvor proteina u smjesi.

HONG i KIM (2022.) navode kako dodavanjem obroka od ličinki velikog brašnara (3% smjese) kao zamjene za riblji obrok u hranidbi gravidnih krmača ne utječe na broj prasadi u leglu, a dodavanjem obroka od ličinki velikog brašnara (3% smjese) kao zamjene za obrok od soje u hranidbi krmača u laktaciji dovodi do povećanja unosa hrane.

5.4. Psi i mačke

Zbog konstantnog rasta broja kućnih ljubimaca povećavaju se zahtjevi za proizvodnjom veće količine kvalitetne hrane. Mnogi proizvođači odlučili su se za proizvodnju hrane sa dodacima kukaca pošto obroci od ribe i soje postaju nedostupni radi njihove visoke potražnje i sve češće uporabe. Danas je sve više prisutna hrana za kućne ljubimce koja sadrži kukce. Najčešće korišteni kukci u hrani (suha hrana i poslastice) za pse i mačke su ličinke crne vojničke muhe, velikog brašnara i cvrčci (VALDÉS i sur., 2022.). Obroci od kukaca imaju povoljan nutritivni sastav koji gotovo potpuno odgovara potrebama pasa i mačaka stoga se mogu dodavati u komercijalnu hranu, a smatra se da mogu smanjiti alergijske reakcije kućnih ljubimaca i imati antimikrobni učinak (AHMED i sur., 2021.).

Pse i mačke svrstavamo u mesojede iako između njih postoji razlika u hranidbenim navikama, potrebama i građi probavnog sustava. Mačke u divljini su potpuni mesojedi, a psi svejedi. Domaće mačke u divljini love i hrane se glodavcima, gmazovima, pticama i kukcima. Kukci čine čak do 6% prehrane mačaka u prirodi i pridonose njihovim potrebama za proteinima, masti i ugljikohidratima (AHMED i sur., 2021.). Uočeno je i da prehranu mnogih divljih kanida sačinjavaju kukci.

Proteini imaju važnu ulogu u hranidbi kućnih ljubimaca pošto opskrbljuju organizam ugljikom i dušikom potrebnim za stvaranje energije i odvijanja procesa glukoneogeneze, ali i aminokiselinama koje organizam ne može sam stvoriti (AHMED i sur., 2021.). Ličinke crne vojničke muhe i velikog brašnara u svom aminokiselinskom sastavu nemaju dovoljnu količinu metionina za hranidbu pasa i mačka, a ličinke crne vojničke muhe također nemaju dovoljno ni treonina za hranidbu pasa (BOSCH i SWANSON, 2021.) što bi se trebalo uzeti u obzir kod uporabe kukaca u hranidbi kućnih ljubimaca. Kod pasa hranjenih djelomično obranim ličinkama crne vojničke muhe i velikog brašnara, prividna probavljivost sirovih proteina iznosila je 83.9 odnosno 83.6% (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Kod pasa hranjenih obrokom od ličinki velikog brašnara kao jedinim izvorom proteina nisu uočene promjene konzistencije izmeta (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Također, nisu uočene razlike u izmetu pasa hranjenih hranom koja sadrži janjetinu i onih hranjenih hranom koja sadrži ličinke crne vojničke muhe (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). U jednom istraživanju obrok od ličinki crne vojničke muhe dodan je u hranu za bigle kojom su hranjeni 42 dana (AHMED i sur., 2021.). Svim psima apliciralo se 100 µg/kg lipopolisaharida *E. coli* u peritonealnu šupljinu. Na kraju su uočena poboljšanja u probavljivosti suhe tvari i sirovih proteina i poboljšanja antioksidativnog i protuupalnog djelovanja (AHMED i sur., 2021.).

Hranidba mačaka mora sadržavati isključivo namirnice animalnog porijekla odnosno meso pošto one imaju potrebe za određenim tvarima koje se ne mogu naći u biljkama. Neke od tih tvari su: arahidonska kiselina, vitamin A i taurin. Nasuprot tome, psi mogu sintetizirati arahidonsku kiselinu iz linolne kiseline, vitamin A iz beta karotina, a taurin iz aminokiselina koje sadrže sumpor. Taurin je važan za regulaciju funkcija imunološkog i reproduktivnog sustava, osmoregulaciju stanica, održavanje funkcije miokarda i mrežnice oka i stvaranje žučnih kiselina (AHMED i sur., 2021.). Manjak taurina u plazmi i krvi mesojeda uzrokuje kardiomiopatije i degeneraciju mrežnice (AHMED i sur., 2021.). Udruga američkih dužnosnika za kontrolu hrane (AAFCO) odredio je minimalne zahtjeve za taurinom u hrani za mačke od 0.1 do 0.2% taurina u suhoj tvari, a Europska federacija proizvođača hrane za ljubimce

(FEDIAF) odredila je vrijednosti od 0.2 do 0.25% taurina u suhoj tvari (AHMED i sur., 2021.). Kukci nisu dovoljan izvor taurina stoga bi se on trebao dodavati u hranu koja ima veći postotak kukaca u sebi.

Alergijske reakcije česta su pojava kod kućnih ljubimaca, pogotovo alergija na hranu. One mogu izazvati stanja od blagog svrbeža i crvenila kože do poremećaja u različitim organskim sustavima. Provedeno je istraživanje na psima koji su alergični na grinje i dokazano je da uporaba obroka od velikog brašnara može izazvati alergijsku reakciju kod takvih pasa (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Iz tog razloga ne preporuča se hranidba takvih pasa hranom koja sadrže kukce. KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL (2022.) u svom radu spominju istraživanje provedeno na psima sa dermatitisom. Psi su 2 tjedna hranjeni hranom koja sadrži kukce. Kod većine pasa uočeno je poboljšanje u vidu lezija, a kod 2 od 15 pasa uočeno je blago pogoršanje stanja. Kroz 2 tjedna istraživanja, pokazalo se da kukci mogu biti alternativni izvor proteina za pse sa intolerancijom na hranu. Hipoalergena hrana koja sadrži kukce sve je više prisutna u hranidbi pasa i mačaka koji pokazuju preosjetljivost na određenu hranu. Mnoga istraživanja pokazala su kratkoročni pozitivan učinak hrane koja sadrži kukce, ali ne postoji mnogo istraživanja o djelovanju na zdravlje kućnih ljubimaca koji su dugoročno uzimali hranu koja sadrži kukce (BOSCH i SWANSON, 2021.).

Njuh je najvažnije osjetilo pasa stoga je primamljivi miris vrlo bitna sastavnica hrane za pse. AHMED i sur. (2021.) opisuju kako se u jednom istraživanju dokazalo da je psima hrana obogaćena kukcima mirisom primamljiva od komercijalne hrane. Mužjacima se najviše svidjela hrana sa brašnom od velikog brašnara, a ženkama hrana sa brašnom od turskog žohara (*Shelfordella lateralis*). BOSCH i SWANSON (2021.) pak navode da psi više preferiraju suhu hranu koja sadrži ličinke crne vojničke muhe, a mačke hranu koja sadrži velikog brašnara. Okus pseće hrane koja sadržava ličinke crne vojničke muhe podsjeća na kombinaciju sira i govedine (AHMED i sur., 2021.). BOSCH i SWANSON (2021.) navode istraživanje u kojem su 3 od 10 mačaka odbile hranu koja sadrži 35% obroka ličinki crne vojničke muhe, a 3 mačke nisu pojele hranu do kraja. Davanjem hrane koja sadrži 22% obroka ličinki crne vojničke muhe jedna mačka je povratila i odbila hranu, kod 2 mačke primijećen je smanjeni unos hrane, a niti jedna mačka nije odbila hranu koja sadrži 5% obroka ličinki crne vojničke muhe (BOSCH i SWANSON, 2021.).

Vlasnici pasa i mačaka upoznati su sa činjenicom da je izmet pokazatelj zdravlja probavnog sustava i kvalitete hrane zbog čega redovito prate volumen, konzistenciju, miris, boju izmeta i učestalost defekcije. Razna istraživanja govore o poveznici kvalitete izmeta i

probavljivosti hrane. Idealan izmet treba biti čvrste do meke konzistencije uz zadržavanje oblika (BOSCH i SWANSON, 2021.). Konzistencija izmeta bila je idealna kod pasa hranjenih peletama koje sadrže 30% obroka ličinki crne vojničke muhe (BOSCH i SWANSON, 2021.). Također, pokazalo se da hrana koja sadrži 20% obroka ličinki crne vojničke muhe ili 5% ulja od njih nije utjecala na konzistenciju izmeta kod pasa i mačaka (BOSCH i SWANSON, 2021.). KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL (2022.) navode istraživanje u kojem su se uspoređivali obroci od peradi i hrana koja sadrži (30%) ličinke crne vojničke muhe. Zabilježena je veća prividna probavljivost proteina kod pasa hranjenih obrokom od ličinke crne vojničke muhe (82.3%) u odnosu na obroke od peradi (80.5%) (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Prividna probavljivost masti bila je veća u onih hranjenih obrokom od ličinke crne vojničke muhe (94.5%) od onih hranjenih obrokom od peradi (91.6%) (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Izmet pasa iz obje skupine bio je čvrst i formiran. Istraživanje je dokazalo da dodavanje obroka ličinki crne vojničke muhe neće negativno utjecati na probavljivost i kvalitetu izmeta pasa (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.). Drugo istraživanje uspoređivalo je učinak obroka od divljači sa obrokom od crne vojničke muhe. Svi parametri bili su slični, osim probavljivosti proteina i kalcija koja je bila veća kod pasa hranjenih obrokom od crne vojničke muhe (KEPIŃSKA-PACELIK i BIEL, 2022.).

6. RASPRAVA

Pošto broj stanovnika konstantno raste povećavaju se i potrebe za hranom odnosno krmivima. Mnogi znanstvenici tvrde da proizvodnja dosadašnjih izvora hranjivih tvari, s naglaskom na proteine, nije održiva. Uz povećanje cijene i smanjenu dostupnost izvora proteina zabilježeni su i negativni učinci proizvodnje na okoliš što uvelike doprinosi klimatskim promjenama. Uporaba kukaca u hranidbi životinja i prehrani ljudi prisutna je već dugi niz godina u mnogim zemljama, ali takva praksa nije uobičajena u Europi. Okretanje alternativnim izvorima proteina kao što su kukci moglo bi smanjiti emisiju štetnih plinova, pridonijeti očuvanju bioraznolikosti, smanjiti troškove uzgoja domaćih životinja i imati pozitivni učinak na zdravlje i proizvodnost životinja. Uzimajući u obzir prethodne tvrdnje, Europska Unija sve češće izdaje Uredbe, Direktive i ostale pravne akte kojima dopušta uporabu kukaca u hranidbi pojedinih skupina životinja. Takva praksa mogla bi biti isplativa pošto EU uvozi većinu soje kao čestog izvora proteina u hranidbi životinja. Nadalje, na temelju mnogih istraživanja uzgoj kukaca pokazao se jednostavan i relativno jeftin, a također kukci mogu smanjiti količinu štetnih tvari u štalskom gnoju i tako postati inovativno rješenje za gospodarenje otpadom. Jedne od najperspektivnijih vrsta kukaca su crna vojnička muha i veliki brašnar. Svaka ženka navedenih vrsta tokom svog života može položiti nekoliko stotina jajašaca, a ličinke i kukuljice imaju povoljne nutritivne vrijednosti stoga mogu biti zamjena za dosadašnje izvore proteina. Udio sirovih proteina u obroku od kukaca varira u prosjeku 42-63%, što je slično kao kod obroka od soje i nešto niža od ribljih obroka (TRAN i sur., 2015.). Također, smatra se da kukci generalno imaju povoljan aminokiselinski sastav za uporabu u hranidbi mnogih vrsta životinja. Ličinke kukaca sadrže veću količinu masti koja je odličan izvor energije, a odmašćivanjem ličinki postiže se obrok sa visokim udjelom sirovih proteina. Nadalje, kutikula kukaca sadrži hitin koji se pokazao korisnim u malim količinama, dok u velikim količinama smanjuje probavljivost obroka pa tako i prirast životinja. KOUŘIMSKÁ i ADÁMKOVÁ (2016.) navode kako su kukci dobar izvor riboflavina (vitamin B2), pantotenske kiseline (vitamin B5), biotina (vitamin B7), željeza, cinka, kalija, natrija, kalcija, magnezija, mangana, bakra i fosfora što ih čini vrijednim dodatkom smjesama. Pošto su kukci dio prirodne prehrane mnogih životinja, njihova upotreba kao izvora proteina ne bi trebala naštetiti životinjama. Mnogi autori navode da kukci kao djelomična zamjena ribljeg brašna imaju pozitivan učinak na prirast mnogih vrsta često uzgajanih riba. Također, na temelju dosadašnjih istraživanja pokazalo se da dodavanje kukaca u krmiva za perad i svinje u manjim količinama nema negativni učinak na njihovo zdravlje i

razvoj. Hrana sa dodacima kukaca pokazala se palatabilna psima i mačkama, a postoji i potencijal njezine uporabe kao hipoalergene hrane. Kukci u hranidbi životinja imaju mnoge prednosti koje se odnose na zdravlje i produktivnost životinja, a njihov uzgoj može pridonijeti zaštiti okoliša i održivom razvoju. Ipak, ovo područje nije do kraja istraženo i trebalo bi se provesti još istraživanja kako bi uporaba kukaca u hranidbi životinja bila učinkovitija i pristupačnija svim zemljama svijeta u svrhu rješavanja globalnih problema kao što su zagađenje okoliša i nedostatak hrane.

7. ZAKLJUČAK

1. Uzgojem kukaca otpušta se manja količina stakleničkih plinova i amonijaka, nego prilikom uzgoja domaćih životinja.
2. 7. rujna 2021. stupa na snagu Uredba komisije (EU) 2021/1372 kojom se dopušta uporaba prerađenih proteina kukaca u hranidbi peradi i svinja.
3. U svom životnom ciklusu crna vojnička muha i veliki brašnara prolaze proces potpune preobrazbe.
4. Ličinke crne vojničke muhe uspješno se razvijaju prilikom hranjenja organskim otpadom biljnog i životinjskog porijekla.
5. Svaki razvojni stadij brašnara treba se uzgajati odvojeno pošto se ličinke i odrasli oblici mogu hraniti kukuljicama.
6. Kukci pa tako i ličinke crne vojničke muhe i velikog brašnara imaju visoki udio sirovih proteina.
7. U masti kukaca zabilježen je visoki udio oleinske i linolne (omega-6) kiseline.
8. Djelomična zamjena ribljeg obroka ili obroka od soje sa obrokom od kukaca može pozitivno utjecati na prirast kokoši, svinja i mnogih vrsta riba.
9. Psima i mačkama palatabilna je hrana koja sadrži manje količine obroka od kukaca.

8. LITERATURA

1. AHMED, I., F. İNAL, R. RIAZ (2021): Insects usage in pets food. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 93(1), 87-98.
2. BAVA, L., C. JUCKER, G. GISLON, D. LUPI, S. SAVOLDELLI, M. ZUCALI, S. COLOMBINI (2019): Rearing of *Hermetia Illucens* on Different Organic By-Products: Influence on Growth, Waste Reduction, and Environmental Impact. *Animals*, 9(6), 289.
3. BAŽOK, R., T. ARVAJ, Ž. BJELJA, H. VIRIĆ GAŠPARIĆ (2019): Utjecaj vrste hrane na razvojne osobine ličinaka brašnara i kvalitativni sastav brašna dobivenog njihovom preradom. *Fragmenta phytomedica*, 33(4), 1-14.
4. BELGHIT, I., N. S. LILAND, R. WAAGBØ, I. BIANCAROSA, N. PELUSIO, Y. LI, S. KROGDAHL, E.J. LOCK (2018): Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 491, 72–81.
5. BIASATO, I., M. DE MARCO, L. ROTOLO, M. RENNA, C. LUSSIANA, S. DABBOU, M.T. CAPUCCHIO, E. BIASIBETTI, P. COSTA, F. GAI, L. POZZO, D. DEZZUTTO, S. BERGAGNA, S. MARTÍNEZ, M. TARANTOLA, L. GASCO, A. SCHIAVONE (2016): Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(6), 1104–1112.
6. BOSCH, G., K. SWANSON (2021): Effect of using insects as feed on animals: pet dogs and cats. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 795–805.
7. BOVERA, F., G. PICCOLO, L. GASCO, S. MARONO, R. LOPONTE, G. VASSALOTTI, V. MASTELLONE, P. LOMBARDI, Y. ATTIA, A. NIZZA (2015): Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science*, 1–7.

8. CHIA, S. Y., C. M. TANGA, I. M. OSUGA, A. O. ALARU, D. M. MWANGI, M. GITHINJI, S. SUBRAMANIAN, K. K. M. FIABOE, S. EKESI, J. J. A. VAN LOON, M. DICKE (2019): Effect of Dietary Replacement of Fishmeal by Insect Meal on Growth Performance, Blood Profiles and Economics of Growing Pigs in Kenya. *Animals*, 9(10), 705.
9. COTTON, R. T. (1927): Notes on the Biology of the Meal Worms, *Tenebrio Molitor* Linne and *T. Obscurus* Fab. *Annals of the Entomological Society of America*, 20(1), 81–86.
10. DIGIACOMO, K., B. LEURY (2019): Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Animal*, 13(12), 3022–3030.
11. DORTMANS, B., S. DIENER, V. BART, C. ZUBRÜGG (2017): *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland, 5-27.
12. DUVNJAK, M., K. KLJAK, M. LONČAR, J. PLEADIN, K. GAZIĆ, I. RAJNOVIĆ, D. GRBEŠA (2019): Kukci u hranidbi životinja. *Veterinarska stanica*. 50 (5), 467-480.
13. HAWKEY, K. J., C. LOPEZ-VISO, J.M. BRAMELD, T. PARR, A.M. SALTER (2021): Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food. *Annual Review of Animal Biosciences*, 9(1), 333–354.
14. HENRY, M., L. GASCO, G. PICCOLO, E. FOUNTOULAKI (2015): Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22.
15. HOC, B., G. NOËL, J. CARPENTIER, F. FRANCIS, R. CAPARROS MEGIDO (2019): Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *PLOS ONE*, 14(4), e0216160.
16. HONG, J., Y. Y. KIM (2022): Insect as feed ingredients for pigs. *Animal Bioscience*, 35(2), 347–355.

17. JÓZEFIAK, D., R. M. ENGBERG (2015): Insects as poultry feed. 20th European Symposium on poultry nutrition (ESPN), HAL open science, (Vol. 24, p. 27), 73-80.
18. KIM, S. Y., J. B. PARK, Y. B. LEE, H. J. YOON, K. Y. LEE, N. J. KIM (2015): Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 53(1), 1–5.
19. KEPIŃSKA-PACELIK, J., W. BIEL (2022): Insects in Pet Food Industry- Hope or Threat? *Animals*, 12(12), 1515.
20. KOUŘIMSKÁ, L., A. ADÁMKOVÁ (2016): Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22–26.
21. LEE, R. (2011): The Outlook for Population Growth. *Science*, 333(6042), 569–573.
22. LIU, C., C. WANG, H. YAO (2019): Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals*, 9(6), 349.
23. MACAVEI, L. I., G. BENASSI, V. STOIAN, L. MAISTRELLO (2020): Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. *PLOS ONE*, 15(4), e0232144.
24. MORALES-RAMOS, J. A., M. G. ROJAS, S. KAY, D. I. SHAPIRO-ILAN, W. L. TEDDERS (2012): Impact of Adult Weight, Density, and Age on Reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 47(3), 208–220.
25. NOGALES-MÉRIDA, S., P. GOBBI, D. JÓZEFIAK, J. MAZURKIEWICZ, K. DUDEK, M. RAWSKI, B. KIEROŃCZYK, A. JÓZEFIAK (2018): Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080–1103.

26. NUGROHO, R. A., F. M. NUR (2018): Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 144, 012002.
27. OLIVEIRA, F., K. DOELLE, R. SMITH (2016): External Morphology of *Hermetia illucens* Stratiomyidae: Diptera (L.1758) Based on Electron Microscopy. Annual Research & Review in Biology, 9(5), 1–10.
28. OONINCX, D. G. A. B., M. FINKE (2021): Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. Journal of Insects as Food and Feed, 7(5), 639–659.
29. OONINCX, D. G. A. B., J. VAN ITTERNEECK, M. J. W. HEETKAMP, H. VAN DEN BRAND, J. J. J. VAN LOON, A. VAN HUIS (2010): An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. PLoS ONE, 5(12), e14445.
30. OŠTREC, LJ., T. GOTLIN ČULJAK (2005): Opća entomologija. ZRINSKI d.d. Čakovec, 25-90.
31. PAYNE, C. L. (2018): Can edible insects really reduce our ecological footprint and save wild species. The Ecological Citizen, 2, 13-4.
32. PETRIĆ, J., B. HENGL, A. GROSS-BOŠKOVIĆ (2015): Kukci kao proteinska komponenta u hranidbi peradi. Krmiva, 57 (1), 37-45.
33. RAVZANAADII, N., S. H. KIM, W. H. CHOI, S. J. HONG, N. J. KIM (2012): Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. International Journal of Industrial Entomology, 25(1), 93–98.
34. RIBEIRO, N., M. ABELHO, R. COSTA (2018): A Review of the Scientific Literature for Optimal Conditions for Mass Rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Entomological Science, 53(4), 434–454.

35. ROOS, N. (2018): Insects and Human Nutrition. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*, 83–91.
36. RURALIS, E., C. CHANCELLOR, S. B. M. ATTILA, R. DUMINICIOIU (2018): The trouble with soy: the threats to small-scale producers across Europe. *European Coordination Via Campesina (ECVC) and Eco Ruralis*, 4-6.
37. SÁNCHEZ-MUROS, M. J., F. G. BARROSO, F. MANZANO-AGUGLIARO (2014): Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27.
38. SHEPPARD, D. C., J. K. TOMBERLIN, J. A. JOYCE, B. C. KISER, S. M. SUMNER (2002): Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae): Table 1. *Journal of Medical Entomology*, 39(4), 695–698.
39. SPRINGMANN, M., M. CLARK, D. MASON-D’CROZ, K. WIEBE, B. L. BODIRSKY, L. LASSALETTA, W. DE VRIES, S. J. VERMEULEN, M. HERRERO, K. M. CARLSON, M. JONELL, M. TROELL, F. DECLERCK, L. J. GORDON, R. ZURAYK, P. SCARBOROUGH, M. RAYNER, B. LOKEN, J. FANZO, H. CHARLES, J. GODFRAY, D. TILMAN, J. ROCKSTRÖM, W. WILLETT (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525.
40. TRAN, G., V. HEUZÉ, H. P. S. MAKKAR (2015): Insects in fish diets. *Animal frontiers*, 5(2), 37-44.
41. TRAN, G., C. GNAEDINGER, C. MÉLIN (2019): Mealworm (*Tenebrio molitor*). *Feedipedia, Animal feed resources information system*. <https://www.feedipedia.org/node/16401>
42. VALDÉS, F., V. VILLANUEVA, E. DURÁN, F. CAMPOS, C. AVENDAÑO, M. SÁNCHEZ, C. DOMINGOZ-ARAUJO, C. VALENZUELA (2022): Insects as Feed for Companion and Exotic Pets: A Current Trend. *Animals*, 12(11), 1450.

43. VAN HUIS, A. (2013): Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583.
44. VAN HUIS, A., D. G. A. B. OONINCX (2017): The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5).
45. VAN HUIS, A., J. VAN ITTERBEECK, H. KLUNDER, E. MERTENS, A. HALLORAN, G. MUIR, P. VANTOMME (2013): Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
46. VELDKAMP, T., G. BOSCH (2015): Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 45-50.
47. ZHANG, J., L. HUANG, J. HE, J. K. TOMBERLIN, J. LI, C. LEI, M. SUN, Z. LIU, Z. Yu (2010): An Artificial Light Source Influences Mating and Oviposition of Black Soldier Flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, 10(202), 1–7.

9. SAŽETAK

Antun Beljan

Upotreba insekata u hranidbi životinja

Uz konstantan rast broja stanovnika povećava se potreba za hranom pa tako i proteinima. Glavni izvor proteina za ljude čine namirnice životinjskog porijekla, a za životinje obroci od soje i riblje brašno. Zbog velike potražnje povećavaju se cijene izvora proteina, a njihova proizvodnja ima negativan utjecaj na naš planet. Stoga se sve više govori o okretanju alternativnim izvorima proteina u hranidbi životinja. U brojnim istraživanjima kukci su se pokazali kao prihvatljiva zamjena za dosadašnje izvore proteina zato što imaju povoljan nutritivni sastav sa visokim udjelom sirovih proteina i dobrim aminokiselinskim sastavom, lako se uzgajaju i prerađuju, brzo se razmnožavaju i manje štete okolišu od farmi domaćih životinja. U ovom radu govori se se o biologiji, uzgoju i nutritivnim vrijednostima kukaca s naglaskom na crnu vojničku muhu (*Hermetia illucens*) i velikog brašnara (*Tenebrio molitor*) kao jednih od najperspektivnijih vrsta, njihovoj primjeni u hranidbi pojedinih skupina životinja i zakonskoj regulativi na razini Europske unije.

Ključne riječi: kukci, proteini, hranidba životinja, nutritivna vrijednost

10. SUMMARY

Antun Beljan

Use of insects in animal feeding

With the constant growth of population, the need for food, as well as protein, is increasing. The main source of protein for humans is food of animal origin, and for animals, soybean meal and fish meal. Due to high demand, the prices of protein sources are increasing, and their production leaves a negative effect on our planet. Therefore, there is more and more talk of turning to alternative sources of protein in animal feeding. In a number of studies, insects have proved to be an acceptable substitute for traditional sources of protein because they have a favorable nutritional composition with a high crude protein content and a good amino acid composition, they are easy to grow and process, they reproduce quickly and cause less damage to the environment than farms with domestic animals. This paper discusses the biology, breeding and nutritional values of insects with an emphasis on the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and the mealworm (*Tenebriomolitor*) as the most promising species, their application in the feeding of certain groups of animals and legal regulations at the level of the European Union.

Keywords: insects, proteins, animal nutrition, nutritional value

11. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 31.7.1996. u Slavonskom Brodu. Tamo sam pohađao Osnovnu školu „Ivan Goran Kovačić“. U to vrijeme bavio sam se različitim izvannastavnim aktivnostima kao što su karate, ples, pjevanje u zboru, rukomet, odbojka i učenje njemačkog jezika u školi stranih jezika. Nakon završetka osnovne škole upisujem Gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu. Bio sam član Volonterskog centra u Slavonskom brodu, a u 4. razredu jedan od osnivača Volonterskog kluba „Carpe diem“ u svojoj gimnaziji koji djeluje i danas. Oduvijek sam pokazivao interes za biologiju i kemiju, a također i ljubav prema životinjama što me potaknulo da 2015. godine upišem Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme studiranja bio sam volonter, a kasnije i voditelj volontera Nastambe za laboratorijske životinje „Glodara“ gdje sam stekao znanja i vještine o uzgoju i njezi glodavaca i kunića. Također, volontirao sam u skloništu za nezbrinute životinje grada Zagreba – Dumovec. 2021. godine upisujem apsolventsku godinu u kojoj sam se posvetio polaganju ispita na fakultetu, volontiranju u veterinarskoj ambulanti, pohađanju autoškole i pisanju diplomskog rada.