

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Stefan M. Marjanović

**Efekat korišćenja alternativnih izvora
proteina animalnog porekla u hrani za ribe
na proizvodne karakteristike i
antioksidativni status gajenog šarana
(*Cyprinus carpio* L., 1758) i
kalifornijske pastrmke
(*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))**

Doktorska disertacija

Beograd, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Stefan M. Marjanović

The effect of using alternative protein sources of animal origin in fish diet on the production characteristics and antioxidant status of cultured common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

UNIVERZITET U BEOGRADU

Poljoprivredni fakultet

Mentori:

Dr Zoran Marković, redovni profesor

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Jelena Vranković, naučni savetnik

Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

Dr Božidar Rašković, redovni profesor

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Zorka Dulić, redovni profesor

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marko Stanković, vanredni profesor

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Slađana Rakita, viši naučni saradnik

Naučni institut za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu

Dr Vojislav Banjac, viši naučni saradnik

Naučni institut za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu

Datum odbrane doktorske disertacije: _____

Reči zahvalnosti

Izražavam duboku zahvalnost svom mentoru prof. dr **Zoranu Markoviću**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, za izuzetno vođenje, stručnu podršku i neprocenjivu pomoć tokom procesa izrade ove doktorske disertacije. Njegova preciznost u analizi, spremnost da podeli svoje bogato iskustvo i posvećenost nauci bili su ključni za uspešno sprovođenje ovog istraživanja. U trenucima kada je bilo potrebno pronaći ravnotežu između prakse i teorije, njegov savet je bio dragocen. Njegova sposobnost da ukaže na suštinu problema i da podstakne kritičko razmišljanje ostavila je dubok trag u mom akademskom razvoju.

Iskreno zahvaljujem svojoj mentorki dr **Jeleni Vranković**, naučnom savetniku, Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković", Univerziteta u Beogradu, na podršci, stručnosti i posvećenosti tokom celokupnog procesa izrade ove doktorske disertacije. Njena spremnost da podeli znanje, pruži smernice i ohrabri u ključnim trenucima bila je neprocenjiva. Zahvaljujući njenom vođstvu, ova disertacija je dobila jasniji pravac, dublju analitičku osnovu i potrebnu snagu da bude uspešno realizovana.

Izražavam zahvalnost prof. dr **Božidaru Raškoviću**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, za vreme i pažnju koju je posvetio mom radu. Njegove dragocene primedbe i sugestije značajno su doprinele kvalitetu i jasnoći disertacije. Posebno ističem njegovu podršku i profesionalni odnos tokom celokupnog procesa odbrane.

Izražavam iskrenu zahvalnost prof. dr **Zorki Dulić**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na konstruktivnim komentarima i pažnji koju je posvetila ovom radu. Njena stručnost i iskustvo značajno su doprineli da disertacija dobije jasniji i kvalitetniji oblik.

Duboku zahvalnost dugujem prof. dr **Marku Stankoviću**, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, za nesebičnu podršku, stručne savete i kontinuiranu posvećenost tokom izrade ove disertacije. Njegova spremnost da podeli znanje, ukaže na pravce razmišljanja i pruži podršku u ključnim trenucima bila je od neprocenjivog značaja za realizaciju ovog istraživanja.

Zahvaljujem se kolegama dr **Sladani Rakiti**, višem naučnom saradniku i dr **Vojislavu Banjcu**, višem naučnom saradniku, Naučni institut za tehnologiju hrane, Univerziteta u Novom Sadu, čiji su veliki doprinos, stručni saveti, detaljne analize i dragocena tumačenja rezultata značajno unapredili kvalitet ove disertacije. Njihova nesebična pomoć, posvećenost i spremnost da podele svoje znanje i iskustvo bili su od neprocenjive vrednosti, kako u naučnom, tako i u ličnom smislu, čineći proces istraživanja sadržajnijim i uspešnijim.

Posebnu zahvalnost dugujem prof. dr **Ivani Živić**, redovnom profesoru Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, za nesebičnu podršku, dragocene savete i stručne smernice tokom izrade ove disertacije. Njena pomoć u oblikovanju istraživačkog pristupa i razjašnjavanju ključnih dilema bila je od izuzetnog značaja za kvalitet i uspešnu realizaciju ovog rada.

Iskreno zahvaljujem kolegi mast. inž. polj. **Vukosavu Goluboviću**, istraživaču saradniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na doprinosu u realizaciji istraživanja, naročito u postavci eksperimenta i prikupljanju uzoraka. Njegove sugestije i praktični saveti značajno su unapredili kvalitet i tok ovog rada. Bez njegove posvećenosti i podrške, sprovođenje istraživanja ne bi bilo moguće na ovako uspešan način.

Zahvaljujem se kolegici mast. inž. polj. **Aleksandri Dobričić**, istraživaču pripravniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na nesebičnoj podršci, dragocenim savetima i aktivnom učešću u realizaciji istraživanja, čime je značajno doprinela kvalitetu ove doktorske disertacije.

Zahvaljujem se kolegici mast. inž. zašt. živ. sred. **Tari Žugić**, doktorand Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na pažljivom čitanju disertacije i korisnim sugestijama, kojima je značajno doprinela njenom poboljšanju.

Zahvaljujem se kolegi spec. inž. **Daliboru Vukojeviću**, stručnom saradniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na podršci i kolegijalnosti tokom izrade disertacije.

Iskreno se zahvaljujem kolegici **Ljubici Todorić**, tehničkom saradniku, Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na pruženoj podršci i dragocenoj pomoći u analizi uzoraka.

Veliko hvala **Zorici Radović**, tehničkom saradniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na pruženoj podršci tokom izrade ove doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem svom kolegi i dragom prijatelju, dr **Spasoju Beloševiću**, istraživaču saradniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, čiji je značajan doprinos u vidu stručnih sugestija, korisnih saveta i nesebične podrške imao neprocenjiv uticaj na nastanak i oblikovanje ove disertacije. Njegova spremnost da podeli znanje, ukaže na nove perspektive i pruži prijateljsku reč ohrabrenja bila je dragocena tokom celog istraživačkog procesa.

Zahvaljujem se kolegi **Lazaru Pejiću**, asistentu bez doktorata na Poljoprivrednom fakultetu, Univerzitetu u Beogradu, na podršci i saradnji, koje su doprinele uspešnoj realizaciji ovog rada.

Zahvaljujem svojim kolegama **Milošu Pušici - Puletu**, **Željku Čoviću** i **Mladanu Stankoviću** na izuzetnoj podršci i angažovanju tokom eksperimentalnog dela ove doktorske disertacije. Njihova posvećenost, tehnička preciznost i spremnost da pomognu u svakom trenutku bili su od ključnog značaja za realizaciju ovog istraživanja. Njihova posvećenost, tehnička preciznost i spremnost da pomognu u svakom trenutku bili su od ključnog značaja za realizaciju ovog istraživanja. Njihov doprinos u pripremi, izvođenju i obradi eksperimentalnih postupaka omogućio je da se rad sprovede efikasno i u skladu sa najvišim standardima. Iako se njihov rad odvijao iza scene, njegova vrednost je neprocenjiva. Hvala vam na strpljenju, pouzdanosti i kolegijalnosti koju ste pokazali tokom celog procesa.

Zahvaljujem se kolagama **Ivani Nedić**, **Tamari Curović** i **Bojanu Đokiću** na pomoći u pojedinim delovima istraživanjima. Njihov doprinos u pojedinim delovima istraživanjima bio je od značaja za realizaciju ovog rada.

Ova disertacija ne bi bila moguća bez neizmerne podrške moje porodice, kojoj dugujem najdublju zahvanost. Hvala mom ocu **Mladanu**, čija je tiha snaga, mudrost i nepokolebljiva vera u mene bila temelj mog samopouzdanja. Njegov primer istrajnosti i čestitosti vodio me je kroz najzahtevnije trenutke ovog puta. Hvala mojoj majci **Snežani**, čija je ljubav bila moje utočište. Njena toplina, razumevanje i beskrajna briga učinili su da se i najteži dani čine lakšim. Njene reči utehe i podrške bili su moj oslonac kada sam posustajao. Hvala mom bratu **Milošu**, koji je uvek znao da me nasmeje, ohrabri i podseti na ono što je zaista važno. Njegova iskrenost i prijateljstvo su mi značili više nego što reči mogu da izraze. Posebnu zahvalnost dugujem svojoj verenici **Ivani**, koja je bila uz mene u svakom koraku ovog izazovnog putovanja. Njena strpljivost, razumevanje i podrška bili su moj vetar u leđa. Njena vera u mene, čak i kada sam sumnjao u sebe, bila je svetionik koji me je vodio ka cilju.

Vaša ljubav, strpljenje i prisustvo su utkane u svaku stranicu ove disertacije, ona je jednako vaša kao i moja.

Od srca hvala.

Autor

Стефан Марјановић

Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

Sažetak

Prilikom planiranja ove doktorske disertacije, postavljeno je nekoliko naučnih ciljeva: a) da se ispita mogućnost potpune zamene ribljeg brašna - HFM (*engl. fishmeal*) alternativnim izvorima proteina animalnog porekla, kao što su: kalifornijska glista - HEF (*engl. earthworm*), larve velikog brašnara - HTM (*engl. mealworm*) i organizmima zooplanktona - HZO (*engl. zooplankton*); b) da se ispita efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla na proizvodne karakteristike šarana i kalifornijske pastrmke; c) da se ispita uticaj alternativnih izvora proteina na eventualnu pojavu oksidativnog stresa kod šarana i kalifornijske pastrmke. Dodatno, urađene su i analize masnih kiselina u filetu kalifornijske pastrmke, kao i senzorna analiza pečenog fileta iste vrste. Senzorna procena fileta izvršena je deskriptivnom senzorskom analizom, procenom kvaliteta i testom prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača.

Kako bi se ispitaio uticaj potpune zamene ribljeg brašna, brašnima dobijnih od animalnih izvora proteina, sprovedena su tri eksperimenta: dva na šaranu, u tank i kaveznom sistemu i jedan na kalifornijskoj pastrmci u tank sistemu.

U tank sistemu gajenja šarana, parametri prirasta i iskoristivosti hrane pokazali su da je najveći prirast ostvaren kod riba koje su hranjene HTM, dok su šarani iz kontrolne grupe (HFM) ostvarili najmanji prirast. Ribe hranjene HTM su odlikovale i najviše vrednosti: za specifičnu stopu rasta (*engl. specific growth rate, SGR*), koeficijent rasta za termičku jedinicu (*engl. thermal unit growth coefficient, TGC*) i utrošak proteina (*engl. protein intake, PI*), uz najniži koeficijent konverzije hrane (*engl. food conversion ratio, FCR*). Nasuprot tome, najviši FCR zabeležen je kod kontrolne grupe. Kondicioni faktor je bio najniži kod riba iz eksperimentalne grupe hranjene HZO. Vrsta hrane nije imala uticaj na stopu preživljavanja (*engl. survival rate, SR*). Pozitivan efekat ostvaren je kod hepatosomatskog indeksa (*engl. hepatosomatic index, HSI*). Što se tiče enzima oksidativnog stresa, eksperimentalne hrane nisu značajno uticale na aktivnost superoksid-dismutaze (SOD) i katalaze (CAT). Međutim, grupa riba hranjena HEF i HZO pokazale su najveći uticaj na aktivnost glutation-peroksidaze (GPx), dok je najviša aktivnost glutation-S-transferaze (GST) zabeležena kod kontrolne grupe.

U kaveznom sistemu gajenja šarana, ribe hranjene HZO pokazale su najmanji prirast, dok su ribe hranjene HFM i HTM ostvarile najveći prirast, ali bez statistički značajnih razlika. Slično je zabeleženo i kod ostalih parametara rasta i iskoristivosti hrane, gde nisu utvrđene značajne razlike između eksperimentalnih grupa. Eksperimentalna hrana HEF pokazala je najizraženiji uticaj na aktivnosti enzima SOD, CAT i GST, dok je HZO imala najveći efekat na aktivnost enzima GPx.

Kod gajenja kalifornijske pastrmke u tank sistemu zamena ribljeg brašna brašnom dobijenog od larvi velikog brašnara i kalifornijske gliste imala je pozitivan efekat na parametre rasta, efikasnost konverzije hrane i vrednosti hepatosomatskog indeksa (HSI). Najveći prirast, utrošak proteina i kondicioni faktor, kao i najniža vrednost koeficijenta konverzije hrane, ostvarena je kod pastrmke koja je hranjena HTM. Suprotno tome, pastrmka hranjena zooplanktonom pokazala je najniže vrednosti pomenutih parametara, uz najviši koeficijent konverzije hrane. Sadržaj eikozapentaenske kiseline (EPA) i dokozaheksaenske kiseline (DHA) u filetima pastrmke smanjio se uključivanjem HTM i HEF u ishrani pastrmke. Ishrana pastrmke sa HTM i HEF dovela je do smanjenja odnosa n-3/n-6 u poređenju sa HFM, dok je u eksperimentalnoj grupi HZO došlo do povećanja navedenog

odnosa. Senzorna analiza pokazala je da fileti pastrmke hranjene HTM i HEF pripadaju kategoriji „vrlo dobar“ prosečnog kvaliteta, dok su fileti iz HZO grupe ocenjeni kao „dobri“. Svi uzorci pokazali su zadovoljavajuću prihvatljivost kod potrošača. Rezultati analize oksidativnih biomarkera u jetri kalifornijske pastrmke pokazali su da su najveće aktivnosti superoksid-dismutaze (SOD) i katalaze (CAT) bila kod pastrmke hranjene HFM, dok je kod iste grupe utvrđena značajno manja aktivnost glutathion-peroksidaze (GPx) u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Najmanji uticaj na aktivnost glutathion-S-transferaze (GST) imala je eksperimentalna hrana HTM, dok je najveća vrednost ovog enzima evidentirana kod pastrmke hranjene HZO.

Eksperimentalne hrane zasnovane na kalifornijskoj glisti, larvama velikog brašnara i zooplanktonu, primenjene u ishrani šarana u dva različita sistema uzgoja, nisu pokazale negativan uticaj na parametre rasta i efikasnost iskorišćenja hrane. Ovi sastojci se stoga mogu smatrati potencijalno dobrom alternativom ribljem brašnu u proizvodnji komercijalne riblje hrane. Zamena HTM i HEF u hrani za kalifornijsku pastrmku uticala je na parametre rasta, sastav masnih kiselina, senzorni profil i percepciju potrošača, bez negativnih efekata. Zamena ribljeg brašna alternativnim izvorima životinjskih proteina predstavlja izvodljivu, tehnički ostvarivu i praktičnu opciju za održivu proizvodnju kalifornijske pastrmke.

Rezultati eksperimenata na šaranu i kalifornijskoj pastrmci pokazuju da zamena ribljeg brašna alternativnim proteinima životinjskog porekla menja aktivnost ključnih antioksidativnih enzima u jetri ribe, uključujući superoksid-dismutazu (SOD), katalazu (CAT), glutathion-peroksidazu (GPx) i glutathion-S-transferazu (GST). Povećana aktivnost enzima ukazuje na prisustvo oksidativnog stresa, tj. povećane proizvodnje ROS koja može da nastane kao posledica metaboličke obrade ispitivanih komponenti hrane ili prisustva bioaktivnih jedinjenja u alternativnim izvorima proteina (amino kiselina, vitamina ili Zn i Se) za koje je pokazano da pojačavaju antioksidativne mehanizme. Sa druge strane, ista ili smanjena aktivnost može da predstavlja efikasnu fiziološku adaptaciju organizma bez patoloških efekata ispitivane hrane. Ovi biomarkeri služe kao pouzdani indikatori fiziološkog odgovora riba na različite proteinske izvore, omogućavajući procenu nutritivne vrednosti hrane koja se koristi u akvakulturi, optimizaciju hranljivih potreba i očuvanje zdravstvenog statusa u intenzivnoj proizvodnji.

Ključne reči: šaran (*Cyprinus carpio*), kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*), larve velikog brašnara (*Tenebrio molitor*), kalifornijska glista (*Eisenia fetida*), zooplankton, superoksid-dismutaza, katalaza, glutathion peroksidaza, glutathion-S-transferaza

Naučna oblast: Biotehničke nauke

Uža naučna oblast: Primenjena zoologija i ribarstvo

UDK: 639.3.043:597.55(043.3)

The effect of using alternative protein sources of animal origin in fish diet on the production characteristics and antioxidant status of cultured common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

Abstract

During the planning of this doctoral dissertation, several scientific goals were established: a) to examine the possibility of replacing fishmeal (HFM) with alternative animal protein sources, such as: earthworm (HEF - *Eisenia fetida*), mealworm (HTM - *Tenebrio molitor*), and zooplankton (HZO); b) to examine the effect of using alternative animal protein sources on the production characteristics of common carp and rainbow trout; c) to examine the influence of alternative protein sources on the eventual occurrence of oxidative stress in common carp and rainbow trout. In addition, analyses of fatty acids in rainbow trout fillets, as well as a sensory analysis of baked fillets of the same species, were performed. The sensory evaluation of the fillets was conducted using descriptive sensory analysis, quality assessment, and a consumer acceptability test.

To examine the impact of the complete replacement of fishmeal with meal from animal protein sources, three experiments were conducted: two on carp, in a tank and cage system, and one on rainbow trout in a tank system.

In the tank system for rearing common carp, growth and diet utilisation parameters showed that the highest growth was achieved in fish fed with HTM, while common carp in the control group (HFM) had the lowest growth. Fish fed with HTM had the highest values for specific growth rate (SGR), thermal unit growth coefficient (TGC), and protein intake (PI), and the lowest feed conversion ratio (FCR). In contrast, the highest FCR was recorded in the control group. The condition factor was the lowest in fish from the experimental group fed with HZO. The type of diet had no effect on the survival rate. The hepatosomatic index (HSI) for all experimental groups was positive. Regarding oxidative stress enzymes, the activity of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) was not significantly affected by the experimental diets. However, the group of fish fed with HEF and HZO showed the greatest impact on glutathione peroxidase (GPx) activity, while the highest glutathione-S-transferase (GST) activity was recorded in the control group.

In the cage carp farming system, fish fed with HZO exhibited the lowest growth, while fish fed with HFM and HTM achieved the highest growth, though the differences were not statistically significant. A similar pattern was observed for other growth and feed conversion parameters, with no significant differences found between the experimental groups. The experimental diet HEF showed the most pronounced effect on the activities of CAT, SOD, and GST enzymes, while HZO had the greatest effect on the activity of GPx enzymes.

When rearing rainbow trout in a tank system, replacing fishmeal with mealworm and earthworm had a positive effect on growth parameters, feed conversion efficiency, and hepatosomatic index (HSI) values. The highest growth, protein consumption, and condition factor, as well as the lowest feed conversion coefficient, were achieved in trout fed with HTM. On the contrary, trout fed with zooplankton showed the lowest values for the mentioned parameters and the highest food conversion coefficient. The content of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in trout fillets decreased with the inclusion of HTM and HEF in the trout diet. Rainbow trout diets with HTM and HEF resulted in a lower n-3/n-6 ratio compared to HFM, whereas zooplankton supplementation increased the ratio. Sensory analysis indicated that trout fillets from the HTM and HEF groups were classified as "very good" in average quality, while fillets from the HZO group were rated as "good". All samples received satisfactory acceptance from consumers. The analysis of

oxidative biomarkers in the liver of rainbow trout showed that trout fed with HFM had the highest superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activity, while this group had significantly lower glutathione peroxidase (GPx) activity compared to the other experimental groups.

Experimental diets based on earthworm, mealworm larvae, and zooplankton, applied to carp in two different rearing systems, negatively affect growth parameters or feed efficiency. These ingredients can therefore be considered as a potentially good alternative to fishmeal in commercial fish diets. Replacing HTM and HEF in the diet for rainbow trout affected growth parameters, fatty acid composition, sensory profile, and consumer perception, but did not have negative effects. Substituting fishmeal with alternative animal protein sources is a feasible, technically realistic, and practical option for the sustainable production of rainbow trout.

Experimental results on common carp and rainbow trout show that replacing fishmeal with animal protein sources affects the activity of key antioxidant enzymes in the fish liver, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), and glutathione-S-transferase (GST). Increased enzyme activity indicates excessive ROS which can result from the metabolic processing of the tested diet components, while unchanged or reduced activity may reflect effective adaptation of the organism without harmful effects from the experimental diets. Enzyme activity is a reliable indicator of the physiological response of fish to different protein sources and can be used to assess diet quality, determine the nutritional needs of fish, and maintain health in aquaculture. Alternative protein sources used in research on carp and rainbow trout can be considered potential replacements for fishmeal in commercial fish diets.

Keywords: common carp (*Cyprinus carpio*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), mealworm (*Tenebrio molitor*), earthworm (*Eisenia fetida*), zooplankton, superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, glutathione S-transferase

Scientific field: Biotechnical sciences

Narrower scientific field: Applied zoology and fisheries

UDC: 639.3.043:597.55(043.3)

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	4
2.1. Akvakultura u svetu.....	4
2.2. Akvakultura u Republici Srbiji	6
2.3. Tehnologije proizvodnje u akvakulturi šarana.....	10
2.3.1. Šaran (<i>Cyprinus carpio</i>) kao ekonomski značajna vrsta.....	12
2.4. Kalifornijska pastrmka (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) kao ekonomski značajna vrsta	16
2.5. Potencijal alternativnih izvora proteina u akvakulturi: korak ka održivoj zameni ribljeg brašna.....	19
2.5.1. Kalifornijska glista (<i>Eisenia fetida</i>) kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani	19
2.5.2. Larve velikog brašnara (<i>Tenebrio molitor</i>) kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani.....	21
2.5.3. Zooplankton kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani	24
2.6. Antioksidativni enzimi.....	25
2.6.1. Superoksid-dismutaza (SOD)	25
2.6.2. Katalaza (CAT)	26
2.6.3. Glutation peroksidaza (GPx)	26
2.6.4. Glutation-S-transferaza (GST).....	28
3. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA	29
4. MATERIJAL I METODE	30
4.1. Opis Laboratorije za ishranu riba	30
4.2. Kavezni sistem za realizaciju eksperimenta	31
4.3. RIBE korišćene za realizaciju eksperimenta.....	32
4.4. Alternativni izvori proteina korišćeni u istraživanju	33
4.5. Metode za određivanje hemijskog sastava hrane i alternativnih izvora proteina.....	35
4.5.1. Metoda određivanje suve materije.....	35
4.5.2. Metoda određivanja proteina	35
4.5.3. Metoda određivanja masti	35
4.5.4. Metoda određivanja pepela.....	35
4.6. Eksperimentalna hrana korišćena u istraživanju sa šaranom.....	35
4.7. Eksperimentalna hrana korišćena u istraživanju sa kalifornijskom pastrmkom	36
4.8. Dinamika hranjenja riba	36
4.9. Merenje abiotičkih parametara vode.....	37
4.10. Izračunavanje parametara prirasta riba i iskoristivosti hrane.....	37
4.11. Masnokiselinski sastav mesa	40
4.12. Senzorna analiza fileta kalifornijske pastrmke.....	41
4.12.1. Priprema uzoraka za senzornu analizu	41
4.12.2. Deskriptivna senzorna analiza.....	41

4.12.3. Metoda bodovanja	42
4.12.4. Ispitivanje prihvatljivosti hrane od strane potrošača.....	43
4.13. Određivanje aktivnosti antioksidativnih enzima	43
4.13.1. Određivanje koncentracije proteina	43
4.13.2. Određivanje aktivnosti enzima superoksid dismutaze (SOD).....	43
4.13.3. Određivanje aktivnosti enzima katalaze (CAT)	43
4.13.4. Određivanje aktivnosti enzima glutation peroksidaze (GPx)	44
4.13.5. Određivanje aktivnosti glutation-S-transferaze (GST).....	45
4.14. Statistička obrada i analiza podataka.....	46
5. REZULTATI I DISKUSIJA	47
5.1. Hemijska analiza brašna dobijenog od alternativnih izvora proteina korišćenih u istraživanjima	47
5.2. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana (<i>Cyprinus carpio</i> L., 1758) u tank sistemu	47
5.2.1. Hemijska analiza eksperimentalnih hrana korišćenih u istraživanjima na šaranu.....	47
5.2.2. Abiotički parametri kvaliteta vode u tank sistemu gajenja šarana	48
5.2.2.1. Temperatura vode	48
5.2.2.2. pH vrednost vode.....	49
5.2.2.3. Koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi.....	50
5.2.2.4. Zasićenost vode kiseonikom	51
5.2.2.5. Elektroprovodljivost vode	52
5.2.3. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu	53
5.2.4. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu	63
5.3. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana (<i>Cyprinus carpio</i> L., 1758) u kaveznom sistemu	65
5.3.1. Abiotički parametri vode u zemljanom objektu za kavezno gajenje šarana.....	65
5.3.2. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u kaveznom sistemu.....	66
5.3.3. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u kaveznom sistemu.....	75
5.4. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod kalifornijske pastrmke (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walb., 1792) u tank sistemu.....	76
5.4.1. Hemijska analiza alternativnih izvora proteina.....	78
5.4.2. Hemijska analiza eksperimentalnih hrana korišćenih u istraživanju na kalifornijskoj pastrmci ..	78
5.4.3. Abiotički parametri vode u tank sistemu gajenja kalifornijske pastrmke	78
5.4.3.1. Temperatura vode.....	79
5.4.3.2. pH vrednost vode.....	79
5.4.3.3. Koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi.....	80

5.4.3.4. Zasićenost vode kiseonikom.....	81
5.4.3.5. Elektroprovodljivost vode	82
5.4.4. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu	83
5.4.5. Profil masnih kiselina u filetu kalifornijske pastrmke	92
5.4.6. Deskriptivna senzorna analiza.....	95
5.4.7. Senzorna analiza.....	98
5.4.8. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu	100
6. ZAKLJUČAK.....	103
7. LITERATURA	106
8. PRILOG A	138
9. PRILOG B	141
10. PRILOG C	151
Biografija autora.....	163
Izjava o autorstvu.....	164
Izjava o istovetnosti štampe i elektronske verzije doktorskog rada	165
Izjava o korišćenju	166

1. UVOD

Rast potražnje za ribljim proteinima prati porast svetske populacije (Blanchard i sar., 2017), što ima direktan uticaj na razvoj akvakulture. Značajan deo ribe namenjen ljudskoj ishrani dobija se iz akvakulture (Liland i sar., 2021). Riblje meso se smatra izuzetno zdravom namirnicom, bogato je visoko nezasićenim masnim kiselinama (Valfré i sar., 2003), predstavlja značajan izvor proteina sa uravnoteženim profilom aminokiselina (Bell i Waagbø, 2008), zahvaljujući čemu ima brojne benefite za ljudsko zdravlje (Le i sar., 2009).

Proteini predstavljaju najskuplju, ali ujedno i najvažniju komponentu komercijalnih smeša za ishranu riba, jer igraju važnu ulogu u rastu i obnavljanju tkiva a mogu da predstavljaju i izvor energije (Tacon i Metian, 2008). Kada je reč o nutritivnim zahtevima riba, hrana treba sadržati visok udeo proteina, dok sami izvori proteina u hranivima treba da ispunjavaju niz kriterijuma: visok sadržaj proteina, uravnotežen odnos aminokiselina, odgovarajući ukus, visoku svarljivost i odsustvo antinutritivnih faktora (Lall i Tibbetts, 2009; Barrows i sar., 2008). Na primer, potrebe šarana (*Cyprinus carpio*) za proteinima kreću se između 30% i 38% (Đorđević i sar., 2009), dok jednogodišnja kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*) zahteva najmanje 35% proteina u svojoj hrani (Marković i Mitrović-Tutundžić, 2003).

Riblje brašno predstavlja tradicionalni izvor proteina u akvakulturi, a njegov značaj je direktno povezan sa rastom i razvojem ove industrije (De Lima i sar., 2021; Gasco i sar., 2018; Oliva-Teles, 2012). Nutritivna vrednost ove komponente ogleda se u visokom sadržaju proteina i masti, odsustvu antinutritivnih faktora, izuzetnoj svarljivosti, kao i prisustvu jedinjenja koje pozitivno utiču na zdravlje riba (D'Agaro i sar., 2022; Dawood, 2020; Tacon i Metian, 2013). Proizvodi se sušenjem i mlevenjem celih riba (uglavnom pelagičnih vrsta poreklom iz okeana) ili njihovih delova, dok nutritivna vrednost varira u zavisnosti od vrste ribe, lokaliteta i metode obrade. Svarljivost proteina u ribljem brašnu iznosi između 92% i 95% (Đorđević i sar., 2009). Prema pravilniku o kvalitetu hrane za životinje iz 2010. godine („Sl. Glasnik RS“, br. 4/2010) riblje brašno mora da sadrži najmanje 60% sirovih proteina (izuzetak je brašno dobijeno od severnoatlanske haringe koje može sadržati i više od 70% sirovih proteina), sadržaj sirove masti ne sme biti veći od 12%, dok sadržaj sirovog pepela ne sme biti veći od i 20% pepela. Industrija hrane za ribe iz porodice Salmonidae, poput lososa i pastrmke, spada u najveće potrošače ribljeg brašna i ribljeg ulja u akvakulturi (Jannathulla i sar., 2019; Tacon i Metian, 2008). Upotreba ribljeg brašna u ishrani gajenih vrsta riba omogućava zadovoljenje nutritivnih potreba u pogledu esencijalnih aminokiselina, masnih kiselina, minerala i vitamina, uz dodatni pozitivan efekat na opšte zdravstveno stanje riba (Gasco i sar., 2018; Henry i sar., 2015).

Klimatske promene izazvane globalnim zagrevanjem, uključujući porast temperature mora i okeana, zakišeljavanje okeana, smanjenje nivoa kiseonika i kontinuirani pritisak na divlje populacije riba, negativno utiču na preživljavanje, rast i reprodukciju riba koje se koriste kao sirovina za proizvodnju ribljeg brašna. Ovi faktori dovode do smanjene dostupnosti i povećanja potražnje i samim tim i tržišne cene ribljeg brašna kao komponente u proizvodnji hrane za ribu (Musyoka i sar., 2020; Jannathulla i sar., 2019; Makkar i sar., 2014). Kao odgovor na neodrživost proizvodnje ribljeg brašna, proizvođači hrane za životinje suočavaju se sa sve većim pritiskom da smanje njegov udeo u ishrani gajenih vrsta riba, dok se istraživačima otvara prilika da razviju i unapređuju alternativne izvore proteina, biljnog i životinjskog porekla (Olsen i Hassan, 2012). Nakon pojave spongioformne encefalopatije kod preživara, koštano brašno se više ne smatra bezbednim izvorom proteina za stočnu hranu (Woodgate i sar., 2022), što je dodatno podstaklo potragu za novim rešenjima. Alternativni izvori proteina koji se razmatraju uključuju biljne sirovine, beskičmenjake, mikroorganizme i nusproizvode ribarske industrije, a cilj je da oni budu jeftiniji, stalno dostupni i da nemaju negativan uticaj na zdravlje riba (Luthada-Raswiswi i sar., 2021; Sogari i sar., 2019; Langeland i sar., 2014; Watanabe, 2002; Burrells i sar., 1999). Međutim, biljni izvori proteina imaju određene nedostatke:

prisustvo antinutritivnih faktora, nizak sadržaj proteina, relativno visok sadržaj vlakana, složenih nesvarljivih ugljenih hidrata, kao i potrebu za dodatnim hemijskim, fizičkim ili biološkim tretmanima radi smanjenja negativnih efekata na ribe, a naročito kod predatorskih vrsta (Gaudioso i sar., 2021; Zhou i sar., 2017; Olsen i Hassan, 2012).

Nekonvencionalni izvori proteina, poput glista, sve više privlače pažnju istraživača zbog svojih nutritivnih karakteristika koje su slične ribljem brašnu i odgovaraju potrebama brojnih vrsta riba (Vodounnou i sar., 2016; Fadaee, 2012; Sogbesan i Ugwumba, 2008a). Kao primer, može se navesti kalifornijska glista (*Eisenia fetida*), poznata i kao „tigrasti crv“, čija se telesna masa kreće između 1,5 i 2 g (Fadaee, 2012). Jedna od najvažnijih osobina ovog organizma jeste sposobnost reciklaže organskog otpada, pri čemu se otpad pretvara u proteinsku komponentu, uz istovremenu uštedu energetskih resursa (Kostecka i Paczka, 2006). Zahvaljujući ovim karakteristikama, kalifornijska glista se sve češće razmatra kao održiva alternativa ribljem brašnu u hrani za gajene ribe.

Ideja o korišćenju insekata kao alternativnog i visokokvalitetnog izvora proteina u ishrani riba postaje sve prisutnija (Premalatha i sar., 2011). Insekti se sve češće razmatraju kao zamena za riblje brašno u industriji hrane za vrste iz akvakulture, zahvaljujući sadržaju proteina, lipida, zatim profilu masnih kiselina i aminokiselina, kao i prisustvu antimikrobnih peptida koji deluju protiv patogenih mikroorganizama, čime pozitivno utiču na zdravlje riba (Nogales-Mérida i sar., 2018; Henry i sar., 2015). Pored nutritivnih vrednosti, insekti kao gajene vrste imaju niz prednosti: zahtevaju minimalne resurse za uzgoj, imaju nisku emisiju gasova koji dovode do efekta staklene bašte, mogu da recikliraju organski otpad i pretvore ga u proteine visoke biološke vrednosti (Musyoka i sar., 2019; Van Huis i Oonincx, 2017; Park i sar., 2014; Wang i sar., 2011). Njihova upotreba u proizvodnji hrane za akvakulturu podržava principe cirkularne ekonomije, čineći ih održivim izborom za budućnost (Cappelozza i sar., 2019). Među najpoznatijim vrstama koristi se larva velikog brašnara (*Tenebrio molitor*), poznata i kao „brašnasti crv“, čija je prosečna masa oko 0,2 g i izgledom podseća na crva (Aguilar-Miranda i sar., 2001).

Zooplankton predstavlja obnovljiv i prirodan izvor hranljivih materija, uključujući sirove proteine, lipide, esencijalne aminokiseline i masne kiseline, što ga čini izuzetno značajnim kao prirodnom hranom u ishrani riba (Dulić i sar., 2011). Zooplankton karakteriše niski sadržaj ugljenih hidrata (3–4,79%) i oko 10% suve materije (Anton-Pardo i Adámek, 2015). Ovi organizmi pokazuju izraženu sezonalnost, sa periodima minimalne i maksimalne dinamike razvoja populacije. Tokom prolećnog maksimuma, moguće je organizovati izlov krupnijih jedinki roda *Daphnia*, koje se potom mogu sušiti i koristiti kao hrana za akvarijumske ribe (Marković, 2010). Pored odgovarajuće nutritivne vrednosti, organizmi zooplanktona imaju visoku stopu razmnožavanja i sposobnost da pod povoljnim uslovima dostignu značajnu biomasu, što dodatno doprinosi njihovoj primeni u akvakulturi. Zooplankton je sastavni deo prirodne ishrane svaštojednih vrsta riba, a zahvaljujući bogatstvu esencijalnih aminokiselina i masnih kiselina, sve više se razmatra njegova upotreba kao održiv izvor proteina u formulaciji komercijalne hrane za ribu (Abo-Taleb i sar., 2020a; Okunsebor, 2014).

Alternativni izvori proteina, zahvaljujući povoljnom aminokiselinskom sastavu i potencijalu da doprinesu održivoj proizvodnji, mogu predstavljati značajan resurs u proizvodnji riblje hrane. Pored spoljašnjih faktora kao što je hrana, važno je razumeti i unutrašnje procese koji obezbeđuju stabilnost ćelije. Kiseonik ima ključnu ulogu u pravilnom funkcionisanju ćelija. Međutim, pored svoje normalne fiziološke funkcije, može izazvati i neželjena oštećenja ćelija putem formiranja reaktivnih vrsta kiseonika (engl. reactive oxygen species - ROS). Ove vrste ROS se mogu neutralisati pomoću enzimskih i neenzimskih antioksidanasa (Chowdhury i Saikia, 2020). Među najpoznatijim ROS vrstama su superoksid anjon radikal ($O_2^{\cdot -}$), vodonik-peroksid (H_2O_2) i visoko reaktivni hidroksilni radikal (OH \cdot). Kada su prisutni u visokim koncentracijama mogu izazvati oksidativni stres u ćelijama, što dovodi do oštećenja proteina, lipida i nukleinskih kiselina (Livingstone, 2001).

Oksidativni stres nastaje kada se poremeti ravnoteža između visoke proizvodnje ROS i kapaciteta antioksidativne odbrane organizma (Caimi i sar., 2020). Tri glavna faktora doprinose njegovom razvoju: smanjena efikasnost antioksidativne zaštite, povećana proizvodnja oksidansa i nemogućnost popravke nastalih oštećenja (Das i sar., 2010).

Enzim SOD inicira antioksidativnu odbranu tako što konvertuje $O_2^{\cdot-}$ u H_2O_2 (Garcia-Medina i sar., 2009). Katalaza (CAT) zatim razlaže H_2O_2 na vodu i kiseonik, čime štiti ćelije od oksidativnog stresa i predstavlja jednu od primarnih komponenti antioksidativne zaštite (Atli i Canli, 2007). Enzimi SOD i CAT pokazuju visoku efikasnost u neutralizaciji ROS i predstavljaju prvu liniju antioksidativne zaštite (Sharma i sar., 2019).

Antioksidativni odbrambeni sistem kod riba iz porodica Salmonidae i Cyprinidae obuhvata enzimske komponente, uključujući superoksid dismutazu (SOD), katalazu (CAT), glutation peroksidazu (GPx) i glutation-S-transferazu (GST), kao i neenzimske (glutation, vitamin C, vitamin E, koenzim Q10). Ovaj sistem ima ključnu ulogu u neutralisanju reaktivnih kiseoničnih vrsta (ROS) i održavanju ćelijske homeostaze. Međutim, poremećaji u ishrani, kao što su prekomerna ili nedovoljna ishrana, kao i prisustvo oksidovanih lipida u hrani, mogu negativno uticati na efikasnost antioksidativnog sistema kod riba (Chen i sar., 2012; Robinson i sar., 1997). Aktivnosti antioksidativnih enzima smatra se pouzdanim bioindikatorom oksidativnog stresa i često se koriste za procenu uticaja različitih faktora životne sredine na organizme u vodenim ekosistemima (Ross i sar., 2001). Neadekvatna ishrana negativno utiče na rast i efikasnost konverzije hrane kod kalifornijske pastrmke (Bell i sar., 2003), predstavljajući značajan stresogeni faktor. S obzirom na neophodnost ekonomski održive proizvodnje u akvakulturi, ključno je detaljnije razumeti ćelijske odgovore na ovaj oblik stresa (Zengin, 2021). Jetra, kao centralni metabolički organ kod riba, ima vitalnu ulogu u detoksikaciji i regulaciji fizioloških procesa, te se biomarkeri hepatocita koriste kao indikatori opšteg zdravstvenog stanja, reflektujući uticaj različitih unutrašnjih i spoljašnjih faktora na fiziologiju riba (Sadekarpawar i Parikh, 2013). Pored toga, antioksidativni odbrambeni mehanizmi u jetri su izraženiji u poređenju sa drugim organima (Lushchak i sar., 2005).

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Akvakultura u svetu

Poslednjih nekoliko decenija dolazi do povećanja ukupne proizvodnje u ribarstvu, sa oko 19 miliona tona, koliko je proizvedeno 1950. godine do preko 185 miliona tona koliko je proizvedeno 2022. godine, što čini povećanje godišnje proizvodnje od približno 3,2%. Proizvodnja u ovoj grani beleži kontinuirani porast od 1950. godine, sa izuzetkom tokom 2019. i 2020. godine. Izlov divljih populacija riba je relativno stabilan od 1980. godine, pri čemu se izlov uglavnom kreće od 86 miliona do 94 miliona tona, dok je rekord zabeležen 2018. godine kada je izlov divljih populacija riba iznosio 96 miliona tona (FAO, 2024).

Međutim, sa druge strane proizvodnja u akvakulturi beleži značajan porast u istom periodu. Porast proizvodnje u akvakulturi je u proseku iznosio 6,1% u periodu od 2000. do 2010. godine, zatim u periodu od 2010. do 2020. god. dolazi do povećanja proizvodnje od 4,4%, dok u periodu od 2020. do 2023. beleži se porast proizvodnje od 3,7%. U periodu od 1950. do 1970. godine, udeo akvakulture u ukupnoj proizvodnji ribe je bio 4 do 5%, pri čemu krajem XX veka dolazi do intenziviranja proizvodnje i akvakultura čini 20% ukupne proizvodnje u ribarstvu, da bi njen udeo 2010-ih činio oko 44% ukupne proizvodnje. Akvakultura 2022. godine prvi put u istoriji nadmašuje proizvodnju iz divljeg ulova (FAO, 2024).

Ukupna proizvodnja u ribarstvu 2022. godine je bila 185 miliona tona, pri čemu je 94 miliona tona proizvedeno u akvakulturi (što čini 51% ukupne proizvodnje), dok je iz divljeg ulova došlo 91 miliona tona (što čini 49% ukupne proizvodnje). Kina je najveći proizvođač u ovoj grani poljoprivrede sa udelom od 36%, sledi Indija sa 8%, potom Indonezija sa 7% i Vijetnam 5%, dok Peru čini 3% svetske proizvodnje. Ovih pet zemalja zajedno čine oko 59% svetske proizvodnje akvatičnih organizama u 2022. godini. Ukupan broj vrsta koji se gaji u akvakulturi je varirao tokom godina sa velikim razlikama između regiona i država. Do kasnih 1970-ih godina riba je činila oko 90% celokupne proizvodnje, da bi se 2022. taj udeo smanjio na 75% (FAO, 2024).

Razlog smanjenog udela ribe je intenziviranje proizvodnje u akvakulturi, što dovodi do povećanja uzgoja rakova i mekušaca. Ribe iz porodice Ciprinidae, su bile najzastupljenije u akvakulturi 2022. godine sa udelom od 18% svih vrsta riba. Na nivou vrste, 2022. godine najviše je proizvedeno belog škampa (*Penaeus vannamei*) (6,8 miliona tona), zatim ostrige (*Crassostrea spp.*) (6,2 miliona tona), a potom i nilske tilapije (*Oreochromis niloticus*) (5,3 miliona tona) (FAO, 2024).

Proizvodnja algi 2022. godine je iznosila 38 miliona tona (u svežem obliku), od čega je 97% proizvedeno u akvakulturi, što čini povećanje od 4% u poređenju sa 2020. godinom, dok je 12 miliona tona algi proizvedeno 2000. godine. Azijske zemlje proizvode oko 97% ukupne količine algi, od čega Kina proizvodi oko 60%, dok se na drugom mestu nalazi Indonezija sa 25%. Pored algi, u akvakulturi i iz divljeg ulova proizvedeno je i oko 10 420 t sunđera, koralna, školjki i bisera (FAO, 2024).

Na globalnom nivou, akvakultura je zabeležila kontinuirani rast u periodu od 2020. do 2022. godine, bez značajnog uticaja pandemije COVID-19. Globalna akvakultura zabeležila je rekordnu proizvodnju od 130,9 miliona tona, što predstavlja povećanje od 8,1 miliona tona u odnosu na 2020. godinu, kada je proizvedeno 122,8 miliona tona. Procena vrednosti proizvodnje za 2022. iznosi 312,8 milijardi dolara, što je porast od 34,2 milijarde dolara u poređenju sa 2020. godinom kada je vrednost iznosila 278,5 milijardi dolara (FAO, 2024).

Proizvodnja u akvakulturi je u 2022. godini zabeležila porast od 6,7 miliona tona, što predstavlja povećanje od 7,6% u odnosu na 2020. godinu. Najveće povećanje proizvodnje ostvareno

je u Aziji, gde je proizvodnja povećana za 5,9 miliona tona, što čini 87,9% ukupnog rasta. Sa druge strane, ostali regioni su zabeležili značajno manja povećanja. Latinska Amerika i Karibi ostvarili su porast od 448 300 t, što odgovara 7,3%. Evropa je zabeležila povećanje od 232 100 t (3,5%), Afrika 50 500 t (0,8%), Severna Amerika 26 500 t (0,4%), dok su Australija i Okeanija zabeležili porast od 10 100 t (0,2%). Ovi podaci ukazuju na dominantnu ulogu Azije u globalnoj proizvodnji akvakulture (FAO, 2024).

Posmatrano po vrstama, najveći deo proizvodnje čini riba sa 3,9 miliona tona, što predstavlja 58,1% ukupne proizvodnje. Slede rakovi sa 1,6 miliona tona (24,6%), mekušci sa milion tona (15,6%), dok ostale vrste čine 121 800 t (1,8% ukupne proizvodnje). Ukupna svetska proizvodnja akvakulture u 2022. godini dostigla je 87,9 miliona tona, što predstavlja značajan porast u odnosu na 43 miliona tona iz 2000. godine. Ovo povećanje od 204% oslikava godišnju stopu rasta od 5,2%. U istom periodu, proizvodnja akvatičnih životinja beleži porast od 62 miliona tona, sa 32,4 miliona tona, što takođe predstavlja značajno povećanje od 191%, uz prosečnu godišnju stopu rasta od 5% (FAO, 2024).

Različiti regioni pokazuju velike razlike u obimu proizvodnje u akvakulturi, a unutar svakog regiona postoje značajne godišnje varijacije koje se menjaju iz godine u godinu. Ove varijacije mogu biti uzrokovane različitim faktorima, uključujući klimatske uslove, promene u tržišnim zahtevima, kao i različite pristupe u upravljanju resursima (FAO, 2024).

Afrički kontinent je jedini region koji je pretrpeo smanjenje proizvodnje u akvakulturi tokom 2020. godine, tj. prve godine pandemije COVID-19. Ovaj pad uglavnom je rezultat smanjenja proizvodnje u Egiptu i Nigeriji, koji su dva najveća proizvođača u akvakulturi na ovom kontinentu. U 2022. godini, proizvodnja u akvakulturi u Africi iznosila je skoro 2,3 miliona tona, što predstavlja povećanje od oko 50 500 t (2,25%) u poređenju sa 2020. godinom. Međutim, egipatska akvakultura zabeležila je smanjenje od 2,2% (približno 39 500 t) u poređenju sa proizvodnjom iz 2020. godine, kada je iznosila 1,6 miliona tona ribe. Nigerija je takođe doživela pad proizvodnje, koji je bio na nižem nivou u 2020. godini. Dvocifreni procenat smanjenja proizvodnje primećen je u Malaviju (koji nema izlaz na more) sa -23,9%, Ugandi sa -18,55% i Zimbabveu sa dramatičnih -60,7%. Tunis, kao važan proizvođač morske ribe, takođe beleži pad proizvodnje u 2022. godini u poređenju sa 2020. godinom, i to za -11,6% (FAO, 2024).

Latinska Amerika i Karibi ostvarili su proizvodnju u akvakulturi od 4,3 miliona tona u 2022. godini, što predstavlja povećanje od 448 300 t (12,8%) u odnosu na 3,8 miliona tona proizvedenih 2020. godine. Ovo povećanje je u velikoj meri uslovljeno značajnim rastom u Ekvadoru, koji je doprineo sa 348 400 t (71,4%), zatim Brazilom sa 108 000 t (22,1%), Kolumbijom sa 25 600 t (5,2%), Čileom sa 22 700 t (4,6%), zatim Bolivijom i Republikom Venecuelom sa 12 600 t (2,6%). Čile je i dalje najveći proizvođač ribe u Latinskoj Americi, iako je njegova proizvodnja povećana za samo 1,5%. S druge strane, značajno povećanje proizvodnje u akvakulturi evidentirano je u Meksiku, gde je ostvareno povećanje od 59 000 t (16,9%), kao i na Kubi, koja je zabeležila porast od 10 500 t (40,66%) u poređenju sa 2020. godinom. Peruanska akvakultura doživela je rast u 2021. godini, ali je zatim proizvodnja u 2022. godini pala za 2% u poređenju sa 2020. godinom (FAO, 2024).

Severna Amerika zabeležila je proizvodnju akvakulture od 644 500 t u 2022. godini, što predstavlja povećanje od 4,3% u poređenju sa 2020. godinom, kada je proizvodnja iznosila 618 000 t. Sjedinjene Američke Države su značajno doprinele ovom rastu, ostvarivši povećanje proizvodnje od 6,7% u 2022. godini, sa ukupno proizvedenih 478 100 t. S druge strane, Kanada je ostvarila smanjenu proizvodnju od 2% u istom periodu. Ovi prinosi su bili ispod rekordne proizvodnje u Sjedinjenim Američkim Državama iz 2004. godine, kada je proizvedeno 607 600 t, kao i ispod rekordne proizvodnje Kanade iz 2016. godine, koja je iznosila 200 800 t (FAO, 2024).

Azija je 2022. godine proizvela ukupno 83,4 miliona tona akvatičnih životinja, što predstavlja povećanje od 5,9 miliona tona (7,6%) u poređenju sa 2020. godinom, kada je proizvodnja iznosila 77,5 miliona tona. Kina je vodeći proizvođač u akvakulturi u Aziji, sa udelom od 63,4% u celokupnoj azijskoj akvakulturi. U 2022. godini, proizvodnja u Kini povećana je za 3,3 miliona tona u odnosu na 2020. godinu. Indija se nalazi na drugom mestu, ostvarivši proizvodnju od 10,2 miliona tona u 2022. godini, što je povećanje od 8,6 miliona tona u poređenju sa 2020. godinom, čime se učvrstila kao drugi najveći proizvođač akvakulture na kontinentu. Ostali značajni proizvođači u azijskoj akvakulturi uključuju Vijetnam, Bangladeš i Indoneziju, koji zajedno doprinose sa 14,1% ukupne proizvodnje, odnosno 826 400 t. Međutim, Tajland je zabeležio smanjenje proizvodnje od 5,8% (49 900 t) u 2022. godini u poređenju sa 2020. godinom, dok su Filipini takođe doživeli smanjenje od 1% (10 400 t) u istom periodu. Od ostalih azijskih proizvođača, Turska je ostvarila najveću proizvodnju u zapadnoj Aziji, dok su Uzbekistan i Kirgistan bili glavni proizvođači u centralnoj Aziji (FAO, 2024).

Evropa je 2022. godine proizvela 3,5 miliona tona akvatičnih životinja, što predstavlja porast od 7,1% ili 232 100 t u poređenju sa 2020. godinom, kada je proizvodnja iznosila 3,3 miliona tona. Većina ovog povećanja dolazi iz Norveške, koja je zabeležila rast od 158 200 t, što čini 68,1% ukupnog povećanja u proizvodnji. Sledeća po značaju je Ruska Federacija, sa doprinosom od 49 200 t, što predstavlja 21,2% ukupnog porasta. Ostale zemlje koje su doprinele rast su Farska Ostrva, Island, Grčka, Francuska, Italija i Irska, koje su zajedno proizvele dodatnih 68 200 t, što čini 29,4% ukupne evropske proizvodnje. Međutim, u istom periodu došlo je do smanjenja proizvodnje u 17 evropskih država, uključujući Veliku Britaniju, Severnu Irsku, Nemačku, Bugarsku, Dansku i Ukrajinu, koje su zajedno zabeležile pad od 47 800 t (FAO, 2024).

Okeanija je u 2022. godini ostvarila ukupnu proizvodnju od 235 200 t akvatičnih životinja, što predstavlja porast od 10 100 t ili 4,5% u odnosu na 2020. godinu, kada je proizvodnja iznosila 225 100 t. U Australiji je zabeležen značajan rast proizvodnje, koji iznosi 22%. Nasuprot tome, Novi Zeland je doživeo smanjenje proizvodnje od 10,5% (FAO, 2024).

2.2. Akvakultura u Republici Srbiji

U Republici Srbiji, termin akvakultura se najčešće odnosi na gajenje riba, dok gajenje ostalih vrsta vodenih organizama, kao što su školjke, alge i rakovi izostaje (Marković i Mitrović-Tutundžić, 2003). Ovakva situacija se može pripisati nedostatku infrastrukture za njihov uzgoj, slabije tržišne potražnje, kao i nedovoljnoj informisanosti proizvođača.

Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku Srbije (**Tabela 1**) tokom poslednje decenije, broj zaposlenih na ribnjacima u Republici Srbiji, beleži značajne oscilacije, odražavajući promene u organizaciji proizvodnje u akvakulturi kao i promene u potražnji proizvoda dobijenih iz akvakulture. U periodu od 2014. do 2024. godine najveći broj zaposlenih na ribnjacima evidentiran je 2015. kada je u ovom sektoru ukupno radilo 910 radnika. Nakon 2015. beleži se smanjenje broja zaposlenih lica, da bi 2021. došlo do blagog povećanja broja zaposlenih ljudi na ribnjacima kada je evidentirano 839 radnika. Najmanji broj zaposlenih u ovom sektoru je zabeležen 2024. god. koji je iznosio 675 radnika što predstavlja smanjenje od približno 26% u poređenju sa 2015. godinom.

Tabela 1. Struktura zaposlenih, površina ribnjaka, proizvodnja mlađi i konzumne ribe¹ na ribnjacima u Republici Srbiji

	Jedinica mere	2014 ²	2015 ³	2016 ⁴	2017 ⁵	2018 ⁶	2019 ⁷	2020 ⁸	2021 ⁹	2022 ⁹	2023 ⁹	2024 ¹⁰
Zaposleni na ribnjacima	broj	837	910	900	730	765	748	765	839	722	738	675
Šaranski ribnjaci												
Površina u eksploataciji	ha	8724	8003	7684	7117	6492	6192	6483	6299	5579	5975	6179
Proizvodnja mlađi	t	489	349	297	470	538	596	238	286	408	210	182
Proizvodnja konzumne ribe	t	6432	6438	6081	4148	5420	4728	4761	5745	4040	3821	4181
Od toga:												
Šaran (<i>Cyprinus carpio</i>)	t	5525	5598	5648	3761	4775	4180	4317	5248	3752	3595	3993
Som (<i>Silurus glanis</i>)¹⁰	t	21	34	26	17	18	16	18	29	14	26	13
Tolstolobik (<i>Hypophthalmichthys spp.</i>)¹⁰	t	533	561	213	221	478	377	250	244	166	149	126
Beli amur (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)¹⁰	t	123	112	83	62	103	97	141	157	89	26	24
Pastrmski ribnjaci												
Površina u eksploataciji	m ²	49583	65526	54744	62281	81411	78674	68092	59284	60135	69299	63744
Proizvodnja mlađi	t	5	3	6	57	22	22	23	7	3	8	23
Proizvodnja konzumne ribe	t	736	949	797	922	1919	2079	1249	1563	1736	1985	1790
Od toga:												
Kalifornijska pastrmka (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	t	734	947	793	918	1876	2071	1247	1556	1733	1984	1789

¹ U skladu sa uredbom (E3) broj 762/2008 (Regulation (EC) No 762/2008 of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 on the submission by Member States of statistics on aquaculture and repealing Council Regulation (EC) No 788/96. OJ L 218, 13.8.2008, pp. 1-13), pod "proizvodnjom" podrazumeva se količina proizvedene konzumne ribe koja je poslata na tržište (prodana) u toku izveštajne godine, kao i proizvedena mlađ za prodaju.

² Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2017*, Beograd, 2017, str. 252.

³ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2018*, Beograd, 2018, str. 218.

⁴ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2019*, Beograd, 2019, str. 214.

⁵ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2020*, Beograd, 2020, str. 224.

⁶ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2021*, Beograd, 2021, str. 228.

⁷ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2022*, Beograd, 2022, str. 232.

⁸ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2023*, Beograd, 2023, str. 224.

⁹ Republički zavod za statistiku, *Statistički godišnjak Republike Srbije 2024*, Beograd, 2024, str. 228.

¹⁰ Prema podacima dobijenim putem lične komunikacije sa predstavnikom Republičkog zavoda za statistiku (26. jun 2025.).

Ukupna površina šaranskih ribnjaka u našoj zemlji, u eksploataciji, prikazana je u **Tabeli 1**. Na osnovu navedene tabele, može se videti da je 2014. god. ukupna površina ribnjaka korišćena za proizvodnju negde oko 8724 ha. Zatim, narednih pet godina beleži se kontinuirano smanjenje površine koja se koristi za proizvodnju toplovodnih vrsta riba, tako je 2019. godine površina pod šaranskim ribnjacima iznosila oko 6192 ha, što je smanjenje od 29,2% u poređenju sa 2014. godinom. U odnosu na 2019. godinu već naredne godine dolazi do povećanja površine šaranskih ribnjaka za 4,7%, tako da je 2020. ova površina iznosila 6483 ha. Ukupna površina šaranskih ribnjaka, u eksploataciji, u našoj zemlji 2021. godine je bila 6299 ha, zatim naredne godine površina šaranskih ribnjaka se smanjila na 5579 ha, da bi 2023. godine došlo do povećanja površine na 5975 ha u poređenju sa 2022. godinom, ali manje nego 2021. godine. Tokom 2024. godine u eksploataciji je bilo 6179 ha šaranskih ribnjaka, što je za 3,4% veća površina u poređenju sa prethodnom godinom. Posmatrano za period od 2014. do 2024. godine zabeležene su značajne promene u površinama pod šaranskim ribnjacima, s tim da je 2024. godine u poređenju sa 2014. evidentirano smanjenje od 29,17%.

Proizvodnja na šaranskim ribnjacima obuhvata proizvodnju mlađi i proizvodnju konzumne ribe. U Srbiji je 2014. proizvedeno 489 t mlađi, zatim naredne dve godine proizvodnja se smanjila na 297 t koliko je proizvedeno 2016. godine što je za 39,26% manja proizvodnja u poređenju sa 2014. godinom. Nakon 2016. godine dolazi do povećanja proizvodnje pa je 2017. godine proizvedeno 470 t što je za 58,25% veća proizvodnja u poređenju sa prethodnom godinom. Godine 2018. je proizvedeno 538 t ili 14,47% više u odnosu na 2017. godinu. Najveća proizvodnja je ostvarena 2019. kada je proizvedeno 596 t mlađi što je povećanje od 10,78% u poređenju sa 2018. godinom. U 2020. godini je ostvarena za 60,02% (238 t) manja proizvodnja u poređenju sa 2019. godinom, dok je 2021. godine proizvedeno za 52,01% manje mlađi u poređenju sa istom godinom. Najveća količina proizvedene mlađi na šaranskim ribnjacima u periodu od 2021. do 2024. godine je ostvarena 2022. godine i iznosila je 408 t, što je povećanje od nekih 42% u poređenju sa 2021. godinom kada je proizvodnja iznosila oko 286 t. Najmanje riblje mlađi je proizvedeno 2024. godine, i to 182 t to što je smanjenje od čak 69,46% u poređenju sa 2019. godinom kada je ostvarena najveća proizvodnja.

Proizvodnja konzumne ribe na šaranskim ribnjacima u Srbiji, pored šarana (*Cyprinus carpio*), obuhvata i druge toplovodne vrste riba kao što su som (*Silurus glanis*), tolstolobik (*Hypophthalmichthys spp.*) i beli amur (*Ctenopharyngodon idella*). Udeo navedenih vrsta riba u ukupnoj proizvodnji prikazan je u **Tabeli 1**. Prema podacima u tabeli, može se videti da je 2014. godine ukupno proizvedeno 6432 t konzumne ribe. Najveći udeo u ukupnoj količini proizvedene ribe ima šaran (oko 86% ili proizvedenih 5525 t), posle šarana sledi tolstolobik (8,29% ili proizvedenih 533 t), zatim beli amur (1,91% ili 123 t), dok je udeo soma najmanji sa svega 0,33% (21 t) u ukupnoj proizvodnji. Naredne godine količina proizvedene konzumne ribe je bila na sličnom nivou. Tako je, 2015. god. proizvedeno ukupno 6438 t konzumne ribe, a najviše je proizvedeno šarana 5598 t (sa udelom od skoro 87%), slede tolstolobik (8,71% ili 561 t) i beli amur (1,74% ili 112 t) i najmanje je proizvedeno konzumnog soma (0,53% ili 34 t). Količina proizvedenog soma je u 2015. godini povećana za 61,9%, zatim tolstolobika za 5,25%, dok je za 8,94% manje proizvedeno belog amura u poređenju sa 2014. godinom. U periodu od 2015. do 2017. god. dolazi do pada ukupne proizvodnje konzumne ribe. Tako je 2016. proizvedeno 6081 t ribe, što predstavlja smanjenje od 5,55% u poređenju sa 2015, da bi se 2017. proizvodnja smanjila za 31,78% u odnosu na 2016. godinu. Količina proizvedenog šarana 2017. je bila 3761 t što čini udeo od 90,68% u ukupnoj proizvodnji konzumne ribe. Godine 2018. dolazi do povećanja proizvodnje konzumne ribe za 30,66% u odnosu na prethodnu godinu. Ako se okrenemo udelu pojedinih vrsta proizvedenih 2018. godine (**Tabela 1**), najviše je proizvedeno šarana (4775 t ili 88,08% od ukupne količine konzumne ribe), zatim slede tolstolobik (478 t ili udeo od 8,82%) i beli amur (103 t ili udeo od 1,9%), dok je proizvedeno 18 t konzumnog soma. 2019. i 2020. evidentirana je smanjena proizvodnja ribe u poređenju sa 2018. godinom. Tako je, 4728 t ribe proizvedeno 2019. odnosno 4761 t je proizvedeno 2020. godine. Međutim, 2021. godine proizvodnja se povećala za 20,66% (5745 t ribe) u odnosu na 2020. godinu. Kao i prethodnih

godina, najviše je proizvedeno šarana 5248 t što čini 91,35% proizvodnje. Slede tolstolobik (244 t) i beli amur (157 t), dok je najmanje proizvedeno soma (29 t). 2022. je proizvedeno 4040 t konzumne ribe, što čini smanjenje od 29,67%. Najmanje konzumne ribe u periodu od 2014. do 2024. godine je proizvedeno 2023. godine kada je proizvodnja iznosila 3821 t. Najviše je proizvedeno konzumnog šarana 3595 t (94,08%). Godine 2024. beleži se povećanje proizvodnje za 9,42% (4181 t). Najmanji udeo u celokupnoj proizvodnji imao je som (13 t ili 0,31%), nešto više je proizveden beli amur (24 t ili 0,57%), zatim je proizvedeno 126 t tolstolobika (3,01%), dok je najviše proizvedeno konzumnog šarana (3993 t ili 95,5%).

U Srbiji se šaranski ribnjaci uglavnom nalaze severno od Dunava i Save, a najčešće se koristi poluintenzivni sistem uzgoja u zemljanim objektima, čija površina varira po veličini od nekoliko ari do više od 1 000 hektara (Marković i sar., 2009). Pastrmski ili hladnovodni ribnjaci se nalaze južno od Dunava i Save, karakteristično za njih jeste da su u potpunosti konstruisani od betona i zastupljen je intenzivni sistem gajenja riba.

U **Tabeli 1.** prikazana je ukupna površina pastrmskih ribnjaka koji su bili u eksploataciji tokom perioda od 2014. do 2024. godine. Prema podacima iz tabele, površina ovih ribnjaka 2014. je bila 49583 m², da bi se već 2015. godine povećala na 65526 m². Zatim, sledeće dve godine dolazi do oscilacija ukupnih površina, da bi najveća površina pastrmskih ribnjaka u eksploataciji u poslednjih deset godina evidentirana 2018. godine kada je iznosila 81411 m². Potom, 2019. god. površina je bila 78674 m², da bi u periodu od 2020. do 2023. godine zabeležene značajne promene u površini pastrmskih ribnjaka. Takođe, 2024. u eksploataciji je korišćeno 63744 m² pastrmskih ribnjaka, ako se ova površina uporedi sa površinom ribnjaka iz 2018. godine može se zaključiti da je došlo do smanjenja uzgojnih površina za 21,7%.

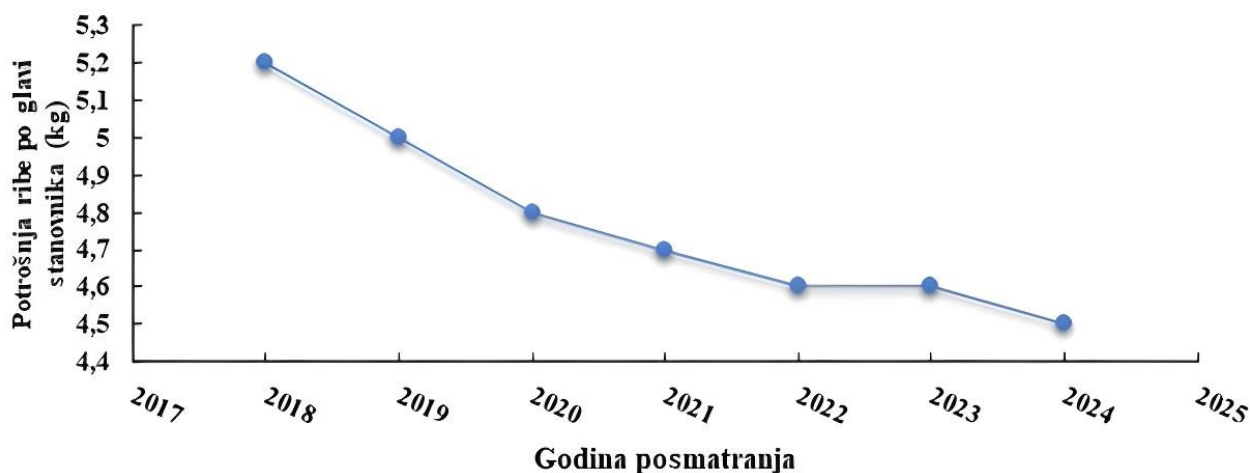
Proizvodnja na pastrmskim ribnjacima, kao i na šaranskim, obuhvata proizvodnju mlađi i proizvodnju konzumne ribe. 2014. godine je proizvedeno svega 5 t mlađi na pastrmskim ribnjacima, da bi 2017. bilo proizvedeno 57 t što čini ukupno povećanje od čak 1040% u poređenju sa 2014. godinom. U periodu do 2018. do 2020. god. dolazi do smanjenja proizvodnje za oko 62% u poređenju sa 2017. godinom. Od 2021. do 2023. proizvodnja se dodatno smanjila, tako je 2021. proizvedeno 7 t, zatim 2022. je proizvedeno svega 3 t, dok je 2023. proizvedeno 8 t mlađi. Zatim, se proizvodnja mlađi 2024. povećala za 187,5% u poređenju sa 2023. i ukupno je proizvedeno 23 t.

Kalifornijska pastrmka, odmah uz šarana, predstavlja drugu najvažniju komercijalnu vrstu ribe u Srbiji, zauzimajući najveći udeo u ukupnoj proizvodnji konzumne ribe na pastrmskim ribnjacima. Tako je 2014. proizvedeno 734 t kalifornijske pastrmke, što čini udeo od 99,73% ukupne proizvodnje konzumne ribe. Zatim je u periodu od 2015. do 2017. dolazilo do značajnih varijacija u proizvodnji konzumne ribe pri čemu je u ovom periodu kalifornijska pastrmka u proseku imala udeo od 99,62% proizvedene ribe. 2018. godine proizvodnja na pastrmskim ribnjacima se značajno povećala u odnosu na prethodni period, kada je ukupno proizvedeno 1919 t konzumne ribe, pri čemu je kalifornijske pastrmke proizvedeno 1876 t ili 97,76%. U periodu od 2014. do 2024. godine najviše konzumne ribe je proizvedeno 2019. godine ili 2079 t od čega je 99,62% kalifornijska pastrmka ili 2071 t. Potom, 2020. godine proizvodnja se smanjila za oko 40% u poređenju sa 2019. kada je proizvedena rekordna količina konzuma.

U periodu od 2021. do 2024. godine, najmanje ribe je proizvedeno na pastrmskim ribnjacima 2021. godine sa ukupno 1563 t ribe namenjene za konzum, od čega je kalifornijska pastrmka činila 1556 t ili 99,5% ukupne proizvodnje. U narednim godinama se beleži stalni porast proizvodnje na pastrmskim ribnjacima, pri čemu je 2022. god. ukupno proizvedeno 1736 t ribe od čega je 99,8% ili 1733 t činila kalifornijska pastrmka. Ukupna proizvodnja ribe je 2022. povećana za 11% u odnosu na 2021. godinu. Takođe, 2023. godine je proizvedeno 1985 t što je povećanje od nekih 14% konzumne ribe u poređenju sa 2022. godinom. Količina proizvedene kalifornijske pastrmke je 1984 t što čini

99,95% ukupne proizvodnje konzumne ribe. Ponovni pad proizvodnje je zabeležen 2024. god. kada je proizvedeno 1790 t ribe, što predstavlja pad za 9,82% u poređenju sa prethodnom godinom. Udeo kalifornijeste pastrmke 2024. u ukupnoj proizvodnji je 99,94% ili proizvedenih 1789 t ribe namenjene konzumu.

Ribarstvo u Srbiji ima značajan, ali nedovoljno iskorišćen potencijal. Površine koje bi se mogle iskoristiti za šaranske ribnjake bi se mogle povećati više od 10 puta, dok bi ribnjaci za proizvodnju pastrmke mogli povećati svoju površinu tri do pet puta (Marković i sar., 2009). Značajne površine neplodnog zemljišta koje nije pogodno za ratarsku proizvodnju nalaze se u Vojvodini, a samo u Banatu se nalazi oko 100 000 ha ovakvog zemljišta. Ove površine bi se mogle iskoristiti za izgradnju novih objekata za poluintenzivni uzgoj ribe, zatim obnovu i modernizacija postojećih ribnjaka, kao i korišćenje vodenih akumulacija i termalnih izvora. Ovim postupkom bi se otvorio prostor za povećanje postojeće proizvodnje, a mogle bi se uzgajati i riblje vrste koje nisu karakteristične za Srbiju, poput afričkog soma, tilapije i jegulje (Ćirković i sar., 2002).



Grafikon 1. Potrošnja ribljeg mesa po glavi stanovnika u Srbiji (prikazana u kg) posmatrano u periodu od 2018. do 2024. godine (RZS, 2024)

Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku (**Grafikon 1**), potrošnja ribljeg mesa u Srbiji beleži stalni pad sa 5,2 kg (2018. godine) na 4,5 kg (2024. godine) (RZS, 2024). Šaran je jedna od dve komercijalno najznačajnije vrste riba u Srbiji koji čini od 85 do 92% ukupne proizvodnje u šaranskim ribnjacima. Najčešće se gaji u zemljanim objektima u poluintenzivnom sistemu koji se zasniva na kombinaciji prirodne hrane prisutne u vodenom ekosistemu i dodate peletirane i ekstrudirane hrane. Druga komercijalno najznačajnija vrsta ribe za našu zemlju je kalifornijska pastrmka koja čini od 97,8 do 99,9% ukupno proizvedene konzumne ribe u pastrmskim ribnjacima. Gaji se u intenzivnom sistemu, gde se za hranjenje riba koristi komercijalna hrana.

2.3. Tehnologije proizvodnje u akvakulturi šarana

Akvakultura šarana u zavisnosti od intenziteta proizvodnje se može realizovati kroz tri osnovna sistema gajenja i to: poluintenzivni, intenzivni i ekstenzivni sistem. U odnosu na broj uzgajanih vrsta riba u objektu, proizvodnja se može organizovati kao monokultura ili polikultura, dok postoje još tank, kavezni i integrisani sistem gajenja.

Poluintenzivni sistem je najzastupljeniji oblik gajenja šarana širom sveta (Marković, 2010; Tacon, 1993), a naročito u Srbiji (Ćirković i sar., 2015). Ovaj sistem uzgoja ribe je prisutan u zemljama istočne i centralne Evrope (Srbija, Češka, Poljska, Mađarska, Nemačka) kao i u dalekoistočnim državama poput Kine i Japana, gde je šaran vodeća toplovdna vrsta ribe (Rahman i sar., 2008).

Specifičnost ovog sistema ogleda se u izgradnji objekata na zemljištu slabijeg kvaliteta, pri čemu je visina vodenog stuba od 80 do 200 cm. Površina takvih objekata najčešće je nekoliko desetina (nekada i stotina) hektara. Prilikom izgradnje neophodno je obezbediti mogućnost potpunog pražnjenja objekta u svakom trenutku. Ovo se postiže tako što dno ribnjaka ima nagib ka izlovnoj jami, čime se olakšava ispuštanje vode i primena agrotehničkih mera (Marković, 2010; Ćirković i sar., 2002).

Poluintenzivni način uzgoja šarana temelji se na korišćenju prirodne hrane kao glavnog izvora proteina, dok dodatna hrana, naročito ukoliko se koriste žitarice, predstavlja energetski deo obroka. Produktivnost sistema u velikoj meri zavisi od stepena razvijenosti prirodne hrane, kao i od količine ali i vrste dodatne hrane. Radi povećanja produkcije prirodne hrane, sprovode se različite agrotehničke mere kao što su isušivanje, tanjiranje i đubrenje ribnjačkog objekta (Marković, 2010).

U Srbiji su prisutna dva oblika poluintenzivnog sistema uzgoja šarana. Prvi, tradicionalni, podrazumeva korišćenje prirodne hrane uz dodatak žitarica. Drugi, savremeniji pristup, podrazumeva dodatak komercijalne hrane, najčešće peletirane ili ekstrudirane, kako bi se povećala proizvodnja ribe (Ljubojević i sar., 2013). Ovaj način uzgoja predstavlja poluintenzivno-intenzivni sistem, koji obezbeđuje veću proizvodnju, ali i značajno veće troškove proizvodnje, pre svega zbog cene hrane sa visokim sadržajem proteina i povoljnim aminokiselinskim sastavom neophodnim da bi se zadovoljile nutritivne potrebe riba (Ćirković i sar., 2015).

U poluintenzivnom sistemu uzgoja šarana, korišćenje žitarica u kombinaciji sa prirodnom hranom omogućava prinose od nekoliko stotina kilograma, pa do oko 1500 kg/ha, što zavisi od količine i kvaliteta korišćenih žitarica, ribe koja se gaji i od razvijenosti prirodne hrane. Korišćenjem koncentrovane hrane (peletirane ili ekstrudirane) u ishrani šarana u kombinaciji sa prirodnom hranom, prinosi se kreću od oko 1200 kg/ha, pri čemu mogu premašiti i 3000 kg/ha. Efikasnost ovakvog načina uzgoja zavisi od nutritivnih karakteristika korišćene komercijalne hrane, stepena razvijenosti prirodne hrane i kvaliteta vode (Marković, 2010).

Intenzivni sistem gajenja šarana odlikuje se visokom gustinom nasada riba na ograničenom prostoru, pri čemu se ishrana zasniva skoro isključivo na dodatnoj, komercijalnoj hrani, uz manju konzumaciju prirodne hrane (uglavnom u početnom periodu gajenja). Ovaj pristup je zastupljen u gotovo svim zemljama koje se bave proizvodnjom šarana, a najviše je razvijen u Japanu i Izraelu (Yu i sar., 2008). Proizvodni kapacitet ovog sistema u direktnoj je korelaciji sa protokom vode i količinom rastvorenog kiseonika u vodi, koji imaju ključnu ulogu u očuvanju kvaliteta sredine i zdravlja riba (Ćirković i sar., 2015). U takvim uslovima, pored obavezne upotrebe dodatne hrane, neophodno je obezbediti adekvatnu aeraciju ili kontinuirano snabdevanje svežom vodom kako bi se nivo rastvorenog kiseonika održao u optimalnim granicama. U zavisnosti od tipa aeracije, kvaliteta mladi, kao i parametara kvaliteta vode i komercijalne hrane, proizvodnja u zemljanim objektima može dostići i preko 10 t/ha (Marković, 2010).

Zbog velike gustine ribe, u zemljanim objektima se ne može osloniti previše na prirodnu hranu, tako da se ishrana zasniva najvećim delom na dodatnoj, koncentrovanoj hrani. Intenzivan uzgoj se može još realizovati i u betonskim bazenima, kaveznim sistemima i rezervoarima (tankovima) od različitih materijala. Betonski bazeni su projektovani tako da omogućavaju jednostavno punjenje i pražnjenje odnosno brzu izmenu vode. Zahvaljujući čestim izmenama vode, riba se konstantno nalazi u svežoj vodi visokog kvaliteta, što stvara optimalne uslove za zdrav rast i razvoj. Takvo okruženje omogućava gajenje ribe u većoj gustini, na manjem prostoru (Marković, 2010).

U okviru intenzivnog sistema, posebno mesto zauzima silosni sistem, koji predstavlja najintenzivniji oblik proizvodnje ribe. U ovom sistemu voda ima funkciju prirodne životne sredine i

u stalnoj je recirkulaciji, dok se kiseonik obezbeđuje izvan objekta (Ćirković i sar., 2015). Ovaj sistem gajenja mora biti pod kontrolom službe za ekologiju i zaštitu životne sredine jer može doći do eutrofikacije otvorenih voda (Ćirković i sar., 2002). Gajenje šarana u kaveznim sistemima se najčešće sprovodi tokom toplijeg dela godine, u periodu od aprila do oktobra, kada su temperaturni uslovi optimalni za rast i ishranu ove vrste riba. Ipak, uz povoljne temperaturne parametre, gajenje se može obavljati i tokom zimskog perioda, pod uslovom da temperatura vode ne padne ispod nivoa pri kojem šaran prestaje da uzima hranu (Marković, 2010).

Ekstenzivni sistem uzgoja šarana oslanja se isključivo na prirodnu hranu, dostupnu u zemljanom objektu za uzgoj ribe. Prinosi u ovom sistemu obično ne prelaze nekoliko stotina kilograma po hektaru i direktno zavise od prirodnog potencijala samog ribnjaka. Ovakav način gajenja ne zahteva velika finansijska ulaganja (Ćirković i sar., 2015; Marković, 2010).

Monokultura podrazumeva gajenje isključivo jedne vrste ribe, što je najčešće slučaj u poluintenzivnim i intenzivnim sistemima. **Polikultura**, sa druge strane, podrazumeva uzgoj više različitih vrsta riba u okviru istog objekta. Ovaj način gajenja se primenjuje prvenstveno u ekstenzivnim i poluintenzivnim sistemima. Ključna prednost polikulture je efikasnija iskorišćenost dostupne prirodne hrane i prostora, čime se doprinosi održivosti i produktivnosti ribnjaka (Rahman i sar., 2007).

Integrirani sistem uzgoja podrazumeva kombinovano gajenje riba sa ratarskom ili stočarskom proizvodnjom. Životinje se obično nalaze u neposrednoj blizini ribnjaka, što omogućava da nepojedena hrana i organski otpad dospeju u vodu, obogaćujući je hranljivim materijama. Na manjim ribnjacima, integrirano gajenje se najčešće praktikuje kod šarana, u kombinaciji sa ovcama ili plovušama. Međutim, ovakav način gajenja se na našim prostorima realizuje pretežno kao hobi, a ne kao komercijalna proizvodnja (Stanković, 2013).

2.3.1. Šaran (*Cyprinus carpio*) kao ekonomski značajna vrsta

Šaran (*Cyprinus carpio* L., 1758) (**Slika 1**) je jedna od najrasprostranjenijih vrsta riba na svetu (Dong i sar., 2015). Sa dugom tradicijom gajenja, danas se ubraja među najvažnije riblje vrste u globalnoj akvakulturi i veoma je popularan kao akvarijumska i vrsta ribe koja se gaji u vodenim baštama, sa velikim brojem sojeva koji su rasprostranjeni širom sveta (Zhou i sar., 2004). Autohtoni areal ove slatkovodne ribe su jezera, bare i reke Centralne Azije i Evrope. Veoma je prilagodljiva vrsta i zbog te njene sposobnosti može se naći daleko izvan svog prirodnog staništa, opstajući u različitim vodenim ekosistemima širom sveta (Farag i sar., 2014; Britton i sar., 2007; Sivakumaran i sar., 2003). Međutim, širenje ove riblje vrste širom sveta, dovelo je do ozbiljnih ekoloških problema. Šaran se često smatra invazivnom vrstom koja povećava zamućenost vode (Lougheed i sar., 1998), narušava stanište čime negativno utiče na autohtone vrste riba (Perrow i sar., 1999) i uništava vodenu vegetaciju (Miller i Crowl, 2005; Zambrano i sar., 2001). Zbog tih osobina, šaran se nalazi na listi 100 najštetnijih invazivnih alohtonih vrsta riba na svetu (Kottelat i Freyhof, 2007). Međutim, bez obzira na prethodnu činjenicu, šaran predstavlja jednu od komercijalno najznačajnijih ribljih vrsta u svetskoj akvakulturi (Bakos i Gorda, 2001).

Cyprinus carpio pripada porodici Cyprinidae koja obuhvata veliki broj slatkovodnih ribljih vrsta (Marković, 2010; Nelson i sar., 1994). Ova vrsta prirodno naseljava vodene ekosisteme sa muljevitim dnom i obalama koje su obrasle vegetacijom, što joj obezbeđuje uslove neophodne za mrest, ishranu i zaklon (Marković, 2010). Divlji predak šarana potiče iz pritoka Crnog, Kaspijskog i Aralskog mora i vremenom se proširio na Istočnu Aziju (Kinu i Sibir), potom na zapad sve do Dunava (Marković, 2010; Balon, 1995). Danas je šaran široko rasprostranjen od Evrope, preko Evroazije do Kine, Japana i Jugoistočne Azije (Chistiakov i Voronova, 2009). Smatra se jednom od prvih pripitomljenih ribljih vrsta. U Aziji, tačnije u Kini, šaran je počeo da se gaji u V veku pre nove ere,

dok na tlu Evrope uzgoj šarana datira iz vremena Rimskog carstva (Balon, 2006). Istorijski podaci ukazuju na to da su Rimljani prvi počeli gajenje šarana koga su izlovljavali iz Dunava. Ova praksa se nastavlja i tokom srednjeg veka, naročito u manastirima, gde je riba imala značajnu ulogu u ishrani. Domestikacija šarana u Kini je tekla paralelno sa domestikacijom šarana u Evropi, ali su se ova dva procesa dešavala nezavisno jedan od drugog.

Prema rečima Kohlmann i sar. (2005) i Balon (1995) postoje dve glavne podvrste šarana i to *Cyprinus carpio carpio* (Evropski šaran) i *Cyprinus carpio haematopterus* (Azijski šaran). Azijska podvrsta šarana rasprostranjena je u Istočnoj, Jugoistočnoj i Centralnoj Aziji (Flajšhans i Hulata, 2007). Ciprinidne vrste su u 2022. godini činile su vodeću grupu u akvakulturi, sa udelom od 18% na globalnom nivou (FAO, 2024).



Slika 1. Šaran (*Cyprinus carpio*) (foto: S. Marjanović)

Prema Hulak i sar. (2009) analizirani sojevi i populacije šarana svrstani su u tri osnovne grupe:

Prva grupa obuhvata sojeve izvedene iz evropske i centralnoazijske podvrste *Cyprinus carpio carpio*. U nju se ubrajaju izraelski soj, kao i mađarski sojevi Szarvas ogledni šaran, Szarvas hibridni ogledni šaran i Tata krljuštavi šaran, karakteristični po kockastom obliku tela. Pored njih, u ovu grupu spadaju i zapadnoevropski sojevi: Dombez i Forez ogledni šaran iz Francuske, Scheuermann i Glinzig ogledni šaran iz Nemačke, kao i divlja populacija iz reke Ebro u Španiji.

Druga grupa obuhvata sojeve izvedene iz azijske podvrste *Cyprinus carpio haematopterus*. Tu se ubrajaju amurski divlji veleljuskavi šaran, poreklom iz basena reke Amur, i ukrasni koi šaran.

Treća grupa obuhvata sojeve nastale ukrštanjem amurskog divljeg šarana ili srodnih sojeva sa lokalnim evropskim populacijama. Predstavnici su:

- Ropša krljuštavi šaran, formiran u Rusiji ukrštanjem galicijskog oglednog šarana i amurskog divljeg šarana. Ovaj soj je poznat po visokoj otpornosti na niske temperature i bolesti, a rasprostranjen je od Ukrajine do Sibira.
- Severni ogledni šaran, nastao u Češkoj trostrukim ukrštanjem češkog šarana iz Mariánské Lázně, mađarskog Szarvas oglednog šarana i Ropša šarana, uz primenu stabilizacione selekcije.

Zahvaljujući programima uzgoja, geografskoj izolaciji i dugogodišnjoj selekciji, dolazi do razvoja različitih fenotipskih karakteristika kod šarana uključujući raspored krljušti, brzinu rasta,

oblik tela, boju kože i otpornost na stres. Ove osobine su omogućile prilagođavanje ove vrste na različite uslove životne sredine (Dong i sar., 2015).

Primenom veštačke selekcije u procesima gajenja dobijena su četiri tipa šarana zavisno od prisustva i rasporeda krljušti na telu: šupner (ljuskavi šaran) – tip šarana čije je telo u potpunosti prekriveno krljuštima srednje veličine, zatim špigler (maloljuskavi šaran) – tip šarana sa redom krljušti ispod leđne linije i u osnovi repnog peraja, potom cajler (veleljuskavi šaran) – tip šarana sa jedan do tri reda većih i manjih krljušti neravnomerno raspoređenih i lederer (goli šaran) – tip šarana bez krljušti (Marković, 2010).

Kina se ističe kao zemlja sa najvećim brojem domaćih sojeva u populaciji šarana na globalnom nivou. Neki od poznatijih sojeva su Hebao (crveni šaran), Xingguo (crveni šaran), Oujiang (šareni šaran) i Songpu (ogledni šaran) (Dong i sar., 2015). U Kini se poslednjih pet decenija intenzivno razvio program hibridnog uzgoja šarana, pri čemu je ovakvim radom stvoren veliki broj različitih sojeva. Jian (dobijen ukrštanjem Songpu oglednog šarana i Oujiang šarenog šarana) je hibrid koji je doveo do ubrzanog razvoja i rasta proizvodnje šarana u akvakulturi (Dong i sar., 2015).

Većina evropskih zemalja ima dobro razvijenu metodologiju gajenja ove riblje vrste (Bogut i sar., 2006). Šaran je veoma otporna vrsta, sposobna da podnese širok interval promena različitih parametara kvaliteta vode sa širokom ekološkom valencom. Preživljava pri niskim koncentracijama rastvorenog kiseonika u vodi (Bănărescu i Coad, 1991). Može izdržati temperature preko 28°C, ali i znatno niže temperature pa čak i formiranje leda na vodenoj površini (Marković, 2010; Bănărescu i Coad, 1991). Na niskim temperaturama vode, šaran se uglavnom zadržava blizu dna gde je temperatura vode nešto viša. Bez obzira što se metabolizam usporava, šaran i tokom zimskog perioda nastavlja da uzima hranu sa dna, ali u znatno manjim količinama. U ovom periodu konzumira prirodnu hranu kao što su *Oligochaeta* i *Chironomidae* (Bauer i Schlott, 2004; Huet, 1986). Temperatura vode na kojoj ova riba ostvaruje najbolji rast je 20-26 °C i pri pH vrednosti vode od 6,5-8,5 (Woynarovich i sar., 2010; Marković, 2010). Šaran je riba koja se svrstava u svaštojede, što znači da konzumira hranu biljnog porekla (fitoplankton, mlade izdanke vodenih biljaka, makrofite, seme vodenih biljaka) i životinjskog porekla (zooplankton, vodeni insekti, makrobescičmenjaci) (Marković, 2010; Rahman i sar., 2009, 2008; Weber i Brown 2009). Ipak u svojoj ishrani preferira zooplankton i faunu dna (Marković, 2010).

U Srbiji se šaran najčešće gaji do treće godine starosti, pri čemu je u nekim zemljama popularan i dvogodišnji način uzgoja šarana. Prilikom trogodišnjeg uzgoja, šaran u prvoj godini može dostići masu od 20 do 100 g, zatim u drugoj od 250 do preko 1000 g, dok u trećoj godini može dostići masu od 1200 do preko 3000 g, kada se kao konzumna riba plasira na tržište. Kada je reč o dvogodišnjem uzgoju, kako bi se dostigla veća masa, riba se gaji u ređem nasadu. U ovom načinu gajenja, mlađ u prvoj godini dostiže masu od 100 do 500 g, a u drugoj godini preko 1200 g kada se kao konzumna riba plasira na tržište (Marković, 2010).

Šaran se odlikuje brzim rastom, mužjaci dostižu polnu zrelost već u drugoj godini života, dok ženke obično sazrevaju u trećoj. Karakteriše ga i visoka plodnost gde ženke mogu proizvesti i do 2 miliona jajašaca (Hossain i sar., 2016). Mresti se u plitkim vodama koje su obrasle vodenim biljkama, gde ženke polažu jaja tako što ovuliraju iznad vodenih biljaka, a pošto su jaja lepljiva, ona se lepe za vodene biljke i podlogu, dok se mužjaci kreću za njima i odmah vrše oplodnju jaja u spoljašnjoj sredini (ovoviviparija).

Mrest šarana u velikoj meri zavisi od uslova sredine u kojoj se nalazi. U tropskim i suptropskim krajevima, šaran može dostići polnu zrelost već u prvoj godini života i može se mrestiti više puta u toku godine (Sivakumaran i sar., 2003). U našem klimatskom području mužjaci polno sazrevaju u drugoj, a ženke uglavnom u trećoj godini života (Marković, 2010). Razvoj gonada, kod

ženki, počinje pri temperaturama vode od oko 16 °C (Crivelli, 1981), dok je za sazrevanje polnih produkata kod šarana potrebno od 1000 do 1100 °D (stepen dana). Mresti se u proleće, kada temperatura vode dostigne 20 °C (Marković, 2010).

Dužina i starost pri polnoj zrelosti kod šarana zavisi od pola, geografske širine i nadmorske visine. Mužjaci sazrevaju ranije od ženki, dok ribe koje žive na manjim nadmorskim visinama polnu zrelost dostižu ranije nego ribe sa većih nadmorskih visina (Tempero i sar., 2006). Polna zrelost pri malim telesnim dimenzijama sa velikim brojem jajnih ćelija, predstavlja jednu od ključnih reproduktivnih prednosti šarana, koja povećava otpornost populacije na pritisak izlova. Kombinacija brzog rasta i rane reprodukcije omogućava šaranu da se razmnožava pre nego što bude izložen izlovu, što mu daje značajnu evolutivnu prednost (Hailu, 2013).

Telo šarana je bočno spljošteno i izduženo, može biti delimično ili potpuno pokriveno krljuštima. Boja krljušti varira od žućkaste preko braon i zelene do gotovo crne, dok je trbušni deo tela svetle, skoro bele boje. Leđno peraje je dugo i sadrži 17 do 22 žbice, pri čemu je prva žbica testerasto nazubljena (Simonović, 2001).

Sistem organa za varenje počinje od usta. Usta šarana su izbočena i terminalno postavljena, pri čemu gornja vilica blago prekriva donju. Ima dva para brkova – kraći i tanji par se nalazi na sredini gornje usne, dok se duži i deblji par brkova nalazi lateralno, na uglovima usta, što je tipična morfološka karakteristika ove vrste (Farang i sar., 2014; Simonović, 2001). Usna duplja je bez zuba, ali tu funkciju nadoknađuju razvijeni ždrelni zubi, koji se nalaze u zadnjem delu usne duplje i služe za sitnjenje hrane (Farang i sar., 2014; Marković, 2010). Jezik je pričvršćen za dno usne duplje tankim središnjim frenulumom (Farang i sar., 2014). Čulo ukusa kod šarana je dobro razvijeno, a receptori ukusa se nalaze na dorzalnoj strani usne duplje (Marković, 2010). Ždrelo je podeljeno na kranijalni i kaudalni deo. Kranijalni deo je širok i obložen glatkom sluzokožom, sa škržnim prorezima na bočnim stranama. Kaudalni deo sadrži tvrdi ždrelnu ploču postavljenu naspram ždrelnih zuba. Digestivni trakt se nastavlja kratkim jednjakom koji se direktno nastavlja u crevo, jer šaran nema želudac, pa se varenje hrane odvija bez prisustva kiselina (Marković, 2010). Njegov proksimalni deo formira intestinalno zadebljanje koje se pruža pravolinijski kroz trbušnu duplju. Iza njega sledi složeni crevni trakt sa tri petlje u obliku latiničnog slova "U": proksimalna, srednja i distalna – svaka sa uzlaznim i silaznim krakom. Veći deo trakta je smešten na desnoj strani, dok su delovi srednje i cele distalne petlje vidljivi sa leve strane, što ukazuje na kosu prostornu orijentaciju creva. Jetra je velika i reznjevita, obuhvatajući i ispunjavajući prostor između organa. Žučna kesica je postavljena desno, uz kranijalni deo intestinalnog zadebljanja. Slezina je izdužena, tamnocrvene boje, sa širokim kranijalnim i šiljastim kaudalnim polom i nalazi se desno uz početni deo creva (Farang i sar., 2014).

Ribe dišu pomoću škrge, koje se nalaze sa obe strane glave, smeštene u posebnim šupljinama koje se nazivaju škržni ili operkularni prostor, zaštićene operkulumima ili koštanim poklopcem. Šaran ima po četiri škržna luka u obe škržne šupljine, gde se na svakom luku nalaze primarne i sekundarne lamele, bogate kapilarima za razmenu gasova. Sa unutrašnje strane škržnih lukova nalaze se škržni češljevi koji filtriraju vode. Peti škržni luk je modifikovan u „Y“ oblikovanu ždrelnu kost koja nosi ždrelnu zube, koji su raspoređeni u tri reda, odnosno tri velika srednja zuba i po dva manja bočna (Farang i sar., 2014).

Riblji mehur je membranska kesica ispunjena gasom, koja se nalazi neposredno ispod kičmenog stuba i bubrega. Ovaj mehur je podeljen na dve komore, od kojih je prednja (kranijalna) veća i zadnja (kaudalna) koja je uža i manja. Prednja komora čini 2/3 ukupne zapremine ribljeg mehura. Ove dve komore su odvojene suženjem, ali unutrašnjost obe komore je povezan uskim otvorom. Riblji mehur je fizostomskog tipa, jer je povezan sa prednjim delom jednjaka pomoću pneumatskog kanala. Trbušna i srčana šupljina su podeljene poprečnim septumom koji ima ulogu kao dijafragma kod ljudi (Farang i sar., 2014).

2.4. Kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*) kao ekonomski značajna vrsta

Kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss* Walb., 1792) (**Slika 2**) predstavlja jednu od najrasprostranjenijih i najpopularnijih hladnovodnih vrsta riba u svetskoj akvakulturi (Devaa i sar., 2023; Singh i sar., 2016; Marković i Tutundžić, 2003). Osobine ove vrste koje doprinose uspehu u komercijalnom uzgoju uključuju lakoću gajenja u kontrolisanim uslovima, otpornost na velike gustine nasada i brz tempo rasta. Ova ekonomski važna vrsta, izuzetno je popularna kako u ishrani ljudi, tako i među sportskim ribolovcima (Singh i sar., 2016). Njeno prirodno stanište obuhvata pacifičku obalu Severne Amerike (od severne granice Meksika, pa sve do Aljaske). Može se naći i na poluostrvu Kamčatka u Rusiji (Devaa i sar., 2023; MacCrimmon, 1971).

Primena veštačke selekcije i intenziviranje uzgoja kalifornijske pastrmke u akvakulturi doveli su do pojave brojnih fenotipskih varijacija koje se razlikuju od fenotipova divljih populacija (Jonsson i Jonsson, 2006; Balon, 2004). Populacije dobijene veštačkom selekcijom pokazuju smanjenu sposobnost reprodukcije u prirodnim uslovima u poređenju sa svojim divljim srodnicima (Araki i sar., 2008).



Slika 2. Kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*) (foto: S. Marjanović)

Od svog prvog premeštanja van prirodnog staništa 1874. godine, kalifornijska pastrmka naseljava vodene ekosisteme širom sveta, osim Antartika. Danas, njen areal obuhvata regione od Arktičkog kruga (uključujući Švedsku, Norvešku i Aljasku) pa sve do područja ekvatora (obuhvatajući Ekvador, Ugandu i Keniju) na severnoj zemljinoj hemisferi i do 55 ° južne geografske širine u Argentini. Vrsta je koja se gaji na nadmorskim visinama od nivoa mora pa sve do preko 4500 m nadmorske visine (Peru, Uganda), što nam dodatno govori o sposobnosti ove vrste da se prilagodi uslovima sredine. Malo je vrsta koje su toliko proširile svoj areal zastupljenosti, zahvaljujući antropogenom uticaju (MacCrimmon, 1971).

Kalifornijska pastrmka je danas najrasprostranjenija vrsta iz porodice Salmonidae (Crawford i Muir, 2007). Još od sedamdesetih godina XIX veka, kada je sprovedeno prvo veštačko razmnožavanje jedinki iz područja zaliva San Franciska (Coad, 2003), ova vrsta je uspešno uvedena u najmanje 99 država, pri čemu je stabilna populacija uspostavljena u 53 zemlje (Gherardi, 2010). Prema Singh i sar. (2016) trenutno je prisutna u 75 država sveta. Od početka globalnog širenja, kalifornijska pastrmka se pokazala kao izuzetno prilagodljiva, formirajući samoodržive populacije na novim područjima (Stanković i sar., 2015). Ovakav uspeh može se pripisati ekonomskom značaju vrste, visokoj toleranciji na povišene temperature vode, eurihalinost, pogodnosti za selektivni uzgoj i brzom tempu rastu (Woynarovich i sar., 2011; Halverson, 2008; Crawford i Muir, 2007).

Prvo premeštanje kalifornijske pastrmke započeto je krajem XIX veka. Godine 1877., iz Amerike je transportovano 10.000 jajašaca ove vrste u Tokio, Japan, čime je ostvareno njeno prvo

premeštanje van američkog kontinenta (Wales, 1939). Dve godine kasnije, 1879., kalifornijska pastrmka stiže i u Evropu, kada je akvarijum Trocadéro u Parizu primio pošiljku jajašaca od Američke komisije za ribarstvo (MacCrimmon, 1971).

Nakon izvoza kalifornijske pastrmke iz SAD-a, usledio je niz sekundarnih unosa ove vrste unutar evropskih zemalja, posebno putem nemačkih mrestilišta. Na ovaj način, kalifornijska pastrmka je stigla do Bugarske, Danske, Austrije, Švedske, Poljske, Švajcarske, Rusije, Slovačke, Slovenije i Češke Republike (Crawford i Muir, 2007).

Širenje kalifornijske pastrmke nastavilo se i van Evrope. Već 1882. godine, prenešena je iz Velike Britanije u Šri Lanku (Jinadasa i sar., 2005), a zatim 1883. godine na Novi Zeland (Scott i sar., 1978). Sa Novog Zelanda je 1909. godine uvezena je u Indiju (Devaa i sar., 2023), dok su u Argentinu stigli prvi primerci ove ribe 1904. godine (Pascual i Bentzen, 2001). U Kinu i Severnu Koreju stigla je 1958. godine (Zhao i sar., 2008). Na prostoru Jugoslavije, kalifornijska pastrmka je prvi put uvezena 1893. godine, kada je nasadena u blizini Ljubljane (Taler, 1954).

Morfološke karakteristike kalifornijske pastrmke ukazuju na visoku prilagođenost brzom i dinamičnom plivanju. Telo ove ribe je vretenasto i kompaktno, što omogućava lako kretanje kroz vodu, kao i sposobnost da preskače prepreke poput brana i pregrada. Glava je snažna sa razvijenim vilicama i brojnim zubima koji su zakrivljeni unazad, prilagođeni hvatanju i zadržavanju plena. Karakteristične crne pege nalaze se na masnom i leđnom peraju, kao i na leđima, glavi i bočnim stranama tela. Duž bočne linije, od glave ka repnom peraju, pruža se crveno-narandžasta linija duginih boja, koja je posebno izražena u periodu mresta. Trbušni deo tela je srebrnastog sjaja, leđa su modrosiva, dok je bočna strana tela nešto svetlija. Telo je prekriveno sitnim krljuštima. Zbog svoje specifične građe i relativno male respiratorne površine, sistem organa za disanje kod ove vrste prilagođen je životu u vodama bogatim kiseonikom (Marković i Tutundžić, 2003).

Kalifornijska pastrmka se u svetu uzgaja na nekoliko načina. Prvi obuhvata slatkovodne sisteme sa tekućom vodom, u kojima se koriste zemljani ili betonski bazeni, rezervoari i kanali. Ovaj metod dominira u većini evropskih država, Severnoj Americi i Aziji. Drugi metod uključuje uzgoj u kavezima postavljenim u otvorenim morskim vodama, s tim da početna faza uzgoja i dalje zahteva uzgoj u slatkoj vodi. Ovaj pristup je karakterističan za zemlje Južne Amerike i Skandinavije (Singh i sar., 2016). Pored navedena dva načina, kalifornijska pastrmka se može gajiti i u RAS i akvaponik sistemu. RAS ili recirkulacioni akvakulturni sistem (*engl. Recirculating Aquaculture System*) predstavlja jedan od modernijih načina za uzgoj riba, jer omogućava njeno gajenje na malom prostoru uz minimalnu potrošnju vode. Predstavlja zatvoreni sistem u kojem se voda neprekidno filtrira i vraća u tank sa gajenom ribom. Sa druge strane, akvaponika (*engl. Aquaponic system*) je održivi sistem proizvodnje koji kombinuje akvakulturu (uzgoj ribe) i hidroponiju (uzgoj biljaka bez zemlje) u zatvorenom ciklusu, gde otpadna voda iz rezervoara za ribe služi kao đubrivo za biljke, dok biljke pročišćavaju vodu koja se zatim vraća u tank sa ribama.

Sistemi za gajenje kalifornijske pastrmke zavise od njenog razvojnog stadijuma. U početnim fazama, riba se gaji u mrestilištima, gde se najčešće koriste rezervoari izrađeni od stakla ili plastike ojačane staklenim vlaknima. Za fazu tova primenjuju se betonski bazeni različitih oblika, poput kanala ili kružnih rezervoara, dok se koriste i zemljani objekti obloženi kamenjem. Protočni sistemi zahtevaju velike količine sveže vode odgovarajućeg kvaliteta, jer gustina ribe direktno zavisi od parametara kao što su temperatura i koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi. Ipak, osnovni izazovi kod ovih sistema su visoka potrošnja vode i velika početna ulaganja. Efikasnost korišćenja vode može se poboljšati prelaskom sa tradicionalnog protočnog sistema na sistema sa recirkulacijom vode (Singh i sar., 2016).

Kalifornijska pastrmka se uspešno uzgaja u kontrolisanim uslovima pri temperaturi vode između 2 °C i 15 °C. Sazrevanje ikre, vitelogeneze i mrest pretežno su pod uticajem fotoperioda. Period mresta traje od oktobra do marta, s tim da se najintenzivnije obavlja u decembru i januaru, kada temperatura vode i dužina dana opadaju (Singh i sar., 2016). Mužjaci dostižu polnu zrelost u drugoj godini života, dok ženke sazrevaju godinu dana kasnije (Marković i Tutundžić, 2003). U prirodnim uslovima, jedinka se mresti jednom godišnje i to u jednom navratu. Plodnost ženki varira između 1000 i 4000 krupnih jaja, dok je prosečna plodnost oko 2000 jajašaca po kilogramu telesne mase. Prema Markoviću i Tutundžiću (2003), ženke daju između 1300 i 2600 jaja po kilogramu, sa prosečnim prečnikom od 3,5 do 6,5 mm. Brzina razvoja i izleganja ikre u velikoj meri zavisi od temperature vode: na 6 °C inkubacija traje više od 60 dana, na 9 °C oko 40 dana, dok pri temperaturama iznad 12 °C izvaljivanje traje oko 25 dana. Efikasnost izleganja je izuzetno visoka, najčešće preko 90%. U poređenju sa drugim vrstama, mlađ kalifornijske pastrmke je relativno velika već pri prvom hranjenju i lako prihvata dodatnu hranu (Singh i sar., 2016).

Kalifornijska pastrmka je grabljivica koja se prvenstveno hrani hranom životinjskog porekla. U prirodnim uslovima njenu ishranu čine beskičmenjaci poput insekata, organizama koje nosi vodena struja (vodeni drift), kao i bentosni organizmi (koji nastanjuju dno vodenih ekosistema) i sitnije vrste riba. U ribnjacima, rado prihvata dodatnu, komercijalnu hranu (Marković i Tutundžić, 2003). Protein predstavlja ključnu komponentu njene ishrane, jer je osnovni izvor energije (Singh i sar., 2016). Najveće potrebe za proteinima imaju najmlađe kategorije, usled intenzivnog rasta, dok se potreba za proteinima smanjuje sa porastom telesne mase jedinki. Za optimalan rast, mlađ zahteva hranu sa minimum 50% proteina. Pri uzrastu od 6-8 nedelja, potreban sadržaj proteina opada na oko 40%, dok jednogodišnja mlađ zahteva najmanje 35% proteina. Pored količine proteina, od izuzetne je važnosti i aminokiselinski sastav, kako bi se zadovoljile specifične nutritivne potrebe ove vrste (Marković i Tutundžić, 2003).

Digestivni sistem kalifornijske pastrmke je kratak. Hrana prolazi kroz jednjak i dospeva u želudac koji je u obliku slova "J". Sastoji se iz tri dela i to: početnog (kardijačni), srednjeg (prelaznog) i završnog (piloričnog). Zatim slede pilorični cekumi, a zatim crevo. Crevo se deli na dva dela: proksimalni (prednji) i distalni (zadnji) ili rektum. Zid jednjaka i želuca građen je od unutrašnje sluznice, potporne submukoze, mišićnog sloja i spoljašnje seroze. U crevu se nalaze granularne ćelije, koje pomažu ribi da se brani od infekcija i štetnih mikroorganizama (Yasutake i Wales, 1983).

Jetra pastrmke se razlikuje od jetre sisara jer nema jasno odvojene režnjeve. Umesto toga, građena je od mreže sitnih krvnih kanala (sinusoida) i dvostrukih slojeva jetrenih ćelija (hepatocita). Iako lobuli nisu jasno ograničeni, mogu se prepoznati po centralnim venama i tzv. hepaticnim trijadama. Krv u jetru dolazi iz dva izvora: portalne vene jetre i hepaticne arterije, a zatim prolazi kroz sinusoida i vraća se u hepaticne vene, pa dalje u srce. Hepatociti su mali, poligonalnog oblika, intenzivno obojeni i često sadrže glikogen, čija količina može da varira, što je normalno. Ispod jetre se nalazi žučna kesa, koja je povezana sa jetrom ulaznim žučnim kanalom, a sa piloričnim krajem želuca izlaznim kanalom (Yasutake i Wales, 1983).

Pankreas je rasut u masnom tkivu oko piloričnih cekuma. Njegovu glavnu funkciju obavljaju egzokrine ćelije, koje proizvode enzime za razgradnju proteina, masti i ugljenih hidrata, odnosno pomažu pri varenju hrane. Osim toga, pankreas ima i endokrini deo, koji se sastoji od Langerhansova ostrvca. Ona sadrže različite tipove ćelija: Alfa ćelije koje luče glukagon, Beta ćelije koje proizvode insulin, Delta ćelije koje luče somatostatatin, a kod mnogih vrsta riba i X ćelije. Insulin kod riba ima nešto drugačiju strukturu nego kod sisara, ali i dalje ima ključnu ulogu u regulaciji nivoa šećera u krvi (Yasutake i Wales, 1983).

Riblji mehur kod kalifornijske pastrmke, iako se ne ubraja u organe za varenje, povezan je sa jednjakom. Kod mladih jedinki postoji otvor prema jednjaku, pa riba može da proguta vazduh kada

se riblji mehur prvi put formira. Kasnije se taj otvor zatvara pomoću sfinktera ili mišićnog prstena. Kod mladih pastrmki ponekad se dogodi da hrana dospe u kesu, gde se ne može svariti i može izazvati infekcije (Yasutake i Wales, 1983).

U povoljnim uslovima i uz korišćenje kvalitetnih hranljivih smeša, koeficijent konverzije hrane (FCR) može iznositi 1,2 pa čak i manje od 1 (Singh i sar., 2016). Konzumnu težinu od oko 250 g pastrmka dostiže sa 12 do 20 meseci starosti (Marković i Tutundžić, 2003), dok prema Singh i sar. (2016) konzumna masa iznosi između 300 i 400 g, koju riba postiže u periodu od 12 do 18 meseci uzgoja.

2.5. Potencijal alternativnih izvora proteina u akvakulturi: korak ka održivoj zameni ribljeg brašna

Riblje brašno predstavlja jedan od najvažnijih izvora proteina u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. Njegova vrednost leži u povoljnom aminokiselinskom profilu i visokoj svarljivosti. Međutim, sve intenzivnija upotreba ovog sastojka izaziva ozbiljne ekološke i ekonomske probleme. Rast cena ribljeg brašna i sve manja dostupnost direktno utiču na ukupne troškove u akvakulturi, pri čemu troškovi ishrane mogu dostići i do 50% ukupne proizvodnje.

U potrazi za održivijim rešenjima, brojne studije ukazuju na potencijal alternativnih izvora proteina životinjskog porekla, kao što su gliste i drugi beskičmenjaci. Ove vrste karakteriše visok sadržaj proteina i masti, jednostavna proizvodnja i minimalan uticaj na životnu sredinu. Uvođenje ovih alternativa u ishranu riba moglo bi doprineti smanjenju troškova i unapređenju održivosti u sektoru akvakulture. Zbog toga se proizvođači hrane za ribe i istraživači suočavaju sa sve većim pritiskom da smanje upotrebu ribljeg brašna i okrenu se održivijim, alternativnim izvorima proteina.

2.5.1. Kalifornijska glista (*Eisenia fetida*) kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani

Tokom poljoprivredne proizvodnje nastaju velike količine nusproizvoda i organskog otpada, čije upravljanje predstavlja značajan izazov kako sa ekonomske, tako i sa ekološke tačke gledišta. Dok se u urbanim sredinama uglavnom troši velika količina hrane, poljoprivredna proizvodnja je koncentrisana u ruralnim oblastima. Ovakva struktura dovodi do akumulacije velike količine organske materije u blizini gradova, što stvara ozbiljne logističke i upravljačke poteškoće (Gerber i sar., 2007). Povećana potražnja za proizvodima životinjskog porekla, poput mesa toplokrvnih životinja i riba, dodatno opterećuje resurse namenjene proizvodnji hrane za životinje, naročito kod sve izraženije konkurencije između proizvodnje biodizela, stočne hrane i hrane za ljude. Ishrana životinja, a posebno obezbeđivanje proteinskih komponenti, predstavlja ključni faktor ekonomske i ekološke održivosti stočarske proizvodnje (Khan i sar., 2016).

Proteini, kao bitna komponenta u ishrani riba, mogu se dobiti iz biljnih i životinjskih izvora. Ipak, proizvodnja biljnih proteina često je povezana sa negativnim uticajima na životnu sredinu, uključujući krčenje šuma, intenzivnu upotrebu pesticida, eutrofikaciju i degradaciju zemljišta (Parolini i sar., 2020). Povećanje udela biljnih proteina u ishrani riba nosi sa sobom značajne ekonomske, ekološke i tehničke izazove za sektor akvakulture (Burr i sar., 2012). Iako je svarljivost biljnih proteina često jednaka ribljem brašnu, njihov aminokiselinski sastav je nepovoljniji. Zbog toga je neophodno dodavanje aminokiselina kako bi se obezbedili optimalni uslovi za rast riba (Lim i sar., 2008). Dodatni izazov u proizvodnji komercijalne hrane za ribe predstavlja prisustvo različitih zagađivača iz životne sredine. Ovi kontaminanti mogu negativno uticati na zdravlje, smanjiti proizvodne rezultate, pa čak i predstavljati rizik za ljudsko zdravlje usled akumulacije zagađujućih materija u tkivima uzgajanih riba (Gouvello i sar., 2017).

Upotreba proteina životinjskog porekla u ishrani riba takođe ima ograničenja. Na primer, mesno i koštano brašno sadrži nedovoljne količine metionina (Munguti, 2007), krvno brašno ima niže nivoe izoleucina i slabiju svarljivost (Mendoza i sar., 2001), dok nusproizvodi iz živinarske proizvodnje sadrže nedovoljne količine lizina (Fasakin i sar., 2005). Osim nutritivnih nedostataka, proteini životinjskog porekla suočavaju se i sa rizicima mikrobiološke kontaminacije, kao i mogućnošću prenosa bolesti sa toplokrvnih životinja na ribe, pa čak i na ljude (Ogello i sar., 2014).



Slika 3. Kalifornijska glista (*Eisenia fetida*)
(foto: S. Marjanović)

Nekonvencionalni izvori proteina, poput kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*) (Slika 3), sve više privlače pažnju kao alternativna zamena, zahvaljujući svom nutritivnom sastavu koji je veoma sličan ribljem brašnu (Fadaee, 2012; Rondón i sar., 2003; Zhenjun i sar., 1997). Većina istraživanja o upotrebi glista kao izvora proteina potiče još iz osamdesetih godina. Iako se gliste često posmatraju kao nusproizvod u sistemima za upravljanje otpadom ili vermikulturi, one imaju potencijal kao alternativni izvor životinjskih proteina u formulaciji hrane za ribe (Pereira i Gomes, 1995).

Vrsta *E. fetida* sadrži količine proteina i esencijalnih aminokiselina, koji su slični onima u ribljem brašnu i zadovoljavaju nutritivne potrebe brojnih uzgajanih vrsta riba (Vodounnou i sar., 2016). Gliste efikasno razgrađuju organski otpad, poput svinjskog i goveđeg stajnjaka, pri čemu nastaje vredan kompost za hortikulturu i visokokvalitetni proteini za proizvodnju komercijalne hrane (Edwards, 1985). Kalifornijska glista se ističe kao dvostruko korisna: omogućava efikasno upravljanje poljoprivrednim otpadom i nusproizvodima, dok istovremeno omogućava uključivanje organske materije u lanac proizvodnje hrane (Hardy, 1996). Karakteriše je kratak životni ciklus (Edwards i Fletcher, 1988), sposobnost da efikasno balansira potrošnju energije i niska stopa smrtnosti (Rorat i sar., 2015).

Boja glista može varirati od smeđe, ljubičaste do crvene, dok stomak obično ima žućkastu nijansu. Kada se oseća ugroženo, glista izlučuje repelentiz stomaka, koji podseća na miris belog luka. Dužina tela kreće se između 23 i 130 mm, a odrasla jedinka teži oko 1,5 g. Približno 50 do 55 dana nakon izlaska iz kokona¹¹, glista dostiže polnu zrelost. Kokone proizvodi na svaka tri dana, a nakon 23 dana iz njih se razvijaju mlade jedinke (Tohidinejad i sar., 2011). Zahvaljujući glistama, organski otpad i nusproizvodi koji nastaju u stočarskoj proizvodnji mogu se transformisati u vredan resurs za proizvodnju riblje hrane. Ovaj pristup, zasnovan na principima cirkularne ekonomije, omogućava smanjenje oslanjanja na konvencionalne izvore proteina, poput ribljeg brašna, koji imaju veliki ekološki uticaj (Parolini i sar., 2020).

¹¹ Kokon kod gliste je zaštitna čaura u obliku kapsule koju stvara glista, a koja sadrži jajašca i hranjivu materiju. Kada su uslovi idealni, glista izbacuje ovaj kokon u zemlju, odakle se izlegu mlade gliste, a ovaj proces joj omogućava razmnožavanje i opstanak

Za uspešan uzgoj kalifornijske gliste potrebno je obezbediti optimalne uslove koji uključuju temperaturu između 15 i 25 °C, vlažnost zemljišta od 60 do 85%, kao i pH vrednost između 6,8 i 7,2. Gliste su sposobne da prežive u sredinama sa niskim koncentracijama kiseonika i ugljen-dioksida, pri čemu mogu preživeti i u vodenoj sredini (Sherman, 2003). Prerada organskog otpada životinjskog porekla u biomasu glista pokazuje visoku efikasnost. Na primer, jedna tona korišćenog otpada može proizvesti do 100 kg glista, što odgovara konverzijskoj efikasnosti od oko 10% na osnovu suve mase (Edwards, 1985). Vrsta *E. fetida* može povećati svoju biomasu za 57% kada se hrani goveđim stajnjakom, dok se na kozijem stajnjaku beleži porast od 25% (Loh i sar., 2005). Suva materija kalifornijske gliste sadrži između 50 i 70% sirovih proteina, sa visokim udelom esencijalnih aminokiselina poput lizina i metionina, koji su deficitarni u ribljem brašnu. Osim toga, kalifornijska glista sadrži 5–11% masti, 5–21% ugljenih hidrata, kao i 2–3% vitamina i minerala, uključujući vitamin B12 i niacin (Mohanta i sar., 2016; Sogbesan i Madu, 2008b; Dynes, 2003; Medina i sar., 2003). Prema Sogbesan i Ugwumba (2008), nutritivna vrednost kalifornijske gliste je: 63% sirovih proteina, 5,9% sirovih masti, 8,9% pepela, 0,94% fosfora, 0,62% kalijuma, 0,43% natrijuma, 0,53% kalcijuma i 1476 kJ/100 g metaboličke energije. Takođe, količina sirovih proteina u kalifornijskoj glisti pre svega zavisi od supstrata na kome se ova vrsta uzgaja, samog proizvodnog sistema, kao i od načina prerade, odnosno da li je uklonjen crevni sadržaj (Gunya i sar., 2016).

U poređenju sa insektima, koji su najčešće proučavani kao alternativni izvor proteina za komercijalnu stočnu hranu (Byambas i sar., 2019; Thévenot i sar., 2017), gliste nude niz prednosti. Za razliku od insekata, gliste ne zahtevaju dodatno zagrevanje tokom uzgoja i mogu se uspešno gajiti na supstratima koji predstavljaju otpad ili nusproizvode sa minimalnom ili nikakvom ekonomskom vrednošću. Pored proizvodnje proteina i povećanja biomase, uzgoj glista uključuje i stvaranje vermikomposta¹² vrednog organskog đubriva koje poboljšava kvalitet zemljišta. U nutritivnom smislu, brašno dobijeno od glista ima povoljniji aminokiselinski profil, bolju strukturu masnih kiselina i zanemarljiv sadržaj hitina (Musyoka i sar., 2019; Bohnes i sar., 2018).

2.5.2. Larve velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*) kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani

Potruga za alternativnim izvorima proteina životinjskog porekla postaje ključno pitanje u industriji proizvodnje komercijalne hrane (Belghit i sar., 2018; Dabbou i sar., 2018; Lock i sar., 2015), pa se poslednjih nekoliko godina, insekti sve češće prepoznaju kao potencijalno značajan izvor proteina.

Evropski pristup korišćenju insekata u komercijalnoj proizvodnji hrane značajno je oblikovan zahvaljujući prethodnom iskustvu sa bovinom spongiformnom encefalopatijom (BSE), koja je predstavljala ozbiljnu pretnju po ljudsko zdravlje krajem XX veka (Marberg i sar., 2017; Belluco i sar., 2017). U skladu sa tim, Regulativa Evropske unije 2017/893 dozvoljava upotrebu prerađenih životinjskih proteina u ishrani akvatičnih životinja, pod uslovom da ne potiču od preživara. Regulativa dozvoljava upotrebu sedam vrsta insekata u proizvodnji komercijalne hrane: veliki žuti brašnjar (*Tenebrio molitor*), mali brašnjar (*Alphitobius diaperinus*), kućna muva (*Musca domestica*), crna vojnička muva (*Hermetia illucens*), poljski cvrčak (*Gryllus assimilis*), kućni cvrčak (*Acheta domestica*) i prugasti cvrčak (*Gryllodes sigillatus*). Takođe, ova regulativa precizira koji se supstrati mogu koristiti kao hrana za insekte i na taj način dodatno osigurava bezbednost u proizvodnom lancu. Dozvoljeni supstrati za uzgoj insekata su svi materijali biljnog porekla (osim onih koji potiču iz ugostiteljstva), kao i određeni supstrati životinjskog porekla (mleko i pasterizovani proizvodi od mleka, krvni proizvodi od preživara, med, jaja, topljena mast, riblje brašno). Dok, mešoviti komunalni otpad, ugostiteljski otpad i stajnjak nisu dozvoljeni kao supstrat za uzgoj insekata.

¹² Vermikompost je organsko đubrivo koje nastaje razgradnjom organskog otpada uz pomoć glista (*Eisenia fetida*), proces je poznat kao vermikompostiranje

Uzgoj insekata čini jedan od potencijalnih načina za obezbeđivanje stabilnog i održivog snabdevanja hranom, kako za ljude, tako i za domaće životinje (Van Huis i sar., 2012). Naime, jedan kilogram biomase insekata može proizvesti oko 2 kg hrane. Insekti se karakterišu visokom stopom razmnožavanja, izuzetnom efikasnošću u konverziji hrane i brzim rastom. Pored ovih karakteristika, pretvaraju organski otpad u proteine kao najvažniju komponentu u komercijalnoj ribljoj hrani (Collavo i sar., 2005).

Zahvaljujući masovnom uzgoju, insekti se sve više razmatraju kao alternativni izvori proteina u ishrani svinja i živine (Veldkamp i sar., 2012). Dodatno, njihov veliki potencijal u proizvodnji hrane je povezan i sa mogućnošću kontrolisanja životnog ciklusa, što omogućava efikasno planiranje proizvodnje (Sánchez-Muros i sar., 2014). Sa ekološkog aspekta, masovna proizvodnja insekata donosi brojne prednosti: manja potreba za zemljištem, niže korišćenje konvencionalnih animalnih proteina u hrani za životinje (Makkar, 2017), veoma niska emisija gasova sa efektom staklene bašte (Van Huis i Oonincx, 2017), mogućnost pretvaranja organskog otpada u nutritivno vredne proizvode (Meneguz i sar., 2018). Upotreba insekata u preradi otpada predstavlja inovativan pristup u okviru cirkularne ekonomije (Peng i sar., 2021; Meneguz i sar., 2018). Ovakav pristup ne samo da omogućava smanjenje otpada kroz njegovu transformaciju u proteine, već i doprinosi smanjenju pritiska na konvencionalne izvore hrane i omogućava efikasnije korišćenje resursa (Sampathkumar i sar., 2023).

Sa obzirom na to da se mnoge životinje uključujući ribe, živinu i divlje ptice prirodno hrane insektima (Biasato i sar., 2016; Sealey i sar., 2011). Iz ove činjenice može se zaključiti da se insekti mogu uspešno koristiti kao komponenta u komercijalnoj hrani. Štaviše, kada se kombinuju sa biljnim proteinima, insekti pokazuju potencijal da ublaže negativne efekte na rast ribe i zdravlje creva kod grabljivih vrsta riba, što je čest problem pri zameni ribljeg brašna biljnim izvorima proteina (Randazzo i sar., 2021; Pulido-Rodriguez i sar., 2021; Gaudioso i sar., 2021; Makkar, 2017). Takođe, insekti sadrže i bioaktivne komponente, kao na primer laurinsku kiselinu i antimikrobne peptide koje mogu imati pozitivan uticaj na imunološki sistem i zdravlje creva riba (Gasco i sar., 2018).

Insekti mogu sadržati između 34% i 74% proteina u suvoj materiji, dok većina celih jedinki sadrži između 42% i 63,3% sirovih proteina (Alfiko i sar., 2021; Freccia i sar., 2020; Gasco i sar., 2020). Njihova nutritivna vrednost uključuje visok sadržaj lipida (10–30% u suvoj materiji), dobro izbalansiran odnos esencijalnih aminokiselina (EAA), sličan onom u ribljem brašnu, prisustvo vitamina B12 i minerala kao što su govožđe i cink (Gasco i sar., 2020; Alegbeleye i sar., 2011).

Neke vrste insekata već se koriste u formulacijama hrane za različite vodene organizme. Među najznačajnijim vrstama koje se koriste kao zamena za riblje brašno su veliki žuti brašnari, crna vojnička muva i kućna muva (Gasco i sar., 2020; Iaconisi i sar., 2019; Sogari i sar., 2019; Belforti i sar., 2015). Brojne studije u oblasti akvakulture pokazale su pozitivne rezultate kada je brašno larvi žutog brašnara korišćeno kao zamena za riblje brašno u ishrani različitih vrsta riba. Efikasnost ove zamene potvrđena je kod: žutog soma (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Su i sar., 2017), orade (*Sparus aurata*) (Fabrikov i sar., 2021a), crnousnog basa (*Micropterus salmoides*) (Su i sar., 2022), brancina (*Dicentrarchus labrax*) (Reyes i sar., 2020) i kalifornijske pastrmke (Melenchón i sar., 2021). Pored pozitivnog uticaja na rast i zdravlje kod riba, brašno larvi velikog brašnara predstavlja bogat izvor esencijalnih aminokiselina (metionin) i masnih kiselina. Sastav ovih hranljivih materija može varirati u zavisnosti od razvojne faze larvi kao i supstrata na kome se larve gaje (Shafique i sar., 2021).

Žuti brašnar (**Slika 4**) je tvrdokrolac koji pripada porodici Tenebrinoidae. Iako vodi poreklo sa evropskog kontinenta, danas je rasprostranjen širom sveta (Makkar i sar., 2014). Smatra se štetocinom, naročito u skladištima hrane ali zbog malobrojnih populacija obično ne izaziva značajne štete (Ramos-Elorduy i sar., 2002). Larve žutog brašnjara su bogate proteinima, jednostavne za uzgoj i ne zahtevaju specifične uslove ishrane. Zbog svog povoljnog nutritivnog profila, koriste se kao hrana za ribe, gmizavce, vodozemce, male sisare i ptice. Najčešće se mogu naći kao živa hrana, ali su dostupne i u sušenom obliku ili kao brašno (Veldkamp i sar., 2012; Hardouin i Mahoux, 2003; Aguilar-Miranda i sar., 2001).

Razvojni ciklus velikog brašnjara može trajati od 280 do čak 630 dana, u zavisnosti od uslova sredine u kojoj se jedinke nalaze. Od trenutka kada odrasla jedinka položi jaje, do izleganja larvi, potrebno je 10-12 dana pri temperaturi od 18-20 °C. Nakon izleganja, larve prolaze kroz 8 do 20 stadijuma razvoja i sazrevaju u roku od 3-4 meseca na temperaturi od 20-22 °C. Međutim, larveni stadijum može trajati i do 18 meseci, što opet zavisi od uslova u kojima se larve nalaze. Zrele larve velikog brašnjara su svetložute do svetlosmeđe boje, dužine oko 32 mm, sa težinom od 130-160 mg. Razvojni stadijum lutke traje 7-9 dana na temperaturi od 25 °C, dok pri nižim temperaturama može trajati i do 20 dana. Životni vek odraslih jedinki je 2 do 3 meseca (Hill, 2002; Finke, 2002).



Slika 4. Odrasle jedinke velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*) (foto: S. Marjanović)

T. molitor je svaštojed i može se hraniti hranom biljnog porekla, ali i hranom životinjskog porekla, uključujući perje i meso (Ramos-Elorduy i sar., 2002). Najčešće se hrane brašnom od žitarica i mekinjama. Prilikom uzgoja, uključuje se voće i povrće (šargarepa, zelena salata, krastavac (**Slika 4**), krompir i jabuka), koje obezbeđuju neophodnu vodu za normalan razvoj jedinki (Hardouin i Mahoux, 2003; Aguilar-Miranda i sar., 2001). Ovaj insekt može koristiti vodu i iz suve hrane, dok se njihova produktivnost značajno smanjuje ukoliko su potpuno bez vode. Kako bi se obezbedilo i do šest generacija insekata godišnje, neophodno je obezbediti dovoljno vode, čime se sprečava pojava kanibalizma među jedinkama. Isto tako, ukoliko dođe do deficita vode, odrasle jedinke počinju da se hrane svojim sopstvenim lutkama (Hardouin i Mahoux, 2003). U ishrani ovih insekata mora biti oko 20% proteina u hrani (Ramos-Elorduy i sar., 2002). Takođe, važno je obezbediti svežu hranu, uz pažljivo praćenje da ne dođe do pojave buđi, koja može negativno uticati na razvoj populacije (Hardouin i Mahoux, 2003).

Ovaj insekt pokazuje izuzetnu sposobnost da reciklira biljni otpad niskog kvaliteta u visokovrednu hranu bogatu proteinima, energijom i mastima, i to u kratkom vremenskom periodu. Ove larve mogu delimično metabolizovati zearalenon u alfa-zearalenon, čime doprinose detoksikaciji ovog mikotoksina. Prema Hornung (1991), ne postoji rizik od akumulacije zearalenona u larvama u količinama koje bi mogle negativno uticati na životinje koje se njima hrane. U eksperimentalnim uslovima, radi proizvodnje brašna, larve se mogu sušiti na različite načine, u zavisnosti od cilja obrade: u početnim fazama larve se kuvaju u vodi oko tri minuta, a zatim suše na neki od sledećih načina u retni na 60–100 °C (Aguilar-Miranda i sar., 2001), na 50 °C tokom tri dana (Ramos-Elorduy

sar., 2002), izlaganjem suncu tokom dva dana (Ng i sar., 2001), na 50 °C tokom 24 sata (Klasing i sar., 2000) ili na 100 °C tokom 200 minuta (Wang i sar., 1996).

Zbog značajnog sadržaja masti, ova vrsta se sve češće koristi i kao zamena za riblje brašno u formulacijama hrane u oblasti akvakulture (Jajić i sar., 2020; Benzertiha i sar., 2019; Makkar i sar., 2014). U početnim fazama, nutritivni sastav larvi čini: 62% vlage, 20% proteina, 13% masti, 2% vlakana, dok osušeni oblici larvi mogu sadržati: 5% vlage, 53% proteina, 28% masti, 6% vlakana (Mariod, 2020). Hemijski sastav brašna dobijenog od larvi *T. molitor* gajenih u Srbiji ispitan je od strane Jajić i sar. (2019). Prema rečima autora, sadržaj sirovih proteina iznosi 55,83%, masti 25,19%, dok je sadržaj pepela 4,84%.

Larve brašnara predstavljaju izuzetno bogat izvor proteina, esencijalnih aminokiselina, kao i nezasićenih masnih kiselina (oleinska, linoleinska i linolenska) i zasićenih masnih kiselina (miristinska, palmitinska i stearinska), kao i minerala (cink i selen) (Mazlum i sar., 2021; Mattioli i sar., 2021; Gasco i sar., 2020; Biancarosa i sar., 2019). Iako larve velikog brašnara imaju značajan potencijal kao izvor proteina, njihova primena u komercijalnoj hrani za ribu suočava se sa određenim izazovima. Neophodno je utvrditi njihov optimalan nivo u hrani, jer prekomerno uključivanje može imati negativan uticaj na svarljivost i palatabilnost (Chen i sar., 2023; Hameed i sar., 2022; Zlaugotne i sar., 2022).

2.5.3. Zooplankton kao potencijalna alternativna zamena za riblje brašno u ribljoj hrani

U vodenim ekosistemima, zooplankton (**Slika 5**) se smatra sekundarnim proizvodom jer se hrani fitoplanktonom, koji predstavlja primarnog proizvođača (Abo-Taleb i sar., 2020a). Tokom ranih razvojnih faza riba, zooplankton predstavlja ključni i jako važan izvor hranljivih materija koje su neophodne za njihov pravilan razvoj (Abo-Taleb i sar., 2020b; El-Regal i sar., 2018). Sa razvojem akvakulture i povećanjem broja ribnjaka, raste i potreba za zooplanktonom ali i njegova zastupljenost, pri čemu je trend njegovog uzgoja kao žive hrane značajno porastao u poslednjoj deceniji (Magouz i sar., 2021).

Danas se uzgaja i koristi više vrsta zooplanktona, među kojima su rotifere (*Brachionus plicatilis*) (Zaki i sar., 2021), kopepode (*Oithona nana*) (Magouz i sar., 2021) i *Daphnia magna* (El-Feky i sar., 2020). Alge predstavljaju osnovni izvor hrane za zooplankton (Zaki i sar., 2021; Ashour i sar., 2018), međutim u ishrani različitih zooplanktonskih vrsta mogu se koristiti i neki poljoprivredni proizvodi, poput industrijskog otpada i stajnjaka (Herawati i sar., 2018, 2017). Pored nutritivne vrednosti, zooplankton ima važnu ulogu u kontroli cvetanja algi u objektima za uzgoj riba. Takođe, može služiti kao indikator kvaliteta vode, što predstavlja dodatnu prednost njegovog prisustva u objektima za gajenje riba (Abo-Taleb i sar., 2021b; Ashour i sar., 2021; Khan i sar., 2020). Zooplankton, kao obnovljiv i prirodan izvor hranljivih materija, obezbeđuje sirove proteine, lipide, esencijalne aminokiseline i masne kiseline, što ga čini izuzetno značajnom komponentom u hrani za ribu (Dulić i sar., 2011).

Prirodna riblja hrana bazirana na zooplanktonu karakteriše se niskim sadržajem ugljenih hidrata (3-4,79%), sa oko 10% suve materije (Anton-Pardo i Adámek, 2015), dok sadržaj pepela varira između 4,5% i 14% (Riccardi i Mangoni, 1999). Prema Anton-Pardo i Adámek (2015), zooplankton može sadržati od 25% do 50% proteina (Rotifera), pa čak i više od 50% proteina u suvoj materiji kod vrsta kao što su *Daphnia*, *Moina* i *Cyclops*. Lipidni sadržaj zooplanktona iznosi oko 10%, sa značajano povoljnim odnosom nezasićenih masnih kiselina.

Kao prednosti ove prirodne hrane u odnosu na riblje brašno, mogu se nabrojati mogućnost postizanja velikih gustina u kratkom vremenskom periodu, kao i visoka stopa rasta, niža cena. Korišćenje suve biomase zooplanktona kao sastojka u hrani pokazalo je pozitivne rezultate kod

zamene ribljeg brašna ovim izvorom proteina u nekim komercijalnim hranama za ribe (Naylor i sar., 2009). Među vrstama zooplanktona, *D. magna* se ističe sa povoljnim nutritivnim sastavom i koristi se kao hrana za riblju mlad (El-Feky i sar., 2020; Bogut i sar., 2010). Svrstava se u najznačajnije zooplanktonske vrste koje se koriste u ishrani riba, jer sadrži visok procenat proteina i to u rasponu od 30% do čak 70% (Bogut i sar., 2010).



Slika 5. Zooplankton prikupljen planktonskom mrežicom (foto: S. Marjanović)

Pored visokog sadržaja proteina, *D. magna* je bogata nezasićenim masnim kiselinama, antioksidansima i vitaminima (El-Feky i sar., 2020; Chiu i sar., 2015; Bogut i sar., 2010). Osim toga, prisustvo slobodnih aminokiselina u zooplanktonu podstiče razvoj digestivnog sistema larvi tokom njihove prve faze ishrane, čime se poboljšava unos proteina, a samim tim rast i razvoj jedinki (Rønnestad i Conceicao, 2005; Fyhn i sar., 1993). Uzgoj *D. magna* nije zahtevan, a za njenu ishranu mogu se koristiti različiti prehrambeni ostaci koji bi inače ostali neiskorišćeni (Abo-Taleb i sar., 2021b). Uzgoj zooplanktona donosi značajne prednosti, među kojima se ističu brzo razmnožavanje i sposobnost da se, kao živa hrana, odmah nakon hvatanja prilagodi veličini i obliku ribljih usta (Cheban i sar., 2017).

Brašno dobijeno od zooplanktona sadrži visok nivo proteina, što ga čini kvalitetnim sastojkom u komercijalnoj hrani za ribe. Može se koristiti kao alternativni izvor životinjskih proteina, a ujedno predstavlja adekvatnu zamenu za riblje brašno (Baeza-Rojano i sar., 2013).

2.6. Antioksidativni enzimi

Reaktivne vrste kiseonika (ROS) nastaju kao proizvod oksidativnog metabolizma kod svih organizama koji koriste kiseonik u procesu disanja (Ahmad, 1995). ROS obuhvata kako slobodne radikale kiseonika kao što su: superoksid anjon radikal ($O_2^{\cdot-}$), hidroksilni radikal (OH^{\cdot}), hidroperoksilni radikal (HO_2^{\cdot}) i druge, tako i neradikalne oblike kao što su singlet kiseonik (1O_2), vodonik-peroksid (H_2O_2), i organski peroksidi (ROOH). ROS funkcionišu kao oksidujućim agensima ili se lako transformišu u slobodne radikale, koji u višku narušavaju ćelijsku ravnotežu (Halliwell i Gutteridge, 1999). Pošto su slobodni radikali joni, atomi ili molekuli sa jednim ili više nesparenih elektrona, to ih čini izrazito nestabilnim. Zbog svoje velike reaktivnosti, imaju tendenciju da stupaju u hemijske reakcije kako međusobno, tako i sa drugim molekulima, pokrećući lančane reakcije koje mogu dovesti do oštećenja ključnih biomolekula i narušavanja normalne ćelijske funkcije (Valko i sar., 2004).

$O_2^{\cdot-}$ i H_2O_2 su slabije reaktivne vrste kiseonika, ali u ćeliji lako dovode do formiranja OH^{\cdot} , koji je vrlo reaktivan i može da ošteti biomolekule kao što su proteini, masti i DNK. Iako kratko živi, OH^{\cdot} je najreaktivnija vodorastvorljiva forma kiseonika. Višak ovog radikala uključen u razvoj neurodegenerativnih i kardiovaskularnih bolesti, kao i raka. Nastaje tokom redoks reakcija poput Fentonove i Haber-Weissove (Ayala i sar., 2014). Iako je H_2O_2 slab oksidans, sposoban je da direktno oksiduje tiolne (-SH) grupe u aktivnim mestima pojedinih enzima, i na taj način ih onesposobi za dalje funkcionisanje. Osim toga, H_2O_2 lako reaguje sa određenim hem proteinima, uključujući mioglobin i citohrom c. Neradikalne vrste kiseonika prvenstveno deluju na proteine, pri čemu najčešće oksiduju aminokiselinske ostatke kao što su cistein i metionin, ali i tirozin, triptofan i

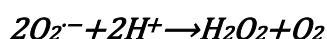
fenilalanin (Stocker i Keaney, 2004). Oksidativni stres označava stanje u kojem je narušena ravnoteža između stvaranja ROS i efikasnosti antioksidativne zaštite organizma (Sies, 1991).

Očuvanje ravnoteže između stvaranja reaktivnih vrsta kiseonika (ROS) i efikasnog delovanja antioksidativnih mehanizama ključno je za optimalno funkcionisanje organizma (Halliwell i Gutteridge, 1999; Ames i sar., 1993; Lemaire i Livingstone, 1993; Halliwell i Gutteridge, 1989). Ova dinamička ravnoteža između produkcije i eliminacije ROS ima suštinsku ulogu u održavanju ćelijske homeostaze (Lemaire i Livingstone, 1993). U slučajevima kada se ta ravnoteža poremeti i nastupi oksidativni stres, ćelija pokreće antioksidativni zaštitni sistem kako bi ublažila negativne efekte stresa (Cadenas, 1989; Buonocore i sar., 2010).

Sistem antioksidativne zaštite obuhvata enzimske i neenzimske komponente (Dröge, 2002; Morales i sar., 2014). Među enzimima ističu se superoksid dismutaza (SOD), katalaza (CAT), a među glutation zavisnim enzima, glutation peroksidaza (GPx) i glutation-S-transferaza (GST), koji direktno učestvuju u neutralizaciji reaktivnih vrsta kiseonika.

2.6.1. Superoksid-dismutaza (SOD)

Superoksid-dismutaza (SOD, EC 1.15.1.1) je metaloprotein koji katalizuje dismutaciju $O_2^{\cdot-}$ u molekularni kiseonik i H_2O_2 . Ovaj enzim ima važnu ulogu u zaštiti ćelije, gde predstavlja prvu liniju odbrane od oštećenja izazvanih reaktivnim vrstama kiseonika (Fridovich, 1995; McCord i Fridovich, 1988). Reakcija se može predstaviti sledećom hemijskom jednačinom:



$O_2^{\cdot-}$ - superoksidni anjon, slobodni radikal koji nastaje kao nusprodukt ćelijskog metabolizma; H^+ - proton koji potiče iz ćelijskog okruženja, poput citosola; H_2O_2 - vodonik-peroksid, produkt dismutacije sa potencijalno toksičnim dejstvom; O_2 - molekularni kiseonik, drugi produkt dismutacije.

U zavisnosti od vrste metala prisutnog u aktivnom centru enzima, razlikuje se više tipova superoksid-dismutaza: FeSOD - superoksid-dismutaza koja sadrži gvožđe; NiSOD - superoksid-dismutaza koja sadrži nikel; MnSOD - superoksid-dismutaza koja sadrži mangan; CuZnSOD superoksid-dismutaza sa bakrom i cinkom; ECSOD - ekstracelularna superoksid-dismutaza (Alscher i sar., 2002).

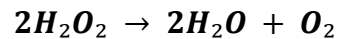
FeSOD se nalazi kod prokariotskih organizama, kao i u plastidima biljnih ćelija. **NiSOD** je prisutna isključivo kod prokariota. **MnSOD** nalazi se u peroksizomima eukariotskih ćelija i mitohondrijama, ali se javlja i kod prokariota. Njegova koncentracija je naročito velika u organima sa izraženom respiratornom aktivnošću. **FeSOD** i **MnSOD** pokazuju visok stepen sekvencijske homologije i sličnu trodimenzionalnu strukturu, dok se ostale izoforme međusobno značajno razlikuju (Matés, 2000). **CuZnSOD** je homodimer lokalizovan u citoplazmi eukariotskih ćelija. **ECSOD** je tetramerni glikoprotein koji sadrži bakar i cink, a nalazi se u intersticijalnim prostorima tkiva i u ekstracelularnim tečnostima, uključujući plazmu, limfu i sinovijalnu tečnost (Matés, 2000).

2.6.2. Katalaza (CAT)

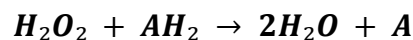
Katalaza (CAT, EC 1.11.1.6) je jedan od najefikasnijih enzima u živim organizmima. Stukturno je homotetramer koji u aktivnom centru sadrži hematin (hem - Fe^{3+} protoporfirin) grupu (Halliwell i Gutteridge, 2007; Halliwell i Gutteridge, 1999). Nalazi se u svim tkivima sisara (Halliwell i Gutteridge, 1985). Najviši nivoi katalazne aktivnosti zabeleženi su u eritocitima i jetri, dok su niže

koncentracije utvrđene u mišićima, mozgu i srcu (Halliwell i Gutteridge, 1999). Katalaza katalizuje dva tipa reakcije:

- Katalazna reakcija koja se odvija pri visokim koncentracijama supstrata (iznad 1 μM), tokom koje se H_2O_2 direktno razlaže na H_2O i O_2 (Gavrić, 2015; Žikić i sar., 2000). Ova reakcija se može predstaviti sledećom jednačinom:



- Peroksidna reakcija se odvija pri niskim koncentracijama vodonik-peroksida (ispod 1 μM). Tokom ove reakcije dolazi do redukcije H_2O_2 uz pomoć različitih donora vodonika, kao što su alkoholi i askorbinska kiselina (Gavrić, 2015; Žikić i sar., 2000). Reakcija se može predstaviti sledećom jednačinom:

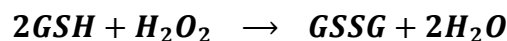


AH_2 predstavlja donor elektrona (alkohol ili askorbinska kiselina), dok A označava oksidovani oblik tog donora.

U aerobnim eukariotskim ćelijama, katalaza je pretežno lokalizovana u peroksizomima, gde ima ključnu ulogu u uklanjanju H_2O_2 nastalog tokom β -oksidacije masnih kiselina. Osim u peroksizomima, prisutna je i u mitohondrijama i citosolu (El-Beltagi i Mohamed, 2013; Žikić i sar., 2000).

2.6.3. Glutation peroksidaza (GPx)

Glutation peroksidaza (GPx, EC 1.11.1.9) je enzim prisutan u svim ćelijama eukariotskih organizama. Primarna funkcija mu je da ubrza redukciju H_2O_2 u vodu, kao i konverzija organskih hidroperoksida u odgovarajuće alkohole, prema sledećim reakcijama (Blagojević i Grubor-Lajšić, 2000). U najčešćem broju slučajeva, gde je supstrat vodonik-peroksid (H_2O_2), reakcija je:



GSH je redukovani glutation (donor elektrona), H_2O_2 je vodonik-peroksid (reaktivni molekul koji se neutrališe), GSSG je Glutation-disulfid (oksidovani oblik glutationa), H_2O voda (bezopasni nusproizvod).

Ukoliko enzim deluje na organske hidroperokside (ROOH), opšta hemijska jednačina je:



ROOH - organski peroksid; GSH - redukovani glutation (donor elektrona); ROH - odgovarajući alkohol (nastaje redukcijom peroksidne grupe); GSSG - glutation-disulfid (oksidovani oblik glutationa); H_2O - voda (nusproizvod reakcije).

U poređenju sa CAT, GPx pokazuje viši afinitet prema H_2O_2 , što je čini ključnim enzimom u ćelijskoj odbrani pri niskim koncentracijama ovog reaktivnog molekula. Nasuprot tome, CAT preuzima dominantnu ulogu u neutralizaciji H_2O_2 pri visokim koncentracijama, odnosno u uslovima izraženog oksidativnog stresa izazvanog viškom ove reaktivne vrste (Kruidenier i Verspaget, 2002).

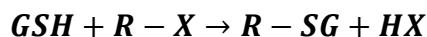
Kod sisara je identifikovano pet izoformi GPx (Matés, 2000). U citosolu i mitohondrijama nalazi se selenoprotein GPx 1 koji katalizuje redukciju hidroperoksida masnih kiselina i H₂O₂ koristeći glutation (GSH) kao donor elektrona. Ova izoforma je najzastupljenija u eritrocitima, jetri i bubrezima. Zatim, citosolna GPx 2 i vanćelijska GPx 3 su takođe selenoproteini, ali su slabije izraženi u većini tkiva, izuzev gastrointestinalnog trakta i bubrega. Fosfolipid-hidroperoksid-glutation-peroksidaza (GPx 4), zajedno sa GPx 1, prisutna je u većini tkiva. GPx 4 je selenoenzim koji se intenzivno eksprimira u epitelnim ćelijama bubrega i testisima. Ovaj monomerni, unutarćelijski antioksidativni enzim redukuje perokside holesterola i fosfolipidne hidroperokside u ćelijskim membranama. Osim što štiti ćelije od lipidne peroksidacije, GPx 4 ima važnu ulogu u sazrevanju spermatozoida i regulaciji embriogeneze (Borchert i sar., 2006). Peta izoforma, GPx 5, prisutna je u epididimusu kod brojnih sisarskih vrsta i predstavlja jedinu izoformu koja ne zavisi od selena (Gavrić, 2015).

2.6.4. Glutation-S-transferaza (GST)

Glutation-S-transferaza (GST, EC 2.5.1.18) je enzim koji je široko rasprostranjen u prirodi i može se naći kod biljaka, nematoda, kvasaca, anaerobnih bakterija, insekata i kod svih kičmenjaka (Reinemer i sar., 1996). Kod sisara, GST se nalazi u gotovo svim tkivima, ali najveća aktivnost je u jetri gde može činiti i do 10% ukupnih proteina citosola, gde je inače ovaj enzim i prisutan (Žikić i sar., 2000). Enzim pripada multigenetskoj porodici proteina sa ključnom ulogom u detoksikaciji velikog broja jedinjenja (ksenobiotika, kancerogena, hepatičkih toksina) (Žikić i sar., 2000; Eaton i Bammler, 1999). Glutation-S-transferaza ima tri različite funkcije:

Kovalentno vezuje pesticide i potencijalno toksične supstance (Bolt, 1996),

Deluje kao vezujući protein za metabolite, lekove i steroide i na taj način obezbeđuje njihov lakši transport (Žikić i sar., 2000). Katalizuje reakcije konjugacije redukovanog glutationa sa elektrofilnim supstancama, kao što su estri, alkani, laktoni, epoksidi (Beutler i Eaton, 1992). Opšta hemijska jednačina glasi:



GSH - redukovani glutation; **R-X** - elektrofilni supstrat; **R** - predstavlja organsku grupu; **X** - odlazeća grupa ili aktivno mesto za adiciju; **GS - R** - glutation-S-konjugat; **HX** - nusproizvod reakcije koji zavisi od prirode supstrata.

Glutation-S-transferaza obavlja širok spektar funkcija. Osim toga što učestvuje u eliminaciji ROS, ovaj enzim katalizuje reakcije konjugacije sa različitim endogenim ligandima. Takođe, GST deluje kao katalizator u metaboličkim putevima koji nisu direktno povezani sa detoksikacijom, uključujući i regeneraciju proteina nakon S-tiolacije (Sheehan i sar., 2001). Jedna od značajnih funkcija GST jeste njegova peroksidazna funkcija, koja se odvija u dve faze. U prvoj fazi dolazi do enzimske redukcije peroksida u odgovarajuće alkohole, pri čemu se kao nusprodukt formira hidroksilovani glutation (GSOH). U drugoj fazi, GSOH se spontano redukuje pomoću GSH, čime nastaju H₂O i oksidovani glutation (Sherratt i Hayes, 2001). Pored toga, GST učestvuje u detoksikaciji endogenih produkata lipidne peroksidacije, kao što je 4-hidroksi-2-nonenal, koji ima potencijalno štetno dejstvo na ćelijske strukture (Eaton i Bammler, 1999). Do danas je identifikovano 15 klasa izoformi GST: alfa, beta, delta, epsilon, kapa, lambda, mi, omega, fi, pi, sigma, tau, teta, zeta i ro (Park i sar., 2009).

3. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA

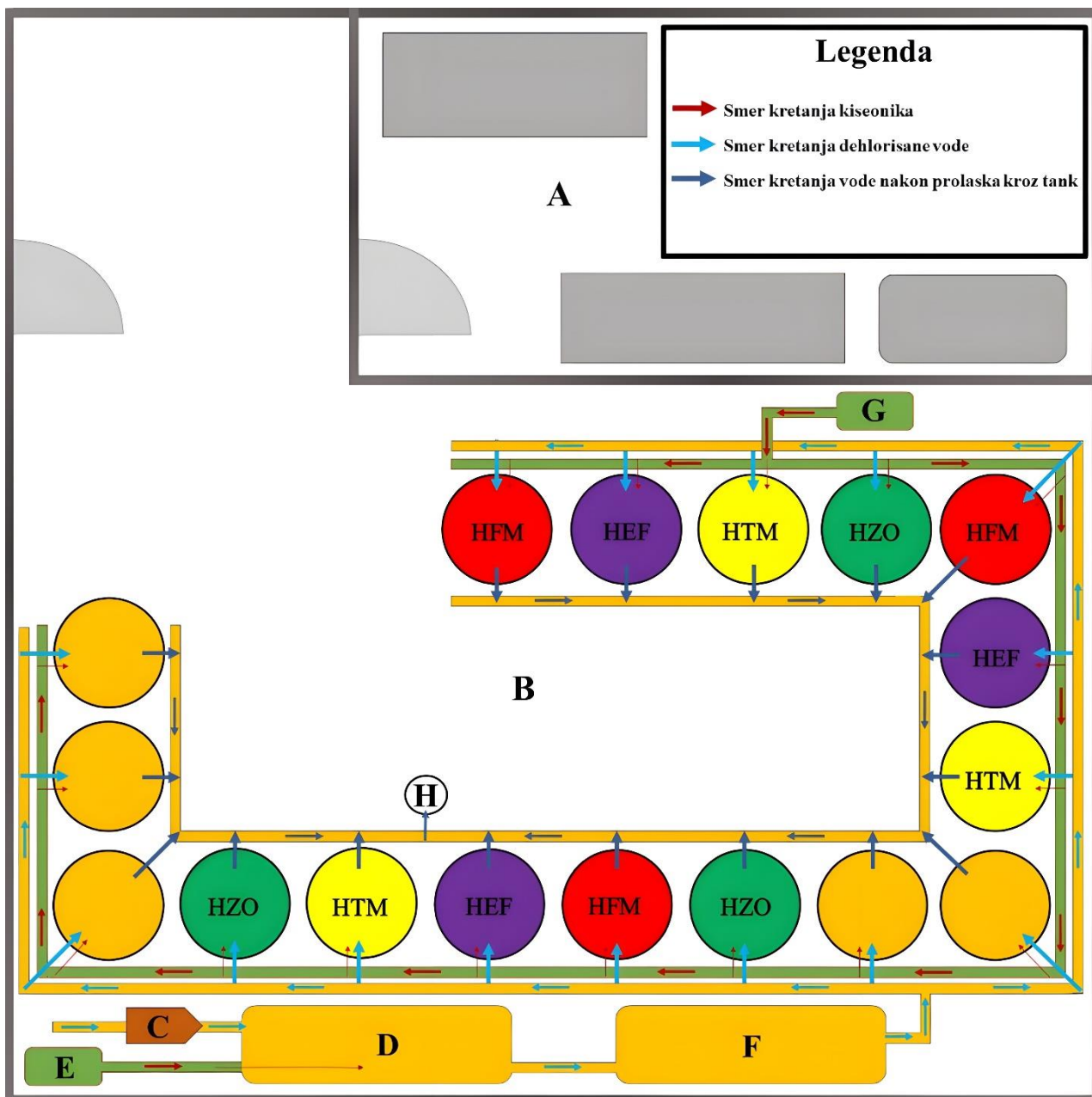
Cilj doktorske disertacije je bio da se istraži mogućnost potpune zamene ribljeg brašna alternativnim izvorima proteina životinjskog porekla, kao što su brašno kalifornijske gliste, brašno larve velikog brašnara i brašno organizama zooplanktona. Fokus je stavljen na procenu uticaja ovih proteina na proizvodne karakteristike šarana gajenog u kaveznom sistemu i laboratorijskim uslovima i kalifornijske pastrmke u laboratorijskim uslovima. Pored toga, ispitivano je da li alternativni izvori proteina imaju uticaja na antioksidativni status hranjenih riba, a preko analize nivoa aktivnosti antioksidativnih enzima: SOD, CAT, GPx i GST.

4. MATERIJAL I METODE

Istraživanja o mogućnostima potpune zamene ribljeg brašna u ishrani gajenih riba u tank sistemima su realizovana u Laboratoriji za ishranu riba na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, dok su istraživanja na ribama gajenim u kaveznom sistemu obavljena u eksperimentalnom kaveznom sistemu Centra za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju, "Mali Dunav" Oglednog dobra "Radmilovac", Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Realizacija istraživanja sa životinjama je odobrena od strane Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, uprava za veterinu, Republika Srbija, broj 323-07-10975/2022-5.

4.1. Opis Laboratorije za ishranu riba

Laboratorija za ishranu riba (**Slika 6**) sastoji se od dve prostorije: jedna je namenjena za pripremu, skladištenje i čuvanje hrane (**A**), dok su u drugoj smešteni tankovima i oprema predviđena za pripremu vode i realizaciju eksperimenata (**B**).



Slika 6. Šematski prikaz laboratorije za ishranu riba sa položajem tankova i rasporedom tretmana. **A** - prostorija za pripremu, skladištenje i čuvanje hrane; **B** - prostorija sa tankovima za realizaciju eksperimenata; **C** - filter sa aktivnim ugljem; **D** - tank za ukljanjanje zaostalog hlora i aeraciju vode; **E** - kompresor za aeraciju vode u prvom tanku; **F** - tank za zagrevanje vode; **G** - kompresor za aeraciju vode u tankovima sa ribom; **H** - kanalizaciona cev. **HFM**: tankovi u kojima je korišćena hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: tankovi u kojima je korišćena hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: tankovi u kojima je korišćena hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: tankovi u kojima je korišćena hrana bazirana na brašnu zooplanktona (autor: S. Marjanović).

Vodosnabdevanje Laboratorije za ishranu riba regulisano je priključkom na gradsku vodovodnu mrežu. Nakon ulaza u sistem, voda prolazi kroz filter sa aktivnim ugljem (**C**), poznat kao CST dehlorinator, koji uklanja rezidualni hlor, apsorbuje organske materije male molekulske mase, hloramine, organske supstance i aktivni hlor. Nakon filtracije, voda se kroz cevovod, korišćenjem plovka kao regulatora protoka, upućuje u dva protočna tanka za pripremu vode, sa pojedinačnom zapreminom od po 500 litara.

U prvom tanku (**D**) vrši se aeracija vode pomoću vazdušnog kompresora (**E**), što omogućava ukljanjanje preostalog hlora i dodatno obogaćivanje vode kiseonikom. U drugom tanku (**F**) se voda uz pomoć grejača (koji je korišćen u eksperimentu sa šaranom) zagreva do optimalne temperature. Nakon pripreme, voda se prirodnim padom, koristeći sistem cevi i ventila za regulaciju dotoka, uliva u tankove za gajenje riba pojedinačnih zapremina od po 120 litara. Tankovi za gajenje riba su izrađeni od armiranog poliestera i povezani sa vazdušnim kompresorom (**G**) preko sistema cevi za vazduh i kamenih rasprskivača, što omogućava dodatno obogaćivanje vode kiseonikom.

Tokom realizacije eksperimenata tankovi su pokriveni zaštitnom mrežom kako bi se sprečilo moguće iskakanje riba. Ishrana riba se obavlja korišćenjem belt (trakastih) hranilica (AGK Kronawitter GmbH) u koje se stavlja unapred preračunata i izmerena dnevna količina odgovarajuće hrane. Tokom namotavanja trake, hrana se postepeno oslobađa u periodu od 6 sati, ispada iz hranilice, upada u tank i postaje dostupna ribama. Dno tanka je konusnog oblika, a povezan je sa ventilom za zaustavljanje protoka vode i kolektorom za sakupljanje fecesa i nepojedene hrane, dok dalje, sistemom cevi, voda odlazi u kanalizacionu cev (**H**).

4.2. Kavezni sistem za realizaciju eksperimenta

Kavezni sistem za realizaciju eksperimenta (**Slika 7**) postavljen je u zemljanom objektu za gajenje šarana, u okviru Centru za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju "Mali Dunav" Oglednog dobra "Radmilovac", Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Vodosnabdevanje ovog objekta vrši se korišćenjem arteških bunara, dubokih oko 130 m. Prosečna dubina jezera u kome je realizovan eksperiment iznosi oko 120 cm. Kavezi su poređani u dva reda, a između njih se nalazi most širine 40 cm, koji je omogućavao kretanje u cilju praćenja aktivnosti riba, svakodnevne distribucije hrane po kavezima i različitih manipulativnih procesa sa ribom. Međusobno rastojanje između kaveza je bilo oko 30 cm, kavezi su bili postavljeni na nosač (sajlu) tako da je svaki svojim gornjim delom bio iznad vodene površine, što je omogućavalo lakšu kontrolu i ishranu. Pojedinačne zapremine svakog kaveza iznose 0,22 m³ (0,6 m x 0,6 m x 0,6 m). Da bi se sprečio mogući deficit kiseonika, svaki kavez je povezan sa vazdušnim kompresorom preko kamenog rasprskivača i sistema creva, što omogućava dodatno obogaćivanje vode kiseonikom, osiguravajući optimalne uslove za gajenje riba u eksperimentalnom kaveznom sistemu.



Slika 7. Kavezni sistem za realizaciju eksperimenata u zemljanom objektu za gajenje šarana (foto: S. Marjanović)

Kavezi su sa gornje strane zatvoreni zaštitnom mrežom kako bi se sprečilo iskakanje ribe. Distribucija prethodno izmerene i preračunate količine hrane realizovana je ručno. Dnevna količina hrane deljena je u dva obroka (dva puta dnevno) (**Slika 8**). Ova praksa doprinosi i smanjenju otpada i osigurava pravilno snabdevanje riba hranom koja im je potrebna za rast.



Slika 8. Ručna distribucija hrane u kavezima sa šaranom (foto: S. Marjanović)

4.3. Ribe korišćene za realizaciju eksperimenata

Ispitivanje efekta potpune zamene ribljeg brašna alternativnim izvorima proteina animalnog porekla na proizvodne karakteristike i antioksidativni status realizovano je kroz tri eksperimenata. Dva eksperimenata su realizovana sa šaranom i jedan sa kalifornijskom pastrmkom, najznačajnijim komercijalnim vrstama riba u Srbiji. Sve ribe korišćene u istraživanju potiču iz programa selekcije Centra za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju "Mali Dunav", Oglednog dobra „Radmilovac“, Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

Prvi eksperiment sa šaranom realizovan je u eksperimentalnom kaveznom sistemu, u kome je nakon perioda adaptacije riba premerena i nasadena u 12 kaveza sa po 10 jedinki, pri čemu je prosečna

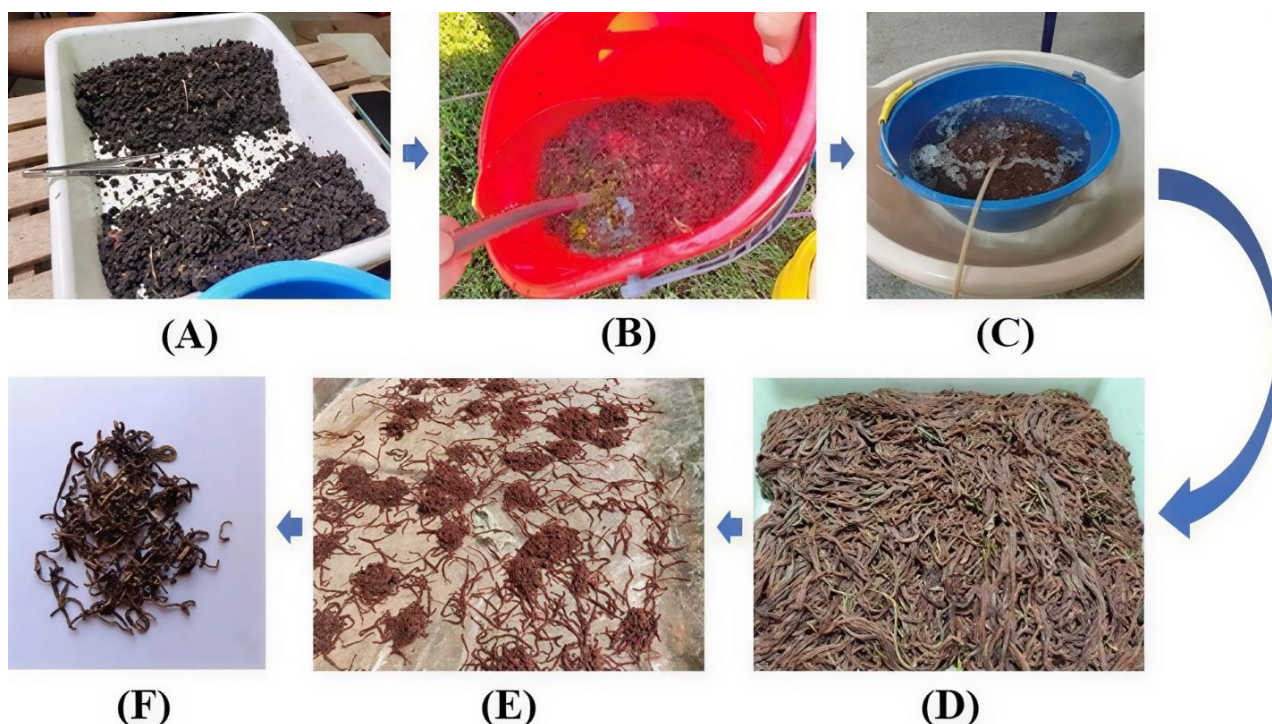
individualna masa riba iznosila $10,07 \pm 0,97$ g. Drugi eksperiment na šaranu, je realizovan u Laboratoriji za ishranu riba na Poljoprivrednom fakultetu, a u kome je ukupno korišćeno 120 riba, koje su nakon perioda adaptacije, premerene i raspoređene u 12 tankova po 10 riba. Prosečna startna individualna masa riba bila je $12,37 \pm 2,73$ g. Eksperiment sa kalifornijskom pastrmkom realizovan je u Laboratoriji za ishranu riba. Riba prosečne individualne mase od $15,04 \pm 1,82$ g su nakon perioda adaptacije premerene i nasađene u 12 tankova sa po 10 riba.

Period adaptacije je trajao 14 dana za sva tri eksperimenta. Za to vreme ribe su priviknute na tankove, poluautomatske hranilice, prisustvo ljudi, svakodnevno merenje abiotičkih parametara vode, kao i na dehlorisanu vodu iz gradske vodovodne mreže u Laboratoriji za ishranu riba. Sa druge strane, u kaveznom sistemu gajenja riba je adaptirana na kaveze, prisustvo ljudi i hranjenje “iz ruke”.

4.4. Alternativni izvori proteina korišćeni u istraživanju

Za spravljanje eksperimentalnih šarži hrane korišćeno je brašno tri alternativna izvora proteina animalnog porekla: kalifornijskih glista (*Eisenia fetida*) (**Slika 9**), larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*) (**Slika 10**) i zooplanktona (**Slika 11**).

Kalifornijske gliste neophodne za spravljanje hrane za ribe nabavljene su od lokalnih proizvođača u Srbiji. Proces pripreme kalifornijske gliste za dobijanje brašna podrazumevao je njeno mehaničko odvajanje od supstrata, pranje i držanje u vodi tokom 24h kako bi se ispraznio crevni sadržaj. Nakon toga, gliste su žrtvovane na temperaturi od $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ u trajanju od 15 minuta. Tako pripremljene gliste su sušene prirodnim putem jakim strujanjem vazduha do postizanja konstantne mase.



Slika 9. Proces pripreme kalifornijskih glista u cilju dobijanja brašna neophodnog za eksperimentalne šarže hrane. **A** - mehaničko odvajanje kalifornijskih glista od supstrata; **B** - postupak ispiranja kalifornijskih glista; **C** - postupak pražnjenja crevnog sadržaja; **D** - kalifornijske gliste nakon žrtvovanja; **E** - kalifornijske gliste u procesu sušenja; **F** - kalifornijske gliste nakon procesa sušenja (autor: S. Marjanović)

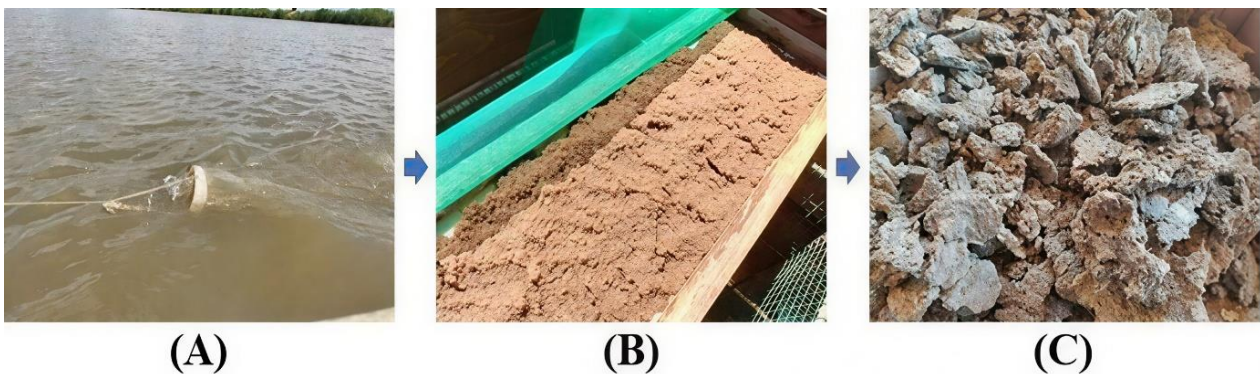
Larve velikog brašnara su nabavljene kao gotov finalni proizvod u sušenom obliku na tržištu (Ranz, Kina) (Slika 10).



Slika 10. A, B – žive larve velikog brašnara
C - sušene larve velikog brašnara
(foto: S. Marjanović)

Zooplankton je sakupljan pomoću planktonske mrežice promera 55 μm i prečnika obruča od 55 cm u zemljanom objektu za gajenje šarana Centra za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju “Mali Dunav”, Ogledno dobro Poljoprivrednog fakulteta, Univerzitet u Beogradu.

Dobijena masa zooplanktona, nakon sakupljanja planktonskom mrežicom, je očišćena, isprana destilovanom vodom i osušena prirodnim putem jakim strujanjem vazduha do postizanja konstantne mase.



Slika 11. Proces pripreme zooplanktona radi dobijanja brašna neophodnog za spravljanje eksperimentalnih šarži hrane: A - prikupljanje zooplanktona planktonskom mrežicom; B - priprema zooplanktona za proces sušenja; C - izgled zooplanktona nakon procesa sušenja (foto: S. Marjanović)

Nakon procesa sušenja, sušene gliste, larve velikog brašnara i zooplankton su upakovani i skladišteni u zamrzivaču na temperaturi od -18 °C, gde su čuvani do faze pripreme eksperimentalnih šarži hrane.

4.5. Metode za određivanje hemijskog sastava hrane i alternativnih izvora proteina

4.5.1. Metoda određivanje suve materije

Sadržaj suve materije u fino samlevenom uzorku obavljen je metodom ISO 6496:2001. Metoda se zasniva na premeravanju mase uzorka, pre i posle sušenja na temperaturi od 105 °C, do postizanja konstantne mase.

4.5.2. Metoda određivanja proteina

Količina sirovih proteina u uzorku utvrđena je Kjeldahl-ovom metodom ISO 5983–1:2010. Metoda se zasniva na mineralizaciji organske materije koncentrovanom sumpornom kiselinom uz prisustvo katalizatora. Nakon digestije, sprovodi se alkalizacija uzoraka dodatkom natrijum-hidroksida (NaOH), čime se omogućava destilacija oslobođenog amonijaka, čija se količina utvrđuje titracijom standardizovanim rastvorom kiseline. Kako proteini hrane sadrže u proseku oko 16% azota, dobijeni sadržaj se uz pomoć faktora 6,25 preračunava na sadržaj sirovih proteina prisutnih u uzorku.

4.5.3. Metoda određivanja masti

Sadržaj sirovih lipida izmeren je metodom ISO 6492:2001 u aparaturi po Soxhlet-u. Ova metoda se zasniva na ekstrakciji masti iz ispitivanog uzorka, pomoću organskih i lako isparljivih rastvarača, kao što je petroletar. Tretiranje uzoraka ovakvim rastvaračima dovodi do ekstrahovanja masti, a nakon ovog procesa i procesa sušenja vrši se merenje i preračunavanje procentualne zastupljenosti masti u ispitivanom uzorku.

4.5.4. Metoda određivanja pepela

Postupak određivanja sirovog pepela obavljen je metodom ISO 5984:2013. Metoda se zasniva na činjenici da pri sagorevanju suve materije ispitivanog uzorka organska jedinjenja oksidišu i prelaze u gasovito stanje, nakon čega zaostaju samo mineralne materije. Sagorevanje uzorka, kako bi se utvrdila količina pepela, vrši se u specijalnim pećima na temperaturi od 550 °C do 600 °C. Iz količine uzetog uzorka i količine pepela preračunava se procenat mineralnih materija u uzorku.

4.6. Eksperimentalna hrana korišćena u istraživanju sa šaranom

Eksperimentalna hrana za ribe proizvedena je u vidu peleta u pilot postrojenju za proizvodnju hrane za životinje Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu primenom postupka ekstrudiranja.

Za potrebe eksperimenata, tj., kako bi se ispitao uticaj potpune zamene ribljeg brašna alternativnim izvorima proteina animalnog porekla na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana formulisana su četiri tipa eksperimentalne hrane koje su bile izoproteinske (**Tabela 1, Prilog A**). Glavni izvor životinjskog proteina u kontrolnoj hrani je riblje brašno (HFM) sa učešćem od 18,1%. Udeo brašna kalifornijskih glista (HEF) u prvoj eksperimentalnoj hrani je bio 17,1%. Zastupljenost brašna larvi velikog brašnara (HTM) u drugoj eksperimentalnoj hrani je bila 21,2%, dok je zooplankton (HZO) sačinjavao 24,1% treće eksperimentalne hrane za šarana. Pored prethodno navedenih komponenti, nosilac proteina biljnog porekla prilikom formulacije hrane je bilo i ekstrudirano zrno soje koje je sa učešćem od 25%, bilo zastupljeno u svim eksperimentalnim

hranama u istom odnosu. Podjednako zastupljena, u svim eksperimentalnim hranama, je bila i suncokretova sačma sa učešćem od 20%. Kao glavni izvor lipida u hrani za šarana korišćeno je sojino ulje, sa jednakom zastupljenošću u kontrolnoj hrani i hrani koja sadrži brašno kalifornijske gliste, dok je u eksperimentalnoj hrani sa brašnom zooplanktona udeo sojinog ulja nešto niži, a ova komponenta nije zastupljena u hrani u kojoj je brašno larvi velikog brašnara u potpunosti zamenilo riblje brašno, jer su larve brašnara same po sebi sadržale veću količinu masti. Ostale komponente prisutne u hrani za šarana su pšenica, zrno kukuruza i kukuruzni škrob. Pored njih prilikom formulacije eksperimentalnih hrana korišćen je i monokalcijum fosfat, NaCl, stočna kreda, lizin i premiks za ishranu riba.

4.7. Eksperimentalna hrana korišćena u istraživanju sa kalifornijskom pastrmkom

Za potrebe istraživanja na kalifornijskoj pastrmci, takođe su formulisane četiri izoproteinske eksperimentalne hrane (**Tabela 2, Prilog A**). Kao izvor proteina u eksperimentalnim hranama za kalifornijsku pastrmku korišćeno je mesno brašno, ekstrudirano sojino zrno, hemoglobin i krvno brašno sa podjednakim učešćem u svim smešama. Dakle, željena količina proteina postignuta je različitim učešćem brašna od animalnih izvora proteina čiji se efekat ispituje. Zastupljenost ribljeg brašna u kontrolnoj grupi je bio 39,2%, učešće brašna kalifornijske gliste je bio 34%, zatim učešće brašnara je bilo 44,3%, dok je brašno zooplanktona činilo 44,5% u eksperimentalnoj hrani. Kao izvor lipida korišćeno je sojino ulje čija je najveća zastupljenost bila u hrani baziranoj na brašnu kalifornijskih glista, dok je najmanja zastupljenost ove komponente u hrani gde je riblje brašno zamenjeno brašnom larvi velikog brašnara. Od ostalih komponenti u hrani za pastrmku korišćen je kukuruzni škrob čije se učešće kretalo od 12,8% u smeši sa zooplanktonom do 21% u smeši sa kalifornijskom glistom. Takođe, prilikom pripreme hrane korišćen je monokalcijum fosfat, premiks, metionin, lizin, digest fast i antioksidant.

4.8. Dinamika hranjenja riba

Potrebna količina hrane, na dnevnom nivou, određena je na osnovu ukupne ihtiomase riba u tanku ili kavezu. U eksperimentu sa šaranom koji je realizovan u kaveznom sistemu (**Slika 7**), riba je prvog dana, od početka eksperimenta, hranjena sa 1% hrane, drugog dana sa 1,5%, trećeg sa 2% hrane u odnosu na ukupnu nasadnu masu i to je period privikavanja riba na dodatnu hranu. Od četvrtog dana pa do kraja eksperimenta riba je hranjena sa 2,5% hrane. Ukupna količina dnevnog obroka je uvek distribuirana u isto vreme u dva navrata i to 50% dnevnog obroka u 9:30, a drugih 50% u 13:30.

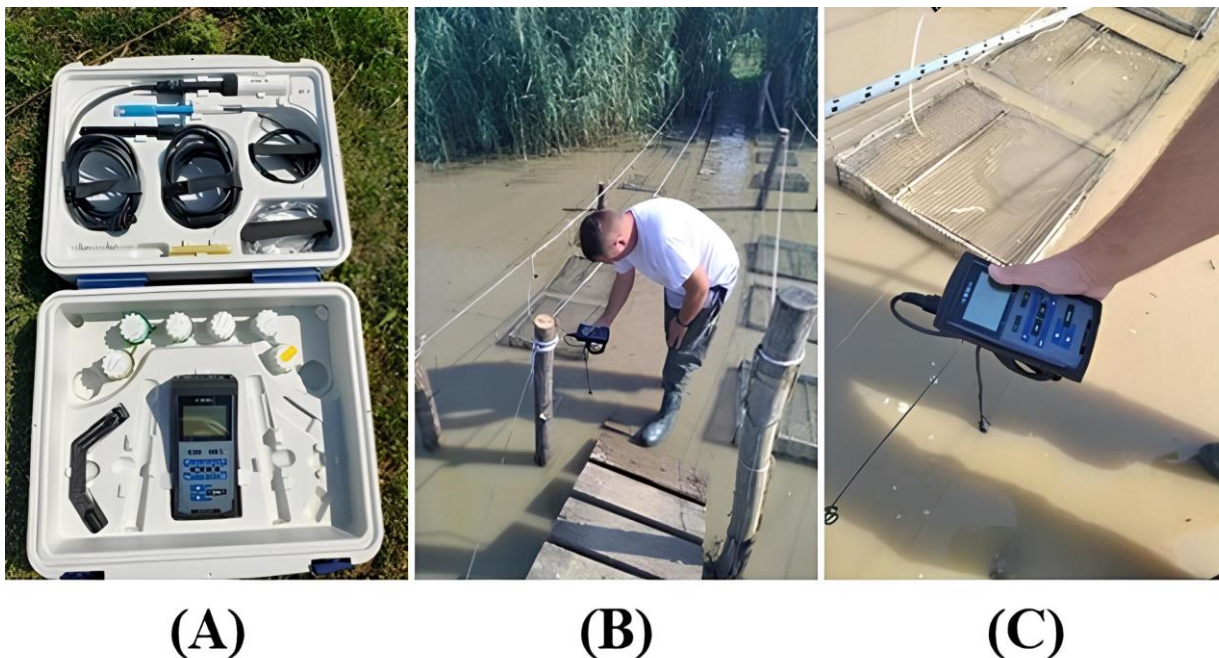
Drugi i treći eksperiment su realizovani u tank sistemu (**Slika 6**) sa šaranom i kalifornijskom pastrmkom. Riba je pre postavke eksperimenta prošla kroz period adaptacije na ambijentalne uslove i na dodatnu hranu. Šaran je tokom eksperimenta hranjen sa 2,5% hrane, dok je pastrmka tokom celog eksperimenta hranjena sa 2% hrane u odnosu na ukupnu ihtiomasa riba u tanku. Hrana je odmeravana na preciznoj vagi (Kern PCB, $d = 0,01$ g), a distribuirana ribama preko belt hranilica (AGK Kronawitter GmbH). Kako je eksperiment odmicao povećavala se ukupna masa riba i na osnovu te mase se povećavala dnevna količina hrane. Povećanje mase riba, praćeno je kontrolnim premeravanjem riba nakon 14 hranidbenih dana. Prilikom kontrolnog merenja pojedinačna masa riba merena je korišćenjem vage (Kern PCB, $d=0,01$ g). Ukupna i standardna dužina, kao i visina tela merena je pomoću ihtiometra, dok je širina tela merena pomoću šublera. Pre početka rada, riba je blago anestetizirana sa nekoliko kapi eteričnog ulja karanfilića (*Sizigium aromaticum*) i na taj način je omogućen lakši postupak merenja, a ujedno smanjen stres kod ribe.

Eksperimenti su bili organizovani u tri perioda i svaki u trajanju od 30 dana. Tokom svakog perioda sprovedena su po dva kontrolna merenja gde su ribe u kontinuitetu hranjene po 14 dana, a zatim je narednog dana vršeno kontrolno merenje. Na taj način, u okviru jednog perioda bilo je ukupno 28 hranidbenih dana i dva dana namenjena kontrolnim merenjima, tokom kojih ribe nisu

hranjene. Ponašanje riba, da li riba konzumira hranu i moguća uginuća su svakodnevno praćena i evidentirana. U slučaju da se desi uginuće tokom trajanja eksperimenta, od ukupne mase riba sa kontrolnog merenja se oduzme masa uginule jedinice i na osnovu ukupne korigovane ihtiomase bi se preračunala nova količina hrane. Kako bi se izračunali hepatosomatski i viscerosomatski indeksi, na kraju eksperimentalnog perioda izmerena je masa jetre i ukupna masa organa riba.

4.9. Merenje abiotičkih parametara vode

Za merenje abiotičkih parametara vode korišćen je pokretni merni instrument MULTI 340i/SET (WTW, Nemačka) koji poseduje tri sonde (**Slika 12**). Sonda za merenje količine kiseonika u vodi (mg/L) i zasićenost vode kiseonikom (%), zatim sonda za merenje pH vrednosti i temperature vode (°C) i sonda za merenje elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Nakon povezivanja sa aparatom, aparat automatski prepoznaje koja je sonda u pitanju, nakon čega se pristupa merenju. Merenje navedenih parametara vršeno je svakodnevno pre samog hranjenja riba. Prilikom merenja sonde se pojedinačno uranjaju na 10-15 cm ispod površine vode, sačeka se nekoliko sekundi dok vrednost na aparatu ne postigne konstantnu vrednost nakon čega se podatak očita i evidentira.



Slika 12. Postupak merenja abiotičkih parametara vode. **A** - Izgled pokretnog mernog instrumenta MULTI 340i/SET (WTW, Nemačka); **B, C** - postupak merenja abiotičkih parametara vode (foto: S. Marjanović)

4.10. Izračunavanje parametara prirasta riba i iskoristivosti hrane

Na osnovu prikupljenih podataka tokom istraživanja, izračunati su različiti parametri prirasta i iskoristivosti hranljivih materija. Izračunati parametri su: prirast ribe izražen u gramima i procentima (*engl. body weight gain, BWG*), specifična stopa rasta (*engl. specific growth rate, SGR*), koeficijent rasta za termičku jedinicu, (*engl. thermal unit growth coefficient, TGC*), dnevno učešće hrane (*engl. daily feeding rate, DFR*), koeficijent iskoristivosti hrane (*engl. feed efficiency ratio, FER*), koeficijent konverzije hrane (*engl. food conversion ratio, FCR*), utrošak proteina (*engl. protein intake, PI*), prosečan utrošak hrane po ribi (*engl. feed intake, FI*), potrebna svarljiva energija (*engl. digestible energy need, DEN*), metabolička stopa rasta (*engl. growth rates per metabolic weight unit, MGR_{MBW}*), stopa preživljavanja (*engl. survival rate, SR*), kondicioni faktor (*engl. condition factor,*

CF), kao i biometrijski indeksi odnosno hepatosomatski indeks (*engl. hepatosomatic index, HSI*) i viscerosomatski indeks (*engl. viscerosomatic index, VSI*).

Izračunavanje **prirasta riba** obavljeno je pomoću sledeće formule (Buyukcapar i Kamalak, 2006; Ogunji i sar., 2011):

$$\mathbf{BWG} (g) = \mathbf{W}_t - \mathbf{W}_0$$

$$\mathbf{BWG}(\%) = \left((\mathbf{W}_t - \mathbf{W}_0) \times \mathbf{W}_0^{-1} \right) \times 100$$

Gde je, \mathbf{W}_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), \mathbf{W}_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g).

Specifična stopa rasta dobijena je korišćenjem formule (Strand i sar., 2011):

$$\mathbf{SGR}(\% \text{ dan}^{-1}) = (100 \times (\ln \mathbf{W}_t - \ln \mathbf{W}_0) \times \mathbf{t}^{-1})$$

Gde je, \mathbf{W}_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), \mathbf{W}_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g), \mathbf{t} – broj dana u posmatranom periodu.

Koeficijent rasta za termičku jedinicu je dobijen primenom sledeće formule (Iwama i Tautz, 1981):

$$\mathbf{TGC}(\mathbf{g}^{\frac{1}{3}} (\text{°Cd})^{-1}) = \frac{\left(\mathbf{W}_t^{\frac{1}{3}} - \mathbf{W}_0^{\frac{1}{3}} \right)}{(\mathbf{T} \times \Delta \mathbf{t})} \times 1000$$

Gde je, \mathbf{W}_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), \mathbf{W}_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g), \mathbf{T} – temperatura vode ($^{\circ}\text{C}$), $\Delta \mathbf{t}$ – ukupan broj hranidbenih dana u posmatranom periodu.

Dnevno učešće hrane je računato prema sledećem obrascu (Li i sar., 2010):

$$\mathbf{DFR} (\%) = \left(\frac{\mathbf{Dd}}{\Delta \mathbf{t} \times \frac{(\mathbf{W}_t + \mathbf{W}_0)}{2}} \right) \times 100$$

Gde je, \mathbf{Dd} – količina pojedene hrane u posmatranom periodu (g), \mathbf{W}_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), \mathbf{W}_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g) i $\Delta \mathbf{t}$ – ukupan broj hranidbenih dana u posmatranom periodu.

Koeficijent iskoristivosti hrane dobijen je pomoću sledećeg obrasca (Du i sar., 2009):

$$\mathbf{FER} (g \text{ prirasta } g^{-1} \text{ hrane}) = (\mathbf{W}_t - \mathbf{W}_0) \times \mathbf{D}_{df}^{-1}$$

Gde je, \mathbf{W}_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), \mathbf{W}_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g), \mathbf{D}_{df}^{-1} – masa konzumirane suve materije u posmatranom periodu (g).

Koeficijent konverzije hrane je dobijen pomoću obrasca (Singh i sar., 2011):

$$\text{FCR} (g \text{ hrane}^{g^{-1}} \text{ prirasta}) = \frac{D_d}{W_t - W_0}$$

Gde je, D_d – količina konzumirane hrane u posmatranom periodu (g), W_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g) i W_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g).

Prosečan utrošak hrane po ribi je izračunat prema sledećem obrascu (Strand i sar., 2011):

$$\text{FI} (gd^{-1}) = \frac{D_d(gd^{-1})}{N} / \Delta t$$

Gde je, D_d ($g d^{-1}$) – količina konzumirane hrane, N – broj riba u posmatranom periodu, Δt – ukupan broj hranidbenih dana u posmatranom periodu.

Utrošak proteina dobijen je korišćenjem sledeće formule (Singh i sar., 2011):

$$\text{PI} (g) = \text{FI} (g) \times P_d(g)$$

Gde je, FI – utrošak hrane (g) i P_d – sadržaj proteina u hrani (g).

Potrebna svarljiva energija je izračunata na osnovu sledeće formule (Alanärä i sar., 2001):

$$\text{DEN} (kJ DE g^{-1} \text{ prirasta}) = \frac{(FI \times DE)}{(W_t - W_0)}$$

Gde je, FI – prosečan utrošak hrane po ribi, DE – svarljiva energija sadržana u hrani ($kJ \times g^{-1}$) energetske vrednosti makronutritijenata dobijena kao proizvod zbira = $23,7 \times$ sirovi proteini (g) + $36,3 \times$ sirove masti (g) + $17,2 \times$ bezazotne ekstraktivne materije (g), W_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g) i W_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g).

Metabolička stopa rasta je izračunata na sledeći način (Kumar i sar., 2010):

$$\text{MGR}_{MBW} (g kg^{-0,8} d^{-1}) = \text{BWG} (g) / \left(\frac{\left(\frac{W_0}{1000}\right)^{0,8} + \left(\frac{W_t}{1000}\right)^{0,8}}{2} \right) / \Delta t$$

Gde je, BWG – prirast riba (g), W_t – prosečna masa riba na kraju posmatranog perioda (g), W_0 – prosečna masa riba na početku posmatranog perioda (g) i Δt – ukupan broj hranidbenih dana u posmatranom periodu.

Stopa preživljavanja je dobijena korišćenjem sledeće formule (Singh i sar., 2011):

$$\text{SR} (\%) = (N_t \times N_0^{-1}) \times 100$$

Gde je, N_t – broj riba na kraju posmatranog perioda i N_0 – broj riba na početku posmatranog perioda.

Kondicioni faktor ili Fultonov koeficijent je dobijen preko sledeće jednačine (Fulton, 1904):

$$CF = \left(\frac{W}{L^3} \right) \times 100$$

Gde je, W – telesna masa ribe (g) i L – ukupna dužina tela ribe (cm).

Hepatosomatski indeks je dobijen korišćenjem sledeće jednačine:

$$HSI = \left(\frac{\text{masa jetre}}{\text{masa ribe}} \right) \times 100$$

Viscerosomatski indeks je dobijen korišćenjem sledeće formule:

$$VSI = \left(\frac{\text{masa organa}}{\text{masa ribe}} \right) \times 100$$

4.11. Masnokiselinski sastav mesa

Analiza masnokiselinskog sastava eksperimentalne hrane i mesa kalifornijske pastrmke sprovedena je na Naučnom institutu za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, u Laboratoriji za tehnologiju, kvalitet i bezbednost hrane. Za analizu masnih kiselina uzeto je približno 25 g uzorka mišića kalifornijske pastrmke, pri čemu je meso uzeto od 3 pastrmke. Lipidi iz uzoraka su ekstrahovani metodom prema Folch i sar. (1957) koja podrazumeva hladnu ekstrakciju sa smešom hloroform-metanol (2:1). Nakon 2,5 h mešanja, uzorci su filtrirani i sušeni kako bi se uklonili preostali rastvarači. Lipidi iz uzoraka ribe su ekstrahovani hladnom ekstrakcijom sa smešom hloroform-metanol (2:1). Metil estri masnih kiselina (FAME) su zatim pripremljeni transesterifikacijom sa 14% bor 3-fluorida u metanolu prema EN ISO (1296) 6–2: (2017). FAME su razdvojeni i analizirani pomoću Agilent GC-a opremljenog detektorom plamena jonizacije FID (Agilent, 7890 serija, SAD). Blank proba je izvedena u SP-2560 fuzionisanom silicijum kapilarnoj koloni (100 m x 20 mm i 0,20 µm debljine) sa helijumom kao nosećim gasom. Odnos razdvajanja je bio 20:1, a zapremina ubrizgavanja 1 µL. Temperature injektora i detektora su postavljene na 250 °C. Početna temperatura kolone od 140 °C je održavana 3 minuta, a zatim povećana na 220 °C brzinom od 3 °C/min i održana 5 minuta. Konačno, temperatura kolone je povećana na 240 °C brzinom od 2 °C/min i održavana konstantno 10 minuta. FAME su identifikovani upoređivanjem vremena zadržavanja sa onima referentnog standarda (Supelco 37 FAME mešavina, Sigma-Aldrich, Bellefonte, PA, SAD).

Rezultati su izraženi kao relativni procenat svake identifikovane masne kiseline. Na osnovu profila masnih kiselina, indeksi nutritivnog kvaliteta lipidne frakcije određeni su prema sledećim proračunima:

Indeks aterogenosti (Ulbricht i Southgate, 1991):

$$AI = (4 \times 14:0 + 16:0) / (\text{MUFA} + \text{n-3 PUFA} + \text{n-6 PUFA})$$

Indeks trombogenosti (Ulbricht i Southgate, 1991):

$$TI = (14:0 + 16:0 + 18:0) / ((0,5 \times \text{MUFA}) + (0,5 \times \text{n-6 PUFA}) + (3 \times \text{n-3 PUFA}) + (\text{n-3 PUFA} / \text{n-6 PUFA}))$$

Hipoholesterolemija / hiperholesterolemija FA odnos (h/H) (Santos-Silva i sar., 2002):

$$h/H = (C18:1n9+C18:2n6+C20:4n6+C18:3n3+C20:5n3+C22:5n3+C22:6n3)/(C14:0+C16:0)$$

4.12. Senzorna analiza fileta kalifornijske pastrmke

Senzorna analiza na filetima kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina sprovedena je u laboratoriji Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu. U deskriptivnoj senzornoj analizi i metodi za određivanje ukupnog kvaliteta proizvoda učestvovalo je 7 obučanih ocenjivača, dok su isti ocenjivači učestvovali i za ispitivanje senzorne prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača koji su pritom bili konzumenti hladnovodnih vrsta ribe, kao što je kalifornijska pastrmka. Za ispitivanje ukupne prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača primenjena je hedonska skala sa 9 podeoka. Obuka ocenjivača je trajala dve nedelje, a u sklopu obuke su ocenjivači bili upoznati sa pravilnim razumevanjem senzornih karakteristika, terminima, skalama pomenutih metoda u cilju određivanja ukupnog senzorskog kvaliteta uzoraka, kao i za merenje intenziteta senzornih karakteristika. Prostorija u kojoj su sprovedeni senzorni testovi bila je u skladu sa ISO 8589:2007 i ISO 11136:2014 standardima. Senzorna analiza sprovedena je u skladu sa Kodeksom profesionalne etike Univerziteta u Beogradu (Senat Univerziteta u Beogradu, 2016). U ovoj disertaciji primenjen je Zakon o zaštiti podataka o ličnosti Republike Srbije ("Službeni glasnik RS", br. 87/2018). Svi ocenjivači su se složili da se njihovi odgovori mogu koristiti u istraživačke svrhe, da su poverljivi i da se podaci dobijeni u ovom istraživanju neće koristiti bez njihovog pristanka. Dodatno su dali i pismenu saglasnost da učestvuju u ovom istraživanju i da se mogu povući iz studije u bilo kom trenutku.

4.12.1. Priprema uzoraka za senzornu analizu

Pripreme uzoraka za senzornu analizu je obuhvatio fazu čišćenja ribe, odnosno, vađenje iznutrica i ispiranje unutrašnje šupljine i spoljašnje površine ribe. Nakon toga riba je zamrznuta do trenutka kada se pristupilo senzornom ispitivanju. Neposredno pred senzorska ispitivanje riba je izvađena iz zamrzivača i odmrznuta u frižideru na temperaturi od 4 °C tokom 24 h. Pre pečenja, pristupilo se optimalnom soljenju riba sa 1,5% kuhinjske soli, zatim su uzorci umotani u aluminijumsku foliju i stavljeni u prethodno zagrejanu rernu na temperaturi od 160 °C. Nakon pečenja, uzorci ribe su filetirani, označeni nasumično odabranim trocifrenim brojevima i servirani ocenjivačima u formi komada dimenzije 1,5 x 1,5 cm (**Slika 13, Prilog A**).

4.12.2. Deskriptivna senzorna analiza

Deskriptivnu senzornu analizu izvršilo je 7 obučanih ocenjivača koji su ujedno i zaposleni na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Pre sprovođenja deskriptivne senzorne analize, ocenjivači su bili ispitani u pogledu njihove senzorne osetljivosti, potencijalnog postojanja problema povezanim sa percepcijom mirisa i ukusa, kao i za postojanje problema u pogledu higijene usne šupljine (dentalna higijena). Rekrutovani ocenjivači nisu imali problema sa funkcionisanjem čula i zdravljem zuba. Ocenjivači su neposredno pred sprovođenja deskriptivne senzorne analize imali tri obuke u trajanju od 3h, koje su obuhvatile upoznavanje ocenjivača sa svrhom senzorne analize i uzorkom, zatim upoznavanjem i uvežbavanjem ocenjivača u pogledu razumevanja terminologije i značenja izabranih senzornih svojstava i deskriptora koji su korišćeni u analizi, zatim u pogledu korišćenih referentnih standarda i njihovim pozicijama na kvantitativnim linijskim skalama za merenje intenziteta svojstava. Ukupno je bilo 27 senzornih svojstava, koji su ocenjivani na linearnoj skali od 10 cm. Spisak svojstava sa referentnim standardima može se videti u **Tabeli 4** (Aussanasuwannakul i sar., 2010; Borgogno i sar., 2017; Lindholm-Lehto i sar., 2023), sa malim modifikacijama.

Tabela 4. Glavna senzorna svojstva korišćena u deskriptivnoj senzornoj analizi (Aussanasuwannakul i sar., 2010; Borgogno i sar., 2017; Lindholm-Lehto i sar., 2023)

Senzorna svojstva	Opis svojstva	Referentni uzorak i intenzitet ¹
Boja		
Intenzitet boje fileta	Intenzitet ili jačina boje fileta	Svetlo (0) – tamno (10)
Miris		
Miris nalik na more	Miris na morsku/slanu vodu	10 g Kombuha algi kuvati u 1L vode 30 min (4)
Miris masne ribe	Miris ribljeg ulja	Riblje ulje (6)
Miris zemlje	Miris podzemnog podruma ili vlažnog tla	Uzorak cvekle (10)
Miris alge	Miris algi	0,3 g algi kuvati u 25 mL vode i razblažen 1:5 u slatkoj vodi (5)
Miris sveže ribe	Miris povezan sa notom sveže ribe	Sveža pastrmka (6)
Miris kuvane ribe	Miris povezan sa notom kuvane ribe	Kuvana pastrmka (9)
Miris metala	Miris povezan sa notom metala, posebno gvožđa	0,02 g/L gvožđe sulfata u vodi (10)
Miris užeglosti	Miris povezan sa užeglim uljem	Užeglo riblje ulje (10)
Ukupni miris	Ukupni intenzitet svih svojstava mirisa	Nista (0) veoma intenzivno (10)
Ukus		
Slatko	Sladak ukus	0,3% (w/v) Saharaze (5)
Slano	Slan ukus	0,2% (w/v) NaCl (8)
Gorko	Gorak ukus	0,03% (w/v) kofein (7)
Umami	Umami ukus	0,1% (w/v) natrijum glutamat (7)
Kiselo	Kiseli ukus	0,03% (w/v) limunska kiselina (8)
Ukupni ukus	Ukupni intenzitet svih svojstava ukusa	Ništa (0) veoma intenzivno (10)
Ukus		
Ukus sveže ribe	Ukus sveže ribe	Deo sveže kalifornijske pastrmke (6)
Ukus kuvane ribe	Ukus kuvane ribe	Deo kuvane kalifornijske pastrmke (8)
Ukus metala	Ukus povezan sa metalnim notama, posebno metalnim ukusom koji se nalazi u ribi	0,02 g/L gvožđe sulfat u vodi (9)
Ukus povrća	Ukus povezan sa kuvanim krompirom	Uzorak kuvanog krompira (9)
Ukus zemlje	Ukus povezan sa ukusom zemlje	Uzorak soka od cvekle (7)
Naknadni osećaj u ustima	Osećaj povezan sa kontrakcijom i spazmom usne duplje i suvoćom oralne površine	0,3 g/L aluminijum-sulfat u vodi (8)
Tekstura		
Mekoća	Minimalna sila potrebna za žvakanje uzoraka kalifornijske pastrmke	Uzorak kuvanih jaja (9) i sirovog kikirikija (2)
Sočnost	Količina vode koja se oslobađa tokom žvakanja	Šargarepa (2) i pasulj (7)
Vlaknastost	Percepcija dugih i krupnih čestica u mesu kalifornijske pastrmke tokom žvakanja	Ništa (0) veoma intenzivno (10)
Osećaj masnoće u ustima	Masni premaz u ustima posle žvakanja	Prženi krompir (8)
Topljenje u ustima	Sposobnost kalifornijske pastrmke da se rastvori u ustima	Ništa (0) veoma intenzivno (10)

¹Vrednosti referentnih uzoraka na skali od 10 cm

4.12.3. Metoda bodovanja

Ukupni senzorni kvalitet mesa pastrmke određen je primenom metode bodovanja opisanom u Tomic i sar. (2020) i Belošević i sar. (2024). Kod ove metode određivanje ukupnog senzornog kvaliteta uzorka je izvršeno korišćenjem 4 glavne karakteristike: ukus, miris, izgled i tekstura. Iako su sve ove senzorne karakteristike važne, one nemaju jednak uticaj na ukupni kvalitet proizvoda. U tu svrhu su korišćeni koeficijenti važnosti (sa nivoom intenziteta u zagradi): izgled (2), ukus (9), miris (3) i tekstura (6). Zadatak ocenjivača je bio da oceni proizvode koristeći kategorijsku skalu u bodovnom opsegu od 0 do 5, gde 0 označava da je proizvod lošeg kvaliteta, dok 5, označava odličan kvalitet. Svi rezultati se unose na odgovarajući obrazac za ocenu, tj. ocenjivački listić.

4.12.4. Ispitivanje prihvatljivosti hrane od strane potrošača

Hedonska skala je korišćena za ispitivanje senzorne prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača (Lawless i Heymann, 2010), koja je podeljena na dva dela, što ukazuje na stepen dopadanja i stepen nedopadanja. Vrednosti na skali od 0 do 4 ukazuju na stepen nedopadanja, a vrednosti od 6 do 9 ukazuju na stepen dopadanja. Vrednost 5 ukazuje na neutralan odnos potrošača prema proizvodu, tj. ukazuje na to da je odnos potrošača prema proizvodu neodređen. Za hedonsku skalu, svi ocenjivači su bili konzumenti pastrmke. Uzorci su kodirani sa različitim slučajno izabranim trocifrenim brojevima, tako da ocenjivači nisu znali koji su uzorak dobili. Između svakog uzorka, ocenjivači su pili vodu i jeli neslane krekerke kako bi pravilno ocenili sledeći uzorak, na koji nije uticao prethodni.

4.13. Određivanje aktivnosti antioksidativnih enzima

Kako bi se ispitao uticaj potpune zamene ribljeg brašna brašnom alternativnih izvora proteina animalnog porekla na fiziološki odgovor riba preko aktivnosti SOD, CAT, GPx i GST uzorci jetre su uzeti od obe vrste riba i čuvani u zamrzivaču do transporta. Potom, uzorci su transportovani na Institut za biološka istraživanja "Siniša Stanković" i skladišteni na -80 °C do pripreme tkiva za biohemijske analize.

Priprema tkiva za homogenizaciju:

Rastvor za homogenizaciju:

Saharozni pufer: 0,25 M saharoza; 0,05 Tris; 0,1 M EDTA; pH 7,4

Eksperimentlani postupak:

Priprema uzoraka za analizu je podrazumevala odmeravanje 0,2 g tkiva jetre, a zatim su uzorci sa saharoznim puferom u odgovarajućem razblaženju (R=11) homogenizovani pomoću homogenizatora u po 3 ciklusa/15 s, sa pauzama od po 10 sekundi na frekvenciji od 2000 rpm. Nakon ovog procesa tkivo je dalje sonifikovano, na frekvenciji od 10 kHz u po 3 ciklusa/10 s sa pauzama od po 10 sekundi kako bi se oslobodio ćelijski sadržaj. Na kraju uzorci su centrifugirani u ultracentrifugi na 37000 rpm, u trajanju od 90 min, na temperaturi od 4 °C. Nakon centrifugiranja, izdvojeni su supernatanti i čuvani na -80 °C do početka merenja odgovarajućih antioksidativnih enzima.

4.13.1. Određivanje koncentracije proteina

Za određivanje koncentracije proteina u supernatantu tkiva jetre riba korišćena je metoda po Bradfordu (1976). Princip metode se zasniva na formiranju kompleksa između boje Brilliant Blue G-250 i proteina u rastvoru. Protein-boja kompleks dovodi do pomeranja u apsorpcionom maksimumu boje od 465 do 595 nm. Količina apsorpcije je proporcionalna količini prisutnih proteina koja se meri spektrofotometrijski preko intenziteta razvijanja boje na 595 nm na spektrofotometru (Shimadzu UV-1900i, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan).

U ovoj metodi se koristi već spreman komercijalni Bradford reagens (500 mL, Sigma-Aldrich, USA), koji se sastoji od boje Brilliant Blue G-250 rastvorene u fosfornoj kiselini i metanolu. Opseg koncentracija proteina koji se mere u uzorcima su od 0,1–1,4 mg/mL supernatanta, pri čemu se kao standard koristi goveđi albumin iz seruma BSA (*engl. bovine serum albumin*).

4.13.2. Određivanje aktivnosti enzima superoksid dismutaze (SOD)

Određivanje aktivnosti SOD urađena je prema metodi koju su opisali Misra i Fridovich (1972). Metoda se zasniva na činjenici da SOD ima sposobnost da u baznoj sredini inhibira spontanu

autooksidaciju adrenalina u adenohrom koja se odvija u prisustvu $O_2^{\cdot-}$. Ovim procesom, oslobađa se $O_2^{\cdot-}$ koji ubrzava autooksidaciju adrenalina. Aktivnost SOD je razlika vrednosti apsorbance uzorka prema blank probi. Brzina autooksidacije se meri na spektrofotometru preko promene svetlosne apsorpcije, odnosno, posmatra se promena absorbance u vremenu. Talasna dužina na kojoj se vrši merenje je 480 nm na temperaturi od 25 °C u reakcionoj smeši u kojoj se nalazi uzorak, adrenalin i karbonatni pufer (pH 10,2). Aktivnost SOD se izražava kao U/mg proteina, a definiše se kao količina enzima koja je dovoljna da dovede do 50% inhibicije autooksidacije adrenalina u linearnom delu promene apsorbance u minuti.

Rastvori korišćeni prilikom utvrđivanja aktivnosti SOD:

3×10^{-4} adrenalin u 0,1 M HCl

Karbonatni pufer: 0,05 M Na_2CO_3 + 10^{-4} M EDTA (pH 10,2)

Eksperimentalni postupak:

U staklenu kivetu za merenje dodaje se 3 mL karbonatnog pufera, zatim 0,035 mL adrenalina i uzorak u zapremini koja izaziva inhibiciju adrenalina u opsegu od 16,66% do 66,66%. Promena apsorbance se meri na svakih 60 sekundi, tokom 10-15 minuta. Na osnovu promene apsorbance uzoraka po minuti izračunava se aktivnost SOD u odnosu na blank probu (0,035 mL adrenalina u 3 mL karbonatnog pufera). Aktivnost SOD je izračunata po formuli:

$$SOD (\mu mol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} proteina) = \frac{2 \times (\Delta A - \Delta U_z) \times R}{V \times \Delta A \times \frac{mg}{mL} proteina}$$

Gde je, **A** – apsorbance adrenalina, **U_z** – apsorbance uzorka, **R** – razblaženje uzorka tkiva ($R=11$), **V**- zapremina uzorka koja se sipa u reakcionu smešu (mL), **mg/mL proteina** – srednja vrednost proteina određena metodom po Bradfordu (1976).

4.13.3. Određivanje aktivnosti enzima katalaze (CAT)

Aktivnost CAT je urađena prema metodi koju je opisao Claiborne (1985), a zasniva se na brzini razgradnje H_2O_2 na H_2O i O_2 ovim enzimom u uzorku. Merenje se vrši na spektrofotometru na talasnoj dužini od 240 nm (UV) tokom 3 min. Aktivnost CAT se definiše kao količina enzima neophodna za razgradnju H_2O_2 tokom 1 minuta, a jedinica izražavanja je $\mu mol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1}$ proteina.

Reagensi korišćeni za određivanje aktivnosti katalaze su: 0,05 M fosfatni puffer; pH 7,0 i 30% H_2O_2 . U pufer se dodaje H_2O_2 dok apsorbance blank probe (bez uzorka) na 240 nm ne bude u intervalu od 0,525 do 0,550.

Postupak određivanja aktivnosti katalaze je sledeći: U kvarcnu kivetu sa 1,5 mL podešenog rastvora H_2O_2 u fosfatnom puferu dodaje se uzorak u zapremini od 5-10 μL čime započinje reakcija. Promena apsorbance se prati na talasnoj dužini od 240 nm, tokom 3 minuta na sobnoj temperaturi. Aktivnost CAT izračunava se pomoću ekstinkcionog koeficijenta (ϵ), po formuli:

$$CAT (\mu mol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} proteina) = \frac{(\Delta A_{uz} - \Delta A_{sp}) \times 1000 \times V_{rs}}{43,6 \times C_{pr} \times V_{uz}}$$

Gde je, ΔA_{sp} - srednja promena apsorbance slepe probe u minuti, ΔA_{uz} - srednja promena apsorbance uzorka u minuti, C_{pr} - koncentracija proteina u uzorku ($mg mL^{-1}$), V_{rs} - zapremina

reakcione smeše (mL), V_{uz} - zapremina uzorka (mL), $43,6M^{-1} cm^{-1}$ - molarni ekstinkcioni koeficijent za H_2O_2 na 240 nm.

4.13.4. Određivanje aktivnosti enzima glutation peroksidaze (GPx)

Prema metodi Tamura i sar. (1982) određena je aktivnost GPx. Metoda podrazumeva praćenje pada apsorbance na 340 nm, spektrofotometrijskom metodom u trajanju od 3 minuta prema blank probi na temperaturi od 25 °C. Rastvori korišćeni prilikom merenja aktivnosti GPx su: 1 mM GSH; 0,2 mM NADPH u 1% $NaHCO_3$; 1 mM NaN_3 ; 1 mM EDTA; 0,5 M fosfatni pufer (pH 7,0); 0,03M t-butyl hidroperoksid; komercijalni GR (type III, specifične aktivnosti 150 jed./mg proteina).

Eksperimentalni postupak:

U kvarcnu kivetu za analizu se navedenim redosledom dodaje:

1,5 mL dejonizovane H_2O ;

0,3 mL 1 mM GSH;

0,6 mL 0,2 mM NADPH;

0,1 mL 1 mM NaN_3 ;

0,01 mL 1 mM EDTA;

0,3 mL 0,5 M fosfatnog pufera (pH 7,0);

0,03 mL uzorka;

0,1 mL 0,03 M t – butyl hidroperoksida i na kraju 0,005 mL GR sa kojim započinje reakcija.

U kivetu za slepu probu (kontrolna reakcija) dodaju se svi reagensi kao za analizu, samo bez uzorka. Aktivnost GPx je izračunata po formuli:

$$GPx \text{ (nmol NADPH min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteina)} = \frac{(\Delta A_{uz} - \Delta A_{bl})}{V \times \frac{\text{mg}}{\text{mL}} \text{ proteina}} \times 482,315$$

Gde je, A_{uz} – absorbance uzorka, A_{bl} – absorbance slepe probe, V - zapremina uzorka koja se sipa u reakcionu smešu (mL), a molarni ekstinkcioni koeficijent za NADPH iznosi $6,22 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Jedinica za izražavanje ovog enzima definiše se kao broj nanomolova (nM) redukovano koenzima nikotinamid adenin dinukleotid fosfata (NADPH) tokom jednog minuta, pri čemu se aktivnost GPx u tkivima izražava kao broj nanomolova NADPH u jednoj minuti po miligramu proteina (nmol NADPH/min/mg proteina).

4.13.5. Određivanje aktivnosti glutation-S-transferaze (GST)

Aktivnost GST, je izmerena prema metodi koju su opisali Habig i sar. (1974). Navedena metoda se zasniva na sposobnosti GST da katalizuje konjugaciju 1-hloro-2,4-dinitrobenzena (CDNB) sa sulfhidrilnom grupom GSH. Na spektrofotometru je praćena promena apsorbance usled formiranja CDNB-GSH konjugata u reakcionoj smeši. Merenje je vršeno na talasnoj dužini od 340 nm, na temperaturi od 25 °C u toku 3 min, gde je promena apsorbance merena svakih 30 s. Rastvori korišćeni prilikom merenja aktivnosti GST su: 0,5 M fosfatni puffer (pH 6,5); 25 mM CDNB u 95% etanolu i 20 mM GSH.

Eksperimentalni postupak:

U kvarcnu kivetu za analizu dodaje se 1,9 mL dejonizovane vode, 0,6 mL fosfatnog pufera (pH 6,5); 0,3 mL GSH; 0,1 mL CDNB i na kraju 0,1 mL uzorka. Promene apsorbance je merena spektrofotometrijski prema slepoj probi (dodaju se svi rastvori kao za analizu osim uzorka). Aktivnost GST se računa po formuli:

$$GST (GSH \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteina}) = \frac{(\Delta A_{uz} - \Delta A_{bl}) \times 3 \times 1000}{\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \text{ proteina} \times V_{uz} \times 9,6}$$

Gde je, A_{uz} – absorbance uzorka, A_{bl} – absorbance slepe probe, V_{uz} – zapremina uzorka koja se sipa u reakcionu smešu (mL), dok molarni ekstinkcioni koeficijent za CDNB-GSH konjugat iznosi $9,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Aktivnost GST enzima se izražava kao $GSH \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteina. Jedinica GST aktivnosti se definiše kao količina enzima koja katalizuje formiranje jednog nanomola CDNB-GSH konjugata po minuti.

4.14. Statistička obrada i analiza podataka

Normalnost distribucije podataka proverena je Shapiro-Wilk testom, dok je homogenost varijanse potvrđena primenom Leveneovog testa. Za utvrđivanje razlika između ispitivanih grupa korišćena je jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA), uz Tukey i Duncan post-hoc testove za naknadna poređenja ($p < 0,05$). Statistička obrada i Pearsonova korelaciona analiza realizovane su u softveru IBM SPSS Statistics 25.0, dok je analiza glavnih komponenti (PCA) sprovedena u programu GraphPad Prism 9.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Hemijska analiza brašna dobijenog od alternativnih izvora proteina korišćenih u istraživanjima

U cilju formulisanja eksperimentalnih hrana za ishranu šarana i kalifornijske pastrmke, urađene su hemijske analize brašnatih proteinskih komponenti neophodnih za realizaciju eksperimenata. Urađene su analize suve materije, sirovog proteina, sirovih masti i sirovog pepela. Rezultati analize prikazani su u **Tabeli 5**.

Tabela 5. Hemijski sastav brašnatih proteinskih komponenti korišćenih u eksperimentima sa šaranom i kalifornijskom pastrmkom

Komponenta (%)	Proteinske komponente ^a			
	BFM	BEF	BTM	BZO
Suva materija	94,70 ± 0,12	92,98 ± 0,24	95,35 ± 0,71	94,15 ± 0,17
Sirovi protein	62,65 ± 1,04	66,44 ± 2,21	53,41 ± 2,14	47,54 ± 1,33
Sirove masti	5,20 ± 0,16	5,79 ± 0,17	21,26 ± 0,34	3,99 ± 0,29
Sirovi pepeo	19,66 ± 0,11	7,16 ± 0,21	3,45 ± 0,11	28,47 ± 0,54

^a**BFM:** riblje brašno; **BEF:** brašno kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **BTM:** brašno larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **BZO:** brašno zooplanktona. Srednje vrednosti ± standardna devijacija sa različitim slovom u superskriptu predstavljaju nivo statističke značajnosti, Duncan-ovom testu ($p < 0,05$).

Rezultati hemijskih analiza brašnatih proteinskih komponenti (**Tabela 5**), korišćenih u eksperimentima sa šaranom i kalifornijskom pastrmkom, pokazuju da je najmanja količina suve materije zastupljena u BEF (92,98%), potom sledi BZO (94,15%), zatim u BFM (94,70%), dok je najviše suve materije zastupljeno u BTM (95,35%). Analizom podataka utvrđeno je da BTM sadrži značajno veću količinu suve materije u poređenju sa BEF i BZO, dok između BFM i BTM nije postojala statistički značajna razlika. Analize koje se odnose na sirovi protein su pokazale da se najmanje proteina nalazi u BZO (47,54%), zatim u BTM (53,41%), sledi BFM (62,65%) i najviše proteina je utvrđeno u BEF (66,44%). Količina sirovih proteina se statistički značajno razlikuje između svih ispitivanih proteinskih komponenti. Ispitivane komponente se statistički značajno razlikuju i u količini sirovih masti. BTM sadrži najviše masti (21,26%), dok je najmanje masti utvrđeno u BZO (3,99%), kod BEF količina sirovih masti iznosi (5,79%), pri čemu BFM sadrži najmanje masti (5,20%). Ispitivanjem je utvrđeno da se proteinske komponente razlikuju i u količini sirovog pepela. Najmanje pepela se nalazi u BTM (3,45%), slede BEF (7,16%) i BFM (19,66%), dok je najviše pepela utvrđeno u BZO (28,47%).

5.2. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) u tank sistemu

5.2.1. Hemijska analiza eksperimentalnih hrana korišćenih u istraživanjima na šaranu

Nakon finalne pripreme hrane, urađena je hemijska analiza kompletnih eksperimentalnih smeša za realizaciju eksperimenata na šaranu. Analizirana je količina suve materije, sirovog proteina, sirove masti i količina sirovog pepela. Rezultati hemijske analize eksperimentalnih hrana prikazani su u **tabeli 6**.

Tabela 6. Hemijski sastav eksperimentalnih smeša korišćenih u ishrani šarana

Komponenta (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Suva materija	90,18	88,30	88,65	88,61
Sirovi protein	34,10	34,03	34,05	33,10
Sirove masti	9,42	9,43	9,92	8,94
Sirovi pepeo	6,36	4,00	3,47	9,52

^a**HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu od kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu od larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu od zooplanktona.

Prilikom sastavljanja smeša, za realizaciju eksperimenata, formulisana je hrana koja sadrži 34% proteina i 9% masti (**Tabela 6**). Analizom uzoraka, utvrđeno je da se količina sirovih proteina u eksperimentalnim smešama kreće od 33,10% (HZO), potom 34,03% (HEF) i 34,05% (HTM) do 34,10% (HFM). Najveća zastupljenost sirovih masti je u smeši HTM (9,92%), nešto manje u HZO sa 8,94%, zatim u HFM (9,42%), dok je u HEF utvrđeno 9,43% masti. Analize koje se odnose na količinu pepela pokazale su da je najviše pepela zastupljeno u HZO (9,52%), pri čemu je najmanja zastupljenost utvrđena u HTM (3,47%). Količina suve materije u eksperimentalnim hranama se kreće od 88,30% (HEF) do 90,18% (HFM). Pored analize hemijskog sastava, izvršena je i karakterizacija masnokiselinskog profila eksperimentalnih smeša korišćenih u eksperimentu sa šaranom (**Tabela 3, Prilog A**).

5.2.2. Abiotički parametri kvaliteta vode u tank sistemu gajenja šarana

Od abiotičkih parametra koji su praćeni tokom realizacije eksperimenta sa šaranom u tank sistemu su: temperatura vode, pH vrednost vode, koncentracija rastvorenog kiseonika, saturacija vode i elektroprovodljivost vode.

5.2.2.1. Temperatura vode

Na osnovu izmerenih vrednosti temperature vode, u tankovima 1, 5 i 9 (**Tabela 4, Prilog B**), gde je riba hranjena HFM izračunata je prosečna vrednost od 23,49 °C. U tanku 1 prosečna temperatura vode je bila 23,31 °C (period 1-90. dana). Ako se ovaj tank posmatra po periodima, u periodu I prosečna temperatura je bila 23,38 °C, u periodu II prosečna temperatura je bila 23,44 °C, dok je u periodu III temperatura vode iznosila 23,11 °C. U tanku 5, prosečna vrednost temperature vode za ceo eksperimentalni period je bila 23,34 °C. Ova vrednost je dobijena na osnovu različitih merenja u tanku 5 iz perioda I (23,52 °C), perioda II (23,49 °C) i perioda III (23,01 °C). Temperatura vode u tanku 9, kretala se od 23,53 °C (period I) do 24,04 °C (period II), dok je 23,89 °C izračunata u periodu III. Na osnovu izmerenih vrednosti, prosečna temperatura vode u tanku 9 je bila 23,82 °C (1-90. dana eksperimenta).

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 5, Prilog B**), gde je riba hranjena HEF, prosečna temperatura vode je bila 23,49 °C. Najniža izračunata vrednost je evidentirana u periodu III (23,41 °C). Posmatrano po tankovima srednje vrednosti u ovom periodu su se kretale od 23,14 °C (tank 10) do 23,63 °C (tank 6), dok je u tanku 2 bila 23,46 °C. Vrednost od 23,43 °C preračunata je u periodu I. Ova vrednost je dobijena na osnovu rezultata merenja u tanku 6 (23,38 °C), tanku 2 (23,37 °C) i tanku 10 (23,55 °C). Najviša prosečna vrednost temperature vode je izračunata u periodu II (23,62 °C). Posmatrano po tankovima izračunate vrednosti, u ovom periodu su se kretale od 23,40 °C (tank 2) do 23,83 °C (tank 6).

Temperatura vode, u tankovima 3, 7 i 11 (**Tabela 6, Prilog B**), gde je riba hranjena HTM, izračunata je prosečna vrednost od 23,46 °C (period 1-90. dana eksperimenta). U prvoj trećini

eksperimenta evidentirane su prosečne vrednosti temperature vode od 23,44 °C (tank 11), zatim 23,49 °C (tank 7) do 23,54 °C (tank 3). U drugoj trećini eksperimenta matematičkim putem su dobijene nešto više vrednosti koje su varirale od 23,57 °C (tank 11 i tank 3) do 23,71 °C (tank 7). Prosečne temperature vode u poslednjoj trećini eksperimenta su se kretale od 23,08 °C (tank 7), zatim 23,38 °C (tank 3) do 23,40 °C (tank 11). Posmatrano po periodima najviša prosečna temperatura vode je bila u periodu II (23,62 °C), zatim u periodu III (23,29 °C), pri čemu je vrednost od 23,49 °C dobijena u periodu I.

Prosečna temperatura vode u tankovima 4, 8 i 12 (**Tabela 7, Prilog B**), u kojima je riba hranjena HZO, varirala je u intervalu od 23,37 °C (period 1-30. dana eksperimenta) do 23,49 °C (31-60. dana), dok je vrednost od 23,39 °C izračunata u periodu od 61-90. dana. Prosečne vrednosti za tank 4 su varirale od 23,31 °C (period 1-30. dana) do 23,52 °C (period 61-90. dana), pri čemu je izračunata prosečna vrednost za ovaj tank od 23,39 °C (period 1-90. dana). U tanku 8, srednja vrednost temperature vode za period 1-90. dana je bila 23,48 °C, dok su se prosečne izmerene vrednosti kretale od 23,44 °C (period 1-30. dana) do 23,48 °C (period 31-60. dana). U tanku 12 su izmerene najniže prosečne vrednosti temperature vode, prosečna vrednost za period 1-90. dan eksperimenta je bila 23,38 °C. Posmatrano po periodima, za tank 12, temperatura vode je imala interval varijacije od 23,14 °C (period 61-90. dana) do 23,64 °C (period 31-60. dana eksperimenta). Temperatura vode u proseku za period 1-90. dan je bila 23,42 °C.

5.2.2.2. pH vrednost vode

Prosečna pH vrednost vode u tankovima 1, 5 i 9 (**Tabela 8, Prilog B**), gde je riba hranjena HFM, je bila 8,17 (period 1-90. dana). Najniža prosečna vrednost ovog parametra od 8,06 je u periodu 1-30. dana eksperimenta. Izračunate vrednosti po tankovima, u istom periodu, su se kretale od 7,97 (tank 9) do 8,21 (tank 1). U periodu od 31. do 60. dana prosečna pH vrednost vode je bila 8,27. Ova prosečna vrednost je dobijena na osnovu prosečnih vrednosti po tankovima, i to 8,15 (tank 1), 8,35 (tank 5) i 8,30 (tank 9). Vrednosti pH vode u periodu 61-90. dana istraživanja kretale su se od 8,12 (tank 9) do 8,25 (tank 1), pri čemu je izračunata prosečna vrednost za ovaj period 8,19.

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 9, Prilog B**), gde je riba hranjena HEF, pH vrednost vode je u proseku bila 8,15 (1-90. dana eksperimenta). U tanku 2, prosečna pH vrednost za ceo eksperimentalni period je bila 8,19. Ako se isti tank posmatra po periodima, vrednosti ovog abiotičkog parametra kretale su se od 8,12 (period 1-30. dana) do 8,28 (31-60. dana), dok je prosečna vrednost od 8,17 izmerena u periodu 61-90. dana eksperimenta. U tanku 6, najniža pH vrednost je matematičkim putem dobijena u periodu 1-30. dana pri čemu je iznosila 8,02. U istom tanku, u periodu 61-90. dan dobijena je nešto veća prosečna vrednost ovog parametara (8,14), dok je najveća vrednost od 8,17 izračunata u periodu 31-60. dana. Prosečna pH vrednost u tanku 6, za ceo eksperimentalni period je bila 8,11. U tanku 10, izračunate pH vrednosti su se kretale od 8,07 (period 1-30. dan) do 8,22 (31-60. dan eksperimenta).

Na osnovu rezultata merenja u tankovima 3, 7 i 11 (**Tabela 10, Prilog B**), gde je riba hranjena HTM, prosečna pH vrednost vode za ceo eksperimentalni period u sva tri tanka je bila 8,10. U prvoj trećini eksperimenta (period I) izračunata je pH vrednost od 8,02. U periodu I, gledano po tankovima, prosečne pH vrednosti vode su se kretale od 7,97 (tank 11) do 8,05 (tank 3), dok je vrednost od 8,03 izračunata u tanku 7. U drugoj trećini eksperimenta (period II) pH vrednost vode je bila 8,20 i ova vrednost je dobijena matematičkim putem na osnovu izmerenih vrednosti po tankovima u ovom periodu. U periodu II izračunate vrednosti su se kretale u intervalu od 8,09 (tank 11) do 8,29 (tank 7). U poslednjoj trećini eksperimenta (period III) izračunate su pH vrednosti od 8,00 (tank 7), potom 8,15 (tank 3) i 8,16 (tank 11).

U **Tabeli 11 (Prilog B)**, prikazani su rezultati merenja pH vrednosti u tankovima gde je riba hranjena HZO (tankovi 4, 8 i 12). Najniža prosečna pH vrednost u ovom tretmanu izmerena je u periodu 1-30. dana eksperimenta (7,99). U pomenutom periodu izračunate vrednosti su se kretale od 7,95 (tank 4) do 8,01 (tank 8). Najveća dobijena vrednost pH je evidentirana u periodu od 61 do 90. dana (8,23) pri čemu je, u ovom periodu, u tanku 12 prosečna pH vrednost 8,16, zatim u tanku 8 pH prosečna vrednost je 8,23, dok je u tanku 4 izračunata vrednost od 8,30. U periodu 31-60. dana eksperimenta izračunata je prosečna vrednost od 8,20 i u ovom periodu izmerene prosečne vrednosti su se kretale od 8,14 (tank 12) do 8,28 (tank 8), vrednost od 8,19 je dobijena u tanku 4.

5.2.2.3. Koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi

Koncentracija rastvorenog kiseonika u tankovima 1, 5 i 9 (**Tabela 12, Prilog B**), gde je riba hranjena HFM, u proseku je bila 8,83 mg/L (1-90. dana). U tanku 1 koncentracija rastvorenog kiseonika u I periodu u proseku je bila 8,73 mg/L, zatim 8,88 mg/L u periodu III, dok je najveća vrednost dobijena u periodu II (8,90 mg/L). Na osnovu izmerenih vrednosti, prosečna koncentracija kiseonika za tank 1 je bila 8,84 mg/L. Najniža prosečna koncentracija kiseonika izračunata je u tanku 5 (8,82 mg/L). Prosečne vrednosti za tank 5, posmatrano po periodima, su bile 8,70 mg/L (period I), 8,78 mg/L (period III) i 8,99 mg/L (period II). Koncentracija rastvorenog kiseonika u tanku 9 (1-90. dana) iznosila je 8,83 mg/L. Srednje vrednosti po periodima su se kretale od 8,68 mg/L (period II) do 9,07 mg/L (period III), pri čemu je vrednost od 8,73 mg/L matematičkim putem dobijena u periodu I.

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 13, Prilog B**), gde je riba hranjena HEF, prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika za ceo eksperimentalni period je bila 8,84 mg/L. U periodu od 1 do 30. dana eksperimenta izračunata je najmanja prosečna vrednost od 8,75 mg/L. U pomenutom periodu prosečne vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika su se kretale od 8,61 mg/L (tank 2), zatim 8,81 mg/L (tank 10) dok je u tanku 6 izračunata najveća vrednost 8,82 mg/L. U periodu od 31 do 60. dana eksperimenta, najveća koncentracija kiseonika je izračunata u tanku 2 (8,90 mg/L), dok je najmanja prosečna vrednost ovog parametra evidentirana u tanku 10 (8,81 mg/L). U tanku 6 koncentracija kiseonika je bila 8,84 mg/L. Na osnovu izmerenih vrednosti, prosečna koncentracija kiseonika u periodu od 31 do 60. dana je iznosila 8,85 mg/L. U periodu 61-90. dana količina kiseonika je u proseku iznosila 8,93 mg/L. Navedena vrednost je dobijena matematičkim putem na osnovu prosečnih vrednosti posmatrano po tankovima. U tanku 2 izračunata je prosečna vrednost od 8,68 mg/L, koja je ujedno i najmanja vrednost u ovom periodu. U tanku 6 izračunata je vrednost od 8,97 mg/L kiseonika, dok je najveća prosečna koncentracija izmerena u tanku 10 (9,13 mg/L).

Na osnovu rezultata merenja (**Tabela 14, Prilog B**) u tankovima (3, 7 i 11), gde je riba hranjena HTM, prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika je bila 8,82 mg/L. Najveća prosečna vrednost koncentracije kiseonika od 8,91 mg/L je izračunata u poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90. dana). U ovom periodu najviše kiseonika je dobijeno u tanku 11 (8,97 mg/L), najmanja prosečna količina kiseonika je evidentirana u tanku 3 (8,87 mg/L), dok je u tanku 7 dobijena vrednost od 8,90 mg/L. U prvoj trećini eksperimenta (period 1-30. dana) izračunata je najmanja koncentracija kiseonika u vodi (8,71 mg/L). U ovom periodu prosečne koncentracije kiseonika su se kretale od 8,61 mg/L (tank 7) do 8,82 mg/L (tank 3). Prosečna koncentracija kiseonika u drugom periodu (period 31-60. dana) je bila 8,84 mg/L. Ova vrednost je dobijena kao prosečna vrednosti zabeležena u tanku 3 (8,85 mg/L), tanku 7 (8,80 mg/L) i tanku 11 (8,87 mg/L).

Prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika (tankovi 4, 8 i 12), gde je riba hranjena HZO je bila 8,83 mg/L (**Tabela 15, Prilog B**). Tank 12 je imao najveću prosečnu koncentraciju kiseonika od 8,88 mg/L (period 1-90. dana). Prosečne vrednosti koncentracije kiseonika, posmatrano po periodima za tank 12 su se kretale od 8,67 mg/L (period 1-30. dana) do 9,12 mg/L (period 61-90. dana), dok je u periodu od 31-60. dana izmereno 8,85 mg/L kiseonika. U tanku 4 dobijena je najmanja količina

kiseonika i u proseku je bila 8,79 mg/L (period 1-90. dana). U periodu od 1-30. dana količina kiseonika je bila 8,73 mg/L, zatim u periodu 31-60. dana izmerena je prosečna vrednost od 8,75 mg/L, dok je najveća koncentracija kiseonika, u tanku 4, izračunata u periodu 61-90. dana eksperimenta (8,85 mg/L). U tanku 8, prosečna količina kiseonika u vodi je bila 8,83 mg/L (period 1-90. dana). Najveća prosečna koncentracija kiseonika za ovaj tank je bila u periodu od 61-90. dana (8,97 mg/L), a najmanja srednja vrednost je evidentirana u periodu od 1-30. dana (8,68 mg/L), vrednost od 8,84 mg/L je izmerena u periodu od 31-60. dana eksperimenta.

5.2.2.4. Zasićenost vode kiseonikom

Merenjem zasićenosti vode kiseonikom (**Tabela 16, Prilog B**), u tankovima 1, 5 i 9, gde je riba hranjena HFM, izračunata je prosečna vrednost od 104,00% (period 1-90. dana). Najniža prosečna saturacija vode je bila u periodu od 1 do 30. dana eksperimenta (102,46%). U ovom periodu najmanja prosečna vrednost zasićenosti vode kiseonikom je dobijena u tanku 5 (100,68%), potom u tanku 1 (102,17%), dok je najveća prosečna zasićenost vode evidentirana u tanku 9 (104,54%). U periodu od 31 do 60. dana izračunata je najveća saturacija vode (105,16%). Posmatrano po tankovima, najniža vrednost saturacije vode je dobijena u tanku 9 (104,51%), zatim u tanku 5 (105,31%), pri čemu je u ovom periodu najveća prosečna vrednost izmerena u tanku 1 (105,67%). Prosečna vrednost saturacije vode u poslednjem periodu eksperimenta (61-90. dana) je bila 104,39%. Najveća saturacija vode u ovom periodu je izračunata u tanku 9 (107,81%), dok je najmanja prosečna zasićenost vode izmerena u tanku 5 (102,33%). U tanku 1 saturacija vode je u proseku iznosila 102,33%.

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 17, Prilog B**), gde je riba hranjena HEF, prosečna saturacija vode je bila 103,96%. U tanku 10 je evidentirana najveća prosečna koncentracija kiseonika (105,17%) za period od 1 do 90. dana istraživanja. Posmatrano po periodima izmerene srednje vrednosti za ovaj tank su se kretale od 103,43% (period 31-60. dana) do 106,98% (61-90. dana), dok je u periodu od 1 do 30. dana saturacija iznosila 105,10%. U tanku 6 prosečna saturacija vode je bila najniža i iznosila je 102,88% (period 1-90. dana). Prosečne vrednosti saturacije vode za ovaj tank su imale interval varijacije od 100,60% (period 1-30. dana) do 104,48% (period 61-90. dana), u periodu od 31 do 60. dana eksperimenta izmerena je prosečna vrednost saturacije vode od 103,56%. Prosečna zasićenost vode u tanku 2 je bila 103,82% (period 1-90. dana), najveća koncentracija kiseonika u tanku 2 je dobijena u periodu od 31 do 60. dana eksperimenta (108,04%), zatim u periodu od 61-90. dan (102,25%), dok je najmanja vrednost izračunata u periodu 1-30. dan eksperimenta (101,16%).

Prosečna vrednost saturacije vode (**Tabela 18, Prilog B**), u tankovima 3, 7 i 11, gde je riba hranjena HTM je bila 104,22%. U prvoj trećini eksperimenta (period 1-30. dana), izmerena je najniža prosečna zasićenost vode kiseonikom (102,39%). U pomenutom periodu, posmatrano po tankovima, prosečne vrednosti saturacije vode kretale su se od 100,81% (tank 7) do 104,43% (tank 11), dok je saturacija od 101,92% dobijena u tanku 3. Zasićenost vode kiseonikom u periodu od 31 do 60. dana eksperimenta kretale su se u intervalu od 106,07% (tank 11) do 106,33% (tank 7), pri čemu je prosečna vrednost za ovaj period iznosila 106,21%. U poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90. dana) saturacija vode je bila 104,05%, a posmatrano po tankovima, izračunate vrednosti u ovom periodu su bile 103,27% (tank 3), 102,89% (tank 7) i 106,00% (tank 11).

Na osnovu izmerenih vrednosti (**Tabela 19, Prilog B**), u tankovima 4, 8 i 12, gde je riba hranjena HZO izračunata je prosečna vrednost od 104,50% (period 1-90. dana). Prosečne vrednosti saturacije vode za tank 4, kretale su se od 101,48% (period 1-30. dana) do 105,60% (period 31-60. dana), dok je saturacija vode u periodu od 61. do 90. dana je bila 105,06%. Prosečna vrednost pomenutog parametra za tank 4 je bila 104,04% (period 1-90. dana). Posmatrano kroz period od 1. do 90. dana saturacija vode u tanku 8 je bila 103,80% i ova vrednost je dobijena kao prosečna vrednost, izmerenih vrednosti u periodu I (102,72%), periodu II (102,66%) i periodu III (106,01%).

Najveća saturacija je evidentirana u tanku 12, u proseku je bila 105,65% (period 1-90. dana). Prosečne izmerene vrednosti za tank 12 su se kretale u intervalu od 104,77% (period 1-30. dana) do 107,54% (period 61-90. dana).

5.2.2.5. Elektroprovodljivost vode

Na osnovu izmerenih vrednosti elektroprovodljivosti vode (**Tabela 20, Prilog B**) u tankovima 1, 5 i 9, gde je riba hranjena HFM izračunata je prosečna vrednost od 473,50 $\mu\text{S/cm}$ (period 1-90. dana). Prosečna elektroprovodljivost vode za period od 1. do 90. dana u tanku 9 je bila 472,70 $\mu\text{S/cm}$. Elektroprovodljivost vode, u tanku 9, posmatrano po periodima se kretala od 437,41 $\mu\text{S/cm}$ (period III) koja je najniža izračunata vrednost u ovom tanku, zatim elektroprovodljivost vode od 463,30 $\mu\text{S/cm}$ koliko je dobijeno u periodu I, dok je najveća prosečna izmerena vrednost 517,41 $\mu\text{S/cm}$ u periodu II. U tanku 1 evidentirane vrednosti elektroprovodljivosti su se kretale od 438,96 $\mu\text{S/cm}$ (period III) do 523,04 $\mu\text{S/cm}$ (period II), dok je vrednost od 462,70 $\mu\text{S/cm}$ dobijena u periodu I. Prosečna vrednost elektroprovodljivosti u ovom tanku je bila 474,90 $\mu\text{S/cm}$ (period 1-90. dana). U tanku 5, prosečna elektroprovodljivost je bila 472,91 $\mu\text{S/cm}$. Ova vrednost je dobijena matematičkim putem, na osnovu vrednosti koje su izmerene u periodu I (463,44 $\mu\text{S/cm}$), zatim u periodu II (518,30 $\mu\text{S/cm}$) i periodu III (437,00 $\mu\text{S/cm}$).

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 21, Prilog B**), gde je riba hranjena HEF, prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode je bila 473,41 $\mu\text{S/cm}$. U poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90. dana) izračunata je najmanja prosečna vrednost ovog abiotičkog parametra 437,41 $\mu\text{S/cm}$. U ovom periodu vrednosti su se kretale od 435,93 $\mu\text{S/cm}$ (tank 10) do 438,89 $\mu\text{S/cm}$ (tank 2), dok je u tanku 6 evidentirana prosečna vrednost od 437,41 $\mu\text{S/cm}$. U drugoj trećini eksperimenta (period 31-60. dana) bila je najveća prosečna elektroprovodljivost vode 520,26 $\mu\text{S/cm}$. U navedenom periodu najveća prosečna vrednost je evidentirana u tanku 2 (522,07 $\mu\text{S/cm}$), zatim u tanku 10 je najniža prosečna vrednost (518,78 $\mu\text{S/cm}$), dok je u tanku 6 izračunata vrednost od 519,93 $\mu\text{S/cm}$. U periodu od 1 do 30. dana (prva trećina eksperimenta) elektroprovodljivost vode je u proseku bila 462,57 $\mu\text{S/cm}$. Prosečne vrednosti u ovom periodu su se kretale u intervalu od 459,93 $\mu\text{S/cm}$ (tank 6) do 464,30 $\mu\text{S/cm}$ (tank 2). Prosečna vrednost od 463,48 $\mu\text{S/cm}$ je evidentirana u tanku 10.

Prosečna elektroprovodljivost vode (tankovi 3, 7 i 11) (**Tabela 22, Prilog B**), gde je riba hranjena HTM, je bila 472,16 $\mu\text{S/cm}$. Posmatrano po periodima, najniža prosečna vrednost elektroprovodljivosti je evidentirana u periodu III (437,09 $\mu\text{S/cm}$), nešto veća elektroprovodljivost je bila u periodu I (461,48 $\mu\text{S/cm}$), dok je najveća izračunata vrednost posmatranog faktora izmerena u periodu II (517,91 $\mu\text{S/cm}$). U periodu III, prosečne vrednosti elektroprovodljivosti vode su se kretale u intervalu od 436,11 $\mu\text{S/cm}$ (tank 3) do 438,89 $\mu\text{S/cm}$ (tank 11). Period II je sa najvećom prosečnom elektroprovodljivošću, a vrednosti su se kretale od 516,15 $\mu\text{S/cm}$ (tank 7) koja je najniža izračunata do 518,89 $\mu\text{S/cm}$ (tank 11) kao najviša prosečna vrednost. U periodu I, najveća izračunata vrednost je u tanku 7 (463,00 $\mu\text{S/cm}$) $\mu\text{S/cm}$, zatim u tanku 11 (461,44 $\mu\text{S/cm}$), dok je najmanja u tanku 3 (460,00 $\mu\text{S/cm}$).

Na osnovu rezultata merenja elektroprovodljivosti vode (**Tabela 23, Prilog B**) u tankovima 4, 8 i 12, gde je riba hranjena HZO izračunata je prosečna vrednost ovog parametra od 474,23 $\mu\text{S/cm}$. Najniža elektroprovodljivost je evidentirana u periodu od 61 do 90. dana eksperimenta (438,25 $\mu\text{S/cm}$). U ovom periodu, najniža prosečna vrednost ovog abiotičkog parametra je bila u tanku 12 (436,37 $\mu\text{S/cm}$), potom u tanku 8 (438,63 $\mu\text{S/cm}$), dok je najveća vrednost izračunata u tanku 4 (439,74 $\mu\text{S/cm}$). U prvoj trećini eksperimenta (period 1-30. dana) izračunata prosečna vrednost elektroprovodljivosti je 463,40 $\mu\text{S/cm}$. U ovom periodu preračunate vrednosti po tankovima su se kretale od 462,78 $\mu\text{S/cm}$ (tank 4) do 464,00 $\mu\text{S/cm}$ (tank 8), pri čemu je u tanku 12 izračunata vrednost od 463,41 $\mu\text{S/cm}$. U periodu od 31 do 60. dana eksperimenta je izračunata najveća prosečna

elektroprovodljivost (521,04 $\mu\text{S}/\text{cm}$). U istom periodu, posmatrano po tankovima, prosečne vrednosti ovog abiotičkog parametra su se kretale od 520,04 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tank 12) do 522,74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tank 4).

Voda je jedan od najvažnijih faktora za uzgoj ribe, njen kvalitet i količina su od suštinskog značaja za opstanak i optimalan rast riba (Summerfelt, 2000). U **Tabeli 28**, prikazane su objedinjene prosečne vrednosti abiotičkih parametara kvaliteta vode u eksperimentu sa šaranom u tank sistemu gajenja.

Tabela 28. Prosečne vrednosti abiotičkih parametara vode u eksperimentu sa šaranom hranjenim različitim eksperimentalnim hranom u tank sistemu

Abiotički faktor	Tretman ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Temperatura vode ($^{\circ}\text{C}$)	23,49 \pm 0,38 ^a	23,49 \pm 0,34 ^a	23,46 \pm 0,34 ^a	23,42 \pm 0,32 ^a
pH vrednost	8,17 \pm 0,49 ^a	8,15 \pm 0,51 ^a	8,10 \pm 0,52 ^a	8,14 \pm 0,50 ^a
Koncentracija kiseonika (mg/L)	8,83 \pm 0,52 ^a	8,84 \pm 0,51 ^a	8,82 \pm 0,53 ^a	8,83 \pm 0,51 ^a
Saturacija vode (%)	104,00 \pm 5,64 ^a	103,96 \pm 6,43 ^a	104,22 \pm 6,19 ^a	104,50 \pm 5,52 ^a
Elektroprovodljivost vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	473,50 \pm 49,59 ^a	473,41 \pm 49,76 ^a	472,16 \pm 49,16 ^a	474,23 \pm 49,21 ^a

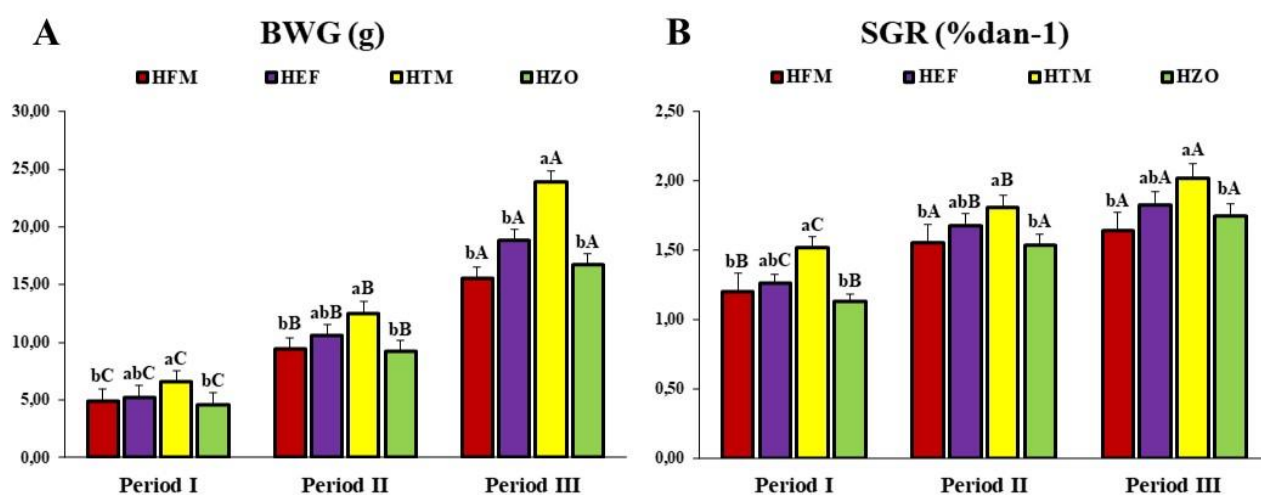
Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednje vrednosti \pm standardna devijacija ($n = 3$), koje sa različitim slovom u superskriptu predstavljaju nivo statističke značajnosti, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$). ^aHFM: hrana bazirana na ribljem brašnu; HEF: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); HTM: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); HZO: hrana bazirana na brašnu zooplanktona.

Ribe mogu da tolerišu postepene promene temperature vode bez štetnog uticaja (Marković, 2010). Prilikom realizacije eksperimentalnog dela, prosečna temperatura vode je bila u granicama od 23,42 $^{\circ}\text{C}$ (HZO) do 23,49 $^{\circ}\text{C}$ (HFM i HEF), pri čemu između eksperimentalnih grupa nije postojala statistički značajna razlika u prosečnim vrednostima ovog abiotičkog parametra. Optimalan rast Ciprinidae je pri temperaturi vode od 20 $^{\circ}\text{C}$ do 26 $^{\circ}\text{C}$ (Marković, 2010). Prema navedenim literaturnim podacima možemo zaključiti da se temperatura vode nalazi u granicama optimalnih vrednosti. Faktor koji ima veliki uticaj na razmnožavanje i porast ribe je pH vrednost vode (Lopes i sar., 2001). Optimalne vrednosti ovog parametra se razlikuju između ribljih vrsta, međutim opšte prihvaćeno je da se optimalna vrednost pH vode kreću od 6,5 do 9 (Zweig i sar., 1999). Marković (2010) navodi da je povoljna pH vrednost za život šarana od 6 do 9. Prosečne vrednosti ovog parametra u sprovedenom istraživanju iznosile su od 8,10 do 8,17 bez statistički značajnih razlika između eksperimentalnih grupa, pri čemu su dobijene vrednosti u granicama dozvoljenih. Posmatrano po tretmanima, prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika u proseku je bila 8,82-8,84 mg/L, dok se saturacija vode kretala u intervalu od 103,96% (HEF) do 104,50% (HZO), pri čemu se tretmani nisu međusobno statistički značajno razlikovali kada su u pitanju ova dva abiotička parametra. Optimalna vrednost koncentracije rastvorenog kiseonika za uzgoj šarana je oko 7 mg/L. Međutim, šaran je tolerantan na veće varijacije koncentracije kiseonika 0,5-20 mg/L (Lukowicz, 1982). Elektroprovodljivost vode je parametar čije su se prosečne vrednosti u eksperimentalnom delu kretale u intervalu od 472,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (HTM) do 474,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (HZO).

5.2.3. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu

Na osnovu prikupljenih podataka tokom realizacije eksperimenta (**Grafikon 1**), u prvoj trećini eksperimenta najveći prosečan prirast BWG ostvarile su ribe koje su hranjene HTM (6,57 g), dok je u ovom periodu najmanji prirast ostvaren u tretmanu gde su ribe hranjene HZO (4,61 g). Što se tiče ostala dva tretmana prosečan prirast od 4,94 g je dobijen u kontrolnoj grupi, dok je prirast od 5,25 g matematičkim putem dobijen u eksperimentalnoj grupi koja je hranjena HEF. U prvoj trećini eksperimenta ribe hranjene HTM ostvarile su statistički značajno veći prirast u poređenju sa

eksperimentalnim grupama HFM i HZO. Nešto veći prirast je izračunat u periodu II gde je najveći prosečan prirast evidentiran u grupi HTM (12,50 g). Zatim slede HEF (10,57 g) i HFM (9,43 g), dok je i u ovom periodu najniži prosečan prirast izračunat kod riba hranjenih HZO (9,19 g). U drugoj trećini eksperimenta, ribe hranjene HTM ostvarile su značajno veći prirast od HFM i HZO, dok između HTM i HEF nije postojala statistički značajna razlika. Takođe, između eksperimentalnih grupa HFM, HEF i HZO nije bilo statistički značajne razlike u prosečnom prirastu riba. Za razliku od prethodna dva perioda gde je eksperimentalna grupa HZO ostvarila najniži prosečan prirast, u periodu III najniži prosečan prirast je ostvaren u kontrolnoj grupi HFM (15,54 g). Nešto veći prirast izračunat je kod riba hranjenih HZO (16,67 g), zatim HEF (18,80 g), pri čemu je u ovom periodu najviše prirasla riba iz eksperimentalne grupe HTM (23,86 g). U poslednjoj trećini eksperimenta ribe hranjene HTM ostvarile su statistički značajno veći prirast u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. Ukoliko se eksperimentalne grupe posmatraju po periodima, statistički značajno najveći prosečan prirast je ostvaren u periodu III. Takođe, period II i period I su se međusobno statistički značajno razlikovali.

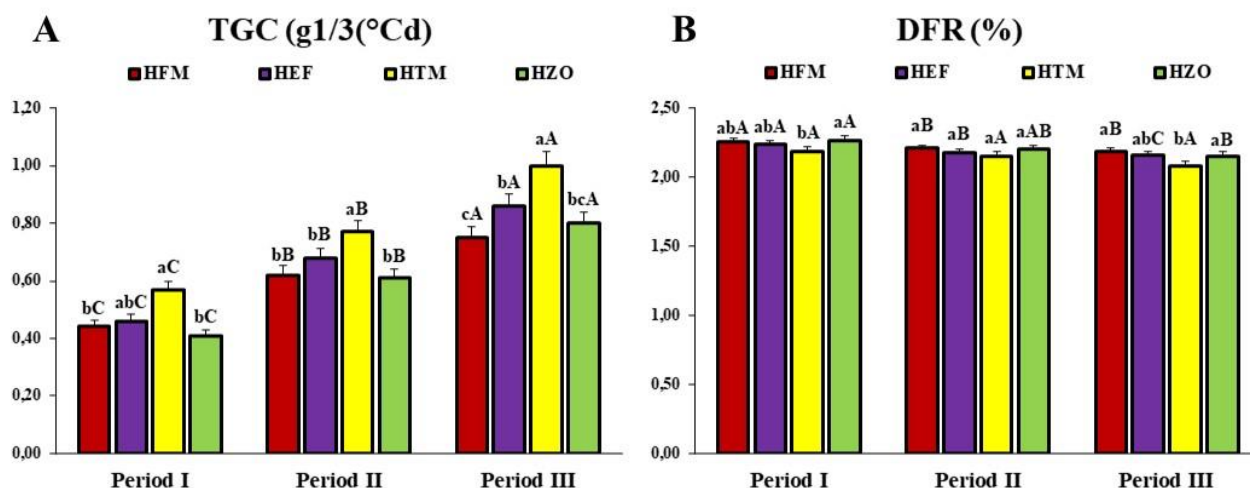


Grafikon 1. Prosečne vrednosti prirasta šarana gajenog u tank sistemu po periodima i tretmanima. **A** - povećanje telesne težine (BWG); **B** - specifična stopa rasta (SGR). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Najmanje prosečne vrednosti specifične stope rasta (SGR) izračunate su u prvom periodu eksperimenta (**Grafikon 1**). U periodu I najmanja vrednost parametra SGR je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (1,13% dan⁻¹), nešto veća vrednost ovog parametra je dobijena u kontrolnoj grupi HFM (1,20% dan⁻¹), dok je vrednost od 1,26% dan⁻¹ dobijena kod riba hranjenih HEF. Najveća prosečna vrednost ovog parametra ostvarena kod riba hranjenih HTM (1,52% dan⁻¹), koja je statistički značajno veća od riba hranjenih HZO i HFM, ali bez statistički značajnih razlika u poređenju sa HEF. U periodu II najveća vrednost parametra SGR je matematičkim putem dobijena kod HTM (1,81% dan⁻¹), nešto niža vrednost je dobijena kod riba hranjenih HEF (1,68% dan⁻¹), dok je prosečna vrednost od 1,55% dan⁻¹, odnosno 1,54% dan⁻¹ dobijena kod riba hranjenih HFM i HZO koja je ujedno i najniža prosečna vrednost ovog parametra. Riba čija se ishrana zasnivala na HTM ostvarile su statistički značajno veću specifičnu stopu rasta u poređenju sa kontrolnom grupom i grupom u čiju je ishranu uključeno brašno zooplanktona, ali bez statistički značajne razlike u odnosu na ribe hranjene kalifornijskom glistom. Između ostala tri tretmana nije postojala statistički značajna razlika. U poslednjem eksperimentalnom periodu statistički značajno veća vrednost SGR je izračunata kod riba hranjenih HTM (2,02% dan⁻¹), u poređenju sa vrednostima SGR dobijene u eksperimentalnim

grupama HFM (1,64% dan⁻¹) i HZO (1,75% dan⁻¹), dok između HTM i HEF (1,83% dan⁻¹) statistički značajna razlika nije postojala. Između HFM, HEF i HZO prosečne vrednosti parametra SGR se nisu statistički međusobno razlikovale. Posmatrano po periodima, u periodu III ostvarene su statistički značajno veće vrednosti SGR u odnosu na period II za sve eksperimentalne grupe. Izračunate vrednosti u periodu II su statistički značajno veće u poređenju sa periodom I.

Prosečne vrednosti koeficijenta rasta za termičku jedinicu (TGC) (**Grafikon 2**), u prvoj trećini eksperimenta, imale su interval varijacije od 0,41 i 0,44 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ za grupe riba hranjene HZO i HFM. Kod riba hranjenih HEF, prosečna vrednost je 0,46 g^{1/3}(°Cd)⁻¹, dok izračunata vrednost ovog parametra kod riba hranjenih HTM je iznosila 0,57 g^{1/3}(°Cd)⁻¹. U ovom periodu eksperimentalna grupa HTM ostvarila je statistički značajno veću vrednost TGC u poređenju sa HFM i HZO, dok se prosečna vrednost kod grupe riba hranjene HEF nije statistički značajno razlikovala u odnosu na vrednosti ostvarene udruge tri grupe HTM, HEF i HZO. Kao i u prvoj trećini eksperimenta, isti trend ostvarenih vrednosti je i u drugoj trećini eksperimenta gde je najniža vrednost izračunata kod riba hranjenih HZO i HFM (0,61 i 0,62 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), zatim vrednost od 0,68 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ je izračunata kod riba hranjenih HEF, dok je najveća prosečna vrednost dobijena kod riba hranjenih HTM (0,77 g^{1/3}(°Cd)⁻¹). Prosečna ostvarena vrednost kod riba hranjenih HTM je statistički značajno veća u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Takođe, značajna razlika nije postojala između eksperimentalnih grupa hranjenih HFM, HEF i HZO (p > 0,05). Isti trend ostvarenih vrednosti TGC se nastavlja i u trećem periodu gde su najniže prosečne vrednosti ostvarene kod riba hranjenih HFM i HZO (0,75 odnosno 0,80 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), nešto veća je dobijena kod grupe HEF (0,86 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), dok je najveća prosečna vrednost izračunata kod riba HTM (1,00 g^{1/3}(°Cd)⁻¹). Značajno viša prosečna vrednost TGC, u poslednjem periodu, je izračunata kod riba hranjenih HTM u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. Eksperimentalna grupa HZO se nije statistički značajno razlikovala od HFM i HEF, dok su se grupe HFM i HEF međusobno statistički značajno razlikovale. Posmatranjem ostvarenih prosečnih vrednosti TGC po periodima utvrđeno je postojanje statistički značajnih razlika između sva tri eksperimentalna perioda.



Grafikon 2. Prosečna vrednost prirasta i iskoristivosti hrane šarana u tank sistemu po periodima i tretmanima. **A** - koeficijent rasta za termičku jedinicu (TGC); **B** – dnevno učešće hrane (DFR). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu (p < 0,05).

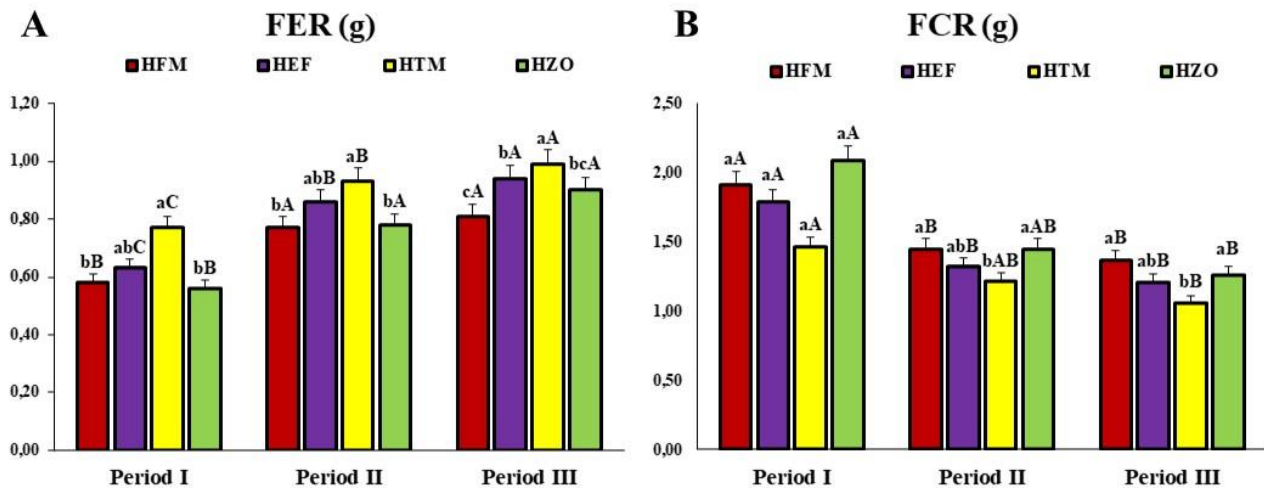
Dnevno učešće hrane (DFR) (**Grafikon 2**) u prvoj trećini eksperimenta imalo je interval varijacije prosečnih vrednosti od 2,19% (HTM) do 2,27% (HZO), prosečna vrednost od 2,24%

izračunata kod riba hranjenih HEF, dok je prosečna vrednost od 2,26 izračunata kod kontrolne grupe. U ovom periodu statistički značajna razlika je postojala između tretmana u kojima je riba hranjenih HZO i HTM, dok se eksperimentalne grupe HTM i HZO nisu statistički značajno razlikovale od HFM i HEF. U drugoj trećini istraživanja najniža vrednost DFR je evidentirana kod riba hranjenih HTM (2,15%), pri čemu je najviša prosečna vrednost izračunata kod riba hranjenih HFM (2,21%). Prosečne ostvarene vrednosti po tretmanima u ovom periodu se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. U poslednjoj trećini eksperimenta najveća izračunata vrednost DFR je u kontrolnoj grupi HFM (2,19%), nešto niža vrednost je izračunata kod riba hranjenih HEF (2,16%) i HZO (2,15%), pri čemu je najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata kod riba hranjenih HTM (2,08%). Statistički značajna razlika je postojala samo između eksperimentalnih grupa HTM i HZO. U periodu I, ribe hranjene hranom HFM, HEF i HZO ostvarile su značajno veće vrednosti DFR u poređenju sa periodom II i III, dok kod eksperimentlane grupe HTM nije utvrđena razlika po periodima.

Najniže prosečne vrednosti koeficijenta iskoristivosti hrane (FER) (**Grafikon 3**) dobijene su u prvoj trećini eksperimenta, gde je najmanja vrednost izračunata kod riba hranjenih HZO (0,56 g prirasta g^{-1} hrane), slede HFM (0,58 g prirasta g^{-1} hrane) i HEF (0,63 g prirasta g^{-1} hrane) dok je najveća prosečna vrednost ovog parametra dobijena kod riba hranjenih HTM (0,77 g prirasta g^{-1} hrane). U ovom periodu statistički značajna razlika je utvrđena kod HTM u poređenju sa HFM i HZO, dok između ostalih eksperimentalnih grupa nije postojala statistički značajna razlika u parametru FER. U drugoj trećini eksperimenta, najveća vrednost FER je izračunata kod riba hranjenih HTM (0,93 g prirasta g^{-1} hrane), nešto niža prosečna vrednost je dobijena kod riba hranjenih HEF (0,86 g prirasta g^{-1} hrane), zatim sledi HZO (0,78 g prirasta g^{-1} hrane), dok je najniža prosečna vrednost izračunata kod riba hranjenih HFM (0,77 g prirasta g^{-1} hrane). U periodu II, značajno najveća prosečna vrednost FER je izračunata kod riba hranjenih HTM u poređenju sa HFM i HZO, pri čemu između HTM i HEF nije postojala statistički značajna razlika. Značajna razlika nije postojala ni između eksperimentalnih grupa HFM, HEF i HZO. Najveća prosečna vrednost FER u poslednjoj trećini eksperimenta je izračunata kod riba hranjenih HTM (1,06 g prirasta g^{-1} hrane), dok je najmanja vrednost izračunata kod riba iz eksperimentalne grupe HFM (0,81 g prirasta g^{-1} hrane). Vrednost od 0,90 g prirasta g^{-1} hrane je matematički dobijena u grupi HZO, dok je nešto veća prosečna vrednost dobijena kod riba hranjenih HEF (0,94 g prirasta g^{-1} hrane). U poslednjoj trećini eksperimenta ribe hranjenih HTM ostvarile su statistički značajno veću prosečnu vrednost FER u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Prosečne vrednosti se statistički značajno razlikuju između HFM i HEF, dok se ove dve grupe nisu značajno razlikovale od HZO. Posmatrano po periodima, vrednosti FER su statistički značajno niže u periodu I u poređenju sa periodom III, takođe ostvarene vrednosti u periodu II se statistički značajno razlikuju u poređenju sa I periodom.

Najviša prosečna vrednost koeficijenta konverzije hrane (FCR) (**Grafikon 3**) u periodu I je dobijena kod riba hranjenih HZO (2,09 g hrane g^{-1} prirasta). Nešto niža vrednost ovog parametra je izračunata u kontrolnoj grupi HFM (1,91 g hrane g^{-1} prirasta), zatim prosečna vrednost od 1,79 g hrane g^{-1} prirasta je izračunata u grupi riba koje su hranjene HEF, pri čemu je najmanja izračunata vrednost ovog parametra dobijena kod eksperimentalne grupe riba hranjenih HTM (1,46 g hrane g^{-1} prirasta). Između eksperimentalnih hrupa nisu postojale statistički značajne razlike u prosečnim vrednostima parametra FCR. U drugoj trećini eksperimenta, prosečno najniža vrednost FCR je izračunata kod riba hranjenih HTM (1,22 g hrane g^{-1} prirasta), dok je prosečna vrednost od 1,45 g hrane g^{-1} prirasta izračunata kod HFM i HZO. Prosečna vrednost za isti parametar u periodu II kod riba hranjenih HEF je 1,32 g hrane g^{-1} prirasta. Značajno nižu prosečnu vrednost FCR ostvarile su ribe hranjene HTM u poređenju sa HFM i HZO. Eksperimentalna grupa HTM nije se statistički značajno razlikovala od HEF, dok se vrednosti koeficijenta konverzije hrane nisu statistički značajno razlikovale između HFM, HEF i HZO u drugoj trećini eksperimenta. U poslednjoj trećini eksperimenta nisu postojale statistički značajne razlike u prosečnim vrednostima FCR između eksperimentalnih grupa HFM, HEF i HZO, dok se pomenute tri grupe značajno razlikuju od HTM. Prosečne vrednosti koeficijenta konverzije hrane u poslednjoj trećini eksperimenta imale su interval

varijacije od 1,06 g hrane g⁻¹ prirasta (HTM) do 1,37 g hrane g⁻¹ prirasta (HFM). U prvoj trećini eksperimenta ostvarene su značajno veće prosečne vrednosti FCR u poređenju sa poslednjom trećinom eksperimenta. Izračunate vrednosti koeficijenta konverzije hrane kod riba hranjenih HFM, HEF (Period II) su statistički značajno niže u poređenju sa periodom I, dok se izračunata vrednost kod riba hranjenih HTM u periodu II nije razlikovala od perioda I i III.

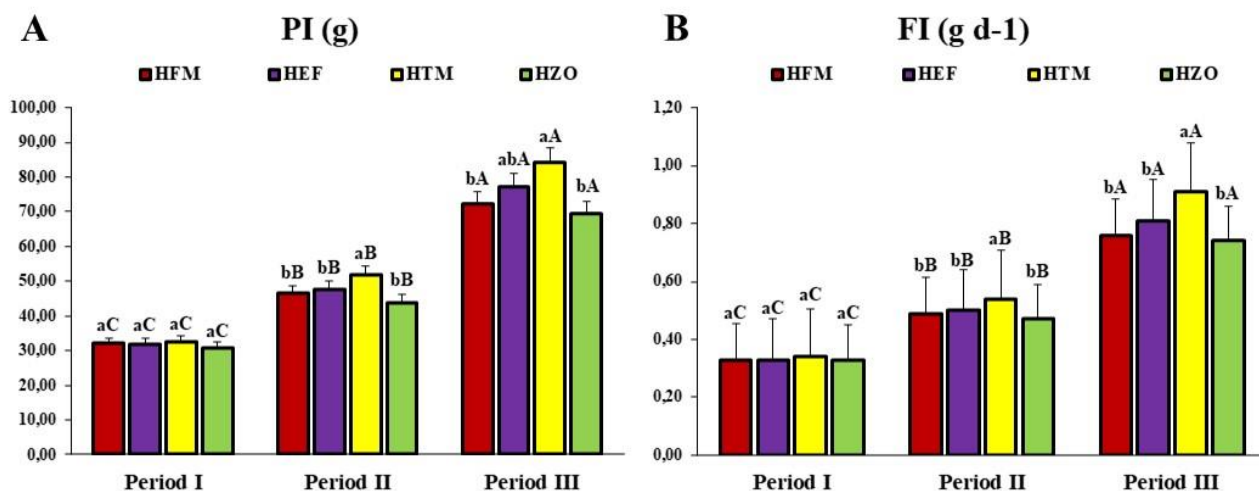


Grafikon 3. Prosečne vrednosti iskoristivosti hrane šarana gajenog u tank sistemu po periodima i tretmanima. A - koeficijenta iskoristivosti hrane (FER); B - koeficijent konverzije hrane (FCR). HFM: hrana bazirana na ribljem brašnu; HEF: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); HTM: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); HZO: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Period I: prva trećina eksperimentalnog perioda; Period II: druga trećina eksperimentalnog perioda; Period III: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Prosečno najveći utrošak proteina (PI) (**Grafikon 4**) u prvoj trećini eksperimenta je izračunata kod riba hranjenih HTM (32,64 g), nešto niže vrednosti dobijene su kod riba hranjenih HFM (32,02 g) i HEF (31,91 g), dok je najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata u eksperimentalnoj grupi čija je ishrana bazirana na HZO (30,82 g). Unutar posmatranog perioda nisu postojale statistički značajne razlike između eksperimentalnih grupa. Druga trećina eksperimenta beleži nešto veći prosečan utrošak proteina u odnosu na prvi period. Vrednosti ovog parametra u periodu II su se kretale od 43,88 (HZO g) kao najniža prosečna vrednost od 51,72 g (HTM) koja je najviša prosečna vrednost u ovom periodu. Prosečna vrednost PI kod riba hranjenih HFM je 46,51 g odnosno 47,58 g kod riba hranjenih HEF. U drugom periodu nije postojala statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa. U poslednjoj trećini eksperimenta su dobijene najveće prosečne vrednosti PI koje su imale interval varijacije od 69,55 g (HZO) do 84,14 g (HTM) kao i u prethodna dva perioda, ni u ovom periodu nisu postojale statistički značajne razlike između eksperimentalnih grupa. Eksperimentalne grupe se međusobno razlikuju posmatrano po periodima.

Prosečan utrošak hrane po ribi (FI) (**Grafikon 4**) je gotovo identičan za sve eksperimentalne grupe u prvoj trećini eksperimenta (0,33 g d⁻¹), što nam govori da se prosečna vrednost FI nije statistički značajno razlikovala između eksperimentalnih grupa. U drugoj trećini eksperimenta najniža prosečna vrednost parametra FI je izračunata kod riba hranjenih HZO (0,47 g d⁻¹), dok je najveća prosečna vrednost FI evidentirana u grupi koja je hranjena HTM (0,54 g d⁻¹), pri čemu je vrednost od 0,50 g d⁻¹ ostvarena kod riba hranjenih HEF. Najniža prosečna vrednost ovog parametra je dobijena u kontrolnoj grupi (0,49 g d⁻¹). U periodu II značajno najveći utrošak proteina je dobijen kod riba koje su hranjene HTM, pri čemu se ostale grupe nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Kao i u prethodnom periodu, u periodu III ribe hranjene HTM ostvarile su statistički značajno najveću prosečnu vrednost FI. Vrednosti FI u ovom periodu su se kretale u intervalu od 0,74

g d^{-1} (HZO) do $0,91 \text{ g d}^{-1}$ (HTM), pri čemu je vrednost od $0,76 \text{ g d}^{-1}$ izračunata kod riba hranjenih HFM, odnosno prosečna vrednost ovog parametra kod riba hranjenih HEF iznosi $0,81 \text{ g d}^{-1}$.

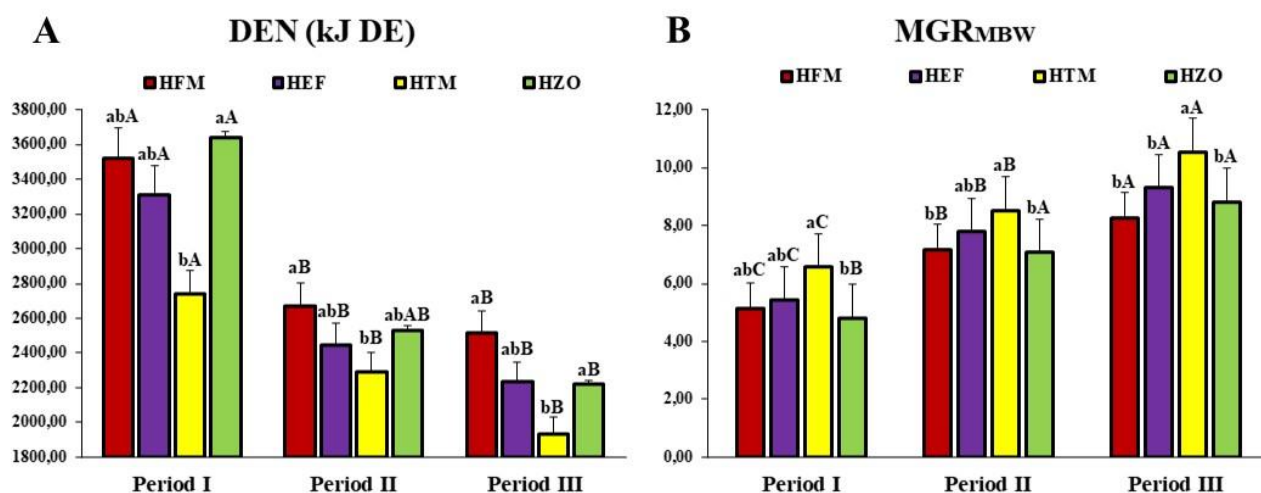


Grafikon 4. Prosečne vrednosti dnevnog unosa i iskoristivosti hranešarana gajenog u tank sistemu po periodima i tretmanima. **A-** utrošak proteina (**PI**); **B** - utrošak hrane po ribi (**FI**). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Potrebna svarljiva energija (DEN) (**Grafikon 5**) u prvoj trećini eksperimenta kretala se u intervalu od $2738,62 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta (HTM) do $3641,78 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta (HZO), pri čemu je prosečna vrednost od $3313,40 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta izračunata kod riba koje su hranjene HEF, odnosno prosečna vrednost od $3521,76 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta je dobijena u kontrolnoj grupi. Analizom prikupljenih podataka utvrđeno je da su ribe hranjene HZO ostvarile statistički značajno veću prosečnu vrednost ovog parametra u poređenju sa ribama hranjenim HTM. Statistički značajna razlika nije postojala između HZO, HEF i HFM, kao ni između HTM, HEF i HFM. U drugoj trećini eksperimenta, u odnosu na prvu trećinu, dolazi do smanjenja prosečnih vrednosti parametra DEN kod svih eksperimentalnih grupa. Na osnovu toga najniža prosečna vrednost DEN u drugoj trećini je izračunata kod HTM ($2290,80 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta), zatim nešto veća prosečna vrednost je izračunata kod HEF ($2447,59 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) i HZO ($2529,69 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) dok je i u ovom periodu najviša prosečna vrednost dobijena kod riba koje su hranjene HFM ($2667,78 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta). Riba hranjene HTM ostvarile su značajno nižu prosečnu vrednost DEN od riba koje su hranjene HFM, dok između HTM, HEF HZO nije postojala statistički značajna razlika. Takođe, u ovom periodu značajna razlika nije postojala ni između HZO, HEF i HFM. Najniže prosečne vrednosti DEN su izračunate u poslednjoj trećini eksperimenta. U periodu III najviša prosečna vrednost je dobijena u kontrolnoj grupi HFM ($2517,98 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) zatim nešto niže prosečne vrednosti su izračunate u grupama HZO ($2217,41 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) i HEF ($2235,94 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta), dok je statistički značajno niža prosečna vrednost DEN dobijena u eksperimentalnoj grupi koja je hranjena HTM ($1930,03 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) u poređenju sa HFM i HZO. Između HFM, HEF i HZO nije utvrđena značajna razlika u poslednjoj trećini eksperimenta. Posmatrano po periodima, ostvarene prosečne vrednosti DEN u periodu I se statistički značajno razlikuju od perioda II i III, dok između perioda II i III nije postojala statistički značajna razlika.

Najniža prosečna vrednost metaboličke stope rasta (MGR_{MBW}) (**Grafikon 5**), u periodu I, je izračunata kod riba hranjenih HZO ($4,81 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$), zatim slede HFM ($5,13 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$) i HEF ($5,42 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$), dok je najveća prosečna vrednost izračunata u eksperimentalnoj grupi HTM ($6,55 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$). Riba hranjene HTM ostvarile su statistički značajno višu prosečnu vrednost MGR_{MBW} u

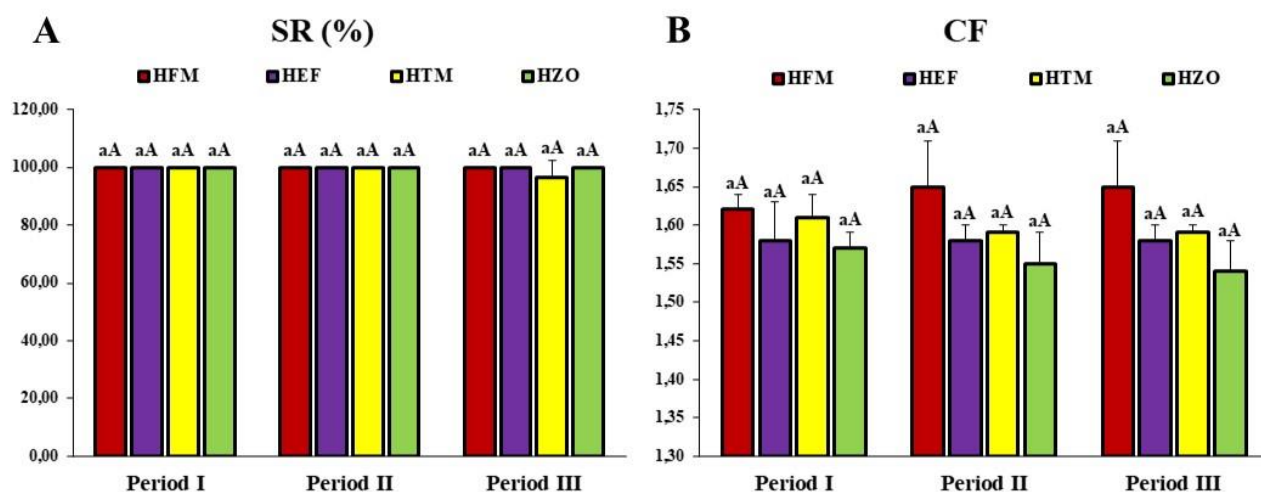
poređenju sa HZO, dok se HTM nije statistički značajno razlikovala od HFM i HEF. Takođe, statistički značajna razlika nije postojala ni između HFM, HEF i HZO. U periodu II, najniža prosečna vrednost MGR_{MBW} je izračunata u eksperimentalnoj grupi HZO ($7,07 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$), dok je najveća prosečna vrednost dobijena kod riba koje su hranjene HTM ($8,52 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$). Vrednost od $7,15 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ je izračunata u kontrolnoj grupi HFM, odnosno prosečna vrednost od $7,78 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ je izračunata u grupi HEF. Značajno najveća prosečna vrednost MGR_{MBW} je dobijena kod riba koje su hranjene HTM u poređenju sa HZO i HFM, pri čemu se nije statistički značajno razlikovala od HEF. Prosečne vrednosti ostvarene u grupi koja je hranjena HZO se nisu statistički značajno razlikovale od vrednosti dobijenih u grupama HFM i HEF. U periodu III statistički značajno najviša prosečna vrednost MGR_{MBW} dobijena je kod riba koje su hranjene HTM ($10,55 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$) u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama u kojima se vrednosti kreću od $8,24 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HFM) do $9,32 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HEF).



Grafikon 5. Prosečne vrednosti. **A** - potrebna svarljiva energija (DEN); **B** - metabolička stopa rasta (MGR_{MBW}) kod šarana gajenog u tank sistemu po periodima i tretmanima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Hranjenje riba hranom baziranom na alternativnim izvorima proteina korišćenim u ovom istraživanju nije imala negativan uticaj na stopu preživljavanja (SR) (**Grafikon 6**). Kod ovog parametra nisu postojale statistički značajne razlike kako između tretmana unutar istog perioda, tako ni između eksperimentalnih perioda.

Izračunate vrednosti kondicionog faktora (CF) (**Grafikon 6**) u prvoj trećini eksperimenta kretale su se od 1,57 (HZO), zatim nešto veće vrednosti su dobijene kod riba hranjenih HEF (1,58) i HTM (1,61), dok je najveća prosečna vrednost ovog parametra izračunata kod riba hranjenih HFM (1,62). U periodu I nisu postojale statistički značajne razlike između eksperimentalnih grupa. U drugoj trećini eksperimenta najniža prosečna vrednost CF je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (1,55), nešto viša prosečna vrednost je dobijena u eksperimentalnoj grupi HEF (1,58) i HTM (1,59), dok je najveća prosečna vrednost izračunata u kontrolnoj grupi HFM (1,65). Kao i u prethodnom periodu, ni u ovom periodu nisu postojale statistički značajne razlike između eksperimentalnih grupa. U poslednjoj trećini eksperimenta prosečne vrednosti kondicionog faktora imale su interval varijacije od 1,47 (HZO) do 1,62 (HFM), bez statistički značajnih razlika. Posmatrano po periodima, izračunate prosečne vrednosti CF se nisu statistički značajno razlikovale.



Grafikon 6. Prosečne vrednosti. **A** - stopa preživljavanja (**SR**); **B** - kondicioni faktor (**CF**) kod šarana gajenog u tank sistemu po periodima i tretmanima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Rezultati u ovoj disertaciji mogu da pruže praktične i dragocene informacije proizvođačima komercijalne hrane za ribu. Objedinjeni rezultati indeksa performansi rasta (**Tabela 29**), pokazuju da uključivanje animalnih izvora proteina, korišćenih u ovoj istraživanju, nemaju negativan uticaj na performanse rasta šarana.

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju da brašna dobijena od kalifornijske gliste, larve velikog brašnara i organizama zooplanktona imaju potencijal kao zamena za riblje brašno u hrani za šarana. Dernekbaşı i Karayücel (2023) su pokazali u svom radu da je značajan prirast nilska tilapija (*Oreochromis niloticus*) ostvarila u kontrolnoj grupi u odnosu na grupu gde je brašno larvi velikog brašnara činilo 50% eksperimentalne hrane, dok u istoj studiji potpuna zamena ribljeg brašna nije imala značajan uticaj na prirast ribe. Ovo je u suprotnosti sa rezultatima dobijenim u ovoj disertaciji, gde je potpuna zamena ribljeg brašna sa brašnomlarvi velikog brašnara imalo statistički značajan uticaj na vrednosti BWG. Veći BWG riba hranjenih HTM može biti zbog poboljšane efikasnosti korišćenja hranljivih materija od strane šarana, što bi mogao biti rezultat prisustva hitina u hrani (Marono i sar., 2015). Hitin je polisaharid prisutan u egzoskeletu insekata, koji može uticati na sastav mikroorganizama u digestivnom traktu i potencijalno poboljšati efikasnost korišćenja hrane (Alegbeleye i sar., 2011). Rezultati istraživanja Alghada i sar. (2023) su pokazali da brašnar može zameniti 60% ribljeg brašna u formulaciji hrane za baramundija (*Lates calcarifer*) bez značajnog uticaja na promene vrednosti SGR i FCR, ali sa statistički značajnim uticajem na povećanje telesne težine. Na osnovu objavljenih rezultata Ahmed i sar. (2020) moguće je zameniti 75% ribljeg brašna, brašnom od gliste bez negativnog uticaja na rast nilske tilapije. Brašno gliste se može koristiti kao alternativna zamena za riblje brašno i to bez negativnog uticaja na performanse rasta rohušarana (*Labeo rohita*) što je potvrđeno u studiji Beg i sar. (2016).

Tabela 29. Parametri prirasta, iskoristivosti hrane i somatski indeksi kod šarana hranjenog različitim eksperimentalnim hranama u tank sistemu

Parametri	Eksperimentalne hrane			
	HFM	HEF	HTM	HZO
BWG (g)	29,91±0,73	34,62±0,26	42,93±2,41 ^a	30,46±4,46
BWG (%)	241,68±6,72	280,19±1,86	347,05±119,55 ^a	246,17±35,95
SGR (% dan⁻¹)	1,46±0,02	1,59±0,01	1,78±0,05 ^a	1,47±0,13
TGC (g^{1/3}(°Cd)⁻¹)	0,59±0,01	0,65±0,01	0,76±0,03 ^a	0,60±0,06
DFR	1,93±0,03 ^a	1,85±0,03 ^{bc}	1,79±0,02 ^c	1,88±0,04 ^{ab}
FER (g)	0,76±0,02 ^c	0,84±0,01 ^{ab}	0,92±0,02 ^a	0,77±0,06 ^{bc}
FCR (g)	1,48±0,03 ^a	1,33±0,02 ^{ab}	1,17±0,02 ^b	1,44±0,14 ^a
PI (g)	150,79±2,86 ^b	156,56±2,41 ^{ab}	168,25±1,77 ^a	144,25±8,78 ^b
FI	0,53±0,01	0,55±0,01	0,61±0,03 ^a	0,52±0,03
DEN	32,43±0,65 ^a	29,28±0,53 ^{ab}	26,67±0,37 ^b	30,02±2,83 ^{ab}
MGR_{MBW}	6,51±0,10	7,08±0,03	7,95±0,23 ^a	6,56±0,58
SR (%)	100±0,00	100±0,00	96,67±5,77	100±0,00
CF (g/cm³)	1,62±0,03 ^a	1,50±0,08 ^{ab}	1,56±0,05 ^{ab}	1,47±0,05 ^b
HSI	1,98±0,05	1,81±0,31	1,66±0,13	1,81±0,05
VSI	10,19±0,62	9,94±1,02	9,01±0,14	9,10±0,39

Skrćenice: **BWG**: povećanje telesne težine; **SGR**: specifična stopa rasta; **TGC**: koeficijent rasta za termičku jedinicu; **DFR**: dnevno učešće hrane; **FER**: koeficijenta iskoristivosti hrane; **FCR**: koeficijent konverzije hrane; **PI**: utrošak proteina; **FI**: utrošak hrane po ribi; **DEN**: potrebna svarljiva energija; **MGR_{MBW}**: metabolička stopa rasta; **SR**: stopa preživljavanja; **CF**: kondicioni faktor; **HSI**: hepatosomatski indeks; **VSI**: viscelarni indeks. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednje vrednosti ± standardna devijacija (n = 3), koje sa različitim slovom u superskriptu predstavljaju nivo statističke značajnosti, prema Tukey-evom testu (p < 0,05).

Ngoc i sar. (2015) su ustanovili da je šaran koji je hranjen hranom gde je 70% ribljeg brašna zamenjeno sa brašnom od gliste imao značajan uticaj na telesnu težinu ribe i SGR u odnosu na sve druge grupe. Međutim, u istoj studiji potpuna zamena ribljeg brašna brašnom kalifornijske gliste nema uticaja na vrednosti SGR, FCR i težinu ribe. Ovo je u saglasnosti sa rezultatima ove disertacije gde nije utvrđena statistički značajna razlika SGR između grupe hranjene HEF (1,59% dan⁻¹) i HFM (1,46% dan⁻¹). Takođe, hranjenje riba HZO (1,47% dan⁻¹) nije imala značajnog uticaja na prosečne vrednosti parametra SGR, dok se jedino riba hranjena HTM (1,78% dan⁻¹) statistički značajno razlikuje od ostalih grupa u ovom parametru. Za razliku od ovog istraživanja, u studiji Ng i sar. (2001) potpunim uključivanjem brašna dobijenog od larvi brašnara u hrani za afričkog soma (*Clarias gariepinus*) dolazi do značajnog smanjenja telesne težine, SGR i FER u odnosu na kontrolnu grupu. Ova neslaganja mogu se pripisati različitim vrstama riba korišćenim u istraživanjima i njihovim specifičnostima u zahtevima ishrane. U studiji El-Ouny i sar. (2023) uključivanje brašna gliste sa 15 i 20% imalo je pozitivan uticaj na ukupnu ihtiomasu i SGR u ishrani nilske tilapije, dok je FCR značajno povećan u grupama gde je brašno gliste činilo 25 i 30% hrane, odnosno značajno smanjen pri nivou uključivanja od 15 i 20% eksperimentalne hrane u odnosu na kontrolnu grupu. Autori su naveli da je optimalan nivo zamene ribljeg brašna ovim izvorom proteina 21-22%. Rezultati ove disertacije su pokazali da je HTM (0,92 g prirasta g⁻¹ hrane) imala statistički značajan uticaj na vrednosti FER u odnosu na kontrolnu grupu, ali da se grupa hranjena HZO nije statistički značajno razlikovala od HFM. Najviša prosečna vrednost TGC je izračunata kod riba hranjenih HTM (0,76 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), dok su ribe hranjene HEF (0,65 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), HZO (0,60 g^{1/3}(°Cd)⁻¹) i HFM (0,59 g^{1/3}(°Cd)⁻¹) imale statistički značajno niže prosečne vrednosti ovog parametra.

U ranijem istraživanju (Abo-Taleb i sar., 2021b) utvrđena je statistički značajno najniža vrednost FCR kod *Mugil cephalus* u čijoj je ishrani riblje brašno u potpunosti zamenjeno brašnom zooplanktona. Slične rezultate su istakli Hassan i sar. (2020) koji su naveli da je moguća potpuna

zamena ribljeg brašna brašnom zooplanktona, bez uticaja na vrednosti SGR, FER ali sa statistički značajnim uticajem na FCR u ishrani evropskog brancina. U rezultatima ove doktorske disertacije najniža prosečna vrednost FCR dobijena je kod riba hranjenih HTM (1,17 g hrane g⁻¹ prirasta), nešto višu prosečnu vrednost ovog parametra ostvarile su ribe hranjene HEF (1,33 g hrane g⁻¹ prirasta), pri čemu između ove dve eksperimentalne grupe nije uočena statistički značajna razlika. Takođe, ribe iz eksperimentalne grupe HEF se nisu značajno razlikovale od HZO (1,44 g hrane g⁻¹ prirasta), dok su ribe HZO ostvarile nešto nižu prosečnu vrednost FCR u odnosu na HFM (1,48 g hrane g⁻¹ prirasta), ali bez statistički značajne razlike. Nepostojanje statistički značajne razlike nam potvrđuje da brašno zooplanktona može biti potencijalna zamena za riblje brašno u komercijalnoj hrani za šarana.

Gasco i sar. (2016) su pokazali da zamenom ribljeg brašna sa 50% brašna larvi velikog brašnara u formulaciji hrane za evropskog brancina (*Dicentrarchus labrax*) nema statistički značajnog uticaja na vrednosti koeficijenta konverzije hrane, ali da se ipak dobijaju nešto niže vrednosti FCR u kontrolnoj grupi. Suprotno, Piccolo i sar. (2017) kao i Fabrikov i sar. (2021a) su dobili nešto niže prosečne vrednosti FCR ako se u hrani za oradu (*Sparus aurata*) uključi 50% brašna larvi velikog brašnara. Basto i sar., (2021) su ustanovili da potpuna zamena ribljeg brašna brašnom dobijenog od brašnara ima statistički značajan uticaj na FCR u ishrani evropskog brancina. U studiji Li i sar. (2022) gde je brašno *T. molitor* korišćeno kao potpuna zamena za riblje brašno u hrani za belog amura navode da nije bilo značajnog uticaja na vrednosti prirasta, SGR, FCR kao ni na biološke indekse CF, HSI i VSI. Značajno veći prosečan utrošak proteina, u disertaciji, dobijen je kod riba hranjenih HTM (168,25 g) u poređenju sa ribama hranjenim HFM. Takođe, prosečne vrednosti PI se nisu statistički značajno razlikovale između HEF (156,56 g), HFM (150,79 g) i HZO (144,25 g). Eksperimentalne hrane korišćene u ovom istraživanju nisu imale statistički značajan uticaj na vrednosti SR.

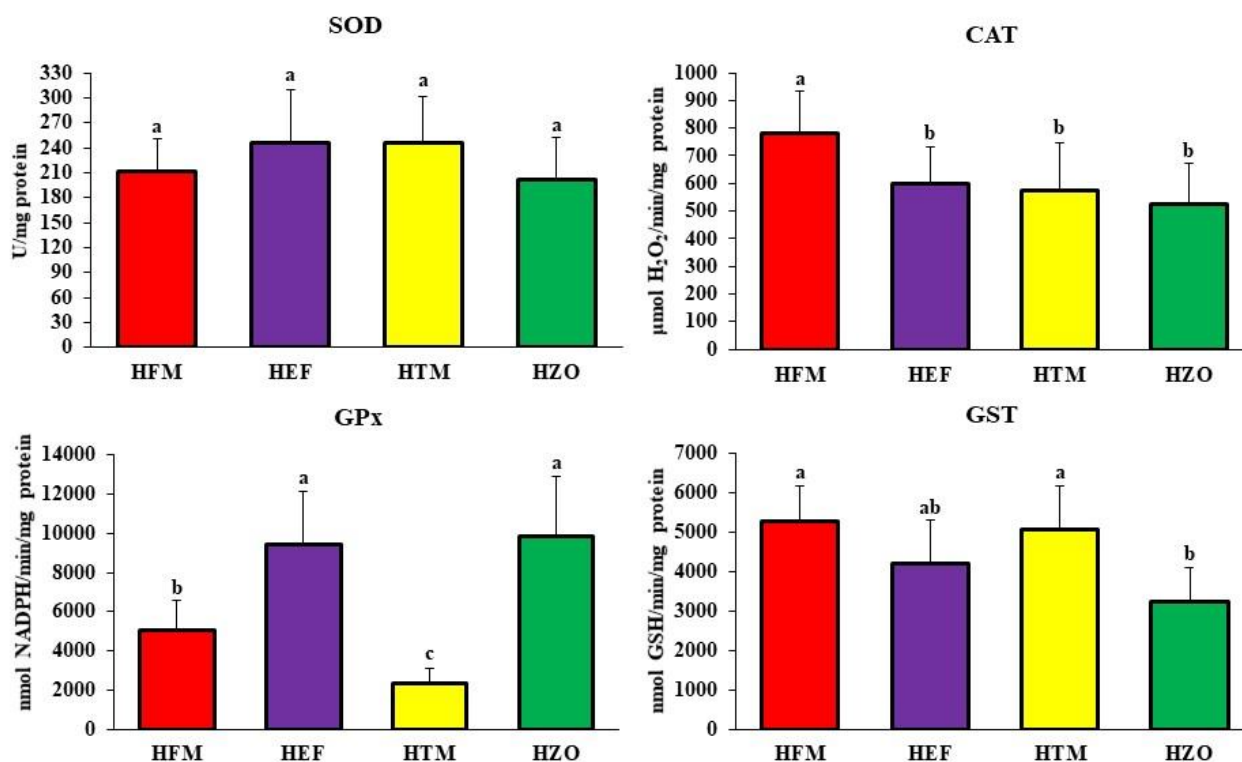
Zamena ribljeg brašna brašnom dobijenog od alternativnih izvora proteina animalnog nije imala statistički značajan uticaj na prosečne vrednosti VSI, gde je najniža prosečna vrednost ovog indeksa dobijena kod riba hranjenih HTM (9,01), slede HZO (9,10) i HEF (9,94), a najveća prosečna vrednost je izračunata kod HFM (10,19). Alghada i sar. (2023) su pokazali da uključivanjem brašna od brašnara do 60% u hrani ima statistički značajan uticaj na prosečne vrednosti VSI kod azijskog brancina, dok nema statistički značajnog uticaja na HSI i CF. Vrednosti HSI u ovoj disertaciji se nisu značajno razlikovale između grupa. Najnižu prosečnu vrednost HSI je ostvarila eksperimentalna grupa HTM (1,66), dok je prosečna vrednost ovog indeksa kod HEF i HZO iznosila 1,81, a kod riba hranjenih HFM izračunata vrednost ovog parametra je bila 1,98. U istraživanju Ngoc i sar., (2015) potpuna zamena ribljeg brašna brašnom kalifornijske gliste nije imala statistički značajan uticaj na HSI što se poklapa sa prikazanim rezultatima. Tilami i sar. (2020) su prijavili nešto više vrednosti HSI u eksperimentu na grgeču (*Perca fluviatilis*) u čijoj je ishrani 25% ribljeg brašna zamenjeno brašnom insekata (kombinacija kućnog cvrčka (*Acheta domesticus*) i super crva (*Zophobas morio*). Vrednosti HSI i CF u radu Piccolo i sar. (2017) uključivanjem 50% brašna brašnara u hrani za oradu u saglasnosti su sa dobijenim rezultatima, dok su vrednosti VSI u istoj studiji nešto niže. HSI je indeks koji se koristi u proceni efekta hrane na funkcionalnost jetre kao ključnog organa za metabolizam riba (Dernekbası, 2012). Optimalne vrednosti HSI se kreću od 1 do 2%. Ukoliko su vrednosti više od optimalnih, to ukazuje na postojanje problema u metabolizmu masti, ugljenih hidrata, na nedostatak vitamina i prisustvo oksidovane masti u hrani (Hoffmann i sar., 2021). Prosečna vrednost kondicionog faktora kod uzorkovanih riba se kretao od HFM (1,62) do HZO (1,47). Riba hranjena HFM ostvarile su nešto više prosečne vrednosti CF od HEF (1,50) i HZO dok između HFM i HTM (1,56) nije postojala statistički značajna razlika. Takođe, statistički značajna razlika nije postojala ni između HTM, HEF i HZO, pri čemu je statistički značajna razlika utvrđena samo između HFM i HZO. Grupe HFM i HTM su pokazale nešto veće prosečne vrednosti CF što nam govori da su ove dve grupe postigle bolje opšte zdravstveno stanje u odnosu na HEF i HZO. U studiji El-Ouny i sar. (2023) u kojoj je nilska tilapija hranjena sa 20% brašna glista, imala je značajno veće prosečne

vrednosti kondicionog faktora u poređenju sa kontrolnom grupom, dok je riba hranjena sa 30% brašnom istog izvora proteina imala je statistički značajno niže prosečne vrednosti ovog parametra.

5.2.4. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu

Različiti faktori životne sredine u kojoj se organizam nalazi mogu indukovati povećanu proizvodnju ROS. ROS predstavljaju normalne nusprodukte ćelijskog metabolizma, ali u povišenim koncentracijama mogu imati štetne efekte na žive organizme (Valko i sar., 2006). Njihova prekomerna akumulacija dovodi do oksidativnog stresa, koji uzrokuje oštećenja imunih organa kod riba (Ding i sar., 2013). Dodatno, fosfolipidi u membranama riba sadrže značajan udeo polinezasićenih masnih kiselina, koje su naročito podložne oksidativnim procesima izazvanim ROS (Tanaka i sar., 2017). Aktivacija antioksidativnog odbrambenog sistema predstavlja ključni fiziološki mehanizam kojim se organizam štiti od posledica oksidativnog stresa (Dröge, 2002). Antioksidativni enzimi kod riba, među kojima se izdvajaju SOD, CAT, GPx i GST, imaju ključnu ulogu u zaštiti imunih organa od oksidativnog stresa izazvanog ROS-om (Li i sar., 2008). Njihova aktivnost, zajedno sa koncentracijom malondialdehida (MDA), koji predstavlja proizvod lipidne peroksidacije, može dovesti do narušavanja strukture i funkcije ćelijskih membrana (Sun i sar., 1999). Pored toga, ishrana riba značajno utiče na njihov imunološki status, što obuhvata modulaciju aktivnosti antioksidativnih i imunih enzima, nivo imunoglobulina M, kao i različite imunološke parametre, uključujući produkciju superoksid anjona i koncentraciju serumskih proteina (Li i sar., 2016; Yildirim-Aksoy i sar., 2010; Chan i sar., 2008).

Rezultati istraživanja antioksidativnih enzima prikazani su na **Grafikonu 7**. Na osnovu dobijenih rezultata koji su predstavljeni na grafikonu, nije utvrđena statistička značajnost u aktivnosti SOD kod riba hranjenim različitim hranama. Najmanja aktivnost ovog enzima je izmerena kod riba hranjenih HZO (201,52 U/mg proteina), veća aktivnost je izmerena kod riba hranjenih HFM (210,78 U/mg proteina), zatim kod riba hranjenih HTM (245,65 U/mg proteina) i najveća aktivnost enzima SOD zabeležena je kod riba hranjenih HEF (246,46 U/mg proteina). Superoksid-dismutaza je enzim koji predstavlja prvu liniju antioksidativne odbrane katalizujući dismutaciju O_2^- u O_2 i H_2O_2 . Međutim, njena efikasnost zavisi od sinergijske interakcije sa drugim antioksidativnim enzimima, posebno CAT i GPx (Manduzio i sar., 2004). Najveća aktivnost CAT, je utvrđena u grupi riba hranjenih HFM (781,19 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$), dok je najmanja aktivnost zabeležena kod riba hranjenih HZO (524,9 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$). U preostalim tretmanima aktivnosti CAT iznosile su 575,17 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$ (HTM) i 597,35 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$ (HEF). Statistički značajno najveća aktivnost CAT je uočena kod riba iz eksperimentalne grupe hranjenih HFM. Fentovom reakcijom H_2O_2 u prisustvu Fe^{2+} , prelazi u štetni $\cdot\text{OH}$. Međutim, CAT razlaže H_2O_2 na molekularni kiseonik i vodu, čime završava proces detoksikacije započet dejstvom SOD i sprečava formiranje $\cdot\text{OH}$. Glutation-peroksidaza redukuje H_2O_2 do vode, a organske hidroperokside u odgovarajuće alkohole (Ighodaro i Akinloye, 2017). Pored pomenute funkcije, GPx katalizuje i redukciju lipidnih peroksida, koji su proizvod oksidacije masti, čime se ćelije štite od oksidativnog stresa (Dröge, 2002).



Grafikon 7. Prosečne vrednosti antioksidativnih enzima kod šarana hranjenog brašnom alternativnim izvorima proteina u tank sistemu po tretmanima. **HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktona; superoksid-dismutaza (SOD), katalaza (CAT), glutation-peroksidaza (GPx) i glutation-S-transferaza (GST); Srednje vrednosti ± standardne devijacije sa malim slovom predstavlja statističku značajnost, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Aktivnost GPx, je bila najniža kod riba hranjenih HTM (2321,18 nmol NADPH/min/mg protein), nešto veća aktivnost je izmerena kod riba hranjenih HFM (5049,32 nmol NADPH/min/mg protein), dok je najveća aktivnost zabeležena kod riba koje su hranjene HEF i HZO (9421,65 nmol NADPH/min/mg protein odnosno 9852,67 nmol NADPH/min/mg protein). Grupa riba hranjenih HTM imala je statistički značajno nižu aktivnost GPx u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Riba hranjene HZO imale su statistički značajno veću aktivnost GPx u poređenju sa HFM, pri čemu se ribe HZO nisu statistički značajno razlikovale od riba HEF. Rezultati za aktivnost GPx ukazuju na varijacije u antioksidativnom kapacitetu riba u zavisnosti od hrane. Niža aktivnost GPx u HTM grupi sugerise smanjenu sposobnost za neutralizaciju H₂O₂ i lipidnih peroksida, što može signalizirati veći oksidativni stres ili slabiju adaptaciju na uslove ishrane, potencijalno povezanu sa nižim nivoima glutaciona ili drugih supstrata. S druge strane, više aktivnosti u HEF i HZO grupama (sa statistički značajnim porastom u odnosu na HTM i HFM) ukazuju na pojačanu antioksidativnu odbranu, verovatno induciranu bioaktivnim komponentama koje stimulišu GPx ekspresiju. Ovo može odražavati bolje fiziološko stanje, uključujući smanjeni rizik od lipoperoksidacije. Razlog veće izloženosti stresu može biti taj da je GPx selenoprotein (Borchert i sar., 2006), pa je za njenu sintezu i aktivnost neophodan selen. Ukoliko brašno dobijeno od kalifornijske gliste i zooplanktona sadrži više selena to može imati direktan uticaj na veću aktivnost GPx (Yue i sar., 2021). Koncentracija selena u zooplanktonu iznosila je 457 μg/kg, dok je u peletiranoj hrani bila 124 μg/kg (Dulić i sar., 2018). To znači da je sadržaj selena u zooplanktonu približno 3,7 puta veći u odnosu na peletiranu hranu. Prema podacima Purkerson i sar. (2003), vrednosti selena u zooplanktonu kreću se u rasponu od 1,02 do 6,07 μg/g suve mase, pri čemu su više koncentracije zabeležene kod vrsta viših trofičkih nivoa, kao i u oblastima sa sporijom cirkulacijom vode. Ovi nalazi ukazuju na značajan uticaj hidrodinamičkih uslova i hranidbenih interakcija na proces bioakumulacije selena. Proteini i lipidi iz ovih izvora poseduju imunostimulativna svojstva, uključujući polisaharide i omega-3 masne kiseline,

koji pojačavaju antioksidativne enzime i imunitet kod riba. Ovi faktori objašnjavaju povišenu GPx aktivnost, doprinoseći boljoj ćelijskoj zaštiti i fiziološkom stanju ribe u akvakulturi.

Glutation-S-transferaza igra ključnu ulogu u fiziologiji organizma kao enzim faze II detoksikacije, katalizujući konjugaciju glutationa (GSH) sa ksenobiotičima, lipidnim peroksidima i elektrofilnim metabolitima, čime neutrališe oksidativni stres i štiti ćelijske strukture od oštećenja (Sheehan i sar., 2001). U kontekstu ishrane, aktivnost GST se menja pod uticajem ishrane bogatom proteinima ili lipidima stimulišući imunološki odgovor i adaptaciju na oksidativne pritiske iz hrane ili okoline (Ruiz-Núñez i sar., 2013).

Kod šarana gajenih u tank sistemu, statistički značajno niža aktivnost GST zabeležena je u grupi hranjenoj HZO (3224,33 nmol GSH/min/mg protein) u odnosu na HFM grupu (5256,91 nmol GSH/min/mg protein) i HTM (5055,98 nmol GSH/min/mg protein). Aktivnost GST u HZO grupi nije se statistički razlikovala od HEF (4187,97 nmol GSH/min/mg protein). Nije uočena statistički značajna razlika između grupa HFM, HEF i HTM.

5.3. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) u kaveznom sistemu

Kako bi se ispitao efekat alternativnih izvora animalnog porekla na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod gajenog šarana u kaveznom sistemu korišćena je ista hrana kao i u eksperimentu koji je realizovan na šaranu u tank sistemu. Rezultati hemijske analize alternativnih izvora proteina i eksperimentalnih hrana prikazani su u **tabelama 5 i 6**.

5.3.1. Abiotički parametri vode u zemljanom objektu za kavezno gajenje šarana

Kvalitet vode je jedan od glavnih uslova za uspešnu proizvodnju u akvakulturi. Pogoršanje kvaliteta vode može dovesti do pojave bolesti kod riba, tako da je od suštinskog značaja za zdravlje riba (Arulampalam i sar., 1998). Takođe, kvalitet vode je ključni faktor neophodan za opstanak i razvoj ribe u svim životnim fazama koji direktno zavise od njenog kvaliteta (Bolorunduro i Abdullah, 1996). Abiotički parametri vode su međusobno u interakciji i imaju uticaj na parametre prirasta i iskoristivosti hrane kod riba (Joseph i sar., 1993). Hranjenje riba u kaveznim sistemima podrazumeva stalno unošenje dodatne hrane što može imati negativan uticaj na kvalitet vode (Tacon i Forster, 2003). Veliki je broj fizičko-hemijskih parametara koji utiču na kvalitet vodenih ekosistema od kojih zavisi opstanak vodenih organizama. Procena i merenje ovih parametara igra važnu ulogu u procenjivanju nivoa kao i izvora zagađenja vodenih ekosistema (Thirupathaiiah i sar., 2012). U **tabeli 30**, prikazane su prosečne vrednosti abiotičkih parametara vode u jezeru (posmatrano po različitim periodima trajanja eksperimenta) gde je postavljen kavezni sistem za realizaciju eksperimenta sa šaranom.

Tabela 30. Prosečne vrednosti abiotičkih parametra vode u eksperimentu sa šaranom hranjenim različitim eksperimentalnim hranama u kaveznom sistemu

Abiotički faktor	Period posmatranja ^a		
	Period I	Period II	Period III
Temperatura vode (°C)	21,84±1,78 ^a	16,30±1,66 ^b	14,47±1,42 ^c
pH vrednost	9,18±0,74 ^b	10,20±0,64 ^a	9,66±0,87 ^b
Koncentracija kiseonika (mg/L)	6,27±1,26 ^a	5,4±1,97 ^a	4,41±1,06 ^b
Saturacija vode (%)	69,38±14,59 ^a	53,64±18,75 ^b	42,50±9,79 ^c
Elektroprovodljivost vode (µS/cm)	2202,1±83,58 ^a	2003,21±37,72 ^b	1921,6±47,28 ^c

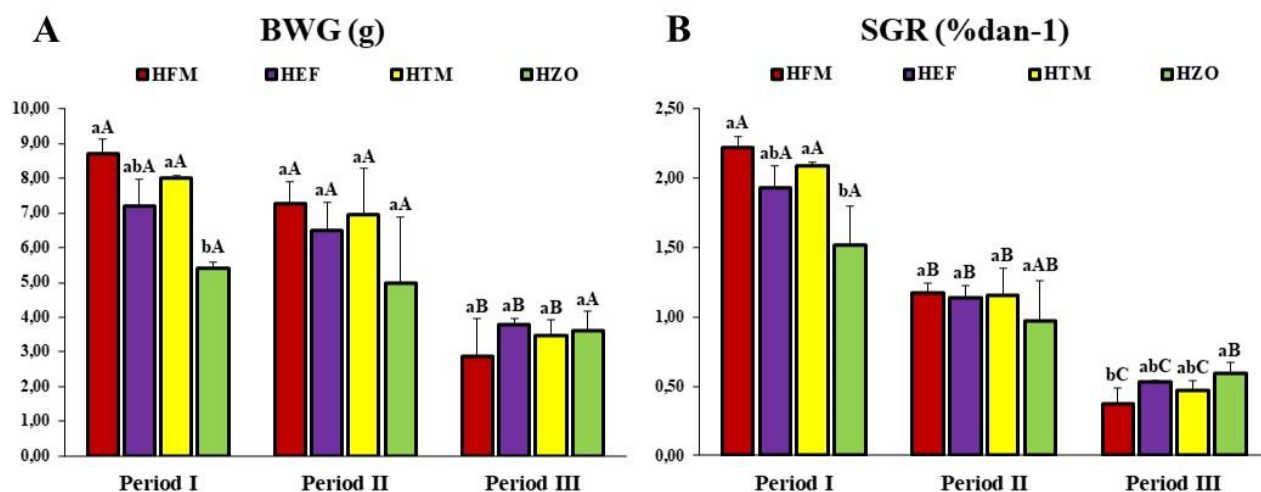
^a**Period I:** period druga polovina avgusta i prva polovina septembra; **Period II:** period druga polovina septembra i prva polovina oktobra; **Period III:** period druga polovina oktobra i prva polovina novembra. Vrednosti u tabeli su date kao srednje vrednosti ± standardna devijacija, n = 3. Srednje vrednosti ± standardna devijacija sa malim slovom predstavljaju novo statističke značajnosti, prema Tukey-evom testu (p < 0,05).

Temperatura vode je jedan od najvažnijih faktora spoljašnje sredine koji utiče na hemijske i biološke procese u proizvodnji ribe, kao i na same metaboličke procese riba. Odstupanje vrednosti ovog parametara iznad ili ispod optimalnih, može imati negativan uticaj na rast, dok ekstremne vrednosti dovode do uginuća (Joseph i sar., 1993). Prosečne temperature vode u ovom istraživanju su se značajno razlikovale, a kretale su se od 21,84 °C (period I) do 14,47 °C (period III), pri čemu je prosečna temperatura od 16,30 °C izmerena u periodu II. Razlog statistički značajnih razlika u temperaturi vode je taj što je eksperiment realizovan u periodu od druge polovine avgusta do prve polovine novembra, pa je jezero sa kaveznom sistemom bilo izloženo atmosferskim uticajima. Koncentracija vodonikovih jona ili pH vrednost je još jedan od parametara koji ima značajan uticaj na uspešnu proizvodnju u akvakulturi. Prema Marković (2010) povoljna pH vrednost za gajenje šarana je od 6 do 9. Vrednosti ovog parametra u ovom istraživanju su u granicama od 9,18 (period I) do 10,20 (period II), u periodu III prosečna vrednost ovog parametra je 9,66. Prosečna pH vrednost u periodu II se statistički značajno razlikuje u odnosu na period I i period III, dok između perioda I i perioda III nema statistički značajne razlike. Izračunate prosečne vrednosti u prvoj i poslednjoj trećini eksperimenta su u skladu sa Santhosh i Singh (2007) koji navode da se preporučena pH vrednost vode za uzgoj ribe kreće u intervalu od 6,7 do 9,5. U drugoj trećini eksperimenta izračunate su nešto više prosečne vrednosti ovog parametra. Koncentracija rastvorenog kiseonika je još jedan od parametara koji ima veliki uticaj na biohemijske procese koji vladaju u vodi. Na osnovu **tabele 30**, može se videti da su najviše prosečne vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika (6,27 mg/L) i zasićenost vode kiseonikom (69,38%) izračunate u periodu I gde je ujedno bila i najviša prosečna temperatura vode. Isti trend važi i za ostala dva perioda, najmanje prosečne vrednosti vezane za kiseonik su dobijene u periodu III (4,41 mg/L odnosno 42,50%), dok je prosečna vrednost koncentracije rastvorenog kiseonika od 5,4 mg/L izračunata u periodu II, odnosno saturacija vode u periodu II je bila 53,64%. Najniža prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode je dobijena u periodu III (1921,6 µS/cm), zatim 2003,21 µS/cm (period II), pri čemu je najviša prosečna vrednost 2218,21 µS/cm (period I). Statističkom obradom ovih vrednosti, utvrđeno je da se prosečne vrednosti elektroprovodljivosti vode po periodima statistički značajno razlikuju u odnosu na druga dva perioda.

5.3.2. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u kaveznom sistemu

Efekat potpune zamene ribljeg brašna, brašnom alternativnih izvorima proteina animalnog porekla koji je realizovan u kaveznom sistemu postavljenom u zemljanom objektu za gajenje šarana. Kako je istraživanje realizovano u periodu od druge polovine avgusta do prve polovine novembra i kako je riba bila izložena promenama ambijentalnih uslova sredine pod dejstvom atmosferskih prilika.

Izračunate prosečne vrednosti BWG (**Grafikon 8**) u periodu I su se kretale od 5,39 g (HZO), zatim 7,21 g (HEF) i 7,99 g (HTM), dok je najveća prosečna vrednost ovog parametra u prvom periodu 8,70 g (HFM). Nešto niže prosečne vrednosti BWG su izračunate u periodu II. U ovom periodu izračunate vrednosti su imale interval varijacije od 4,97 g (HZO) do 7,27 g (HFM), dok je prosečna vrednost za ovaj parametar od 6,94 g dobijena kod riba hranjenih HTM, a prosečna vrednost od 6,49 g je izračunata u grupi HEF. U poslednjoj trećini eksperimenta su izračunate i najniže prosečne vrednosti BWG. Riba hranjena HEF ostvarile su prosečan prirast od 3,77 g koji je ujedno i najveći prosečni u periodu III, nešto niža prosečna vrednost od 3,62 g izračunata je kod riba hranjenih HZO, zatim prosečna vrednost od 3,47 g izračunata je kod riba koje su hranjene HTM, dok su ribe hranjene HFM ostvarile najmanji prosečni BWG u poslednjem periodu eksperimenta (2,89 g). Analizom podataka nije utvrđena statistički značajna razlika između tretmana unutar perioda II i perioda III, dok je u periodu I eksperimentalna grupa HZO ostvarila statistički značajno niže vrednosti BWG u poređenju sa HTM i HFM. Posmatranjem jednog tretmana kroz sva tri eksperimentalna perioda utvrđeno je postojanje statistički značajnih razlika. Tako su ribe hranjene HFM, HEF i HTM ostvarile statistički značajno veći prosečni prirast u periodu I u odnosu na period III, što se može pripisati značajno višim temperaturama, a samim tim i intenzivnijem metabolizmu u periodu I u odnosu na period III (**Tabela 30**). Takođe, ribe hranjene HTM imale su značajno viši prosečni BWG u periodu II u poređenju sa periodom III. Međutim, kod riba hranjenih HZO nije postojala statistički značajna razlika u prosečnim vrednostima BWG između posmatranih perioda.



Grafikon 8. Prosečne vrednosti prirasta kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima i periodima. **A** - povećanje telesne težine (**BWG**); **B** - specifična stopa rasta (**SGR**). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Prosečne vrednosti specifične stope rasta (**Grafikonu 8**), u periodu I imala je interval varijacije od 2,22% dan⁻¹ (HFM) koja je i najviša prosečna vrednost ovog parametra u posmatranom periodu, zatim slede prosečne vrednosti od 2,09% dan⁻¹ (HTM) i 1,93% dan⁻¹ (HEF), dok je najniža izračunata vrednost SGR od 1,52% dan⁻¹ kod riba hranjenih HZO. U prvoj trećini eksperimenta ribe hranjene HFM ostvarile su statistički značajno više prosečne vrednosti SGR u poređenju sa ribama hranjenim HZO, dok se tretmani HEF i HTM nisu statistički razlikovali od HFM. U drugoj trećini eksperimenta, kao i u prvom periodu, ribe hranjene HZO ostvarile su najnižu prosečnu vrednost SGR (0,97% dan⁻¹). Međutim, ribe iz ostale tri eksperimentalne grupe su ostvarile prosečnu vrednost od 1,14 do 1,17% dan⁻¹ za ovaj parametar. Statističkom analizom podataka, utvrđeno je da nije postojala značajna razlika između tretmana u posmatranom periodu. Za razliku od prethodna dva perioda, u poslednjoj trećini eksperimenta najniža prosečna vrednost SGR je dobijena u kontrolnoj grupi (0,37%

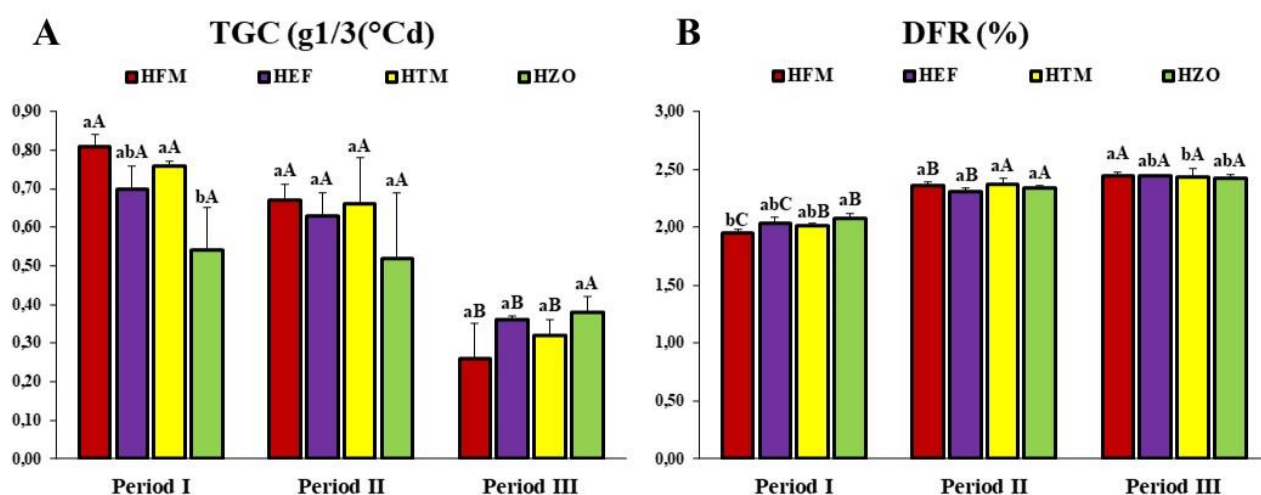
dan⁻¹), nešto viša prosečna vrednost dobijena je u tretmanu HTM (0,47% dan⁻¹), zatim 0,53% dan⁻¹ (HEF), pri čemu je najviša prosečna vrednost SGR izračunata kod riba hranjenih HZO (0,59% dan⁻¹). Analizom podataka statistički značajna razlika je utvrđena između eksperimentalne grupe HZO i HFM. Prosečne vrednosti SGR kod riba hranjenih HFM posmatrano po periodima se međusobno statistički značajno razlikuju. Isti trend je zapažen i za tretmane u kojima su korišćene HEF i HTM, dok je on drugačiji kod riba hranjenih HZO. Ostvarene vrednosti za SGR kod riba u čijoj je hrani zastupljeno brašno zooplanktona, se značajno razlikuju između perioda I i perioda III, dok se period II nije statistički značajno razlikovao od perioda I i III u ostvarenim prosečnim vrednostima parametra SGR.

Najveća prosečna vrednost koeficijenta rasta za termičku jedinicu (TGC) (**Grafikon 9**) u prvoj trećini eksperimenta je izračunata kod riba hranjenih HFM (0,81 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), pri čemu je najniža prosečna vrednost dobijena kod eksperimentalne grupe riba HZO (0,54 g^{1/3}(°Cd)⁻¹). Prosečna vrednost ovog parametra od 0,76 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ je izračunata kod riba hranjenih HTM, dok je kod grupe HEF izračunata prosečna vrednost ovog koeficijenta od 0,70 g^{1/3}(°Cd)⁻¹. Prosečna vrednost TGC izračunata kod HZO je statistički značajno niža od HFM i HTM, pri čemu značajna razlika nije postojala između HZO i HEF. U drugoj trećini eksperimenta, najniža prosečna vrednost TGC je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (0,52 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), zatim sledi 0,63 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ (HEF) i 0,66 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ (HTM) dok je prosečna vrednost od 0,67 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ izračunata kod riba koje su hranjene HFM. U posmatranom periodu II prosečne vrednosti TGC se nisu međusobno statistički značajno razlikovale između tretmana. U poslednjoj trećini eksperimenta, prosečne vrednosti TGC imale su interval varijacije od 0,26 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ (HFM) do 0,38 g^{1/3}(°Cd)⁻¹ (HZO), pri čemu statistički značajna razlika nije postojala između eksperimentalnih grupa. Poređenjem eksperimentalnih grupa po periodima, dobijene prosečne vrednosti TGC kod riba hranjenih HFM, HEF i HTM su se statistički značajno razlikovale između perioda I i perioda III. Prosečne vrednosti ovih tretmanima u periodu II se nisu statistički značajno razlikovale od perioda I, za razliku od perioda III gde je bilo statistički značajnih razlika. Kod riba koje su hranjene HZO nije postojala statistički značajna razlika za prosečne vrednosti TGC posmatrano po periodima.

Najveće dnevno učešće hrane (**Grafikon 9**) u periodu I je izračunato kod riba u čijoj je ishrani bilo uključeno brašno zooplanktona (2,08%) u ostalim eksperimentalnim grupama ostvarene su prosečne vrednosti od 1,95% (HFM), zatim 2,01% (HTM), pri čemu je prosečna vrednost od 2,04 izračunata u eksperimentalnoj grupi HEF. U pomenutom periodu statistički značajna razlika je postojala između kontrolne grupe i HZO, dok se eksperimentalne grupe HFM, HEF i HTM nisu međusobno statistički značajno razlikovale. U periodu II, najveće dnevno učešće hrane je izračunato kod riba koje su hranjene HTM (2,37%), dok je eksperimentalna grupa HEF (2,31%) ostvarila najnižu prosečnu vrednost DFR. U ovom periodu se prosečne vrednosti nisu međusobno statistički značajno razlikovale. U periodu III najveća prosečna vrednost DFR je izračunata kod riba koje su hranjene HFM i HEF (2,45%), potom 2,44% (HTM) i najniža prosečna vrednost DFR je dobijena kod HZO (2,42%). U periodu III statistički značajna razlika je postojala između prosečnih vrednosti dobijenih kod HFM i HTM, dok između ostale tri eksperimentalne grupe ova razlika nije postojala. Posmatranjem DFR kod riba koje su hranjene HFM i HEF kroz eksperimentalne periode, dobijene vrednosti se statistički međusobno razlikuju, dok su ribe hranjene HTM i HZO imale značajno niže vrednosti DFR u periodu I u odnosu na period II i period III.

Koeficijent iskoristivosti hrane (FER) (**Grafikon 10**) kod eksperimentalnih grupa, imao je najveće prosečne vrednosti u prvoj trećini eksperimenta. U ovom periodu prosečne vrednosti FER su imale interval varijacije od 0,82 g prirasta g⁻¹ hrane (HZO) kao najniža izračunata vrednost, zatim slede 1,03 g prirasta g⁻¹ hrane (HEF) i 1,14 g prirasta g⁻¹ hrane (HTM) do 1,23 g prirasta g⁻¹ hrane (HFM) koja je i najveća izračunata vrednost ovog parametra u pomenutom periodu. Eksperimentalna grupa hranjena HZO imala je statistički značajno niže prosečne vrednosti FER u poređenju sa grupama koje su hranjene HTM i HFM, pri čemu se nije statistički značajno razlikovala od riba

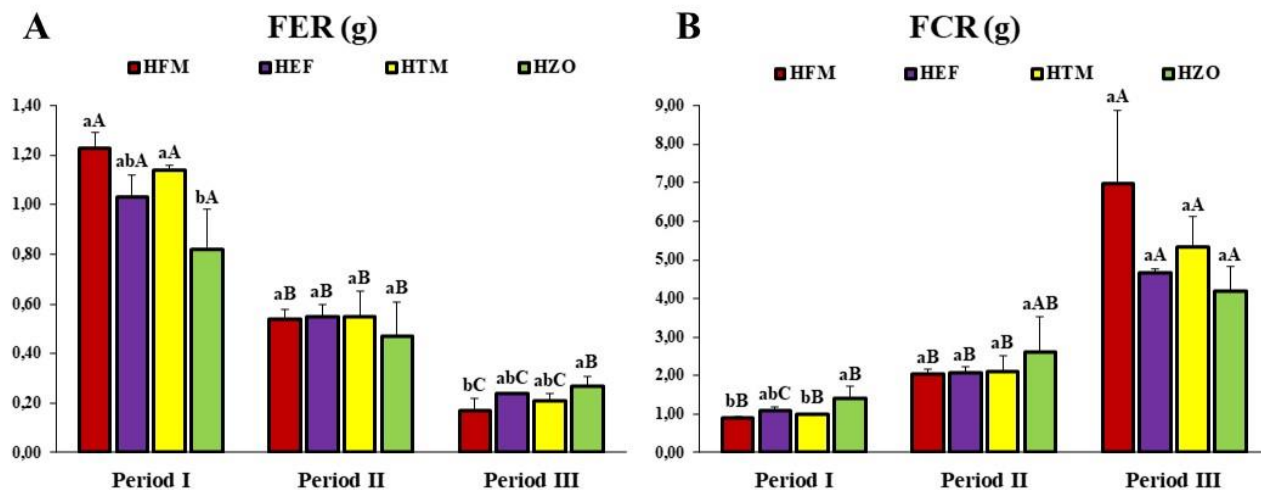
hranjenih HEF. Dobijene prosečne vrednosti FER se nisu statistički značajno razlikovale između grupa hranjenih HFM, HEF i HTM. U periodu II najniža prosečna vrednost FER je dobijena kod grupe hranjene HZO (0,47 g prirasta g^{-1} hrane), potom vrednost od 0,54 g prirasta g^{-1} hrane je izračunata u grupi HFM, dok su ribe HEF i HTM imale jednaku prosečnu vrednost, a ujedno i najveću izračunatu vrednost ovog parametra u periodu II (0,55 g prirasta g^{-1} hrane), dok se dobijene vrednosti ovog parametra u periodu II nisu međusobno razlikovale. U periodu III najniža prosečna vrednost koeficijenta iskoristivosti hrane je ostvarena kod riba hranjenih HFM (0,17 g prirasta g^{-1} hrane), nešto viša prosečna vrednost je evidentirana u tretmanu HTM (0,21 g prirasta g^{-1} hrane), zatim sledi HEF (0,24 g prirasta g^{-1} hrane), dok je najveća prosečna vrednost izračunata kod riba koje su hranjene HZO (0,27 g prirasta g^{-1} hrane). U ovom periodu prosečne vrednosti kod HFM i HZO se statistički značajno razlikuju. Posmatrano kroz periode, prosečne vrednosti koeficijenta iskoristivosti hrane se razlikuju kod riba hranjene HFM, HEF i HTM, dok je grupa riba hranjena HZO imala statistički značajno veću prosečnu vrednost FER u periodu I u poređenju sa periodom II i III dok se izračunate vrednosti za isti parametar nisu statistički razlikovale između perioda II i perioda III.



Grafikon 9. Prosečne vrednosti prirasta i iskoristivosti hrane kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tankovima i periodima. **A** - koeficijent rasta za termičku jedinicu (TGC); **B** – dnevno učešće hrane (DFR). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru jednog tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Na **Grafikonu 10** su predstavljene prosečne vrednosti FCR, gde se može videti da su najniže vrednosti izračunate u periodu I. Najniža dobijena vrednost ovog parametra u periodu I je dobijena kod riba koje su hranjene HFM (0,90 g hrane g^{-1} prirasta), nešto viša prosečna vrednost je izračunata u grupi HTM (0,99 g hrane g^{-1} prirasta), zatim vrednost od 1,10 g hrane g^{-1} prirasta je izračunata kod riba u čijoj je ishrani uključena HEF, dok je najviša prosečna vrednost koeficijenta konverzije hrane u ovom periodu dobijena u grupi HZO (1,42 g hrane g^{-1} prirasta). U periodu I ribe hranjenih HZO imale su statistički značajno više prosečne vrednosti FCR u poređenju sa HFM i HTM, dok između HZO i HEF nije postojala statistički značajna razlika. Nešto veće prosečne vrednosti FCR su izračunate u periodu II. U pomenutom periodu najniža prosečna vrednost FCR je dobijena kod riba hranjenih HFM (2,04 g hrane g^{-1} prirasta), dok je kao i u prethodnom periodu najveća prosečna vrednost koeficijenta konverzije hrane izračunata kod riba koje su hranjene HZO (2,61 g hrane g^{-1} prirasta). Prosečna vrednost FCR od 2,06 g hrane g^{-1} prirasta je izračunata u tretmanu HEF, dok su ribe hranjene HTM ostvarile prosečnu vrednost FCR od 2,11 g hrane g^{-1} prirasta. U periodu II izračunate prosečne vrednosti FCR se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Najveće prosečne vrednosti FCR su izračunate tokom perioda III. U ovom periodu najviša vrednost FCR je

izračunata kod riba koje su hranjene HFM (6,98 g hrane g⁻¹ prirasta), dok je najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata kod riba hranjenih HZO (4,20 g hrane g⁻¹ prirasta). Prosečna vrednost koeficijenta konverzije hrane kod grupe HEF je bila (4,68 g hrane g⁻¹ prirasta), a prosečna vrednost od 5,33 g hrane g⁻¹ prirasta je izračunata kod riba HTM. U periodu III eksperimentalne grupe se nisu razlikovale u prosečnim vrednostima FCR. Posmatrano po periodima, izračunate prosečne vrednosti u periodu III se statistički značajno razlikuju u odnosu na prosečne vrednosti u periodu I i period II.

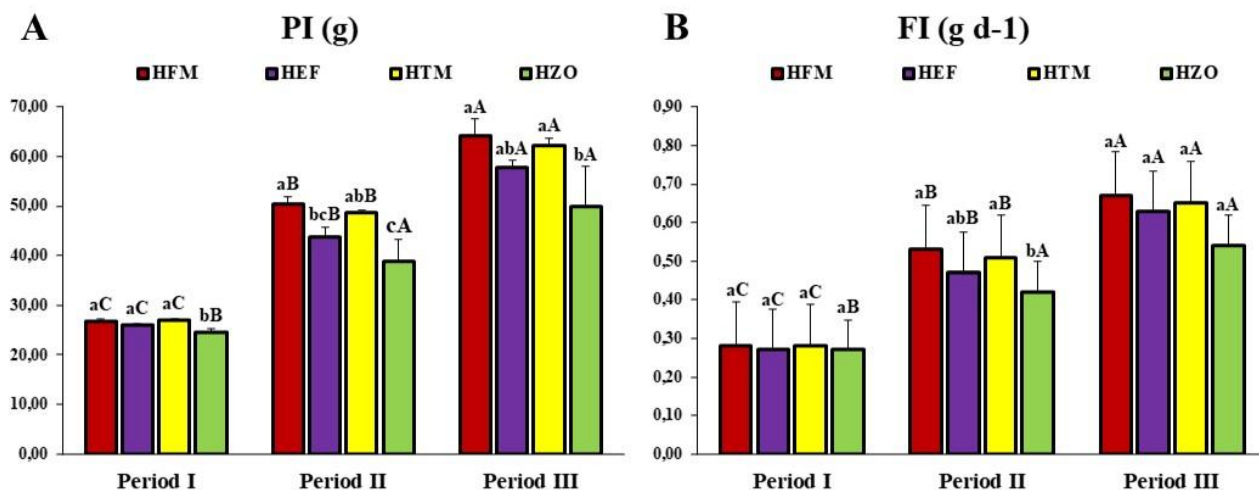


Grafikon 10. Prosečne vrednosti iskoristivosti hrane kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima i periodima. **A** – koeficijenta iskoristivosti hrane (**FER**); **B** – koeficijent konverzije hrane (**FCR**). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru jednog tretmana, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Vrednosti utroška proteina se mogu očitati na **Grafikonu 11**, gde se vidi da je najniži prosečni PI u periodu I dobijen kod riba koje su hranjene HZO (24,56 g), nešto viša prosečna vrednost je kod grupe HEF (25,97 g), dok su najveće prosečne vrednosti izračunate kod grupa HFM (26,79 g) i HTM (26,92 g). U periodu I prosečne vrednosti PI kod HZO su statistički značajno niže u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama, dok između HFM, HEF i HTM statistički značajne razlike nisu postojale. Isti trend prosečnih vrednosti PI je izračunat i u periodu II. Najniža prosečna vrednost je izračunata u grupi HZO (38,92 g), dok je najviša prosečna vrednost iskoristivosti proteina dobijena u grupi HFM (50,41 g), vrednost od 43,66 g je izračunata kod riba hranjenih HEF, dok je prosečna vrednost od 48,61 g izračunata u grupi HTM. U periodu II statistički značajna razlika je utvrđena između HFM i HZO. U periodu III prosečne vrednosti PI se kreću u intervalu od 50,01 g (HZO) do 64,28 g (HFM), dok je prosečna vrednost PI od 57,80 g izračunata kod HEF, odnosno prosečna vrednost od 62,21 g je izračunata kod riba hranjenih HTM. Riba hranjene HZO ostvarile su značajno niže prosečne vrednosti PI od HTM i HFM. Prosečne vrednosti po tretmanima, ukoliko se posmatra po periodima, se statistički značajno razlikuju.

Prosečne vrednosti parametra koji pokazuje FI (**Grafikon 11**) imale su interval varijacije od 0,27 g d⁻¹ (HZO i HEF) do 0,28 g d⁻¹ (HFM i HTM). Na osnovu dobijenih rezultata nije postojala statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa u prvom eksperimentalnom periodu. U drugoj trećini eksperimenta ostvarene su nešto više prosečne vrednosti ovog parametra. Najniža izračunata vrednost FI je dobijena kod riba koje su hranjene HZO (0,42 g d⁻¹), zatim slede grupe HTM i HEF (0,51 i 0,47 g d⁻¹), dok je najveća prosečna vrednost FI izračunata u grupi riba hranjenih HFM (0,53 g d⁻¹). Kontrolna grupa riba HFM ostvarila je statistički značajno viši utrošak hrane u odnosu na ribe hranjene HZO, dok se eksperimentalne grupe HEF i HTM nisu statistički značajno razlikovale

od kontrolne grupe. U poslednjoj trećini eksperimenta najveći dnevni utrošak hrane je izračunat kod riba hranjenih HFM ($0,67 \text{ g d}^{-1}$), nešto niža prosečna vrednost je dobijena kod riba hranjenih HTM ($0,65 \text{ g d}^{-1}$), dok je najmanja prosečna vrednost ovog parametra dobijena kod riba hranjenih HZO ($0,54 \text{ g d}^{-1}$). U poslednjem periodu eksperimenta nije postojala statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa riba. Posmatranjem tretmana kroz periode, prosečne vrednosti FI se međusobno razlikuju između sva tri eksperimentalna perioda, pri čemu su najniže prosečne vrednosti ovog parametra izračunate u periodu I, a najveće u periodu III.

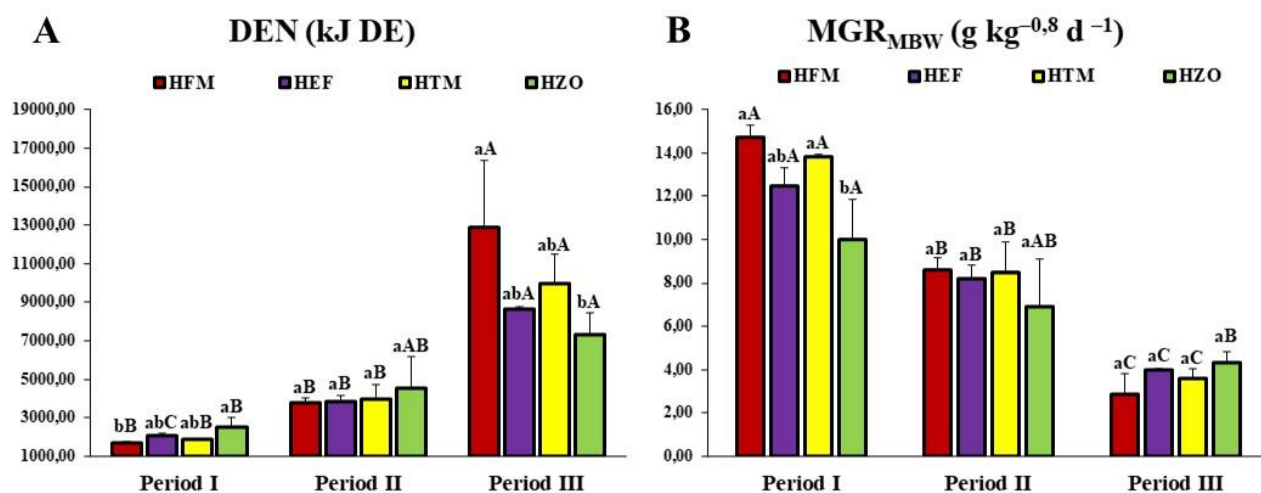


Grafikon 11. Prosečne vrednosti dnevnog unosa i iskoristivosti hrane kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima i periodima. **A-** utrošak proteina (**PI**); **B** - utrošak hrane po ribi (**FI**). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Grafikon 12 daje prikaz prosečnih vrednosti parametra DEN, gde je on najveći u periodu I kod riba hranjenih HZO ($2483,15 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta), zatim slede grupe HEF ($2037,47 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) i HTM ($1855,71 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta), dok je najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata u kontrolnoj grupi HFM ($1666,90 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta). U ovom periodu ribe hranjene HZO ostvarile su statistički značajno veću prosečnu vrednost ovog parametra od HFM dok se dobijena vrednost nije razlikovala od HEF i HTM ($p > 0,05 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta). Takođe, eksperimentalne grupe HFM, HEF, HTM se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. U periodu II prosečne vrednosti parametra DEN imale su interval varijacije od $3764,34 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta (HFM) do $4549,26 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta (HZO), prosečna vrednost od $3814,95 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta je izračunata kod HEF, dok je prosečna vrednost DEN kod riba hranjenih HTM iznosila $3954,17 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta. U drugoj trećini eksperimenta nije postojala statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa. U periodu III najveća prosečna vrednost DEN je izračunata kod riba hranjenih HFM ($12866,95 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta), zatim slede HTM ($9998,60 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) i HZO ($8655,76 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta) dok je najmanja prosečna vrednost ovog parametra izračunata kod riba koje su hranjene HZO ($7325,87 \text{ kJ DE g}^{-1}$ prirasta). U poslednjem periodu eksperimenta statistički značajna razlika je postojala između HFM i HZO. Posmatranjem tretmana po periodima prosečne vrednosti DEN su statistički značajno niže u periodu I u odnosu na period III za sve eksperimentalne grupe, dok se prosečne vrednosti nisu statistički značajno razlikovale između perioda I i perioda II za HFM, HTM i HZO.

Najveća prosečna vrednost metaboličke stope rasta (MGR_{MBW}) (**Grafikon 12**) u prvoj trećini eksperimenta je izračunata kod riba hranjenih HFM ($14,73 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$), dok je najniža prosečna vrednost izračunata kod riba hranjenih HZO ($9,98 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$). Prosečna vrednost od $12,49 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$

¹ je izračunata u grupi HEF, odnosno $13,80 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ kod riba hranjenih HTM. U ovom periodu statistički značajna razlika je postojala između HFM i HZO, dok se eksperimentalne grupe HEF i HTM nisu statistički značajno razlikovale od HFM. U periodu II prosečne vrednosti metaboličke stope rasta su se kretale od $6,90 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HZO) do $8,60 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HFM) pri čemu nije postojala statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa. Značajna razlika, između tretmana, nije postojala ni u poslednjoj trećini eksperimenta gde su se vrednosti kretale od $2,88 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HFM), $3,57 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HTM) i $3,97 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HEF) do $4,32 \text{ g kg}^{-0,8} \text{ d}^{-1}$ (HZO). Posmatranjem po periodima, eksperimentalne grupe HFM, HEF i HTM ostvarile su statistički značajno veće prosečne vrednosti metaboličke stope rasta u periodu I u odnosu na period II i period III.

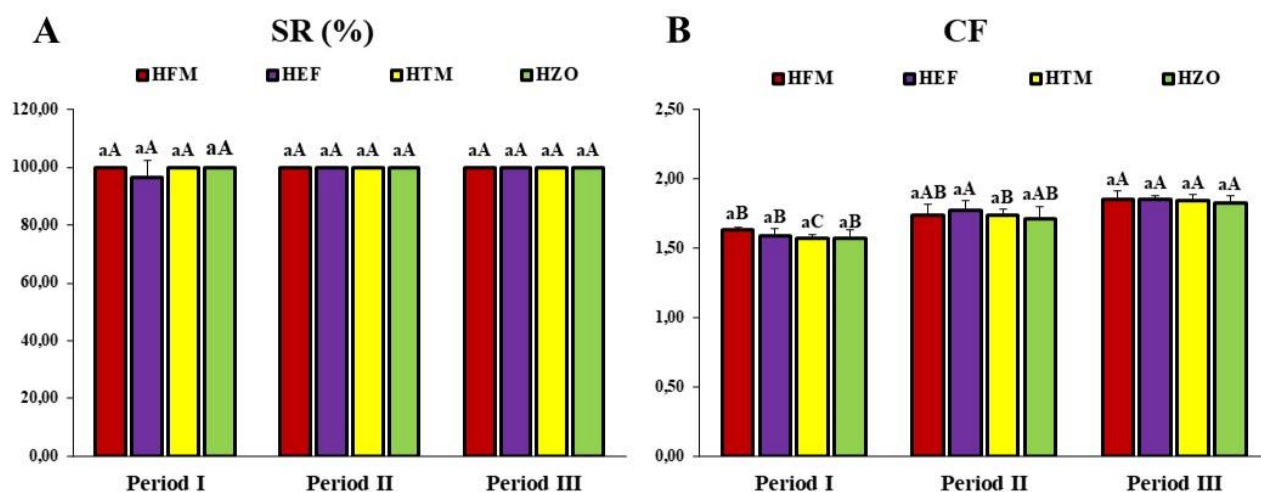


Grafikon 12. Prosečne vrednosti. **A** - potrebne svarljive energije (DEN); **B** - metaboličke stope rasta (MGR_{MBW}) kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima i periodima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Što se tiče preživljavanja, ishrana riba različitim eksperimentalnim hranama nije imala statistički značajan uticaj (**Grafikon 13**). Kod ovog parametra nisu postojale statistički značajne razlike ni između tretmana unutar jednog eksperimentalnog perioda, niti između istog tretmana posmatranog kroz različite eksperimentalne periode, jer tokom trajanja eksperimenta nije bilo uginuća riba.

Prosečne vrednosti CF (**Grafikon 13**) u prvoj trećini eksperimenta su se kretale u intervalu od 1,57 (HTM i HZO) do 1,63 (HFM). U pomenutom periodu eksperimenta nije postojala statistički značajna razlika između dobijenih prosečnih vrednosti CF. U drugoj trećini eksperimenta najniža prosečna vrednost CF je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (1,71), zatim slede HTM i HFM (1,74) dok je najviša prosečna vrednost izračunata u grupi gde je korišćena HEF (1,77). Na osnovu izračunatih prosečnih vrednosti nije postojala statistički značajna razlika između tretmana u posmatranom periodu. Međutim, ni u trećoj trećini eksperimenta nisu utvrđene statistički značajne razlike između dobijenih prosečnih vrednosti CF. Vrednosti u poslednjoj trećini eksperimenta su imale interval varijacije od 1,83 (HZO) do 1,85 (HFM HEF). Riba hranjene HTM ostvarile su prosečnu vrednost CF od 1,84. Posmatrano po periodima, eksperimentalne grupe su ostvarile statistički značajno veće prosečne vrednosti CF u periodu III u poređenju sa periodom I.

U **Tabeli 31** prikazani su objedinjeni podaci o uticaju smeša sa nekonvencionalnim izvorima proteina na proizvodne karakteristike šarana gajenog u kaveznom sistemu. Rezultati ove studije nude dragocene smernice za ekonomičniju proizvodnju u akvakulturi.



Grafikon 13. Prosečne vrednosti, **A** - stope preživljavanja (**SR**); **B** - kondicionog faktora (**CF**) kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima i periodima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukeyevom testu ($p < 0,05$).

Rezultati prikupljeni tokom realizacije eksperimenta u kaveznom sistemu, pokazuju da se brašno kalifornijske gliste, larvi velikog brašnara i zooplanktona može koristiti kao zamena za riblje brašno koje je inače tradicionalni izvor proteina u komercijalnoj proizvodnji hrane za ribu. U ovoj doktorskoj disertaciji potpuna zamena ribljeg brašna brašnom dobijenog od larvi velikog brašnara, u hrani za šarana gajenog u kaveznom sistemu, nije imala statistički značajan uticaj na BWG, SGR i CF. Najveća prosečna vrednost BWG izračunata je kod riba hranjenih HFM (18,86 g ili 187,19%), nešto niži prosečan prirast ostvarile su ribe hranjene HTM (18,41 g odnosno 182,74%), zatim sledi grupa HEF (17,48 g ili 173,54%) dok je najmanji prosečan prirast dobijen kod eksperimentalne grupe HZO (13,99 g odnosno 138,78%). Izračunate vrednosti SGR kretale su se u intervalu od 1,03% dan⁻¹ (HZO) do 1,25% dan⁻¹ (HFM), nešto niža prosečna vrednost ovog parametra od HFM je kod eksperimentalne grupe hranjene HTM (1,24% dan⁻¹), dok je u grupi HEF dobijena prosečna vrednost od 1,20% dan⁻¹. Parametri rasta se nisu statistički značajno razlikovali ni u studiji koja je realizovana u tank sistemu Gebremichael i sar. (2023) u kojoj je riblje brašno zamenjeno sa 50% i 100% brašnom *T. molitor* u hrani za šarana, pri čemu je najveći prirast i vrednost SGR izračunat u eksperimentalnoj grupi gde je *T. molitor* činio 50% hrane. Prema rezultatima ovog istraživanja, ishrana šarana alternativnim izvorima proteina nije imala statistički značajan uticaj ni na vrednosti TGC. Najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata je u grupi HZO (0,49 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), zatim HEF (0,58 g^{1/3}(°Cd)⁻¹) i HTM (0,60 g^{1/3}(°Cd)⁻¹), dok je prosečna vrednost TGC kod riba hranjenih HFM (0,61 g^{1/3}(°Cd)⁻¹). Izračunate vrednosti DFR kretale su se u intervalu od 2,39% (HZO) do 2,53% (HFM), dobijena prosečna vrednost ovog parametra kod riba hranjenih HEF je bila 2,43%, odnosno u eksperimentalnoj grupi HTM dobijena je vrednost do 2,50%. Statistički značajna razlika je utvrđena između HFM i HZO, dok se HEF i HTM nisu statistički značajno razlikovale ni od kontrolne grupe ni od grupe riba hranjenih HZO.

Tabela 31. Parametri prirasta, iskoristivosti hrane i somatski indeksi kod šarana hranjenog različitim eksperimentalnim hranama u kaveznom sistemu

Parametri	Eksperimentalne hrane			
	HFM	HEF	HTM	HZO
BWG (g)	18,86±1,97	17,48±1,67	18,41±1,47	13,99±3,36
BWG (%)	187,19±19,45	173,54±16,46	182,74±14,54	138,78±33,37
SGR (% dan⁻¹)	1,25±0,08	1,20±0,07	1,24±0,06	1,03±0,17
TGC (g^{1/3}(°Cd)⁻¹)	0,61±0,05	0,58±0,04	0,60±0,04	0,49±0,09
DFR (%)	2,53±0,05 ^a	2,43±0,02 ^{ab}	2,50±0,06 ^{ab}	2,39±0,04 ^b
FER (g)	0,50±0,04	0,51±0,02	0,51±0,03	0,46±0,06
FCR (g)	2,21±0,16	2,23±0,09	2,21±0,14	2,51±0,37
PI (g)	141,48±4,40 ^a	127,43±3,36 ^{ab}	137,74±2,00 ^a	113,49±12,96 ^b
FI (g d⁻¹)	0,49±0,02 ^a	0,46±0,03 ^{ab}	0,48±0,01 ^a	0,41±0,05 ^b
DEN (kJ DE)	4075,37±291,00	4120,01±167,33	4136,38±266,98	4386,05±653,49
MGR_{MBW}	8,46±0,55	7,93±0,31	8,33±0,42	6,89±1,20
SR (%)	100±0,00	96,67±5,77	100±0,00	100±0,00
CF (g/cm³)	1,85±0,06	1,85±0,03	1,84±0,05	1,83±0,05
HSI	5,17±1,23	4,63±1,24	4,86±1,07	4,54±1,50
VSI	12,47±1,22	13,12±2,40	12,49±1,76	13,81±2,06

Skraćenice: **BWG**: povećanje telesne težine; **SGR**: specifična stopa rasta; **TGC**: koeficijent rasta za termičku jedinicu; **DFR**: dnevno učešće hrane; **FER**: koeficijenta iskoristivosti hrane; **FCR**: koeficijent konverzije hrane; **PI**: utrošak proteina; **FI**: utrošak hrane po ribi; **DEN**: potrebna svarljiva energija; **MGR_{MBW}**: metabolička stopa rasta; **SR**: stopa preživljavanja; **CF**: kondicioni faktor; **HSI**: hepatosomatski indeks; **VSI**: viscelarni indeks. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednje vrednosti ± standardna devijacija, n = 3, koje sa različitim slovom u superskriptu predstavljaju nivo statističke značajnosti, prema Tukey-evom testu (p < 0,05).

Izračunate prosečne vrednosti FER su identične u eksperimentalnim grupama HEF i HTM (0,51 g prirasta g⁻¹ hrane), najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata je u grupi HZO (0,46 g prirasta g⁻¹ hrane), dok kod riba hranjenih HFM dobijena vrednost FER iznosi 0,50 g prirasta g⁻¹ hrane. Između eksperimentalnih grupa nije postojala statistički značajna razlika. Hassan i sar. (2020) naglašavaju da se riblje brašno u ishrani evropskog brancina (*Dicentrarchus labrax*) može u potpunosti zameniti brašnom zooplanktona bez negativnog uticaja na SGR i FER, iako je primećen statistički značajan efekat na FCR. Slično tome, Basto i sar. (2021) pokazali su da primena brašna larvi velikog brašnara u ishrani brancina dovodi do statistički značajnog uticaja na FCR. Suprotno ovim nalazima, rezultati disertacije ukazuju da kod šarana gajenog u kaveznom sistemu nije utvrđena statistički značajna razlika u FCR (p > 0,05), što se delimično može objasniti međuvrtnim razlikama.

Razlike u efektima zamene ribljeg brašna na FCR verovatno proizlaze iz specifičnih ishrambenih navika i fizioloških karakteristika različitih vrsta. Evropski brancin, kao izrazita grabljivica, ima veće nutritivne potrebe za proteinima životinjskog porekla, dok se šaran ubraja u svaštojede, što može objasniti odsustvo statistički značajnog efekta na FCR. Pored toga, varijacije u metaboličkim kapacitetima i digestivnim procesima dodatno doprinose uočenim razlikama.

Međutim, nepostojanje značajne razlike između HTM i HFM u ovom istraživanju je u saglasnosti sa rezultatima studije Dernekbaşı i Karayücel (2023) realizovanoj na nilskoj tilapiji gde potpuna zamena ribljeg brašna brašnom larvi velikog brašnara nije imala statistički značajan uticaj na povećanje telesne mase, SGR, FCR i preživljavanje riba. Takođe, rezultati su u saglasnosti sa studijom Ngoc i sar. (2015) gde se navodi da uključivanje kalifornijske gliste kao potpuna zamena u formulaciji hrane za šarana nema statistički značajan uticaj na vrednosti SGR, FCR i prirast, dok uključivanje ove komponente do 70% u formulaciji hrane za šarana ima značajan uticaj na prirast, SGR i FCR. Koeficijent iskoristivosti hrane pokazuje tendenciju pada sa povećanjem udela brašna larvi brašnara u hrani za ribu. U ovom istraživanju najniže prosečne vrednosti FCR su izračunate kod

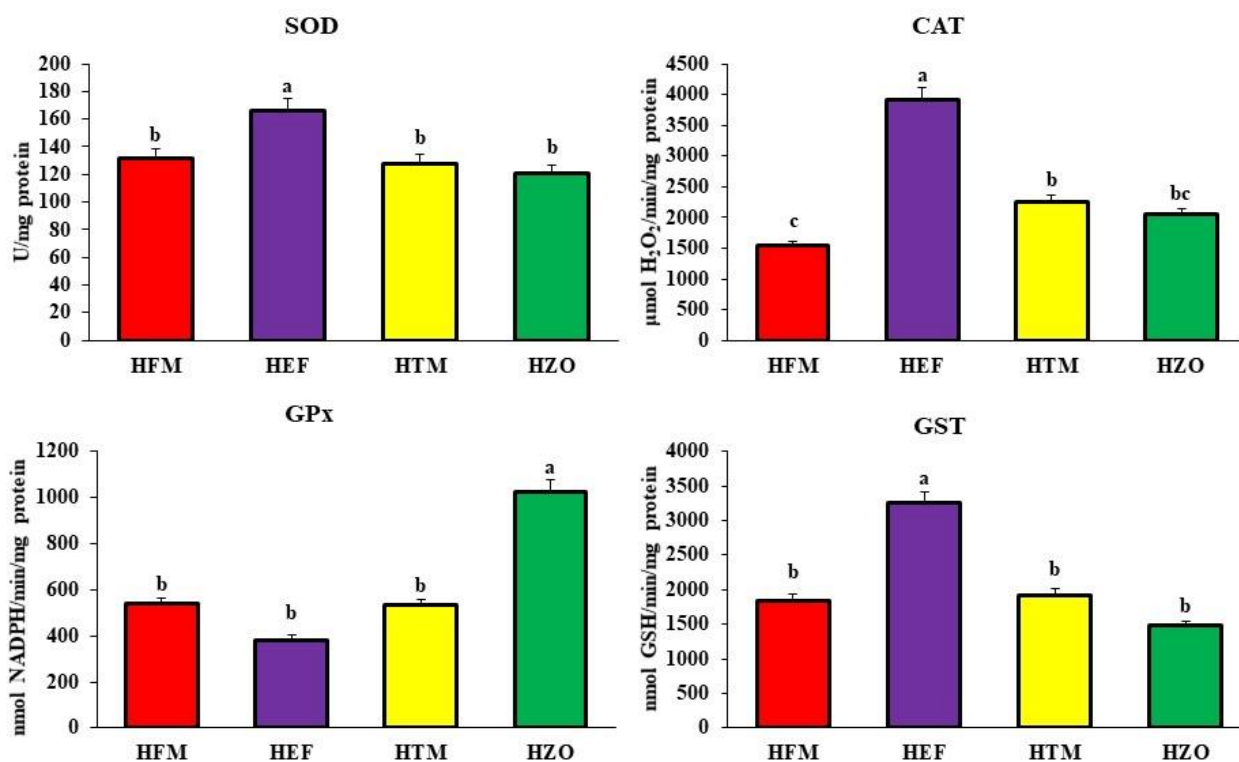
riba hranjenih HFM i HTM (2,21 g hrane g⁻¹ prirasta), nešto veću prosečnu vrednost ovog parametra ostvarile su ribe hranjene HEF (2,23 g hrane g⁻¹ prirasta), dok je najveća prosečna vrednost FCR dobijena kod riba hranjenih HZO (2,51 g hrane g⁻¹ prirasta). U istraživanju koje su sprovedeli Ido i sar. (2019) ispitivana je mogućnost zamene ribljeg brašna obezmašćenim larvama *Tenebrio molitor* u ishrani *Pagrus major*. Eksperiment je sproveden na juvenilnim jedinkama u laboratorijskim uslovima, pri čemu su korišćeni različiti nivoi zamene ribljeg brašna, uključujući i potpunu zamenu. Rezultati su pokazali da potpuna zamena nije imala negativan uticaj na prirast i FCR. Odnosno, rast riba je bio poboljšan, što sugerira da obezmašćene larve velikog brašnara predstavljaju efikasan i održiv izvor proteina za ishranu *P. major* u laboratorijskim uslovima. U ovoj disertaciji u eksperimentu sa šaranom u kaveznom sistemu, korišćena je isključivo potpuna zamena ribljeg brašna sa brašnom od *Tenebrio molitor*. Za razliku od *P. major*, potpuna zamena kod šarana nije imala statistički značajan uticaj na prirast i FCR, što ukazuje na to da šaran može koristiti larve velikog brašnara kao izvor proteina, efekti na performanse rasta su ograničeni. Ovo pokazuje da se različite riblje vrste razlikuju u sposobnosti iskorišćenja alternativnih proteina, što verovatno odražava njihove različite nutritivne zahteve, metaboličke kapacitete i adaptacije na prirodnu ishranu, a potencijalni razlog može biti i različiti uslovi u kojima su eksperimenti realizovani.

Prosečna utrošak proteina kod šarana u kaveznom sistemu kretao se od 141,48 g (HFM) od 113,49 g (HZO). Grupa riba hranjenih HZO ostvarila je statistički značajno nižu prosečnu vrednost ovog parametra od HFM i HTM, pri čemu se nije statistički značajno razlikovala od HEF. Hranjenje riba eksperimentnim hranama na bazi alternativnih izvora proteina nije imala statistički značajan uticaj na stopu preživljavanja riba, kao ni na CF čije su se prosečne vrednosti kretale od 1,83 (HZO) do 1,85 (HFM, HEF). Izračunate vrednosti FI kretale su se od 0,41 g d⁻¹ (HZO) 0,49 g d⁻¹ (HFM), pri čemu su ribe hranjene HZO ostvarile statistički značajno nižu prosečnu vrednost ovog parametra od HFM i HTM, dok između HZO i HEF nije postojala statistički značajna razlika.

Alternativni izvori proteina korišćeni u eksperimentalnoj hrani nisu imali statistički značajan uticaj na prosečne vrednosti DEN, MGR_{MBW} i vrednosti somatskih indeksa koji ukazuju na fiziološko stanje ribe. Prosečne vrednosti HSI kretale su se od 4,54 (HZO), zatim 4,63 (HEF) i 4,86 (HTM) dok je najveća prosečna vrednost HSI izračunata u kontrolnoj grupi (5,17). Izračunate prosečne vrednosti VSI su se kretale od 12,47 (HFM) do 13,81 (HZO), dok su dobijene prosečne vrednosti ovog parametra kod riba hranjenih HFM (13,12), odnosno 12,49 u eksperimentalnoj grupi gde je riba hranjena HTM.

5.3.3. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera šarana hranjenog eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u kaveznom sistemu

U okviru analize uticaja različitih tipova eksperimentalne hrane na šarana, ispitivan je efekat ishrane na aktivnost antioksidativnih enzima SOD, CAT, GPx i GST u kaveznom sistemu postavljenom u zemljanom objektu za uzgoj ribe (**Grafikon 14**). Rezultati pokazuju da je došlo do poboljšanja antioksidativnog kapaciteta jetre kod šarana. Povećana aktivnost enzima SOD, CAT i GST zabeležena je u grupi riba koja je hranjena HEF, dok je viša aktivnost GPx izmerena kod riba koje su hranjene HZO.



Grafikon 14. Prosečne vrednosti antioksidativnih enzima kod šarana gajenog u kaveznom sistemu po tretmanima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktonu; superoksid-dismutaza (**SOD**), katalaza (**CAT**), glutation-peroksidaza (**GPx**) i glutation-S-transferaza (**GST**); Srednje vrednosti \pm standardna devijacija sa različitim slovom u istom grafiku predstavljaju statističku značajnost između grupa, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

U kaveznom sistemu, najviša aktivnost enzima SOD zabeležena je kod šarana hranjenog HEF (166,17 U/mg proteina). Nešto niže vrednosti utvrđene su kod jedinki iz grupa hranjenih HFM (131,69 U/mg proteina) i HTM (127,86 U/mg proteina), dok je najniža aktivnost evidentirana kod riba hranjenih HZO (120,75 U/mg proteina). U poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama, ribe HEF ostvarile su statistički značajno najveću aktivnost ovog enzima. Analiza uzoraka jetre šarana uzgajanog u kaveznom sistemu pokazala je da je najviša aktivnost enzima katalaze (CAT) zabeležena kod jedinki hranjenih HEF (3913,53 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg protein}$), dok je najniža aktivnost utvrđena kod riba iz grupe HFM (1542,25 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg protein}$). U preostale dve eksperimentalne grupe, HZO i HTM, izmerene su vrednosti od 2048,9 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg protein}$, odnosno 2259,88 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg proteina}$. Kod riba gajenih u kaveznom sistemu je zabeležena statistički značajno viša aktivnost CAT kod grupe hranjene HEF u poređenju sa ostalim grupama.

Rezultati koji ukazuju na povećanu aktivnost antioksidativnih enzima kod *Siniperca chuatsi* pri ishrani živom hranom pokazuju da vrsta hrane može imati značajan uticaj na oksidativni status riba (Li i sar., 2017). Međutim, kod šarana takav efekat verovatno ne bi bio izražen, budući da je živa hrana ujedno i prirodna hrana ove vrste. Ova razlika naglašava važnost uzimanja u obzir ekoloških i fizioloških specifičnosti različitih vrsta riba. Šaran je omnivorna vrsta ribe, a kako je eksperiment realizovan u kaveznom sistemu, može se reći da se riba nalazi u svom prirodnom okruženju. Rezultati povećane aktivnosti antioksidativnih enzima SOD, CAT i GST kod eksperimentalne grupe HEF mogu se delimično objasniti specifičnim faktorima u kaveznom sistemu. Odnosno, ribe u kaveznom sistemu nisu u potpunosti bile izolovane od prirodne hrane, što dovodi do zaključka da je interakcija između prirodne hrane dostupne u jezeru i hrane bazirane na brašnu kalifornijske gliste uticala na intenzitet oksidativnog stresa. Takođe, brašno kalifornijske gliste obezbeđuje više proteina (**Tabela 5**) što potencijalno ima uticaj na povećanu aktivnost enzima. Prema navodima Pucher i sar. (2014), u poluintenzivnom sistemu gajenja šarana u ribnjacima postoji snažna interakcija između sastava

dotadne hrane i dostupnosti, kao i nutritivnog kvaliteta prirodne hrane. Prirodna hrana se razlikuje po svom nutritivnom kavalitetu (De Silva, 1993). Iako je zooplankton prirodni izvor hrane za šarana (Rahman i sar., 2008), on generalno sadrži visok nivo proteina i esencijalnih aminokiselina (Ventura i Catalan, 2010). Takođe, dostupnost i nutritivni kvalitet prirodne hrane direktno ima uticaj na nutritivni kvalitet dodatne hrane (De Silva, 1993).

U poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama, statistički značajno najveća aktivnost GPx je bila kod riba hranjenih HZO (1023,68 nmol NADPH/min/mg protein), u odnosu na HEF (382,19 nmol NADPH/min/mg protein), HTM (532,61 nmol NADPH/min/mg protein) i HFM (537,35 nmol NADPH/min/mg protein) statistički značajna razlika nije postojala. Značano najveća aktivnost GPx u eksperimentalnoj grupi HZO takođe se može pripisati interakciji između prirodne hrane i eksperimentalne hrane. Glutation-S-transferaza, kao još jedan antioksidativni enzim, meren je u eksperimentu realizovanom u kaveznom sistemu. Najviša aktivnost ovog enzima izmerena je kod šarana hranjen HEF (3250,90 nmol GSH/min/mg protein), što predstavlja statistički značajnu razliku u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. U grupama HZO, HFM i HTM, aktivnosti GST su iznosile 1472,49 nmol GSH/min/mg protein; 1834,28 nmol GSH/min/mg protein; i 1912,15 nmol GSH/min/mg protein, redom, pri čemu između njih nije utvrđena statistički značajna razlika.

U istraživanju Gu i sar. (2021) procenjivan je uticaj delimične zamene ribljev brašna brašnom *Tenebrio molitor* na antioksidativni sistem mlađi *Micropterus salmoides*. Aktivnost enzima uključenih u odgovor na oksidativni stres analizirana je u crevnom tkivu riba, gde su zabeležene značajne promene u zavisnosti od nivoa zamene proteinskog izvora u ishrani. Aktivnost SOD u crevima riba bila je značajno povećana pri nižim nivoima zamene ribljev brašna, pri čemu je najviša aktivnost ovog enzima zabeležena pri 11,1% zamene ribljev brašna brašnom brašnara. Istovremeno, pri umerenim nivoima zamene ribljev brašna (od 11,1% do 55,5%) u crevnom tkivu utvrđena je povećana ekspresija gena koji kodiraju antioksidativne enzime SOD i CAT, što ukazuje na stimulaciju endogenog antioksidativnog sistema i potencijalno poboljšanu sposobnost neutralizacije ROS. Međutim, pri višim nivoima zamene ribljev brašna (više od 55%) zabeležen je trend smanjenja fizioloških parametara i narušavanja metaboličkog statusa, što sugerise da prekomerna upotreba ovog alternativnog proteinskog izvora može negativno uticati na homeostazu oksidativnog sistema u crevnom tkivu. Na osnovu dobijenih rezultata autori zaključuju da niži nivoi zamene ribljev brašna (oko 11%) mogu pozitivno delovati na crevni antioksidativni kapacitet i smanjenje oksidativnog stresa kod mlađi *Micropterus salmoides*, dok viši nivoi zamene mogu imati nepovoljan efekat na fiziološki status ribe.

Ovakvi rezultati su u skladu sa ranijim istraživanjima koja ukazuju da crevo riba predstavlja važan imunološki i metabolički organ, gde se odvija značajan deo antioksidativne i imunološke regulacije organizma (Salinas i sar., 2011). Iako su navedeni rezultati dobijeni analizom crevnog tkiva, oni mogu biti značajni i za tumačenje promena u drugim metabolički aktivnim organima riba. U skladu sa tim, u ovoj doktorskoj disertaciji aktivnost enzima antioksidativne zaštite analizirana je u jetri, koja predstavlja centralni organ metabolizma i detoksikacije kod riba, te igra ključnu ulogu u regulaciji oksidativnog stresa u organizmu. Na taj način rezultati dobijeni u jetri mogu pružiti dodatni uvid u sistemski antioksidativni odgovor riba na promene u sastavu hrane.

Uporednom analizom rezultata dva eksperimenta pokazuju da način gajenja šarana značajno utiče na njihov enzimski odgovor na oksidativni stres. U tank sistemu, grupe hranjene HEF i HZO pokazale su najvišu aktivnost GPx, dok je GST bila relativno niža u HZO grupi, što sugerise na selektivnu regulaciju antioksidativnih enzima u zavisnosti od vrste eksperimentalne hrane. Suprotno tome, u kaveznom sistemu GPx je pokazao najveću aktivnost kod riba hranjenih HZO, dok je kod riba hranjena HEF ima veći uticaj na aktivnost SOD, CAT i GST. Ovo govori o značaju komponenti hrane i njenom uticaju na antioksidativnu odbranu. Rezultati ukazuju da kombinacija vrste hrane i uslova gajenja oblikuje antioksidativni status, pri čemu složeniji ili prirodniji sistemi mogu regulisati

različite enzime prema fiziološkim potrebama organizma, doprinoseći smanjenju oksidativnog stresa i efikasnijoj ćelijskoj zaštiti.

5.4. Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* Walb., 1792) u tank sistemu

5.4.1. Hemijska analiza alternativnih izvora proteina

Nakon pripreme alternativnih izvora proteina, neophodnih za realizaciju eksperimenta, a u cilju formulisanja adekvatne eksperimentalne hrane, urađene su hemijske analize proteinskih komponenti. Analizirana je suva materija, sirov protein, sirovi lipidi i sirovi pepeo. Rezultati hemijskih analiza brašnatih proteinskih komponenti prikazani su u **tabeli 5**.

5.4.2. Hemijska analiza eksperimentalnih hrana korišćenih u istraživanju na kalifornijskoj pastrmci

Nakon procesa ekstrudiranja i nakon finalne pripreme uzeti su uzorci i urađena je hemijska analiza kompletnih smeša pripremljenih za eksperiment na kalifornijskoj pastrmci. Hemijska analiza je obuhvatala suhu materiju, sirov protein, sirove masti i sirovi pepeo, a dobijeni rezultati prikazani su u **tabeli 32**.

Tabela 32. Hemijski sastav eksperimentalnih smeša korišćenih u ishrani kalifornijske pastrmke

Komponenta (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Suva materija	91,54	90,48	92,15	91,42
Sirovi protein	40,74	39,30	40,27	38,57
Sirove masti	20,68	23,09	23,63	21,24
Sirovi pepeo	11,31	6,19	5,26	16,11

^a**HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktonu.

Kako bi se realizovalo istraživanje na kalifornijskoj pastrmci formulisane su hrane koje sadrže 40% proteina i 22% masti. Hemijskom analizom hrane (**Tabela 32**) utvrđeno je da je najmanje suve materije u HEF (90,48%), potom HFM i HZO (91,42% i 91,54%) dok je najviše suve materije ima u HTM (92,15%). Količina sirovih proteina u eksperimentalnim smešama se kreće u intervalu od 38,57% u HZO do 40,74% u HFM, dok se količina sirovih masti kreće od 20,68% u HFM do 23,63% u HTM. Najviše sirovog pepela je utvrđeno u HZO i HFM (16,11% i 11,31%), a najmanje u HEF i HTM (6,19% i 5,26%). Pored analize hemijskog sastava, urađena je i analiza masnokiselinskog profila eksperimentalnih smeša korišćenih u eksperimentu sa šaranom (**Tabela 24, Prilog C**).

5.4.3. Abiotički parametri vode u tank sistemu gajenja kalifornijske pastrmke

Parametri kvaliteta vode imaju veliki uticaj na ribe, tako da svaki pravilno pripremljen plan mora obuhvatiti i abiotičke parametre vode namenjene za njen uzgoj (Uiuu i sar., 2020). Dobrobit kalifornijske pastrmke u velikoj meri zavisi od kvaliteta vode u kojoj se nalazi (Ashley, 2006). Ukoliko dođe do varijacije parametara kvaliteta vode izvan optimalnih vrednosti za salmonidne vrste, to može izazvati stres kod riba, a ukoliko to stanje potraje duži vremenski period može dovesti do raznih patoloških stanja i uginuća ribe (Delfosse i sar., 2016). Faktori koji imaju veliki uticaj na fiziološke procese kalifornijske pastrmke su: temperatura vode, pH vrednost vode, koncentracija kiseonika u vodi, zasićenost vode kiseonikom i elektroprovodljivost vode.

5.4.3.1. Temperatura vode

Na osnovu izmerenih vrednosti (**Tabela 25, Prilog C**), prosečne vrednosti temperature vode (tankovi 1, 5 i 9), gde je riba hranjena HFM, se kreću u intervalu 20,80 °C (tank 1; period II) do 21,30 °C (tank 9; period III). Posmatrano po periodima najniža prosečna temperatura vode od 20,83 °C je izračunata u periodu 1-30. dana, dok je najviša prosečna temperatura od 20,90 °C dobijena u periodu 61-90. dana eksperimenta, u drugoj trećini eksperimenta (period 31-60. dana) prosečna temperatura vode je bila 20,86 °C.

Prosečne vrednosti temperature vode (**Tabela 26, Prilog C**) u tankovima 2, 6, 10 u kojima je riba hranjena HEF su se kretale u intervalu od 20,82 °C (tank 6; period I) do 20,91 °C (tank 10; period II). Dok je na osnovu izmerenih vrednosti prosečna temperatura vode za ceo eksperimentalni period (1-90. dana) iznosila 20,85 °C. U prvoj trećini eksperimenta (period 1-30. dana) prosečna temperatura vode je bila 20,83 °C, zatim u periodu 31-60. dana 20,87 °C, dok je u periodu 61-90. dana temperatura vode iznosila 20,86 °C.

Prosečna vrednost temperature vode (**Tabela 27, Prilog C**), gde je bila grupa HTM (tankovi 3, 7, 11) za ceo eksperimentalni period (1-90. dana) je iznosila 20,88 °C. U tanku 3 prosečna temperatura vode se kretala od 20,86 °C (period II) do 20,93 °C (period I), dok je u istom tanku u periodu III iznosila 20,87 °C. Prosečna temperatura vode u tanku 7 je bila 20,88 °C (period 1-90. dana) pri čemu se kretala u intervalu od 20,84 °C (period 61-90. dana) do 20,91 °C (period 1-30. dana). Tank 11 je imao najnižu prosečnu temperaturu od 20,86 °C (period 1-90. dana), a vrednosti u ovom tanku su se kretale od 20,84 °C (period 1-30. dana) do 20,88 °C (period 31-60. i 61-90. dana).

U tankovima 4, 8 i 12 (**Tabela 28, Prilog C**), odnosno u tretmanu gde je kalifornijska pastrmka hranjena HZO najniža prosečna temperatura vode je bila 20,83 °C (period 1-30. dana). U ovom periodu prosečna temperatura vode u tanku 4 je bila 20,80 °C, u tanku 8 dobijena je prosečna temperatura od 20,84 °C, dok je u tanku 12 temperatura vode iznosila 20,86 °C. Najviša prosečna temperatura je izmerena u periodu 31-60. dana eksperimenta i iznosila je 20,89 °C. Posmatrano po tankovima, u ovom periodu, temperature vode u proseku su se kretale od 20,88 °C (tank 8), do 20,92 °C (tank 4), dok je prosečna temperatura od 20,87 °C izračunata u tanku 12. Prosečna temperatura vode u periodu 61-90. dana je bila 20,84 °C.

5.4.3.2. pH vrednost vode

Na osnovu rezultata merenja (**Tabela 29, Prilog C**) u tankovima 1, 5 i 9 gde je riba hranjena HFM prosečna pH vrednost vode je bila 8,36 (period 1-90. dana). U prvoj trećini eksperimenta (period 1-30. dana) prosečne vrednosti ovog parametra su bile 8,36 (tank 1), zatim 8,37 (tank 5) i najveća izračunata vrednost je 8,41 (tank 9). U drugoj trećini eksperimenta (period 31-60. dana) prosečna pH vrednost vode u tanku 1 je bila 8,33, potom 8,36 u tanku 5, dok je vrednost 8,32 dobijena u tanku 9. Na osnovu ovih vrednosti prosečna vrednost za period 31-60. dana je 8,34. U poslednjoj trećini eksperimenta prosečna pH vrednost vode je bila 8,37 (period 61-90. dana). Posmatrano po tankovima izračunate vrednosti ovog abiotičkog parametra su se kretale od 8,36 (tank 9) do 8,38 (tank 5).

Prosečna pH vrednost vode (**Tabela 30, Prilog C**) u tankovima 2, 6 i 10, (grupa HEF), je bila 8,35. Izračunate vrednosti ovog abiotičkog parametra u periodu I su se kretale od 8,31 (tank 2) do 8,35 (tank 6) pri čemu je prosečna pH vrednost za ovaj period 8,33. Prosečna pH vrednost vode za period II je bila 8,37 posmatrano po tankovima prosečna vrednost od 8,40 je dobijena u tanku 2, nešto niža vrednost u tanku 6 (8,37) dok je najniža izračunata u tanku 10 (8,35). Prosečna pH vrednost vode u poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90. dana) je bila 8,34 pri čemu se vrednosti kreću od 8,32 (tank 2) do 8,38 (tank 6).

U tankovima 3, 7 i 11 (**Tabela 31, Prilog C**) gde je riba hranjena HTM, prosečna pH vrednost vode je bila 8,29. U periodu od 1-30. dana eksperimenta izračunate su najniže prosečne vrednosti ovog parametra koje su u intervalu od 8,25 (tank 3) do 8,29 (tank 11). Merenjem je utvrđeno da su najviše prosečne pH vrednosti u periodu od 31. do 60. dana. U ovom periodu prosečne vrednosti se kreću od 8,29 (tank 11) do 8,33 (tank 3). Prosečna vrednost od 8,28 je izračunata u periodu 61-90. dana eksperimenta. U poslednjem periodu prosečna pH vrednost od 8,29 je izračunata u tanku 3, potom vrednost od 8,28 u tanku 7, dok je u tanku 11 dobijena vrednost ovog parametra iznosila 8,26.

Na osnovu rezultata merenja pH vrednosti vode (**Tabela 32, Prilog C**) u tankovima 4, 8 i 12 (grupa HZO), izračunato je da je prosečna vrednost ovog parametra za ceo eksperimentalni period iznosila 8,28. U periodu 1-30. dana eksperimenta izračunata je najniža prosečna pH vrednost vode od 8,26. Posmatrano po tankovima prosečne vrednosti su se kretale u intervalu od 8,24 (tank 4) do 8,28 (tank 12), dok je prosečna vrednost od 8,25 izračunata u tanku 8. U drugom periodu eksperimenta (31-60. dana) dobijene vrednosti ovog abiotičkog parametra su se kretale od 8,27 (tank 12) do 8,31 (tank 4) pri čemu je u ovom periodu izračunata prosečna pH vrednost vode od 8,29. U poslednjem periodu eksperimenta (period 61-90. dana) pH vrednost vode je iznosila 8,30.

5.4.3.3. Koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi

U tankovima 1, 5 i 9 (**Tabela 33, Prilog C**), gde je riba hranjena HFM, prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika za ceo eksperimentalni period je bila 7,91 mg/L. Najniža prosečna vrednost je evidentirana u periodu od 1-30. dana eksperimenta, gde je u proseku iznosila 7,88 mg/L. U poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90. dana) prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika je bila 7,90 mg/L, dok je u drugom periodu (period 31-60. dana) zabeležena najveća koncentracija kiseonika od 7,94 mg/L. U tanku 1 prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika za ceo eksperimentalni period (1-90. dana) je bila 7,94 mg/L, potom u tanku 5 gde je izračunata vrednost ovog parametra 7,88 mg/L, dok je u tanku 9 dobijena vrednost od 7,90 mg/L.

Koncentracija rastvorenog kiseonika u tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 34, Prilog C**), gde je riba hranjena HEF, u proseku je bila 8,01 mg/L (period 1-90. dana). U tanku 2 prosečna koncentracija kiseonika se kretala od 7,98 mg/L (period III), zatim 8,02 mg/L (period I) dok je vrednost od 8,05 mg/L dobijana u periodu II. Na osnovu ove tri vrednosti, matematičkim putem, je izračunato da prosečna vrednost ovog parametra u tanku 2 za ceo eksperimentalni period iznosi 8,02 mg/L. Koncentracija kiseonika u tanku 6 u proseku je bila 8,01 mg/L i ova vrednost je dobijena na osnovu izmerenih vrednosti 7,96 mg/L (period I), 8,01 mg/L (period II) i 8,05 mg/L (period III). U tanku 10, prosečne koncentracije rastvorenog kiseonika su se kretale od 7,98 mg/L (period I) koja je je ujedno i najniža vrednost, potom 7,99 mg/L (period III) i najveća izračunata vrednost koncentracije kiseonika u tanku 10 je bila 8,04 mg/L (period II). Prosečna vrednost za ovaj tank (period početak-kraj) je bila 8,00 mg/L.

U tankovima 3, 7 i 11 (**Tabela 35, Prilog C**) gde se nalazila riba hranjena HTM prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika je bila 7,96 mg/L. U prvom periodu (period 1-30. dana eksperimenta) izračunata je najveća prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika od 7,98 mg/L. U ovom periodu pojedinačna koncentracija kiseonika po tankovima se kretala od 7,94 mg/L (tank 3), nešto veća koncentracija od 7,98 mg/L je dobijena u tanku 11, dok je vrednost od 8,02 mg/L (tank 7) najveća izračunata vrednost u ovom periodu. U periodu od 31. do 60. dana izračunata prosečna količina kiseonika u vodi je 7,95 mg/L. Pojedinačne prosečne izmerene vrednosti po tankovima se kreću od 7,92 mg/L (tank 3), potom 7,94 mg/L (tank 7), dok je najveća koncentracija od 7,98 mg/L dobijena u tanku 11. U periodu III (period 61-90. dana) prosečna količina rastvorenog kiseonika je bila 7,96 mg/L. U ovom periodu prosečne količine kiseonika u vodi se kreću od 7,93 mg/L (tank 7) do 7,99 mg/L (tank 3), u tanku 11 dobijena je prosečna vrednost od 7,96 mg/L.

Prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika (**Tabela 36, Prilog C**), gde je riba hranjena HZO, u tanku 4 je bila 7,85 mg/L. Dobijene prosečne vrednosti ovog abiotičkog parametra za tank 4, posmatrane po periodima, su se kretale od 7,80 mg/L (period I) koja je najmanja prosečna vrednost, potom vrednost od 7,84 mg/L izračunata je u periodu III, pri čemu je najveća prosečna koncentracija rastvorenog kiseonika za tank 4 dobijena u periodu II (7,90 mg/L). Prosečna koncentracija kiseonika u tanku 8, za ceo eksperimentalni period je bila 7,87 mg/L. Ova vrednost je dobijena na osnovu prosečnih vrednosti u periodu I (7,86 mg/L), periodu II (7,88 mg/L) i periodu III (7,86 mg/L). Najveća koncentracija kiseonika je izračunata u tanku 12 koja je u proseku bila 7,88 mg/L. Izmerene vrednosti za ovaj tank su se kretale od 7,85 mg/L (period II), do 7,91 mg/L (period III). U periodu II je izračunata najveća prosečna koncentracija kiseonika u vodi 7,88 mg/L, dok je najmanja 7,84 mg/L u periodu I.

5.4.3.4. Zasićenost vode kiseonikom

Prosečna vrednost zasićenja vode kiseonikom (**Tabela 37, Prilog C**) u tankovima 1, 5 i 9, gde je riba hranjena HFM, je bila 87,00% (period 1-90. dana eksperimenta). Ukoliko se ovaj parametar posmatra po periodima najniža prosečna vrednost je izmerena u periodu 61-90. dana i iznosila je 86,52%. U ovom periodu tank 5 je imao najveću prosečnu zasićenost vode kiseonikom (87,04%), dok je najniža vrednost izračunata u tanku 9 (86,20%). U periodu 31-60. dana prosečna vrednost saturacije vode je bila 86,73% pri čemu je najveća izračunata zasićenost vode u ovom periodu iznosila 87,04% (tank 1). Period 1-30. dana je imao najveću prosečnu vrednost saturacije vode (87,75%) posmatrano za ceo eksperimentalni period. U ovom periodu, u tanku 5 je izračunata najveća zasićenost vode gde je iznosila 88,04%.

Na osnovu rezultata merenja (**Tabela 38, Prilog C**), prosečna zasićenost vode kiseonikom u tankovima (2, 6 i 10), u kojima je riba hranjena HEF, je bila 86,97%. Saturacija vode u tanku 2, je varirala od 86,59% (period 31-60. dana) do 87,70% (period 1-30. dana), pri čemu je prosečna vrednost saturacije vode u ovom tanku 87,14%. Prosečna zasićenost vode kiseonikom u tanku 6 je bila 86,73%. Ukoliko se posmatra ovaj tank po periodima najniža prosečna vrednost ovog parametra je 85,68% (period II), dok je najviša dobijena vrednost 88,01% (period I). Prosečna saturacija vode u tanku 10 se kretala u intervalu od 86,51% (period 61-90. dana) do 87,52% (period 1-30 dana).

Na osnovu prikupljenih vrednosti zasićenja vode kiseonikom (**Tabela 39, Prilog C**), u tankovima 3, 7 i 11, gde je riba hranjena HTM, izračunata je prosečna vrednost 86,88% (period početak-kraj). Najniža prosečna vrednost saturacije vode (86,34%) izmerena je u periodu 31-60. dana eksperimenta. U istom periodu najniža evidentirana vrednost je bila 85,94% (tank 11), potom 86,34% (tank 3) dok je najviša vrednost od 86,75% izmerena u tanku 7. U periodu 61-90. dana prosečna saturacija vode je 86,56% i u ovom periodu zasićenost vode je varirala od 86,16% (tank 7) do 86,87% (tank 11). Najveća zasićenost vode je izračunata u prvom periodu eksperimenta 87,74%, saturacija vode se u ovom periodu kreće u intervalu od 87,32% (tank 7) do 88,04% (tank 3).

U tankovima 4, 8 i 12 (**Tabela 40, Prilog C**) u kojima je korišćena HZO, saturacija vode je imala prosečnu vrednost od 87,10%. Najveća zasićenost vode od 87,85% je izračunata u prvoj trećini eksperimenta. U ovom periodu prosečne vrednosti saturacije su se kretale od 88,14% (tank 4), potom 87,58% (tank 8) dok je prosečna vrednost od 87,84% dobijena u tanku 11. U drugoj trećini eksperimenta saturacija vode je bila 86,60%. Posmatrano po tankovima, u navedenom periodu, tank 4 je imao najmanju prosečnu zasićenost vode kiseonikom (86,22%), dok je najveća prosečna vrednost ovog parametra bila u tanku 8 (86,35%). U poslednjoj trećini eksperimenta prosečna zasićenost vode kiseonikom je u proseku bila 86,85%. Posmatrano kroz ceo eksperimentalni period, prosečna saturacija vode u tanku 4 je bila 87,22% koja je ujedno i najviša prosečna vrednost. Izračunata vrednost u tanku 8 je 86,92%, i to je najniža dobijena vrednost u posmatranom periodu, dok je saturacija vode u tanku 12 u proseku iznosila 87,16%.

5.4.3.5. Elektroprovodljivost vode

Na osnovu rezultata merenja elektroprovodljivosti vode (**Tabela 41, Prilog C**) u tankovima 1, 5 i 9, (grupa HFM), prosečna vrednost je bila 473,35 $\mu\text{S/cm}$. Najniža prosečna elektroprovodljivost od 454,84 $\mu\text{S/cm}$ je dobijena u periodu 1-30. dana eksperimenta. U ovom periodu najniža izračunata vrednost elektroprovodljivosti vode je iznosila 450,50 $\mu\text{S/cm}$ (tank 1), a najviša 458,21 $\mu\text{S/cm}$ (tank 5). Nešto veća prosečna vrednost elektroprovodljivosti (472,15 $\mu\text{S/cm}$) je izračunata u periodu 61-90. dana eksperimenta, posmatrano po tankovima vrednosti u ovom periodu su se kretale od 471,14 $\mu\text{S/cm}$ (tank 9) do 473,71 $\mu\text{S/cm}$ (tank 5). Najveća prosečna vrednost elektroprovodljivosti (493,04 $\mu\text{S/cm}$) je bila u periodu 31-60. dana eksperimenta. U ovom periodu tank sa najnižom prosečnom vrednošću je tank 9 (492,61 $\mu\text{S/cm}$), dok je najviša dobijena vrednost izmerena u tanku 5 (493,57 $\mu\text{S/cm}$).

U tankovima 2, 6 i 10 (**Tabela 42, Prilog C**), gde je riba hranjena HEF, prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode je bila 474,83 $\mu\text{S/cm}$. Izračunate vrednosti ovog parametra u tanku 2 su 459,54 $\mu\text{S/cm}$ (period I), zatim 471,07 $\mu\text{S/cm}$ (period III), dok je najviša dobijena vrednost 493,25 $\mu\text{S/cm}$ (period II). Prosečna elektroprovodljivost vode u tanku 2 je bila 474,62 $\mu\text{S/cm}$ (period 1-90. dana). U tanku 6 prosečna vrednost elektroprovodljivosti je bila 475,71 $\mu\text{S/cm}$ (početak-kraj). Ako posmatramo po periodima, elektroprovodljivost vode u tanku 6 se kretala od 462,00 $\mu\text{S/cm}$ (period I) do 493,39 $\mu\text{S/cm}$ (period II), dok je u periodu III bila 471,75 $\mu\text{S/cm}$. Voda u tanku 10 je u ovom tretmanu imala najnižu srednju vrednost od 474,15 $\mu\text{S/cm}$. Vrednosti elektroprovodljivosti vode za tank 10 su se kretale od 457,18 $\mu\text{S/cm}$ (period I) do 493,50 $\mu\text{S/cm}$ (period II).

Prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode (**Tabela 43, Prilog C**) u tankovima 3, 7 i 11, gde je riba hranjena HTM, je bila 473,78 $\mu\text{S/cm}$. Prosečna vrednost ovog parametra u periodu 1-30. dana eksperimenta je 457,30 $\mu\text{S/cm}$. Ako se prosečne vrednosti posmatraju po tankovima, tank 7 je imao najnižu vrednost (455,82 $\mu\text{S/cm}$), dok je tank 3 imao najvišu dobijenu vrednost (459,32 $\mu\text{S/cm}$). U periodu 31-60. dana eksperimenta izračunata je prosečna elektroprovodljivost vode, koja je bila 493,43 $\mu\text{S/cm}$. U istom periodu tank 11 je imao najveću srednju vrednost elektroprovodljivosti (494,04 $\mu\text{S/cm}$), dok je tank 7 imao najnižu prosečnu elektroprovodljivost (492,93 $\mu\text{S/cm}$). Izmerena vrednost u tanku 3 je bila 493,32 $\mu\text{S/cm}$. U poslednjoj trećini eksperimenta (period 61-90 dana) izračunata je prosečna vrednost od 470,62 $\mu\text{S/cm}$, dok je najniža prosečna vrednost u ovom periodu dobijena u tanku 7 (467,9 $\mu\text{S/cm}$), a najviša u tanku 11 (472,68 $\mu\text{S/cm}$).

Na osnovu izmerenih vrednosti elektroprovodljivosti vode (**Tabela 44, Prilog C**) u tankovima 4, 8 i 12, gde je riba hranjena HZO, dobijena je prosečna vrednost 475,19 $\mu\text{S/cm}$. Elektroprovodljivost vode (tank 4) u proseku je bila 474,86 $\mu\text{S/cm}$ (period 1-90. dana eksperimenta), s tim da je najviša prosečna vrednost u ovom tanku (494,04 $\mu\text{S/cm}$) izmerena u periodu 31-60. dana eksperimenta, a najniža (456,61 $\mu\text{S/cm}$) za isti tank je izračunata u periodu 1-30. dana. Prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode u tanku 8 je bila 475,11 $\mu\text{S/cm}$. Prosečne vrednosti elektroprovodljivosti u tanku 8 su se kretale od 456,68 $\mu\text{S/cm}$ (period 1-30. dana), potom 473,36 $\mu\text{S/cm}$ (period 31-60. dana), dok je najviša dobijena vrednost 495,29 $\mu\text{S/cm}$ (period II). Najveća prosečna vrednost elektroprovodljivosti vode izračunata je u tanku 12 i iznosila je 475,60 $\mu\text{S/cm}$. Izračunate vrednosti za isti tank su se kretale u intervalu od 461,21 $\mu\text{S/cm}$ (period I) do 493,96 $\mu\text{S/cm}$ (period II).

U **tabeli 54**, prikazane su objedinjene prosečne vrednosti abiotičkih parametara kvaliteta vode u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom u tank sistemu gajenja.

Tabela 54. Prosečne vrednosti abiotičkih parametara vode u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjena različitim eksperimentalnim hranama u tank sistemu

Abiotički faktor	Tretman ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Temperatura vode (°C)	20,86±0,30 ^a	20,85±0,31 ^a	20,88±0,30 ^a	20,85±0,30 ^a
pH vrednost	8,36±0,26 ^a	8,35±0,26 ^a	8,29±0,24 ^a	8,28±0,25 ^a
Koncentracija kiseonika (mg/L)	7,91±0,32 ^a	8,01±0,32 ^a	7,96±0,32 ^a	7,86±0,32 ^a
Saturacija vode (%)	87,00±1,66 ^a	86,97±1,56 ^a	86,88±1,61 ^a	87,10±1,58 ^a
Elektroprovodljivost vode (µS/cm)	473,35±34,64 ^a	474,83±33,67 ^a	473,78±33,93 ^a	474,29±34,00 ^a

^aHFM: hrana bazirana na ribljem brašnu; HEF: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); HTM: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); HZO: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednje vrednosti ± standardna devijacija (n = 3), koje sa različitim slovom u superskriptu predstavljaju nivo statističke značajnosti, prema Tukey-evom testu (p < 0,05).

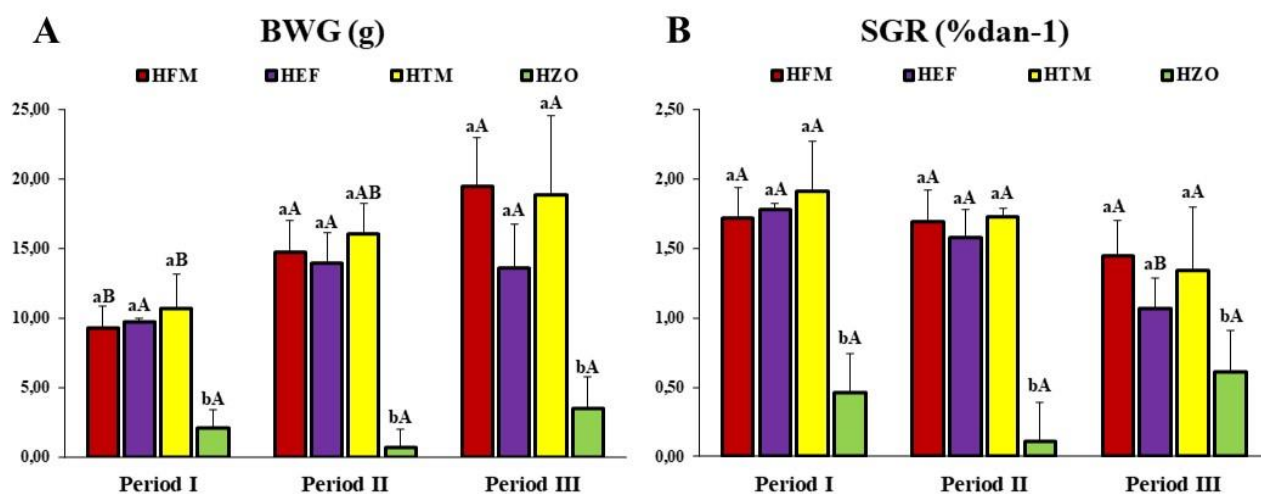
Ribe su poikilotermni organizmi i zbog toga su jako osetljive na promenu temperature vode. Temperatura spoljašnje sredine nema uticaj samo na rast riba, već i na aktivnost enzima, brzinu metabolizma i na stopu preživljavanja (Afonso i sar., 2007). U ovom istraživanju (Tabela 54), gde je kalifornijska pastrmka hranjena alternativnim izvorima proteina, prosečna vrednost temperature vode se kretala u intervalu od 20,85 (HEF i HZO) do 20,88 °C (HTM). Opseg tolerancije temperature za pastrmku varira od 0 do 25 °C (Swar, 2008), odnosno kako bi se obezbedio optimalan rast, poželjno je da temperatura vode bude od 15 do 20 °C (Paul i sar., 2020). Na osnovu ovih literaturnih podataka može se reći da je temperatura vode u istraživanju u preporučenim granicama. Optimalne vrednosti pH za gajenje kalifornijske pastrmke su od 6,5 do 8,5 odnosno, koncentracija rastvorenog kiseonika treba biti iznad 8 mg/L (Huet, 1986). Prosečne pH vrednosti vode su imale intarval varijacije od 8,28 (HZO) do 8,36 (HFM), odnosno koncentracija rastvorenog kiseonika je bila u granicama od 7,86 mg/L (HZO) do 8,01 mg/L (HEF). Kao donja granica količine rastvorenog kiseonika u vodi uzimaju se vrednosti 5-6 mg/L, kako bi se izbegli bilo kakvi negativni uticaji na ribu (Marković i Tutundžić, 2003). Za Salmonidae zasićenost vode kiseonikom bi trebala biti u granicama od 70 do 80% (Timmons i sar., 2018), dok je ta vrednost u ovom istraživanju nešto viša od preporučenih vrednosti. Prosečna elektroprovodljivost vode u istraživanju je bila 473,95 µS/cm. Svi abiotički parametri su bili u dozvoljenim granicama, tako da je eksperiment realizovan u optimalnim uslovima.

5.4.4. Parametri prirasta i iskoristivosti hrane kod kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu

Najniži prosečni prirast (BWG) (Grafikon 15), u prvoj trećini eksperimenta, dobijen je kod riba koje su hranjene HZO (2,11 g), zatim HFM (9,31 g) i HEF (9,74 g) dok je najveća prosečna vrednost BWG izračunata u eksperimentalnoj grupi HTM (10,69 g). Kalifornijska pastrmka hranjena HZO imala je statistički značajno niži prirast u poređenju sa ostalim grupama, pri čemu između HFM, HEF i HTM nije postojala statistički značajna razlika. U drugoj trećini eksperimenta, najveća prosečna vrednost BWG je dobijena kod HTM (16,05 g), nešto niži prosečni prirast je evidentiran kod HFM (14,71 g) i HEF (13,91 g), dok je najmanji prirast izračunat u grupi riba hranjenih HZO (0,65 g). Slično prethodnom periodu, u periodu II ribe HZO je ostvarila statistički značajno najniži prirast u poređenju sa HFM, HEF i HTM. Takođe, kao i u prethodna dva perioda, u poslednjoj trećini eksperimenta ribe hranjene HZO (3,47 g) imale su statistički značajno najniži prosečni prirast u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama, pri čemu između HFM (19,51 g), HEF (13,56 g) i HTM (18,86 g) ni u ovom periodu nije postojala statistički značajna razlika u prirastu. Posmatrano po periodima, eksperimentalne grupe hranjene HFM i HTM imale su statistički značajno veći prosečni prirast u periodu III u poređenju sa periodom I, dok se prirast riba HEF i HZO nije statistički značajno razlikovao između posmatranih perioda. Prosečni prirast HTM u periodu II se nije statistički

značajno razlikovao od perioda I i II. U trećem periodu zabeležen je povećan prirast kod mlađi kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim smešama zasnovanim na proteinima životinjskog porekla. Može se zaključiti da je ovaj rezultat posledica adaptacije organizma na novu hranu i efikasnijeg iskorišćenja proteina.

Prosečne vrednosti specifične stope rasta (SGR) (**Grafikon 15**) u periodu I imale su interval varijacije od 0,46% dan⁻¹ (HZO) do 1,91% dan⁻¹ (HTM), dok je prosečna vrednost ovog parametra od 1,72% dan⁻¹ izračunata kod riba hranjene HFM, odnosno dobijena prosečna vrednost SGR kod HEF je iznosila 1,78% dan⁻¹. Eksperimentalna grupa riba HZO ostvarila je statistički značajno nižu prosečnu vrednost SGR u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Takođe, HZO (0,11% dan⁻¹) je imala statistički značajno najnižu prosečnu vrednost SGR i u periodu II u odnosu na HFM (1,69% dan⁻¹), HEF (1,58% dan⁻¹) i HTM (1,73% dan⁻¹). Prosečne vrednosti SGR kod HFM, HEF i HTM se nisu međusobno statistički značajno razlikovale u periodu I i II. Statistički značajna razlika između HFM, HEF i HTM nije postojala ni u poslednjoj trećini eksperimenta gde su se prosečne vrednosti parametra SGR kretale u intervalu od 0,61% dan⁻¹ (HZO) do 1,45% dan⁻¹ (HFM). Međutim, kao i u prethodna dva perioda i u periodu III ribe hranjene HZO ostvarile su statistički značajno najnižu prosečnu vrednost SGR. Posmatrano po periodima, izračunate prosečne vrednosti SGR kod riba hranjenih HFM, HTM i HZO se nisu statistički značajno razlikovale između posmatranih perioda, dok je grupa HTM u periodu III ostvarila statistički značajno nižu prosečnu vrednost SGR u poređenju sa periodom I i II.

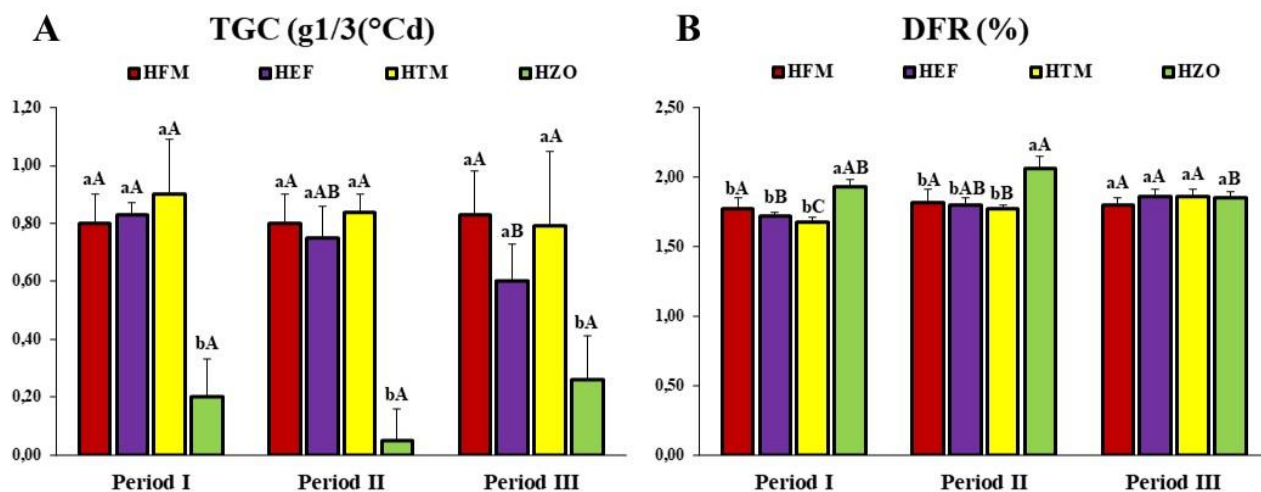


Grafikon 15. Prosečne vrednosti prirasta kod kalifornijske pastrmke gajene u tank sistemu po tretmanima i periodima. **A** - povećanje telesne težine (BWG); **B** - specifična stopa rasta (SGR). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Analizom prikupljenih podataka tokom realizacije eksperimenta (**Grafikon 16**), izračunato je da su ribe hranjene HZO ostvarile statistički značajno niže prosečne vrednosti koeficijenta rasta za termičku jedinicu (TGC) u poređenju sa HFM, HEF i HTM između kojih nije postojala statistički značajna razlika u parametru TGC (period I, II i III). Najniža prosečna vrednost TGC u prvoj trećini eksperimenta je evidentirana kod riba hranjene HZO ($0,20 \text{ g}^{1/3}(\text{°Cd})^{-1}$), pri čemu je najveća prosečna vrednost ovog parametra izračunata u grupi HTM ($0,90 \text{ g}^{1/3}(\text{°Cd})^{-1}$). U poređenju sa periodom I, u periodu II dolazi do smanjenja prosečnih vrednosti TGC, tako da je najveća izračunata vrednost od

0,84 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$ izračunata u grupi HTM, zatim prosečne vrednosti od 0,80 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$ i 0,75 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$ su izračunate kod riba koje su hranjene HFM i HEF, dok je najniža prosečna vrednost TGC dobijena kod riba hranjenih HZO (0,05 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$). U poslednjem eksperimentalnom periodu, dolazi do smanjenja TGC kod kalifornijskih pastrmki hranjenih HTM (0,79 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$) i HEF (0,60 $\text{g}^{1/3}(\text{Cd})^{-1}$), dok kod ostalih eksperimentalnih grupa dolazi do povećanja prosečnih vrednosti TGC. Posmatranjem eksperimentalnih grupa po periodima, dobijene prosečne vrednosti kod HFM, HTM i HZO se nisu statistički značajno razlikovale između perioda, dok je HEF ostvarila statistički značajno veću prosečnu vrednost TGC u periodu I u odnosu na period III.

Prosečno dnevno učešće hrane (DFR) (**Grafikon 16**) u periodu I imalo je interval varijacije od 1,68% (HTM) do 1,93% (HZO), pri čemu je prosečna vrednost od 1,77% izračunata u eksperimentalnoj grupi gde je riba hranjena HFM. U periodu II, najniža prosečna vrednost DFR je izračunata kod HTM (1,77%), nešto više prosečne vrednosti su dobijene u grupama hranjenim HEF (1,80%) i HFM (1,82%), dok je najveća prosečna vrednost ovog parametra izračunata kod HZO (2,06%). Riba hranjena HZO ostvarile su statistički značajno više prosečne vrednosti DFR u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama u periodima I i II. U poslednjoj trećini eksperimenta statistički značajna razlika DFR nije postojala. Izračunate prosečne vrednosti u ovom periodu su HTM (1,86%) i HZO (1,85%), HFM (1,80%) i HEF (1,86%).

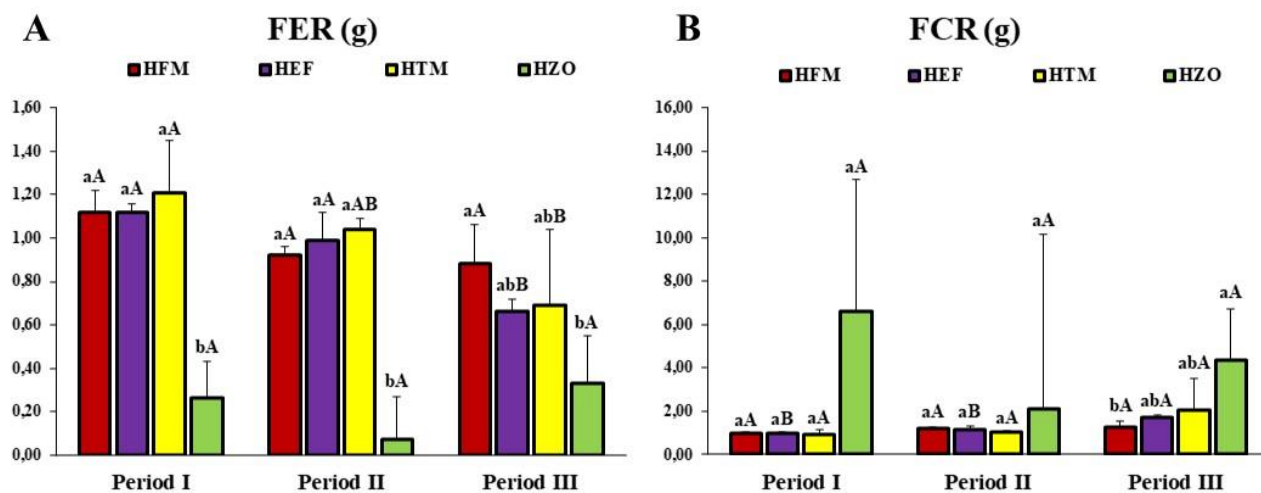


Grafikon 16. Prosečna vrednost prirasta i iskoristivosti hrane kod kalifornijske pastrmke gajene u tank sistemu po tretmanima i posmatranim periodima. **A** - koeficijent rasta za termičku jedinicu (TGC); **B** – dnevno učešće hrane (DFR). **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Najmanja prosečna vrednost koeficijenta iskoristivosti hrane (FER) (**Grafikon 17**) u periodu I je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (0,26 prirasta g^{-1} hrane), dok su u ostalim tretmanima dobijene značajno više prosečne vrednosti parametra FER koje se kreću od 1,12 prirasta g^{-1} hrane (HFM i HEF) do 1,21 prirasta g^{-1} hrane (HTM). U periodu II, isto kao i u periodu I, statistički značajno najnižu prosečnu vrednost FER ostvarile su ribe hranjene HZO (0,07 prirasta g^{-1} hrane), prosečne vrednosti parametra FER u ostalim tretmanima iznose 0,92 prirasta g^{-1} hrane (HFM), 0,99 prirasta g^{-1} hrane (HEF) i 1,04 prirasta g^{-1} hrane (HTM). Period III beleži povećanje prosečnih vrednosti FER kod riba hranjenih HZO (0,33 prirasta g^{-1} hrane), pri čemu kod ostalih eksperimentalnih grupa dolazi do smanjenja prosečnih vrednosti koeficijenta iskoristivosti hrane. Izračunate vrednosti u poslednjoj trećini eksperimenta imale su interval varijacije od 0,66 prirasta g^{-1} hrane (HEF) do 0,88 prirasta g^{-1} hrane (HTM), prosečna vrednost od 0,69 prirasta g^{-1} hrane je dobijena kod grupe hranjene HTM.

Statistički značajna razlika u poslednjoj trećini eksperimenta je postojala između kontrolne grupe u eksperimentalne grupe HZO, dok se HEF i HTM nisu statistički značajno razlikovale od kontrolne grupe i HZO. Ukoliko se prosečne ostvarene vrednosti u eksperimentalnim grupama, posmatraju po periodima, statistički značajna razlika nije postojala kod riba hranjenih HFM i HZO. Prosečna vrednost kod HTM u periodu II se nije statistički značajno razlikovala od perioda I i III, ali je statistički značajna razlika postojala između perioda I i III. Eksperimentalna grupa HEF ostvarila je statistički značajno nižu prosečnu vrednost FER u periodu III u poređenju sa periodima I i II, između kojih nije postojala statistički značajna razlika između dobijenih prosečnih vrednosti.

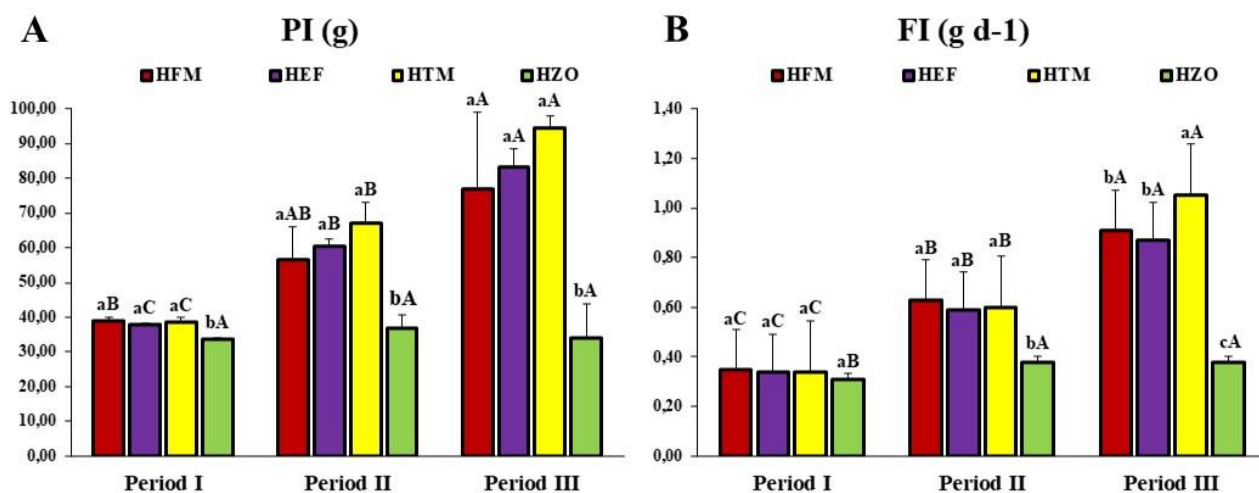
Najveća prosečna vrednost koeficijenta konverzije hrane (FCR) (**Grafikon 17**) u prvoj trećini eksperimenta je izračunata kod riba koje su hranjene HZO (6,62 g hrane g⁻¹ prirasta), pri čemu između eksperimentalnih grupa nije postojala statistički značajna razlika. U pomenutom periodu, prosečne vrednosti FCR kod ostalih eksperimentalnih grupa su iznosile 0,93 g hrane g⁻¹ prirasta (HTM), zatim 0,98 g hrane g⁻¹ prirasta (HFM), dok je prosečna vrednost od 0,99 g hrane g⁻¹ prirasta izračunata kod HEF. Takođe, ribe hranjene HZO (2,11 g hrane g⁻¹ prirasta) u periodu II su ostvarile prosečno najveću vrednost FCR ali bez značajnih razlika u poređenju sa HFM (1,19 g hrane g⁻¹ prirasta), HEF (1,13 g hrane g⁻¹ prirasta) i HTM (1,04 g hrane g⁻¹ prirasta). U periodu III statistički značajna razlika je postojala između HFM i HZO. U poslednjem periodu najniža prosečna vrednost FCR je izračunata kod HFM (1,27 g hrane g⁻¹ prirasta), zatim slede prosečne vrednosti od 1,69 (HEF) i 2,07 (HTM). Posmatrano po periodima, dolazi do postepenog povećanja prosečnih vrednosti FCR od perioda I od perioda III kod riba hranjene HFM, HEF, HTM, dok kod riba hranjenih HZO ova vrednost se povećava od perioda I do perioda II, zatim od perioda II do perioda III dolazi do smanjenja prosečnih vrednosti ovog parametra. Izračunate prosečne vrednosti za HFM, HTM i HZO se nisu statistički značajno razlikovale između eksperimentalnih perioda. Riba hranjena HEF imale su statistički značajno višu prosečnu vrednost FCR u periodu III u odnosu na periode I i II. U eksperimentalnoj grupi, u kojoj je riblje brašno u potpunosti zamenjeno brašnom zooplanktona, kalifornijska pastrmka uzgajana u tank sistemu ostvarila je najviši koeficijent konverzije hrane (FCR) među analiziranim grupama, što ukazuje na smanjenu efikasnost iskorišćenja hrane.



Grafikon 17. Prosečne vrednosti iskoristivosti hrane kod kalifornijske pastrmke gajene u tank sistemu po tretmanima i periodima. A - koeficijenta iskoristivosti hrane (FER); B- koeficijent konverzije hrane (FCR). HFM: hrana bazirana na ribljem brašnu; HEF: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); HTM: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); HZO: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Period I: prva trećina eksperimentalnog perioda; Period II: druga trećina eksperimentalnog perioda; Period III: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postojanje statističke značajnosti između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postojanje statističke značajnosti u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Prosečno najmanji utrošak proteina (PI) (**Grafikon 18**) u prvoj trećini eksperimenta je izračunat kod riba hranjenih HZO (33,59 g). Nešto veće prosečne vrednosti su izračunate kod HEF (37,71 g) i HTM (38,52 g), dok je najveća prosečna vrednost PI dobijena kod HFM (38,89 g). U ovom periodu nije postojala značajna razlika između HFM, HEF i HTM, dok je HZO ostvarila značajno najnižu vrednost ovog parametra. U drugoj trećini eksperimenta statistički značajno najnižu prosečnu vrednost PI ostvarile su ribe hranjene HZO (36,85 g) u poređenju sa HFM (56,58 g), HEF (60,24 g) i HTM (67,14 g), između kojih nije postojala statistički značajna razlika PI. Prosečne vrednosti PI u poslednjoj trećini eksperimenta kretale su se od 34,09 g (HZO) i ovo je statistički značajno najniža prosečna vrednost u poređenju sa HFM (76,80 g), HEF (83,25 g) i HTM (94,58 g). Posmatrano po periodima, izračunate prosečne vrednosti PI kod riba hranjene HEF i HTM se međusobno statistički značajno razlikuju između perioda I, II i III. Izračunate prosečne vrednosti PI kod HZO se nisu statistički značajno razlikovale između posmatranih perioda. Eksperimentalna grupa HFM ostvarila je statistički značajno veću prosečnu vrednost PI u periodu III u poređenju sa period I, između perioda I i II nije postojala statistički značajna razlika u dobijenim prosečnim vrednostima PI.

Prosečan dnevni utrošak hrane po ribi (FI) (**Grafikon 18**) u periodu I kod riba hranjenih HZO je bila $0,31 \text{ g d}^{-1}$, kod HEF i HTM izračunata je ista prosečna vrednost ovog parametra od $0,34 \text{ g d}^{-1}$, dok je prosečna vrednost od $0,35 \text{ g d}^{-1}$ izračunata u kontrolnoj grupi. Između eksperimentalnih grupa u ovom periodu nije postojala statistički značajna razlika u dobijenim prosečnim vrednostima FI. U drugoj trećini eksperimenta, najveća prosečna vrednost FI je izračunata kod grupe HFM ($0,63 \text{ g d}^{-1}$), zatim HTM ($0,60 \text{ g d}^{-1}$) i HEF ($0,59 \text{ g d}^{-1}$), pri čemu je statistički značajno najniža prosečna vrednost izračunata u grupi HZO ($0,38 \text{ g d}^{-1}$). Slično je i u periodu III, gde je HZO ($0,38 \text{ g d}^{-1}$) imala statistički značajno najnižu prosečnu vrednost FI u poređenju sa HTM ($1,05 \text{ g d}^{-1}$), HFM ($0,91 \text{ g d}^{-1}$) i HEF ($0,87 \text{ g d}^{-1}$). Posmatrano po periodima, prosečne vrednosti izračunate kod HFM, HEF i HTM su se međusobno statistički značajno razlikovale između posmatranih perioda, dok se prosečne vrednosti FI za HZO nisu statistički značajno razlikovale između perioda II i III, ali sa značajno nižim prosečnim vrednostima u periodu I.

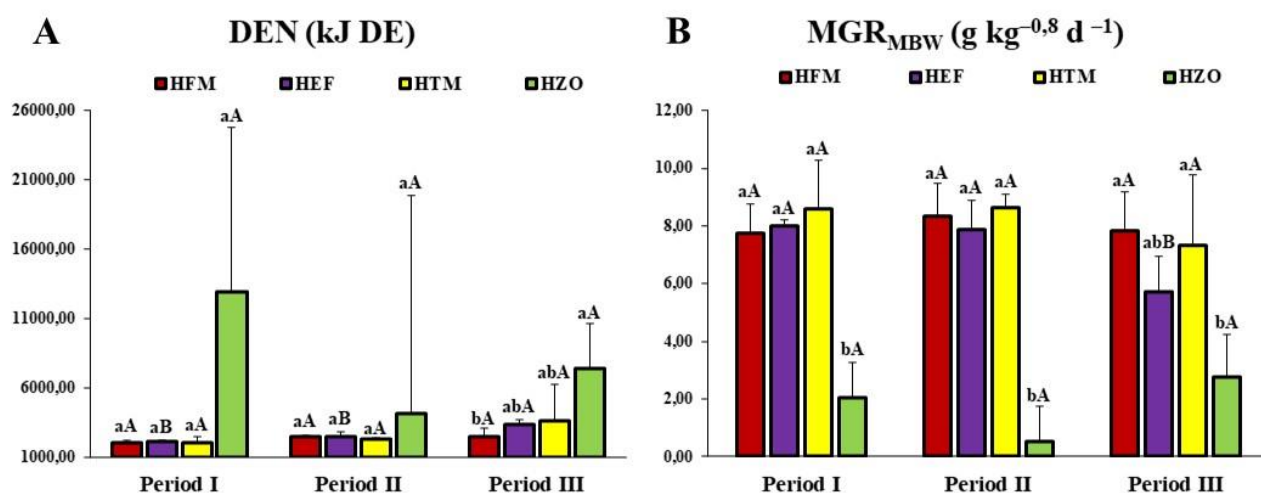


Grafikon 18. Prosečne vrednosti A- utroška proteina (PI); B - utrošak hrane po ribi (FI), kod kalifornijske pastrmke gajene u tank sistemu po tretmanima i posmatranim periodima. **HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I:** prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II:** druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III:** treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Potrebna svarljiva energija (DEN) (**Grafikon 19**) u prvoj trećini je bila bez statistički značajnih razlika, pri čemu je najveća prosečna vrednost dobijena kod riba hranjene HZO (12924,52

kJ DE g⁻¹ prirasta), dok su izračunate prosečne vrednosti kod HTM (2045,52 kJ DE g⁻¹ prirasta), HEF (2115,99 kJ DE g⁻¹ prirasta) i HFM (1991,09 kJ DE g⁻¹ prirasta). U drugoj trećini eksperimenta nije postojala statistički značajna razlika DEN između eksperimentalnih grupa gde se prosečne vrednosti kreću u intervalu od 2303,97 kJ DE g⁻¹ prirasta (HTM) do 4121,80 kJ DE g⁻¹ prirasta (HZO), kod ostalih eksperimentalnih grupa ostvarene su prosečne vrednosti od 2428,63 kJ DE g⁻¹ prirasta (HFM) i 2431,00 kJ DE g⁻¹ prirasta (HEF). U poslednjoj trećini eksperimenta prosečne vrednosti kretale od 2425,39 kJ DE g⁻¹ prirasta (HFM) do 7420,67 kJ DE g⁻¹ prirasta (HZO), pri čemu je statistički značajna razlika postojala između HFM i HZO.

Najveća prosečna metabolička stopa rasta (MGR_{MBW}) (**Grafikon 19**) u periodu I je bila kod riba hranjenih HTM (8,60 g kg^{-0,8} d⁻¹), zatim HEF (8,00 g kg^{-0,8} d⁻¹) i HFM (7,73 g kg^{-0,8} d⁻¹) dok je statistički značajno najniža prosečna vrednost ovog parametra izračunata u grupi HZO (2,03 g kg^{-0,8} d⁻¹). Takođe, u periodu II je kod istog tretmana ostvarena statistički značajno najniža prosečna vrednost ovog parametra od 0,52 g kg^{-0,8} d⁻¹, pri čemu se prosečne vrednosti ovog parametra za ostale eksperimentalne grupe kreću u intervalu od 7,85 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HEF) do 8,64 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HTM). U poslednjem eksperimentalnom periodu prosečne vrednosti su se kretale od 2,78 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HZO), zatim 5,73 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HEF) i 7,32 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HTM) do 7,84 g kg^{-0,8} d⁻¹ (HFM). Posmatrano po periodima, izračunate prosečne vrednosti MGR_{MBW} kod HFM, HTM i HZO se nisu statistički značajno razlikovale između posmatranih perioda, dok je HEF ostvarila statistički značajno nižu prosečnu vrednost u periodu III u poređenju sa periodima I i II.

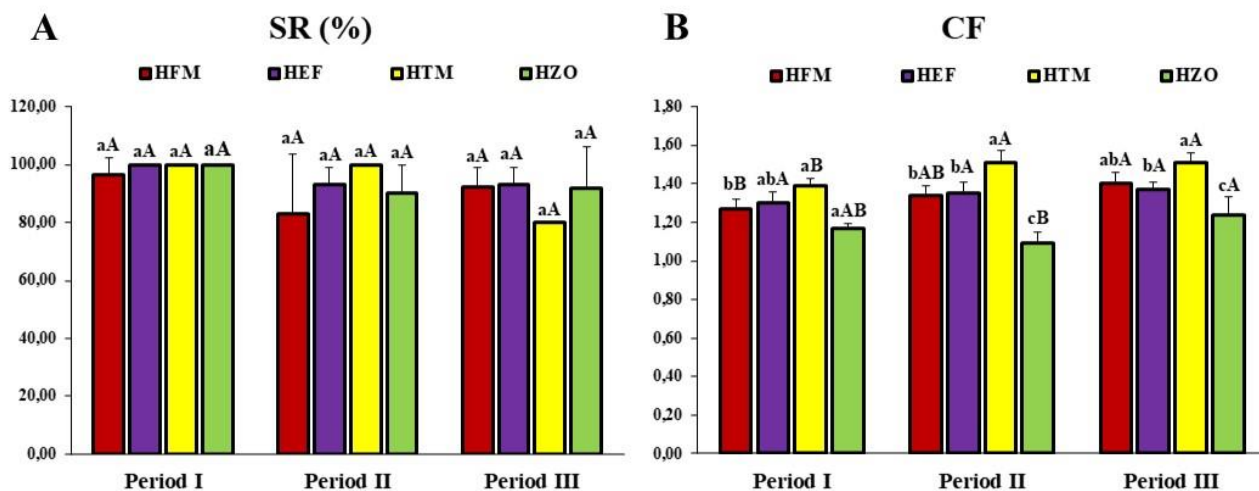


Grafikon 19. Prosečne vrednosti, A - potrebne svarljive energije (DEN); B - metaboličke stope rasta (MGR_{MBW}), kod kalifornijske pastmrke gajene u tank sistemu po tretmanima i posmatranim periodima. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I**: prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II**: druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III**: treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Eksperimentalne hrane korišćenje u ovom istraživanju nisu imale negativan uticaj na stopu preživljavanja riba (SR) (**Grafikon 20**), jer kod ovog parametra nisu utvrđene statistički značajne razlike prosečnih vrednosti između samih tretmana.

Prosečne vrednosti kondicionog faktora (CF) (**Grafikon 20**) u prvoj trećini eksperimenta bile su 1,17 (HZO), zatim nešto veće prosečne vrednosti su izračunate u grupama HFM (1,27) i HEF (1,30), dok je najveća prosečna vrednost CF izračunata kod riba hranjenih HTM (1,39). U periodu II prosečne vrednosti kondicionog faktora su 1,34 (HFM), 1,35 (HEF) i 1,51 (HTM), dok je najmanja prosečna vrednost izračunata kod riba hranjenih HZO (1,09). U poslednjoj trećini eksperimenta

izračunate prosečne vrednosti CF se kreću u intervalu od 1,24 (HZO) do 1,51 (HTM). U poslednjoj trećini eksperimenta ribe HZO ostvarile su statistički značajno nižu prosečnu vrednost od ostalih eksperimentalnih grupa, statistički značajna razlika je utvrđena i između HTM i HEF.



Grafikon 20. Prosečne vrednosti A - stope preživljavanja (SR); B - kondicionog faktora (CF), kod kalifornijske pastrmke gajene u tank sistemu po tretmanima i posmatranim periodima. **HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnjara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktona. **Period I:** prva trećina eksperimentalnog perioda; **Period II:** druga trećina eksperimentalnog perioda; **Period III:** treća trećina eksperimentalnog perioda. Vrednosti označene malim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost između tretmana unutar posmatranog perioda, dok vrednosti označene velikim slovom pokazuju postoji li statistička značajnost u okviru tretmana posmatrano po različitim periodima, prema Tukey-evom testu ($p < 0,05$).

Objedinjeni rezultati uticaja brašna dobijenog od alternativnih izvora proteina, istraženih u okviru ove doktorske disertacije, prikazani su u **Tabeli 55**.

Tabela 55. Parametri prirasta, iskoristivosti hrane i somatski indeksi kod kalifornijske pastrmke hranjene različitim eksperimentalnim hranama u tank sistemu

Parametri	Eksperimentalne hrane			
	HFM	HEF	HTM	HZO
BWG (g)	43,53±3,74 ^{ab}	37,21±3,91 ^b	45,60±2,64 ^a	6,23±4,59 ^c
BWG (%)	290,62±18,88 ^{ab}	246,63±22,21 ^b	303,22±14,24 ^a	41,52±25,04 ^c
SGR (% dan ⁻¹)	1,62±0,07 ^a	1,48±0,09 ^a	1,66±0,05 ^a	0,39±0,26 ^b
TGC (g ^{1/3} (°Cd) ⁻¹)	0,81±0,04 ^a	0,73±0,06 ^a	0,84±0,03 ^a	0,17±0,12 ^b
DFR	1,73±0,08 ^b	1,82±0,06 ^{ab}	1,86±0,11 ^{ab}	1,97±0,17 ^a
O-FER (g) ¹³	0,70±0,16 ^a	0,70±0,02 ^a	0,72±0,06 ^a	0,25±0,07 ^b
K-FER (g)	0,95±0,10 ^a	0,85±0,04 ^a	1,00±0,08 ^a	0,21±0,20 ^b
O-FCR (g) ¹³	1,59±0,35 ^b	1,53±0,04 ^b	1,48±0,12 ^b	4,36±0,75 ^a
K-FCR (g)	1,16±0,12 ^a	1,30±0,06 ^a	1,09±0,09 ^a	26,76±39,76 ^a
O-PI (g) ¹³	21,39±4,01 ^a	23,52±0,89 ^a	25,23±1,22 ^a	13,64±1,81 ^b
K-PI (g)	172,26±32,28 ^a	181,21±6,84 ^a	200,23±9,74 ^a	104,54±13,89 ^b
FI	0,69±0,05 ^a	0,63±0,04 ^a	0,74±0,04 ^a	0,40±0,06 ^b
DEN	2360,34±251,94 ^b	2781,79±129,11 ^b	2399,98±191,51 ^b	52240,59±77615,19 ^a
MGR _{MBW}	7,51±0,34 ^a	6,84±0,43 ^a	7,69±0,25 ^a	1,76±1,18 ^b
SR (%)	73,33±15,28	86,67±5,77	80,00±0,00	83,33±20,82
CF (g/cm ³)	1,40±0,06 ^{ab}	1,37±0,04 ^b	1,51±0,05 ^a	1,24±0,09 ^c

¹³ U ranije objavljenom radu (Marjanović i sar., 2024) prikazane su vrednosti „O-FER; O-FCR; O-PI“. Naknadnom analizom utvrđeno je da su te vrednosti rezultat greške u proračunu. Korigovane vrednosti prikazane su kao „K-FER; K-FCR; K-PI“ i upravo te vrednosti su korišćene prilikom izrade ove doktorske disertacije.

HSI	2,68±0,20	2,62±0,36	2,28±0,14	2,31±0,69
VSI	19,54±1,49 ^a	18,87±1,71 ^a	17,98±0,80 ^a	14,43±2,82 ^b

Skraćenice: **BWG**: povećanje telesne težine; **SGR**: specifična stopa rasta; **TGC**: koeficijent rasta za termičku jedinicu; **DFR**: dnevno učešće hrane; **FER**: koeficijenta iskoristivosti hrane; **FCR**: koeficijent konverzije hrane; **PI**: utrošak proteina; **FI**: utrošak hrane po ribi; **DEN**: potrebna svarljiva energija; **MGR_{MBW}**: metabolička stopa rasta; **SR**: stopa preživljavanja; **CF**: kondicioni faktor; **HSI**: hepatosomatski indeks; **VSI**: viscelarni indeks. **HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktona. Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednje vrednosti ± standardna devijacija, n = 3. Vrednosti u tabeli su prikazane kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n = 3), sa različitim slovom koje predstavlja nivo značajnosti, prema Duncan-ovom testu (p < 0,05).

Zamena ribljeg brašna bračno brašnara je dobro poznata praksa širom sveta, bez obzira na to da li su uključeni u hranu za pastrmku u samo nekoliko procenata (Belforti i sar., 2015; Melenchón i sar., 2023a) ili potpuno kao glavni izvor proteina (Chemello i sar., 2020; Rema i sar., 2019). Najviši prosečni BWG je dobijen kod riba hranjenih HTM (45,60 g odnosno 303,22%), zatim slede HFM (43,53 g ili 290,62%) i HEF (37,21 g ili 246,63%), dok je najmanji prosečni prirast izračunat kod riba hranjenih HZO (6,23 g odnosno 41,52%). Prema rezultatima Melenchóna i sar. (2023a), pastrmke hranjene hranom zasnovanom na brašnu od brašnara nisu pokazale statistički značajne razlike u prirastu, te nije bilo razlika među eksperimentalnim grupama. Rast riba hranjenih HTM statistički se značajno razlikovao u ovom parametru od riba hranjenih HEF. Studija Stafford i Tacon (1985) pokazala je da dodavanje gliste u hranu za pastrmku, pri zameni ribljeg brašna do 30 %, nije imalo statistički značajan uticaj na prirast i FCR ribe. Ovi rezultati ukazuju da se ovaj alternativni izvor proteina može bezbedno koristiti u formulaciji komercijalnih hrana. Rezultati ove doktorske disertacije pokazali da čak ni potpuna zamena ribljeg brašna brašnom kalifornijske gliste nije imala statistički značajan uticaj na parametre rasta ribe. Velasquez i sar. (1991) ispitivali su efekat brašna od gliste kao zamene ribljeg brašna u hrani za pastrmku na nivoima od 25%, 50% i 100%. Autori su pokazali da delimična zamena ribljeg brašna (25% i 50%) nema negativne efekte na prirast, FCR, kao ni na opšte zdravstveno stanje ribe, dok potpuna zamena nije dovela do poboljšanja performansi rasta. U našem istraživanju, potpuna zamena ribljeg brašna brašnom od gliste takođe nije dovela do statistički značajnih razlika u prirastu, FCR i HSI u odnosu na kontrolnu grupu. Ovi nalazi sugerišu da brašno od gliste može biti nutritivno adekvatna alternativa ribljem brašnu, ali potpuna zamena ne daje dodatne prednosti u performansama ribe. Nedostatak statistički značajne razlike između HFM i HEF čini ovaj izvor proteina potencijalno dobrom zamenom za riblje brašno bez potrebe da se uključi određeni procenat ribljeg brašna u formulaciji hrane za ribu. S druge strane, slabiji prosečni prirast kalifornijske pastrmke hranjene HZO pokazao se kao izvor proteina koji je doprineo najnižim proizvodnim rezultatima u poređenju sa HFM, HEF i HTM. Slično ovde prikazanim rezultatima, bili su rezultati studije Taipale i sar. (2022), gde je nizak rast kod pastrmki hranjenih sa *Daphnia*-ma bio posledica nedostataka arahidonske kiseline (ARA), eikozapentaenske kiseline (EPA) i dokozahexaenske kiseline (DHA), kao i niskih nivoa određenih aminokiselina. Uzimajući u obzir vezu između parametara rasta i sadržaja masnih kiselina, niži nivoi ARA i EPA) kod HZO u poređenju sa kontrolnom hranom mogu biti razlog za nizak rast pastrmke hranjene ovim izvorom proteina. Štaviše, u studiji Taipale i sar. (2022), najniži SGR je dobijen kada su ribe hranjene *Daphnia* - ma u poređenju sa hranom formulisanom sa morskim zooplanktonom i ribljim brašnom u istom eksperimentu, što je u skladu sa rezultatima naše studije za pastrmku hranjenu HZO. Ovo se može objasniti nižom nutritivnom vrednošću *Daphnia* u poređenju sa ribljim brašnom (Taipale i sar., 2022; Marmulla i Rösch, 1990). Dodatno, može postojati veza i sa prisustvom slabo svarljivog hitina u zooplanktonu, koji može poremetiti apsorpciju i unos hranljivih materija (Jeong i sar., 2020). Efekat hitina zavisi i od nivoa njegovog unosa (Belforti i sar., 2015). Hitin se nalazi u kutikuli beskičmenjaka, gde se vezuje za protein, kao i smanjuje apsorpcioni kapacitet i svarljivost proteina iz hrane. Kada je hitin prisutan u hrani za ribe, može da uspori rast (Ashour i sar., 2021; Son i sar., 2021; Song i sar., 2018; Mohanta i sar., 2016). S druge strane, kalifornijska pastrmka ima loš hitinolitički enzim za varenje hitina, a prisustvo hitina u hrani za pastrmku smanjilo je njen rast (Hassan i sar., 2023). Grupa HZO imala je najnižu prosečnu vrednost SGR (0,39% dan⁻¹) u poređenju

sa onima grupama koje su hranjene HTM ili HEF. Prosečne vrednosti TGC, PI i FER su pokazale statistički značajne razlike između pastrmke hranjene HZO i onih koje se hrane hranom sa različitim izvorima proteina. Najniže prosečne vrednosti FCR izračunate su kod ribe hranjene HTM (1,09 g hrane g⁻¹ prirasta), dok je najveća prosečna vrednost dobijena kod riba hranjenih HZO (26,76 g hrane g⁻¹ prirasta). Kalifornijska pastrmka hranjena HZO imala je statistički značajno više prosečne vrednosti FCR, što je rezultiralo niskom efikasnošću hrane, uključujući nizak odnos konverzije hrane i povećanju telesne mase pastrmke. Slično zapažanje je i u istraživanju Abo-Taleb i sar. (2024), gde je riba hranjena hranom gde je riblje brašno u potpunosti zamenjeno brašnom zooplanktona, kao glavnim izvorom proteina, pokazala slabije rezultate u parametrima rasta i FCR. Pored toga, mnoge od ranije objavljenih studija izvestile su o upotrebi različitih vrsta zooplanktona kao vrednog izvora proteina koji se koristi kao zamena za riblje brašno u hrani različitih vrsta riba (Abo-Taleb i sar., 2021a; Abo-Taleb i sar., 2021b; Ashour i sar., 2021). Rezultati ovih studija ukazuju na značajne pozitivne efekte, koji se manifestuju kroz povećan prirast ribe i istovremeno smanjenje vrednosti FCR, što se može pripisati sadržaju aminokiselina, antioksidanata, vitamina, hitozana i nezasićenih masnih kiselina (Abo-Taleb i sar., 2021a). Za razliku od gore navedenih rezultata, kod kojih je potpuna zamena ribljeg brašna sa brašnom dobijenog od zooplanktona rezultirala boljim rastom i FCR, riba hranjena HZO u ovoj disertaciji imala je najniže performanse rasta i odnos konverzije hrane (FCR). Ove nedoslednosti između ove disertacije i gore navedenih studija mogu biti posledica različitih faktora, kao što su različiti sastojci i postupak tretiranja koji se koriste u formulaciji hrane za različite vrste riba, različite potrebe za hranljivim materijama između vrsta riba i razlike u anatomiji i fiziologiji riba koje utiču na korišćenje hranljivih materija (Prachom i sar., 2023). Chemello i sar. (2020) istražili su efekte na parametre rasta pastrmke hranjene različitim nivoima brašna dobijenog od brašnara i otkrili da su FCR vrednosti bile bolje kada su pastrmke hranjene hranom gde je brašno brašnara u potpunosti menjalo riblje brašno. Dobijeni rezultati za FCR se ne slažu sa rezultatima Pereira i Gomes (1995), prema kojem sadržaj gliste veći do 75% dovodi do niže efikasnosti hrane, dok u ovoj disertaciji nije bilo statistički značajne razlike između FCR vrednosti za HFM i HEF. HEF je imao bolje, tj. niže prosečne vrednosti od HFM. Za CF, ne postoji statistički značajna razlika između HFM, HTM i HEF, osim u slučaju HZO (1,24). Kalifornijska pastrmka hranjena HZO pokazala je niže prosečne vrednosti za parametre rasta, tj. vrednosti za FCR, BWG, PI i FER u poređenju sa drugim uzorcima, što je u skladu sa studijom Henderson i Sargent (1983), u kojoj je pastrmka hranjena isključivo sušenim zooplanktonom pokazala nižu stopu rasta u odnosu na kontrolnu hranu. Rezultati u disertaciji pokazali su da nema statistički značajnog uticaja na parametre rasta ribe hranjene HTM i HEF. Potpuna zamena ribljeg brašna sa brašnom brašnastih crva rezultirala je bržim rastom kalifornijske pastrmke, što je povezano sa višim prosečnim vrednostima za SGR, PER i FBW i smanjenjem prosečne vrednosti FCR (Rema i sar., 2019), kao što je i ovde pokazano. Veće prosečne vrednosti za SGR mogu se objasniti upotrebom nemasnih brašnara u poređenju sa Chemello i sar. (2020), koji su koristili brašnare kojima je odstranjen deo lipida, kao i razlike u početnoj težini, tj. ovde korišćeni uzorci ribe su imali početnu težinu od 15 g, dok je riba u njihovoj studiji težila 85 g, sa specifičnom stopom rasta koja se smanjuje sa povećanjem telesne težine (Chemello i sar., 2020). Treba naglasiti da je upotreba brašna od brašnara i gliste u ishrani riba imala pozitivan efekat na prirast ribe, kao što je utvrđeno kod drugih autora (Jozefiak i sar., 2019). Prednost brašnara u poređenju sa drugim izvorima životinjskih proteina je nizak sadržaj hitina, koji negativno utiče na rast ribe smanjujući varenje sirovih proteina i menjajući njihov profil aminokiselina (Melenchón i sar., 2022).

Hepatosomatski indeks je korišćen za istraživanje potencijalnih efekata brašna alternativnih izvora proteina na funkcionalnost jetre. Kao što se može videti u **Tabeli 55**, potpuna zamena ribljeg brašna brašnom alternativnim izvorima proteina ne dovodi do smanjenja niti do povećanja prosečne vrednosti HSI. Hepatosomatski indeks je pokazatelj zdravstvenog stanja ribe. Na osnovu rezultata za HSI i sličnih prosečnih vrednosti između kontrole i brašna različitih izvora proteina, može se pretpostaviti da ovi izvori proteina nemaju negativan uticaj na metabolizam jetre. Ovaj indeks je relevantan pokazatelj kondicionog stanja kalifornijske pastrmke. Povišene vrednosti ovog parametra

ukazuju na poremećaje u metaboličkim funkcijama, naročito u procesima metabolizma lipida i ugljenih hidrata. Istovremeno, takvi rezultati ukazuju na nutritivne disbalanse, koji mogu biti rezultat deficita vitamina ili unosa hrane degradirane oksidacionim procesima, poput užeglosti masti. (Hoffmann i sar., 2021). Ovaj fenomen smanjenja HSI usled uključivanja brašna drugih izvora proteina u hrani primećen je u radovima Iaconisi i sar. (2018) i Belforti i sar. (2015), gde je uključivanje većeg procenta hrane koja sadrži brašno od brašnatih crva izazvalo smanjenje prosečne vrednosti HSI. Prikazane prosečne vrednosti za HSI su veće u poređenju sa vrednostima iz pomenutih studija (Melenchón i sar., 2020; Iaconisi i sar., 2018; Belforti i sar., 2015). Ipak, to nije uticalo na rast, stopu preživljavanja i opšte stanje ribe, tako da se povećane prosečne vrednosti HSI mogu objasniti taloženjem masti u visceralnoj šupljini i tkivu jetre kada se ribe hrane hranom sa povećanim sadržajem masti (Hoffmann i sar., 2021), kao što je bio slučaj u ovom istraživanju.

5.4.5. Profil masnih kiselina u filetu kalifornijske pastrmke

Profil masnih kiselina u ribljem filetu u velikoj meri odražava profil masnih kiselina hrane kojom je riba hranjena. Zamena ribljeg brašna u ishrani kalifornijske pastrmke sa brašnom drugim izvora proteina imala je značajan uticaj na profil masnih kiselina ribljih fileta (**Tabela 56**).

Tabela 56. Masnokiselinski profil fileta kalifornijske pastrmke hranjene različitim eksperimentalnim hranama u tank sistemu

Masne kiseline (g/100g ukupnih masnih kiselina)	HFM	HEF	HTM	HZO
C14:0	0,85±0,02 ^c	0,77±0,01 ^d	1,10±0,00 ^b	1,21±0,02 ^a
C16:0	18,06±0,20 ^a	17,22±0,43 ^b	18,37±0,14 ^a	18,71±0,03 ^a
C18:0	5,50±0,18 ^b	5,70±0,12 ^{ab}	5,61±0,03 ^b	5,99±0,09 ^a
C20:0	0,23±0,01 ^a	0,46±0,23 ^a	0,23±0,01 ^a	0,24±0,00 ^a
SFA	24,63±0,04 ^{bc}	24,15±0,52 ^c	25,30±0,52 ^b	26,16±0,11 ^a
C16:1	2,36±0,01 ^b	2,05±0,20 ^b	2,51±0,20 ^b	3,49±0,31 ^a
C18:1n9c	23,26±0,59 ^c	23,17±0,82 ^c	26,70±0,82 ^b	30,06±0,06 ^a
MUFA	25,62±0,60 ^c	25,22±0,62 ^c	29,21±0,62 ^b	33,55±0,25 ^a
C18:2n6c	28,77±0,21 ^c	36,55±0,21 ^a	31,32±0,21 ^b	22,41±0,18 ^d
C18:3n6	1,55±0,03 ^a	-	1,57±0,01 ^a	1,00±0,02 ^b
C18:3n3	3,64±0,06 ^a	3,36±0,12 ^b	3,23±0,01 ^b	3,36±0,04 ^b
C20:3n3	0,78±0,04 ^b	1,17±0,07 ^d	0,92±0,00 ^c	0,57±0,05 ^a
C20:4n6	1,62±0,19 ^a	1,12±0,07 ^b	1,46±0,08 ^a	0,66±0,06 ^c
C20:5n3	2,40±0,23 ^a	1,74±0,14 ^c	1,34±0,06 ^c	2,09±0,03 ^{ab}
C22:5n3	0,45±0,02 ^a	0,28±0,40 ^a	0,45±0,16 ^a	0,50±0,01 ^a
C22:6n3	10,53±0,39 ^a	6,41±0,17 ^c	5,20±0,07 ^d	9,70±0,07 ^b
PUFA	49,75±0,56 ^a	50,64±0,43 ^a	45,48±0,09 ^c	40,28±0,14 ^d
n-3	17,80 ^a	12,97 ^c	11,14 ^d	16,22 ^b
n-6	31,95 ^c	37,67 ^a	34,34 ^b	24,07 ^d
n-3/n-6	0,56 ^b	0,34 ^c	0,32 ^c	0,67 ^a
AI	0,28 ^b	0,27 ^b	0,30 ^a	0,32 ^a
TI	0,29 ^c	0,34 ^b	0,38 ^a	0,33 ^b
h/H	3,69 ^b	4,04 ^a	3,55 ^b	3,45 ^c

Skraćenice: **HFM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na ribljem brašnu; **HEF**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu zooplanktona; **SFA**: zasićene masne kiseline; **MUFA**: mononezasićene masne kiseline; **PUFA**: polinezasićene

masne kiseline; **n-3 PUFA**, **n-6 PUFA**, **n-3/n-6**, **AI**, **TI** i **h/H** odnos. Vrednosti u tabeli su date kao srednje vrednosti \pm standardna devijacija, $n = 2$. Srednje vrednosti \pm standardne devijacije sa različitim slovima se značajno razlikuju, prema Duncan-ovom testu ($p < 0,05$).

Zamena ribljeg brašna brašnom zooplanktona u hrani za kalifornijsku pastrmku imala je statistički značajan efekat na povećanje nivoa SFA u filetima. Kao što se vidi u **Tabeli 33 (Prilog C)**, HZO je bila bogata sa SFA, koji je činio 44,45%, što je rezultiralo povećanjem ovih masnih kiselina u filetima. Drugi istraživači su primetili da je zooplankton bogat SFA (Domaizon i sar., 2000; Böhm i sar., 2014). Nasuprot tome, hranjenje kalifornijske pastrmke hranom sa insektima nije imalo značajan uticaj na ukupnu SFA u poređenju sa pastrmkama hranjenim HFM. Hranjenje pastrmke sa HTM i HZO rezultiralo je povećanjem ukupnih mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) u poređenju sa pastrmkom koja je hranjena HFM. Prema nekim studijama (Melenchón i sar., 2023b; Melenchón i sar., 2020; Iaconisi i sar., 2018; Belforti i sar., 2015; Böhm i sar., 2014) brašnar i zooplankton su dobar izvor oleinske kiseline (C18:1n9c), a pastrmka koja je hranjena ovim hranama može ih akumulirati u svom filetu. Zamena ribljeg brašna, u hrani za kalifornijsku pastrmku, brašnom brašnara i brašnom zooplanktona dovela je do statistički značajnog smanjenja PUFA u filetima u poređenju sa filetima pastrmke koja je hranjena HFM. Smanjenje PUFA u grupi HTM fileta je posledica smanjenja DHA (C22:6n3), dok je smanjenje PUFA u grupi HZO uglavnom posledica niskog sadržaja linolne kiseline (LA) (C18:2n6c). Ranije objavljene studije su pokazale da zooplankton karakteriše nizak sadržaj LA (Domaizon i sar., 2000; Böhm i sar., 2014). Ovo bi moglo imati uticaja na smanjenje udela LA u grupi HZO fileta. Nasuprot tome, uključivanje brašna kalifornijske gliste u hrani za pastrmku nije imalo statistički značajan uticaj na procenat PUFA. Kao što je već pomenuto, malo je literature o uključivanju gliste u ishrani pastrmke. Zamena ribljeg brašna hranom sa insektima i zooplanktonom imala je blago, ali značajno smanjenje ALA (C18:3n3). Veoma dug lanac n-3 PUFA, kao što su EPA (C20:5n3), DPA (C22:5n3) i DHA, nisu otkriveni kod brašnara ili gliste (**Tabela 24, Prilog C**). Shodno tome, hranjenje kalifornijske pastrmke sa HTM ili HEF rezultiralo je dvostrukim smanjenjem nivoa DHA u filetu (5,20 i 6,41%, naspram 10,53%). Sličan trend je primećen i za EPA, gde je uključivanje brašnara i gliste u ishrani smanjilo sadržaj EPA (1,34 i 1,74% u odnosu na 2,40%). Slično, drugi autori su prijavili smanjenje DHA kada su koristili brašnara (Fabrikov i sar., 2021b; Belforti i sar., 2015) ili crnu vojničku muvu (Fabrikov i sar., 2021b) za delimičnu zamenu ribljeg brašna u ishrani kalifornijske pastrmke. Za razliku od hrane sa insektima, zamena ribljeg brašna brašnom zooplanktona dovela je do umerenog smanjenja DHA (sa 10,53 na 9,70%), dok nije imala statistički značajan uticaj na sadržaj EPA. Generalna karakteristika zooplanktona je da su prisutni viši nivoi EPA nego DHA (Böhm i sar., 2014). Na procenat DPA nije uticala izmenjena ishrana kalifornijske pastrmke. U studiji Pares-Sierra i sar. (2012), riblje brašno i riblje ulje su delimično zamenjeni nusproizvodima iz živinarstva u ishrani kalifornijske pastrmke. Dodavanje 59% obroka od živinskih nusproizvoda dovelo je do smanjenja sadržaja DHA masnih kiselina koji je bio trećina u odnosu na kontrolnu ishranu (4,48% naspram 20,78%), dok se sadržaj EPA smanjio sa 8,1% na 1,8%. Slično tome, Turchini i sar. (2011) su pokazali da ishrana pastrmke lanenim uljem rezultira nižim sadržajem DHA (4,66% naspram 12,4%) i EPA (1,5% naspram 6,9%) u poređenju sa pastrmkom hranjenom ribljim uljem.

U prirodnim uslovima ishrana slatkovodnih riba karakteriše se dominantnim prisustvom alfa-linolenske kiseline (ALA), dok su koncentracije eikosapentaenske (EPA) niske, a dokozaheksaenske kiseline (DHA) prisutne u minimalnim količinama (Tocher, 2003). ALA služi kao prekursor za sintezu EPA i DHA u telu ribe. Enzimski procesi elongacije i desaturacije olakšavaju biokonzervaciju ALA u EPA i DHA ključne za održavanje zdravlja riba. Stoga, slatkovodne ribe ispunjavaju nutritivne vrednosti EPA i DHA povećanjem aktivnosti enzima zaduženih za elongaciju i desaturaciju masnih kiselina (Tocher, 2003). Grupe HTM i HEF sadrže niske nivoe ALA (1,28% i 1,60%) (**Tabela 24, Prilog C**), što je verovatno sprečilo pastrmku da biosintetiše EPA i DHA iz ALA. Turchini i sar. (2011) su naglasili da je sposobnost ribe da pretvori ALA u vredne n-3 PUFA donekle zanemarena. Utvrđeno je da sastav masnih kiselina ribljeg fileta ne odražava tačno onaj u hrani, jer se masne

kiseline iz hrane ne talože "neizmenjene" u ribljem tkivu. Umesto toga, one prolaze kroz različite metaboličke procese, uključujući korišćenje za proizvodnju energije (β -oksidacija), biotransformaciju (elongacija i desaturacija) i *proizvodnju de novo* masnih kiselina (lipogeneza) (Turchini i sar., 2011). Pretpostavlja se da kalifornijska pastrmka ima sposobnost da skladišti n-3 PUFA apsorbujući neophodne masne kiseline umesto da ih koristi samo kao izvor energije (Pares-Sierra i sar., 2012). Ovo potvrđuju i prethodne studije koje su pokazale da udeo n-3 PUFA u ribljem tkivu može biti veći od onog u hrani za životinje (Robin i Skalli, 2007; Bell i sar., 2004), kao što je takođe primećeno u našoj studiji. Sadržaj DHA u grupi HZO fileta bio je sličan onom u HFM, što je bilo za očekivati jer je sadržaj ALA u zooplanktonu bio uporediv sa onim u ribljem brašnu sa 5,77.

Generalno, potrošnja n-3 PUFA, posebno EPA i DHA, nudi različite zdravstvene prednosti kod ljudi. To uključuje smanjenje rizika od bolesti kao što su bolesti mozga i očiju, neurološki poremećaji, inflamatorne i autoimune bolesti i kardiovaskularne bolesti. Konkretno, ove masne kiseline igraju važnu ulogu u snižavanju nivoa triglicerida i krvnog pritiska i sprečavaju stvaranje krvnih ugrušaka inhibiranjem agregacije trombocita (Iaconisi i sar., 2018). Prema rezultatima iz nekoliko studija, unos EPA i DHA je posebno važan (Simopoulos, 2009; Uauy i Valenzuela, 2000). Glavni nedostatak dodavanja kopnenih insekata u hrani za ribe je smanjenje n-3 PUFA u filetima, jer insekti ne sadrže vredne EPA i DHA u svom sastavu (Melenchón i sar., 2023b; Fabrikov i sar., 2021b). Niži sadržaj ovih n-3 masnih kiselina u filetu može dovesti do pogoršanja opštih senzornih/organoleptičkih svojstava, a time i percepcije potrošača o kvalitetu ribe (Turchini i sar., 2011). Stoga, da bi se suprotstavili štetnim efektima ishrane sa nedostatkom n-3 PUFA i prevazišli pogoršanje masnokiselinskog sastava fileta, važno je istražiti strategije za poboljšanje ovog aspekta, olakšavajući uspešno uključivanje alternativa ribljem brašnu u komercijalnoj hrani za ribu. Jedna od prednosti je da insekti imaju visoku plastičnost u svom unutrašnjem sastavu, jer njihov sastav masnih kiselina u velikoj meri zavisi od vrste podloge za uzgoj (Melenchón i sar., 2020). Efikasan pristup bi stoga mogao biti da se poveća udeo n-3 PUFA u hrani sa insektima modifikovanjem uzgojnog supstrata. Mnogi istraživači su pokazali obećavajuće rezultate u modifikaciji udela n-3 PUFA u larvama insekata kroz prilagođenu ishranu (Dragojlović i sar., 2022; Barroso i sar., 2017; St-Hilaire i sar., 2007). Sealey i sar. (2011) su pokazali da je dodavanje ribljeg otpada na supstrat za hranjenje larvi crne vojničke mušice rezultiralo povećanim nivoima n-3 PUFA (ALA, EPA i DHA) u filetima kalifornijske pastrmke.

Kao što je prikazano u **Tabeli 56**, modifikacija ishrane kalifornijske pastrmke sa nekonvencionalnim sastojcima rezultirala je značajnom promenom u ukupnim n-3 i n-6 PUFA u svim grupama fileta. Kada su pastrmke hranjene smešama sa insektima, fileti su dosledno pokazivali smanjenje n-3 PUFA i povećanje n-6 PUFA. To je dovelo do smanjenja odnosa n-3/n-6 na oko 40%. Odnos n-3/n-6 se koristi kao pokazatelj zdravstvenih koristi ribe za ljudsku ishranu (Iaconisi i sar., 2017). Hrana sa visokim odnosom n-3/n-6 masnih kiselina odlikuju se izuzetnom nutritivnom vrednošću. Za optimalno ljudsko zdravlje preporučuje se da taj odnos bude u rasponu od 0,25 do 1 (Simopoulos, 2009). Dok n-3 polinezasićene masne kiseline (PUFA) imaju izražena antiinflamatorna svojstva, većina n-6 PUFA se povezuje sa podsticanjem inflamatornih procesa (Fabrikov i sar., 2021b). Zbog toga je veći procenat ovih kiselina poželjniji za postizanje pozitivnog efekta na zdravlje. Uprkos uočenom smanjenju odnosa n-3/n-6 u HFM i HEF fileta grupa na 0,32 i 0,34 u poređenju sa filetom HFM (0,56), važno je napomenuti da je odnos n-3/n-6 premašio minimalnu vrednost u svim grupama fileta. Iaconisi i sar. (2017) su otkrili da je delimična zamena ribljeg brašna sa 25% i 50% brašnara u ishrani pastrmke rezultirala smanjenim odnosom n-3/n-6 od C i 0,47. Slično tome, Belforti i sar. (2015) su dobili odnos n-3/n-6 od 0,41 primenom 50% brašnara u hrani. Drugi istraživači su dobili niži odnos n-3/n-6, kada se koriste brašnari kao zamena za riblje brašno: 0,74 za tilapiju (Sánchez-Muros i sar., 2017) ili viši, kao što je 1,4 za brancina (Basto i sar., 2021). Na osnovu dobijenih rezultata, može se pretpostaviti da je lipidni profil kalifornijske pastrmke koja je konzumirala hranu sa insektima imala povoljan odnos n-3/n-6. Za razliku od insekata, uključivanje zooplanktona u ishranu kalifornijske pastrmke rezultiralo je većim i povoljnijim odnosom n-3/n-6

(0,67), što je bilo zbog nižeg sadržaja n-6 PUFA, jer je zooplankton loš izvor ove grupe masnih kiselina (Böhm i sar., 2014; Domaizon i sar., 2000;).

Tabela 56 prikazuje indekse kvaliteta u vezi sa odnosima masnih kiselina. Zbog značajnog uticaja ishrane na profil masnih kiselina, uočene su razlike u vrednostima pojedinih indeksa, koji su pokazali sličan trend i u filetima. Grupe HZO, HTM i HEF fileta imale su veću i lošiju TI vrednost od HFM filetske grupe. Pogoršanje vrednosti TI primetili su i Fabrikov i sar. (2021b), kada je riblje brašno zamenjeno sa 30% brašnara. Indeks trombogenosti (TI) odražava potencijal masnih kiselina da podstaknu stvaranje krvnih ugrušaka, odnosno stepen u kojem krvni sudovi mogu biti skloni trombozi. On se zasniva na odnosu između pro- i antitrombogenih masnih kiselina (Chen i Liu, 2020). Niska vrednost TI ukazuje na bolji nutritivni kvalitet i manji rizik od koronarnih bolesti srca. Prijavljeno je da se vrednost TI za ribu kreće od 0,14 do 0,87 (Chen i Liu, 2020), što je u skladu sa prikazanim rezultatima.

Vrednost AI, koja opisuje aterogeni potencijal masnih kiselina, bila je neznatno, ali značajno povećana u grupama HTM i HZO fileta u poređenju sa grupom HFM fileta. Fabrikov i sar. (2021b) da se AI nije promenio prilikom hranjenja pastrmke brašnara dok je hranjenje pastrmke sa 30% crne vojničke muve rezultiralo smanjenjem AI. Prema Chen i Liu (2020), AI vrednosti za ribe variraju između 0,21 i 0,41, što je dobijeno i u ovoj studiji.

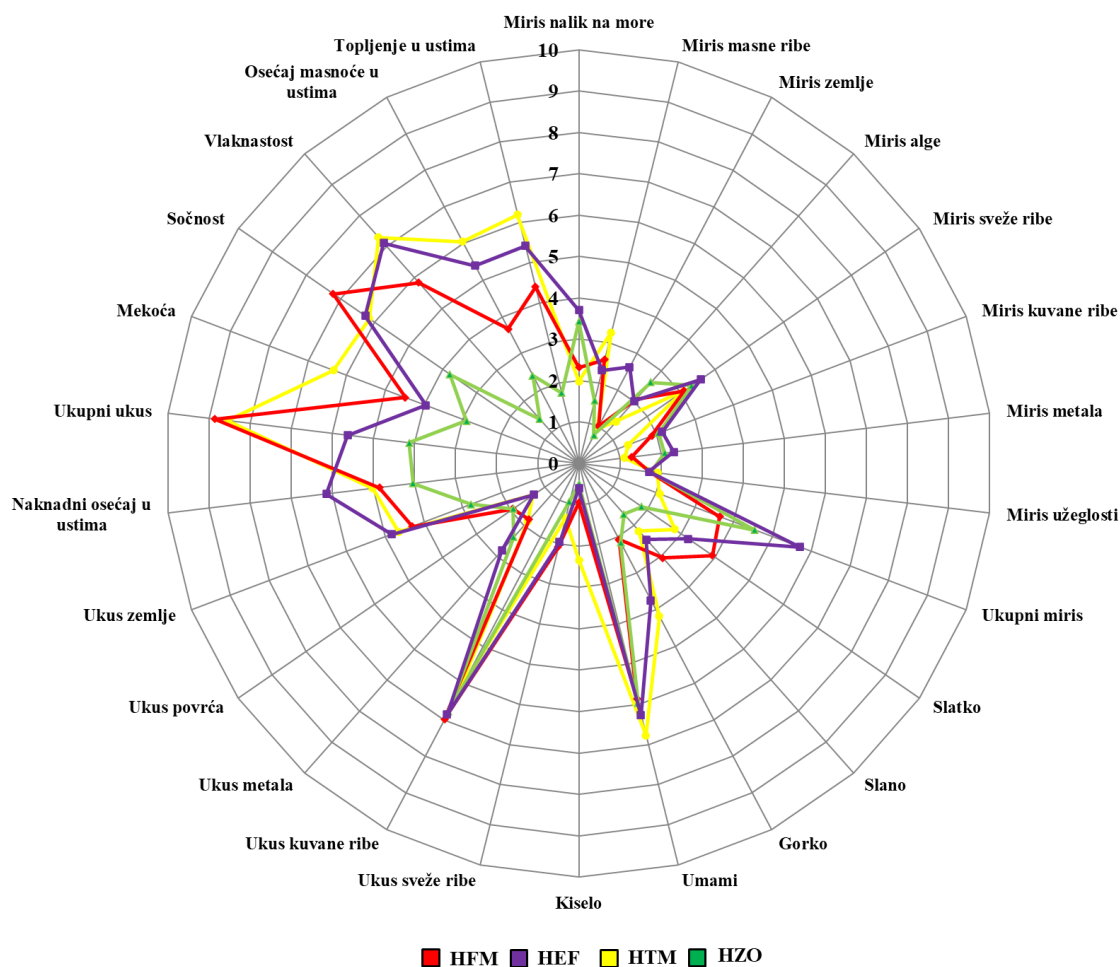
Odnos h/H je indeks koji opisuje odnos između efekta masnih kiselina i rizika od kardiovaskularnih bolesti. Veći odnos h/H smatra se korisnim za ljudsko zdravlje. Zamena ribljeg brašna brašnom zooplanktona dovela je do smanjenja odnosa h/H, što bi moglo biti posledica niskog sadržaja PUFA u zooplanktonu. Nasuprot tome, hranjenje kalifornijske pastrmke sa HEF povećao odnos h/H, što bi moglo biti zbog visokog sadržaja PUFA gliste (**Tabela 56**). Iaconisi i sar. (2018) nisu pronašli promene u odnosu h/H kada su promenili sastav hrane kalifornijske pastrmke. Pošto je odnos h/H ribe od 1,54 i 4,83 (Chen i Liu, 2020), sve grupe fileta pokazale su dobra nutritivna i zdravstvena svojstva.

5.4.6. Deskriptivna senzorna analiza

U pečenim filetima uzoraka pastrmke otkriveno je ukupno 26 senzornih svojstava, a razlike u intenzitetima senzornih svojstava prikazane su na **slICI 14**.

Rezultati deskriptivne senzorne analize pokazali su da postoje razlike između uzoraka fileta pečene pastrmke hranjene različitom hranom u pogledu senzornih svojstava. Do sada, prema literaturnim podacima ne postoje istraživanja koja su odredila senzorni profil pečenih fileta kalifornijske pastrmke hranjene izvorima proteina korišćenih u okviru ove disertacije i to kao zamena za riblje brašno. Za razliku od drugih istraživanja u kojima nije pronađena razlika između senzornih svojstava, rezultati ove disertacije govore drugačije. U prethodnim istraživanjima koja su ispitivala efekte zamene ribljeg brašna sa brašnom velikog brašnara na filete pastrmke, nisu pronađene razlike u senzornim svojstvima i teksturi, osim male promene boje (Melenchón i sar., 2023a; Sealey i sar., 2011). Senzorna svojstva otkrivena u filetu kalifornijske pastrmke hranjene HFM bile su u skladu sa rezultatima prethodnih istraživanja na pečenim filetima pastrmke, ukazujući da su fileti pastrmke imali prisutan slatki, umereno kiseli ukus, ukus metala i ukus povrća (Lindholm-Lehto i sar., 2023). Pored toga, istraživači nisu otkrili nikakva neželjena senzorna svojstva povezana sa kvarenjem fileta pastrmke, a koji su ujedno i povezani sa promenama u pogledu ukusa, mirisa, izgleda i teksture. Pečeni fileti kalifornijske pastrmke u kojima je riblje brašno zamenjeno alternativnim izvorima proteina imali su manje vrednosti za slani i slatki ukus, dok su imali veće vrednosti za umami ukus u odnosu uzorke pečenih fileta kalifornijske pastrmke hranjene ribljim brašnom. Slični rezultati su primećeni i u studiji od strane Melenchón i sar. (2023a) na filetima pastrmke hranjene brašnom velikog brašnara brašnara, dok je povećanje gorčine dobijeno i u studiji od strane Borgogno i sar.

(2017) na filetima pastrmke hranjene crnom vojničkom mušicom. Uzorci pečenih fileta pastrmke hranjenih HTM i HEF pokazali su najbližnje vrednosti kao i pastrmke hranjene HFM u pogledu intenziteta senzornih svojstava. Pored toga, fileti pečene pastrmke hranjene HTM imali su najviše vrednosti za umami, gorak i kiseli ukus u poređenju sa kontrolnim uzorcima.

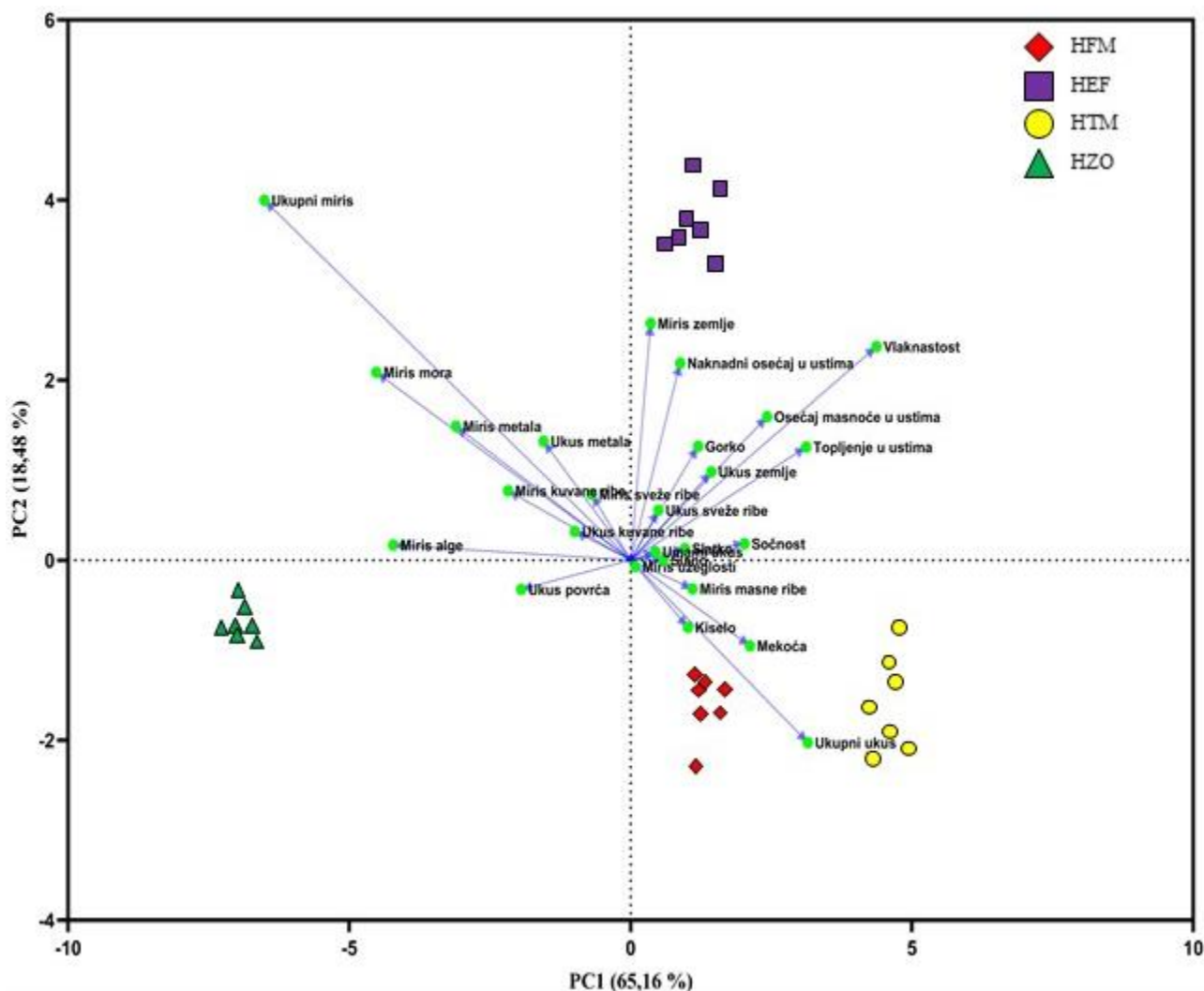


Slika 14. Rezultati ispitivanja deskriptivne senzorne analize uzoraka pečenih fileta kalifornijske pastrmke hranjene različitim hranama u tank sistemu gajenja prikazani putem radar dijagrama. **HFM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na ribljem brašnu; **HEF**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu zooplanktona.

U ovom trenutku postoji nedostatak istraživanja koja su ispitivala detaljan senzorni profil pečenih fileta pastrmke hranjene sa HTM, HEF i HZO. Stoga, ova disertacija predstavlja prvo sveobuhvatno istraživanje koje analizira i pokazuje da se potpunom zamenom ribljeg brašna sa brašnom od velikog brašnara smanjuje slatki i slani ukus, dok se donekle nepoželjni kiseli ukus pojačava u filetima kalifornijske pastrmke hranjene HEF. Fileti kalifornijske pastrmke hranjene HEF karakteriše izražen miris zemlje (2,6), kao i najviše vrednosti svih ostalih senzornih svojstava u pogledu mirisa, što je i uticalo na najviše vrednosti za ukupni miris u odnosu na druge uzorke. To je zato što miris zemlje/blata i ukus zemlje/blata kod uzoraka fileta pastrmke utiču na veće vrednosti za ukupni miris i ukus pastrmke (Lindholm-Lehto i sar., 2023), ali njihovo prisustvo nije povezano sa procesom kvarenja. Ova razlika se može objasniti različitim vrstama riba koje su se koristile u eksperimentima. Ukus metala i zemlje je najintenzivniji u filetima kalifornijske pastrmke hranjene HEF, kao i prisutni zaostali ukus u ustima. Dominantno negativan zemljani ukus pronađen u filetima kalifornijske pastrmke hranjene HEF verovatno potiče od jedinjenja geosmina, koje je odgovorno za miris i ukus na zemlju, a najčešće se akumulira u masnom tkivu ribe (Selli i sar., 2006). Gedrovica (2020) je otkrila da konvencionalno osušene gliste imaju oštar miris, prijatan ukus i zaostali ukus u

ustima koji podseća na ukus zemlje. Stoga se može pretpostaviti da se komponente koje uzrokuju ovaj ukus nalaze u filetima kalifornijske pastrmke hranjene HEF. Osim toga, povećan intenzitet ukusa zemlje u filetima pastrmke hranjene HEF može se pripisati sadržaju masnih kiselina u glistama (Ramarathnam i sar., 1993), kao i na miris metala zbog sadržaja jedinjenja: (E)-4,5-epoksi-(E)-2-decenal, (E,E)-2,4-oktadienal i 1-okten-3-on (Mahmoud i Buettner, 2016). Kada je u pitanju tekstura, fileti kalifornijske pastrmke hranjene HTM bili su najmekši, dok su uzorci fileta hranjeni sa preostale dve eksperimentalne hrane (HEF i HZO) bili tvrdi u odnosu na kontrolne uzorke. Visok sadržaj masti u filetima kalifornijske pastrmke hranjene brašnom od brašnara i brašnom gliste rezultirao je povećanjem mekoće i osećaja masti u ustima, kao što je objavljeno u prethodnoj studiji Melenchón i sar. (2023a) na ribljim filetima hranjenim brašnarima. Uzorci fileta kalifornijske pastrmke hranjene HZO imali su najmanje vrednosti svih teksturalnih svojstava, što ukazuje na to da su tvrdi, manje sočni i da imaju manji sadržaj masti u ustima u poređenju sa ostalim uzorcima. Suontama i sar. (2007) su hranili atlantskog lososa (*Salmo salar* L.) zooplanktonom i otkrili da zamena ribljeg brašna sa 40% brašna dobijenog od zooplanktona utiče na povećanje tvrdoće fileta lososa. Pored toga, filet kalifornijske pastrmke hranjene HZO imao je tamniju boju u poređenju sa drugim uzorcima, što se može pripisati sadržaju estera astaksantina u zooplanktonu, koji utiče na promenu boje ribljeg mesa (Suontama i sar., 2007). Pored toga, najveće vrednosti za senzorno svojstvo miris algi bio je prisutan u filetima hranjenim HZO, kao i visoke vrednosti mirisa metala verovatno zbog prisustva teških metala zaostalih u zooplanktonu, što je takođe potvrđeno u studiji Suontam i sar. (2007). Što se tiče boje fileta, fileti kalifornijske pastrmke hranjene HTM imali su najslabiju boju kontrolnim filetima, dok su fileti pastrmke hranjene HZO imali najtamniju boju. D'Souza i sar. (2006) su koristili alternativne izvore proteina u ishrani ribe i zaključili da je zamena ribljeg brašna alternativnim izvorima proteina dovela do promene boje ribljeg mesa. Melenchón i sar. (2022) takođe su otkrili da se boja mesa promenila tokom procesa pečenja. Generalno, fileti kalifornijske pastrmke hranjene HZO u ovoj studiji imali su tamniju boju, tvrđu teksturu i bili su manje sočni od drugih uzoraka, sa izrazitim mirisom na alge, zemlju i metal.

Analiza glavnih komponenti PCA analize pokazuje kako se uzorci mogu grupisati na osnovu njihovih senzornih svojstava i objašnjava varijabilnost između uzoraka na osnovu najizraženijih komponenti. PCA analizom, odnosno uključivanjem prve dve glavne komponente u dalju analizu je objašnjeno 65,16% (PC1), odnosno 18,48% (PC2) ukupnih varijacija (**Tabela 45, Prilog C**). U ovom istraživanju uzorci su grupisani na 4 strane PCA dijagrama. Glavne senzorne karakteristike koje su uticale na kategorizaciju uzoraka u grupe prikazane su na **slici 15**. Filet kalifornijske pastrmke hranjene HTM karakteriše intenzivan ukupni ukus, primetan kiseli ukus, meka tekstura i masni osećaj u ustima. Kiseli ukus je bio najizraženiji u ovom uzorku u poređenju sa ostalima. Nasuprot tome, filet kalifornijske pastrmke hranjene HZO imao je dominantan miris na alge i metal, nizak intenzitet slatkih, kiselih, slanih i umami ukusa, izražen metalni ukus i najniži intenzitet karakteristika teksture. Mekoća, sočnost, topljenje u ustima i masnoća u ustima su karakteristike koje su najmanje izražene u ovom uzorku u poređenju sa drugim uzorcima. Ovaj uzorak je takođe imao tamniju boju od ostalih uzoraka. Filet kalifornijske pastrmke hranjene HEF karakterisao je veći intenzitet zemljanog mirisa i ukusa, naknadni osećaj u ustima, vlaknastu teksturu i topljenje na jeziku, zbog čega je ovaj uzorak postavljen na donjoj levoj strani PCA dijagrama. Fileti kalifornijske pastrmke hranjene HFM i uzorak pečene pastrmke hranjene HTM bili su pozicionirani u istom polju i može se zaključiti da su imali iste senzorne profile, tj. slične vrednosti senzornih svojstava (**Slika 15**).



Slika 15. PCA (*Principal component analysis*) dijagram deskriptivne senzorne analize pečenog fileta kalifornijske pastrmke hranjene različitim hranama u tank sistemu gajenja. **HFM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na ribljem brašnu; **HEF**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu zooplanktona

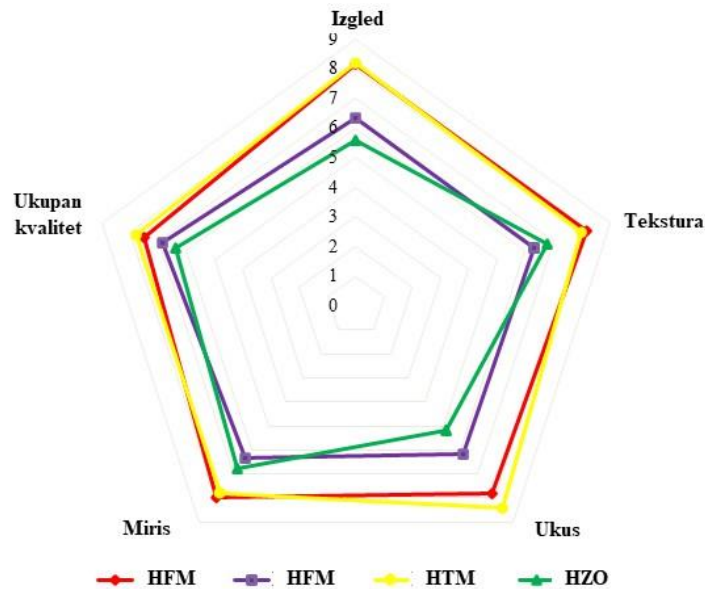
5.4.7. Senzorna analiza

Na **slici 16** su prikazani rezultati metode bodovanja i hedonske skale uzoraka fileta pečene kalifornijske pastrmke hranjene alternativnim izvorima proteina.

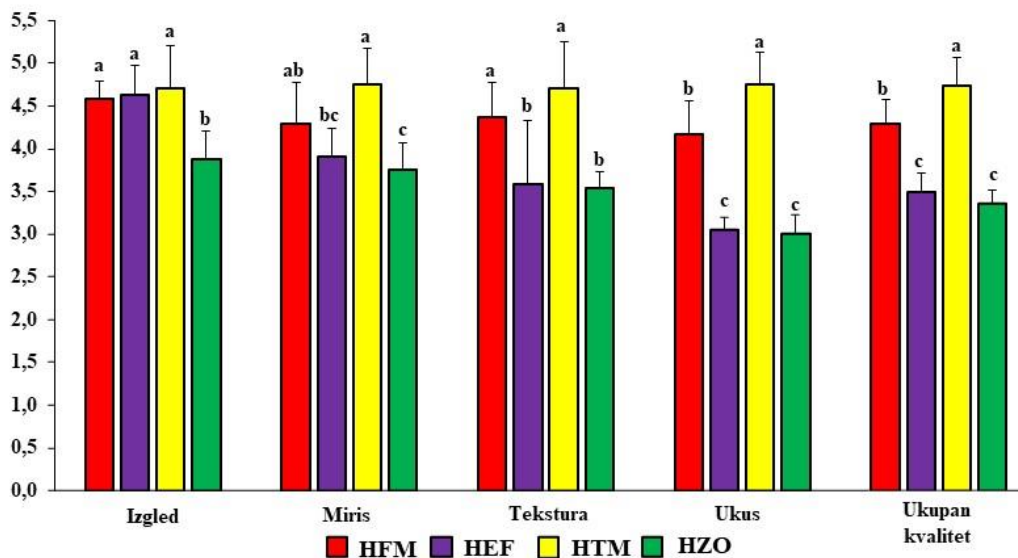
Svi uzorci su imali odlične prosečne ocene za izgled, slično kontrolnom uzorku, osim fileta pastrmke hranjene HZO (3,88) (**Slika 16B**). Prema komentarima ocenjivača, navedeni uzorak je imao tamniju boju od ostalih uzoraka, netipično za boju fileta pečene pastrmke, što se može pripisati reakciji sa kiseonikom, tj. oksidaciji. Niža oksidativna stabilnost je potvrđena u uzorcima pastrmke hranjene sa 100% sojinom sačmom umesto ribljeg brašna (D'Souza i sar., 2006). Pored toga, oksidacija lipida dovodi do njihove razgradnje, što ima direktan uticaj prvo na pogoršanje boje, a zatim na ukus, aromu i teksturu finalnih proizvoda (Tavakoli i sar., 2018). Ostali uzorci su imali karakterističnu boju fileta pečene pastrmke i nisu pokazivali tragove oksidacije. Međutim, upotreba alternativnih izvora životinjskih proteina utiče na ukus hranjene eksperimentalne ribe (Borgogno i sar., 2017), u poređenju sa upotrebom biljnih proteina, koji nemaju takav efekat, sa blagim notama kuvanog kukuruza šećerca, što nije uticalo na rezultate za ovo svojstvo. Prisustvo ovog ukusa može biti povezano sa dokazanim ukusom kukuruza šećerca kod kuvanog brašnara, koja nastaje prisustvom

sledećih jedinjenja: 2,4,6-trimetil-heptan, 2,4-dimetil-dodekan i 3,5-dihidroksi-6-metil-2,3-dihidropiran-4-on, a čiji se intenzitet povećava termičkom obradom (Seo i sar., 2020). Tako se može pretpostaviti da su ova jedinjenja odgovorna za ukus kivanog kukuruza šećerca u pečenom filetu, tj. da su prisutni u filetu pečene pastrmke hranjene HTM. Međutim, fileti pastrmke hranjene HZO i HEF imali su niže prosečne ocene za ukus (3,75 i 3,92), zbog prisustva ukusa metala u filetima ribe hranjene HZO i zemljanog i metalnog ukusa u filetima riba hranjenih HEF, što je rezultiralo nižim rezultatima od gore navedenog uzorka. Kompaktna i meka tekstura uticala je na najbolji rezultat, tj. srednje ocene za teksturu kod fileta pastrmke hranjene HTM (4,71) u poređenju sa drugim uzorcima, posebno u poređenju sa filetom pastrmke hranjene HZO, koji je imao najnižu srednju ocenu (3,54). Glavni nedostaci fileta pastrmke hranjene HZO su suva, tvrda tekstura i nedostatak sočnosti, što se može pripisati procesu oksidacije. Isti trend je primećen i za ukus: fileti pastrmke hranjene HZO i HEF imali su niže prosečne ocene i bili značajno niži od grupa HFM i HTM, dok su fileti pastrmke hranjene HTM imali značajno najvišu prosečnu ocenu u odnosu na sve druge grupe. Ocenjivači su dali najbolje komentare za filet pastrmke hranjene HTM, iako je nota kiselosti i gorčine bila dominantna u ovom uzorku, dok je filet pastrmke hranjene HEF dobio nešto nižu srednju ocenu u pogledu ukusa. Pored toga, zemljani ukus i naknadni osećaj u ustima, koji je bio previše izražen u ovom filetu, doprineli su nižoj srednjoj oceni ukusa za ovaj uzorak. Srednja ukupna ocena kvaliteta kretala se od 3,36 za filet pastrmke hranjene HZO do 4,73 za uzorak hranjen HTM, što ukazuje da su uzorci bili dobrog i odličnog kvaliteta.

(A)



(B)



Slika 16. (A) Rezultati ispitivanja ukupnog senzornog kvaliteta i (B) ukupne senzorne prihvatljivosti fileta kalifornijske pastrmke, hranjene različitim hranama u tank sistemu gajenja, od strane potrošača **HFM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na ribljem brašnu; **HEF**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: kalifornijska pastrmka hranjena hranom baziranom na brašnu zooplanktona. Prosečne vrednosti \pm standardna devijacija sa različitim slovom se značajno razlikuju, prema Duncan-ovom testu ($p < 0,05$).

Na **slici 16A** prikazani su rezultati za ukupnu prihvatljivost fileta kalifornijske pastrmke, hranjene različitim hranama od strane konzumenata. Ocene za ukupnu prihvatljivost kretale su se od 6,4 (HZO) do 7,8 (HTM). Rezultati za ukupnu prihvatljivost ispitivanog proizvoda u verbalnom značenju su se kretali od "Umereno mi se sviđa" do "Mnogo mi se sviđa". Filet pastrmke hranjene HTM dobio je najviše ocene za ukupnu prihvatljivost od strane ocenjivača zbog svog karakterističnog ukusa, odgovarajućeg izgleda i teksture, koja je bila najsličnija grupi HFM (7,5), dok je filet pastrmke hranjene HZO dobio najnižu ocenu zbog svoje žute boje, izraženog mirisa metala i morske alge, netipične tvrdoće, lepljivosti fileta i slabijeg ukusa u ustima. Pored toga, gore pomenuti uzorak je imao najnižu ocenu za boju (5,6). Nizak sadržaj masti u formulaciji hrane za pastrmke, za razliku od većeg sadržaja proteina, može dovesti do toga da riblji fileti budu previše čvrsti (Craft i sar., 2016), što je potvrđeno u slučaju pastrmke koja je hranjena HZO. Zajedničko za rezultate oba senzorna testa kod fileta pastrmke hranjene HZO su dobijene niske ocene za izgled i teksturu, što ukazuje na to da zamena ribljeg brašna u hrani za ribe sa zooplanktonom dovodi do promene u boji i teksturi fileta, što se smatra kao negativna karakteristika od strane ocenjivača. Boja proizvoda je ključni atribut koji ima veliki uticaj na potrošače, odnosno na njihov izbor prilikom kupovine proizvoda. Slične aromatične note bile su prisutne i u uzorku fileta pastrmke hranjene HEF, samo bez istaknutog ukusa morskih algi, sa intenzivnim ukusom povrća, prema komentarima ocenjivača. Uzorak fileta pastrmke hranjenih HTM imao je visoke ocene za sva senzorna svojstva, bez značajnih razlika u odnosu na senzorna svojstva HFM, osim ocena za ukus i ocena za ukupnu prihvatljivost. Na osnovu dobijenih rezultata senzorne analize može se pretpostaviti da su brašnasti crvi potencijalno dobra zamena za riblje brašno u pogledu senzorne prihvatljivosti od strane potrošača, dok se veća prihvatljivost potrošača može postići malim korekcijama i uključivanju glista u formulaciju hrane za pastrmku.

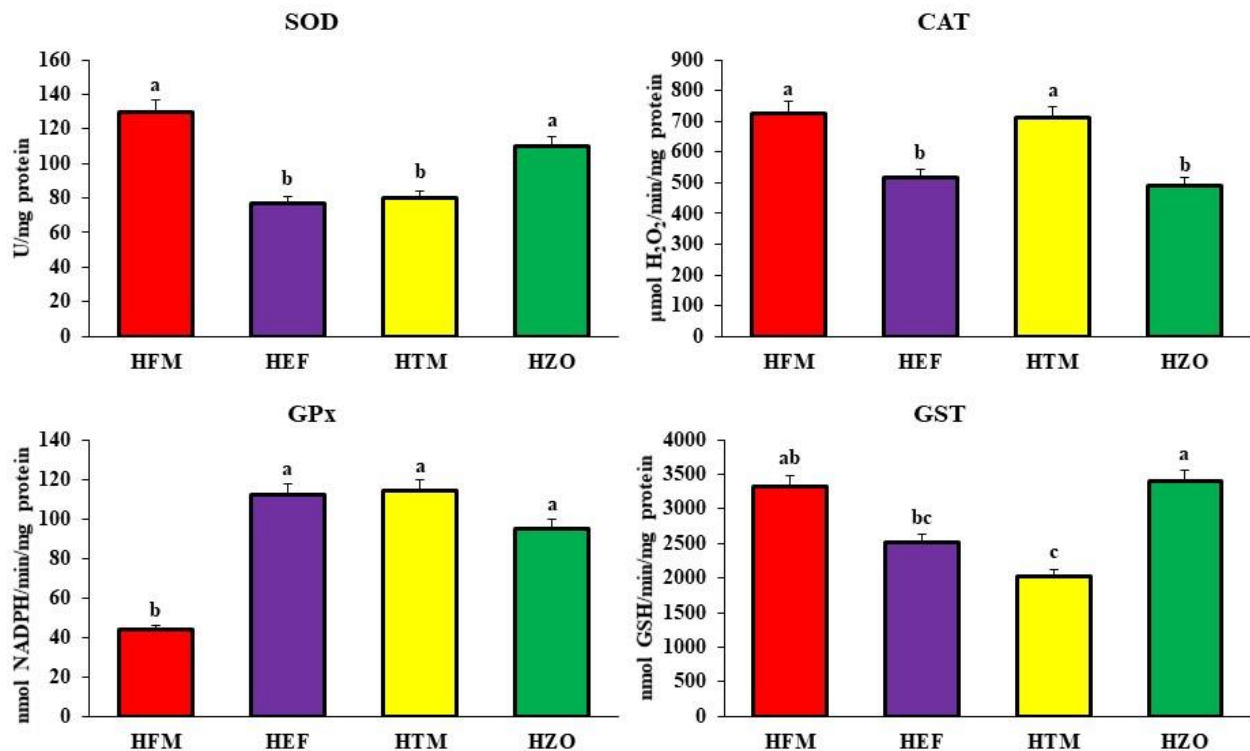
5.4.8. Profil odabranih antioksidativnih biomarkera kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim alternativnim izvorima proteina u tank sistemu

Za procenu aktivnosti antioksidativnih enzima kod kalifornijske pastrmke hranjene hranama koje su sadržale alternativne izvore proteina životinjskog porekla, nakon završetka eksperimentalnog perioda uzorkovana je jetra. U prikupljenim uzorcima jetre merene su aktivnosti enzima SOD, CAT, GPx i GST. Prikaz dobijenih enzimskih aktivnosti je dat na **Grafikonu 21**.

Aktivnosti SOD u jetri kalifornijske pastrmke, hranjene različitim eksperimentalnim hranama sa životinjskim izvorima proteina, prikazane su na **Grafikonu 21**. Najviša aktivnost SOD zabeležena je kod riba hranjenih HFM (130,05 U/mg proteina), pri čemu je ta vrednost statistički značajno viša u odnosu na grupe HEF (77,28 U/mg proteina) i HTM (79,71 U/mg proteina). Razlika između HFM i HZO grupe (109,88 U/mg proteina) nije bila statistički značajna. Najniža aktivnost CAT izmerena je kod riba hranjenih HZO (490,75 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$), dok su grupe HEF i HTM imale nešto višu aktivnost ovog enzima (518,55 i 712,99 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$, redom). Najveća aktivnost CAT zabeležena je kod riba koje su hranjene HFM (726,93 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg protein}$). Statistička analiza je pokazala da su jedinke hranjene HFM i HTM imale značajno višu aktivnost CAT u poređenju sa grupama HEF i HZO.

U istraživanju Guerreiro i sar. (2023) koje je analiziralo uticaj zamene ribljeg brašna brašnom od larvi velikog brašnara u ishrani *Argyrosomus regius*, pokazano je da dolazi do značajnih promena u aktivnostima antioksidativnih enzima u jetri. Aktivnost SOD se povećavala sa povećanjem procenta

brašna od larvi u hrani, što ukazuje na pojačanu odbranu od superoksidnog radikala. Suprotno, aktivnosti CAT i GPx su se smanjivale, čime se redukovala sposobnost jetre da efikasno razlaže vodonik-peroksid i organske peroksidge. Ovakav disbalans može dovesti do nakupljanja reaktivnih kiseoničnih vrsta i povećanog rizika od oksidativnog stresa.



Grafikon 21. Prosečne vrednosti antioksidativnih enzima kod kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama u tank sistemu. **HFM**: hrana bazirana na ribljev brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktonu; superoksid-dismutaza (**SOD**), katalaza (**CAT**), glutation-peroksidaza (**GPx**) i glutation-S-transferaza (**GST**). Srednje vrednosti \pm standardna devijacija sa različitim slovom predstavljaju statističku značajnost, prema Duncan-ovom testu ($p < 0,05$).

Pored SOD i CAT, praćena je i aktivnost GPx. Najniža aktivnost GPx zabeležena je kod riba hranjenih HFM (43,58 nmol NADPH/min/mg protein), dok su eksperimentalne grupe HEF, HTM i HZO imale značajno višu aktivnost (112,11; 113,96 i 95,05 nmol NADPH/min/mg protein, redom). Aktivnost GST bila je najniža kod HTM grupe (2024,31 nmol GSH/min/mg protein), dok su HEF (2514,31 nmol) i HFM (3320 nmol) imale višu aktivnost, a najvišu kod HZO grupe (3397,14 nmol GSH/min/mg protein). Statistički, aktivnost GST je bila značajno niža kod HTM grupe u poređenju sa HFM i HZO, dok razlike između HTM i HEF, kao i HZO i HFM, nisu bile značajne.

U istraživanju Moutinho i sar. (2020), koje je ispitivalo uticaj zamene ribljev brašna brašnom *Hermetia illucens* kod *Dicentrarchus labrax*, zamena do 50% nije značajno menjala aktivnosti SOD, CAT i GPx, dok je zamena od 75% dovela do smanjenja aktivnosti GPx i inicijalnog opterećenja antioksidativnog sistema. Slični zaključci su potvrđeni i kod drugih studija (Henry i sar., 2015), koje sugerišu da umerena zamena ribljev brašna insektima ne remeti funkciju antioksidativnih enzima, dok proteinski obroci insekata mogu sadržati bioaktivne komponente poput polifenola i kratkih lanaca masnih kiselina, doprinoseći stabilnosti antioksidativnog sistema (Gasco i sar., 2018).

Iako se evropski brancin i kalifornijska pastrmka razlikuju po ekološkom režimu i metabolizmu, trendovi u antioksidativnom odgovoru mogu poslužiti kao okvir za razumevanje efekata zamene ribljev brašna insektima. U našem istraživanju, gde je riblje brašno potpuno zamenjeno brašnom larvi velikog brašnara, zabeležena je značajno niža aktivnost SOD u poređenju

sa ribljim brašnom, dok aktivnosti CAT nisu značajno varirale. Aktivnost GPx bila je značajno viša kod riba hranjenih brašnom larvi velikog brašnara. Slične promene su opisane i kod drugih vrsta riba hranjenih insektima (Kroeckel i sar., 2012), što govori da potpuna zamena proteina izaziva adaptivne reakcije antioksidativnog sistema, zavisno od vrste proteina i ribe. Dok umerena zamena BSF obrokom ne remeti ključne enzime, potpuna zamena brašnom larvi kod kalifornijske pastrmke smanjuje SOD, ali povećava GPx, ukazujući na specifičnu regulaciju antioksidativnih mehanizama jetre.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu realizovanih istraživanja i analize prikupljenih podataka, su izdvojeni ključni zaključci koji doprinose daljem razumevanju odabrane teme doktorske disertacije. Teze koje slede u nastavku predstavljaju sažet prikaz najvažnijih rezultata sva tri realizovana eksperimenta.

U tank sistemu sprovedeno je istraživanje na šaranu sa ciljem da se ispita uticaj potpune zamene ribljeg brašna (HFM) alternativnim izvorima proteina životinjskog porekla na proizvodne karakteristike i antioksidativni status kod ove riblje vrste. Tokom trajanja eksperimenta, šarani su bili hranjeni isključivo eksperimentalnim formulacijama hrane, pri čemu je eliminisana mogućnost konzumacije bilo kakve druge hrane. Kao potencijalne zamene korišćeno je brašno kalifornijske gliste (HEF), brašno larvi velikog brašnara (HTM) i brašno zooplanktona (HZO).

Rezultati eksperimenta sa šaranom u tank sistemu, pokazali su da je značajno najveći prirast (BWG), specifična stopa rasta (SGR), koeficijent rasta za termičku jedinicu (TGC) i metabolička stopa rasta (MGR_{MBW}) ostvarena kod riba hranjenih hranom gde je nosilac proteinskog dela obroka brašno larvi velikog brašnara. Ista eksperimentalna grupa je ostvarila i najnižu vrednost koeficijenta konverzije hrane (FCR) što ukazuje na efikasniju konverziju hrane u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. Hranjenje riba eksperimentalnim hranama nije imala značajan uticaj na sledeće parametre: stopa preživljavanja (SR), kondicioni faktor (CF), hepatosomatski indeks (HSI) i viscelarni indeks (VSI), s obzirom da nisu utvrđene statistički značajne razlike. Najveći utrošak hrane po ribi (FI) utvrđena je kod eksperimentalne grupe hranjene HZO, dok je prosečna vrednost ovog parametra kod ostalih grupa iznosila 0,56. Eksperimentalne hrane imale su pozitivan efekat na parametre, kao što su: dnevno učešće hrane (DFR), koeficijent iskoristivosti hrane (FER) i potrebna svarljiva energija (DEN).

Segment istraživanja usmeren na procenu uticaja eksperimentalnih formulacija hrane na aktivnost antioksidativnih enzima kod šarana, u tank sistemu, pokazao je da različite formulacije hrane nisu imale statistički značajan efekat na aktivnost superoksid-dismutaze (SOD), što sugeriše stabilnost ovog enzima bez obzira na formulaciju hrane. Odsustvo značajnih efekata na SOD ukazuje na njegovu stabilnost prema promenama u hranama sa različitim izvorima proteina. Za razliku od SOD, grupa riba hranjena kontrolnom hranom (sa ribljim brašnom) imala je značajno najveći uticaj na aktivnost katalaze (CAT) u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. Najniža aktivnost glutation-peroksidaze (GPx) utvrđena je kod riba hranjenih HTM, pri čemu je ova grupa pokazala statistički značajnu razliku u odnosu na sve ostale eksperimentalne grupe. Aktivnost GPx kod riba hranjenih HFM bila je značajno niža u poređenju sa grupama HEF i HZO, dok između HEF i HZO nije utvrđena statistički značajna razlika. U pogledu glutation-S-transferaze (GST), najviša aktivnost zabeležena je kod grupe HFM, sa statistički značajnom razlikom u odnosu na HZO. Grupe HEF i HTM nisu se značajno razlikovale od HFM. Pored toga, značajno viša aktivnost GST utvrđena je kod riba hranjenih HTM u poređenju sa HZO, dok razlika između HEF i HZO nije bila statistički značajna. Ovi rezultati ukazuju da formulacije HFM i HZO najefikasnije doprinose održavanju enzimskog balansa kod šarana, čime se podržava optimizacija nutritivnih režima u cilju smanjenja oksidativnog stresa u akvakulturi.

U okviru dodatnog istraživanja, sproveden je eksperiment sa ciljem da se ispita efekat zamene ribljeg brašna alternativnim izvorima proteina u uslovima kaveznog sistema za gajenje šarana. Za razliku od prethodnog istraživanja koje je realizovano u laboratorijskim uslovima, ribe u kaveznom sistemu imale su pristup ne samo eksperimentalnoj hrani, već i prirodnoj hrani prisutnoj u jezerskom ekosistemu. Pored toga, bile su izložene spoljašnjim faktorima kao što su atmosferske promene, varijacije temperature vode i promena koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi. Rezultati dobijeni

u ovom eksperimentu pokazali su da nije postojala značajna razlika u BWG, SGR, TGC, FER, FCR, DEN, MGR_{MBW}, SR i CF. Značajne razlike nisu utvrđene ni kod somatskih indeksa HSI i VSI. Značajne razlike su pronađene kod DFR, PI i FI između eksperimentalnih grupa hranjene HFM i HZO.

Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima pokazala je da je eksperimentalna grupa hranjena HEF imala statistički značajan uticaj na povećanje aktivnosti SOD u poređenju sa ostalim eksperimentalnim grupama. Preostale tri eksperimentalne grupe se nisu međusobno statistički značajno razlikovale u aktivnosti SOD.

Najviše aktivnosti CAT i GST su izmerene kod jedinki hranjenih HEF, pri čemu su razlike bile statistički značajne. S druge strane, najviša aktivnost GPx utvrđena je kod grupe hranjene HZO, takođe uz statistički značajnu razliku u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. Ovi nalazi ukazuju na superiornost HEF formulacije za pojačavanje više antioksidativnih enzima (SOD, CAT, GST) u uslovima kaveznog gajenja, verovatno zbog sinergije sa prirodnom hranom i adaptacije na moguće stresore prisutne u životnoj sredini. Grupa HZO, s druge strane, favorizuje GPx, što sugerise selektivnu regulaciju selenozavisnih puteva. Rezultati podržavaju HEF kao optimalnu za smanjenje oksidativnog stresa u poluintenzivnoj akvakulturi šarana. Poređenje rezultata kod šarana iz tank sistema sa onima iz kaveznog sistema pokazuje ključne razlike u odgovoru antioksidativnih enzima na iste formulacije hrane, uglavnom zbog kontrolisane laboratorijske sredine naspram dejstva složenih spoljašnjih faktora (prirodna hrana, temperatura, kiseonik). Ovi nalazi ukazuju na neophodnost validacije laboratorijskih rezultata u kaveznim uslovima kako bi se optimizovala hrana za smanjenje oksidativnog stresa kod šarana.

Na osnovu dobijenih rezultata iz dva eksperimenta, u različitim uslovima, može se zaključiti da brašno kalifornijske gliste, brašno larvi velikog brašnara i brašno zooplanktona predstavljaju potencijalno dobru zamenu za riblje brašno u komercijalnoj hrani za šarana.

Eksperiment sproveden na kalifornijskoj pastrmci realizovan je u tank sistemu, pri čemu su jedinke bile isključivo hranjene eksperimentalnim hranama, bez pristupa prirodnim izvorima ishrane. Nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa hranjenih smešama sa ribljim brašnom, brašnom larvi velikog brašnara i brašnom kalifornijske gliste u većini izračunatih parametara. Međutim, navedene tri grupe značajno su se razlikovale od grupe hranjene HZO u sledećim proizvodnim i nutritivnim pokazateljima: BWG, SGR, TGC, FER, FCR, PI, FI, DEN i MGR_{MBW}. Eksperimentalne hrane nisu imale značajan uticaj na preživljavanje riba. Najviša vrednost faktora kondicije je utvrđena kod riba hranjenih HTM, koja se značajno razlikuje od HEF i HZO, ali bez značajnih razlika u odnosu na grupu hranjenu HFM. Riba hranjena HZO imale su značajno nižu vrednost CF od grupe koja je hranjena HFM, značajna razlika između ove dve grupe je postojala i za parametar DFR, dok se HEF i HTM nisu razlikovale od riba hranjenih HFM i HZO u pogledu CF i DFR. Eksperimentalne hrane nisu imale značajan uticaj na somatske indekse HSI i VSI.

Rezultati analize antioksidativnih enzima pokazali su da je najviša aktivnost SOD zabeležena kod jedinki iz kontrolne grupe što ukazuje na svojstvenu otpornost bazalne hrane u kontrolisanim uslovima. Ova grupa se statistički značajno razlikovala od grupa hranjenih HEF i HTM, dok razlika u odnosu na grupu hranjenu HZO nije bila statistički značajna. Aktivnost CAT bila je značajno niža kod riba hranjenih HEF i HZO u poređenju sa grupama HFM i HTM, dok između grupa HTM i HFM nije bilo statistički značajnih razlika, sugerišući da HFM formulacija optimalno podržava katalazni put, dok HEF i HZO smanjuju CAT kapacitet u odnosu na HFM. Najniža aktivnost GPx je zabeležena kod kontrolne grupe, dok je najniža aktivnost GST registrovana kod riba hranjenih HTM, naglašavajući selektivnu modulaciju ovih enzima specifičnim hranama. Smanjena GPx u kontroli i niska GST kod grupe HTM sugerisu potrebu za daljom optimizacijom formulacija radi uravnoteženja

antioksidativnog sistema kod kalifornijske pastrmke u intenzivnoj akvakulturi, posebno za prevenciju oksidativnog stresa u laboratorijskim okruženjima.

Cyprinidae (porodica šarana) pokazuju fleksibilniji odgovor na suplementaciju u kompleksnim uslovima, dok Salmonidae (porodica pastrmki) zahtevaju bazalnu stabilnost u kontrolisanom okruženju, što dovodi do potrebe za vrstu specifičnu validaciju laboratorijskih protokola u tzv. poljskim sistemima kako bi se optimizovale hrane za smanjenje oksidativnog stresa u akvakulturi.

Ishrana kalifornijske pastrmke HTM i HEF dovela je do smanjenja odnosa masnih kiselina n-3/n-6 u poređenju sa grupom hranjenom ribljim brašnom (HFM). Suprotno tome, dodatak zooplanktona (HZO) rezultirao je povećanjem pomenutog odnosa, što ukazuje na povoljniji lipidni profil u toj grupi.

Rezultati senzorne analize pokazali su da fileti riba hranjenih HTM i HEF pripadaju kategoriji „vrlo dobar“ u okviru prosečnog kvaliteta, dok su fileti iz grupe hranjene HZO ocenjeni kao „dobri“. Bez obzira na razlike u oceni kvaliteta, svi analizirani uzorci pokazali su zadovoljavajući stepen prihvatljivosti kod potrošača.

Na osnovu dobijenih rezultata u istraživanju na kalifornijskoj pastrmci, zamena ribljeg brašna HTM i HEF u hrani za ribu imala je pozitivan uticaj na proizvodne parametre, sastav masnih kiselina, senzorni profil i prihvatanje proizvoda od strane potrošača. S obzirom na ostvarene rezultate, HTM i HEF se mogu smatrati potencijalno efikasnim i održivim zamenama za riblje brašno u formulaciji komercijalne hrane za kalifornijsku pastrmku.

7. LITERATURA

Abo-Taleb, H. A., Mabrouk, M. M., El-Tabakh, M. a. M., Abdelzaher, O. F., Nabeeh, A., Elokaby, M. A., Ashour, M., Sallam, A. E., Mansour, A. T., & El-feky, M. M. M. (2024). The potential use of daphnia meal as substitute for fishmeal in diets of hybrid red tilapia affects growth performance, activities of digestive enzymes, antioxidant, immune status and intestinal histological parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 108(3), 752–763. <https://doi.org/10.1111/jpn.13925>

Abo-Taleb, H., El-Feky, M., Azab, A., Mabrouk, M., Elokaby, M., Ashour, M., Mansour, A., Abdelzaher, O., Abualnaja, K., & Sallam, A. (2021a). Growth Performance, Feed Utilization, Gut Integrity, and Economic Revenue of Grey Mullet, *Mugil cephalus*, Fed an Increasing Level of Dried Zooplankton Biomass Meal as Fishmeal Substitutions. *Fishes*, 6(3), 38. <https://doi.org/10.3390/fishes6030038>

Abo-Taleb, H. A., Ashour, M., Elokaby, M. A., Mabrouk, M. M., El-Feky, M. M. M., Abdelzaher, O. F., Gaber, A., Alsanie, W. F., & Mansour, A. T. (2021b). Effect of a New Feed *Daphnia magna* (Straus, 1820), as a Fish Meal Substitute on Growth, Feed Utilization, Histological Status, and Economic Revenue of Grey Mullet, *Mugil cephalus* (Linnaeus 1758). *Sustainability*, 13(13), 7093. <https://doi.org/10.3390/su13137093>

Abo-Taleb, H. A., Zeina, A. F., Ashour, M., Mabrouk, M. M., Sallam, A. E., & El-Feky, M. M. M. (2020a). Isolation and cultivation of the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (Linnaeus, 1758), with an evaluation of its chemical and nutritional content. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(2), 69–82. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.78232>

Abo-Taleb, H., Ashour, M., El-Shafei, A., Alataway, A., & Maaty, M. M. (2020b). Biodiversity of Calanoida copepoda in different habitats of the North-Western Red Sea (Hurghada Shelf). *Water*, 12(3), 656. <https://doi.org/10.3390/w12030656>

Afonso, P., Fontes, J., Holland, K., & Santos, R. (2007). Social status determines behaviour and habitat usage in a temperate parrotfish: implications for marine reserve design. *Marine Ecology Progress Series*, 359, 215–227. <https://doi.org/10.3354/meps07272>

Aguilar-Miranda, E. D., López, M. G., Escamilla-Santana, C., & De La Rosa, A. P. B. (2001). Characteristics of Maize Flour Tortilla Supplemented with Ground *Tenebrio molitor* Larvae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 192–195. <https://doi.org/10.1021/jf010691y>

Ahmed, A. R., Eissa, S. H., Shafi, E. M., Aly, Y. M. M., & Al-Kareem, A. M. O. (2020). Influence of replacement of fish meal with the earthworm *Eisenia fetida* on growth performance, feed utilization and blood parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture and Marine Biology*, 9(2), 45–52.

Ahmad, S. (1995). Oxidative stress from environmental pollutants. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 29(2), 135–157. <https://doi.org/10.1002/arch.940290205>

Alanära, A., Kadri, S., & Paspatis, M. (2001). Feeding management. In D. Houlihan, M. Jobling, & T. Boujard (Eds.), *Food intake in fish* (pp. 332–353). Blackwell Science.

Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., & Jimoh, W. (2011). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African

catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, 43(3), 412–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x>

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2021). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>

Alghada, D. , Ebrahimi Dorche, E. , Keivany, Y. and Jalali, A. (2023). Evaluation of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, *Insecta*, *Tenebrionidae*) meal as a dietary protein source in Asian Seabass (*Lates calcarifer*) based on growth and some biochemical parameters. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 22(3), 566-587. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2023.129339>

Alscher, R. G. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1331–1341. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1331>

Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17), 7915–7922. <https://doi.org/10.1073/pnas.90.17.7915>

Anton-Pardo, M., & Adámek, Z. (2015). The role of zooplankton as food in carp pond farming: a review. *Journal of Applied Ichthyology*, 31, 7–14. <https://doi.org/10.1111/jai.12852>

Araki, H., Berejikian, B. A., Ford, M. J., & Blouin, M. S. (2008). Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evolutionary Applications*, 1(2), 342–355. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2008.00026.x>

Arulampalam, P., Yusoff, F. M., Shariff, M., Law, A. T., & Rao, P. S. S. (1998). Water quality and bacterial populations in a tropical marine cage culture farm. *Aquaculture Research*, 29(9), 617–624. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1998.00248.x>

Ashley, P. J. (2006). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3–4), 199–235. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.001>

Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., Alzahrani, O. M., Mahmoud, S. F., El-Feky, M. M. M., Shaban, W. M., & Mansour, A. T. (2021). Valorization Use of Amphipod Meal, *Gammarus pulex*, as a Fishmeal Substitute on Growth Performance, Feed Utilization, Histological and Histometric Indices of the Gut, and Economic Revenue of Grey Mullet. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>

Ashour, M., Elshobary, M. E., El-Shenody, R., Kamil, A., & Abomohra, A. E. (2018). Evaluation of a native oleaginous marine microalga *Nannochloropsis oceanica* for dual use in biodiesel production and aquaculture feed. *Biomass and Bioenergy*, 120, 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.12.009>

Atli, G., & Canli, M. (2007). Enzymatic responses to metal exposures in a freshwater fish *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology & Pharmacology*, 145(2), 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.12.012>

Aussanasuwannakul, A., Kenney, P. B., Brannan, R. G., Slider, S. D., Salem, M., & Yao, J. (2010). Relating Instrumental Texture, Determined by Variable-Blade and Allo-Kramer Shear

Attachments, to Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fillets. *Journal of Food Science*, 75(7). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01770.x>

Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 1–31. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>

Baeza-Rojano, E., Hachero-Cruzado, I., & Guerra-García, J. M. (2013). Nutritional analysis of freshwater and marine amphipods from the Strait of Gibraltar and potential aquaculture applications. *Journal of Sea Research*, 85, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.09.007>

Bakos J. & Gorda, S. (2001). Genetic resources of common carp at the Fish Culture Research Institute, Szarvas, Hungary, FAO Fisheries Technical Paper No. 417 , Rome, FAO.2001.106p.

Balon, E.K. (2006). The oldest domesticated fishes , and the consequences of an epigenetic dichotomy in fish culture. *J. Ichthyol. Aquat. Biol.*, 11, 47-86

Balon, E. K. (2004). About the oldest domesticates among fishes. *Journal of Fish Biology*, 65(s1), 1–27. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00563.x>

Balon, E. K. (1995). Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture*, 129(1–4), 3–48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00227-f](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00227-f)

Bănărescu, P., & Coad, B. W. (1991). Cyprinids of Eurasia. In I. J. Winfield & J. S. Nelson (Eds.), *Cyprinid fishes: Systematics, biology, and exploitation* (pp. 127–155). Chapman and Hall.

Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M., Segura, M., Morote, E., Torres, A., Ramos, R., & Guil, J. (2017). Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.008>

Barrows, F. T., Bellis, D., Krogdahl, S., Silverstein, J. T., Herman, E. M., Sealey, W. M., Rust, M. B., & Gatlin, D. M. (2008). Report of the Plant Products in Aquafeed Strategic Planning Workshop: An Integrated, Interdisciplinary Research Roadmap for Increasing Utilization of Plant Feedstuffs in Diets for Carnivorous Fish. *Reviews in Fisheries Science*, 16(4), 449–455. <https://doi.org/10.1080/10641260802046734>

Basto, A., Calduch-Giner, J., Oliveira, B., Petit, L., Sá, T., Maia, M. R. G., Fonseca, S. C., Matos, E., Pérez-Sánchez, J., & Valente, L. M. P. (2021). The Use of Defatted *Tenebrio molitor* Larvae Meal as a Main Protein Source Is Supported in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) by Data on Growth Performance, Lipid Metabolism, and Flesh Quality. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.659567>

Bauer, C., & Schlott, G. (2004). Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility—measurement of activity by radio telemetry. *Aquaculture*, 241(1–4), 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.010>

Beg, M. M., Mandal, B., & Moulick, S. (2016). Potential of earthworm meal as a replacement of fish meal for Indian major carps. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(3), 357–361.

Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., & Gasco, L. (2015). *Tenebrio Molitor* Meal in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14(4), 4170. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170>

Belghit, I., Liland, N. S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., & Lock, E. (2018). Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 491, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016>

Bell JG & Waagbo R (2008) Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of alternative sustainable aquafeeds. In: Holmer M, Black K, Duarte CM C, Marba N & Karakassis I (eds.) *Aquaculture in the Ecosystem*. Netherlands: Springer Verlag BV, pp. 185-225. <http://www.springerlink.com/content/w31w65466606m218/>

Bell, J. G., Henderson, R. J., Tocher, D. R., & Sargent, J. R. (2004). Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: Modification of flesh fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using a fish oil finishing diet. *Lipids*, 39(3), 223–232. <https://doi.org/10.1007/s11745-004-1223-5>

Bell, J., & Sargent, J. R. (2003). Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture*, 218(1–4), 491–499. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00370-8](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00370-8)

Belluco, S., Halloran, A., & Ricci, A. (2017). New protein sources and food legislation: the case of edible insects and EU law. *Food Security*, 9(4), 803–814. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0704-0>

Belošević, S. D., Milinčić, D. D., Gašić, U. M., Kostić, A. Ž., Salević-Jelić, A. S., Marković, J. M., Đorđević, V. B., Lević, S. M., Pešić, M. B., & Nedović, V. A. (2024). Broccoli, amaranth, and red beet microgreen juices: the influence of Cold-Pressing on the phytochemical composition and the antioxidant and sensory properties. *Foods*, 13(5), 757. <https://doi.org/10.3390/foods13050757>

Benzertiha, A., Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, A., Kozłowski, K., Jankowski, J., & Józefiak, D. (2019). *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* Full-Fat Meals in Broiler Chicken Diets: Effects on Nutrients Digestibility, Digestive Enzyme Activities, and Cecal Microbiome. *Animals*, 9(12), 1128. <https://doi.org/10.3390/ani9121128>

Biancarosa, I., Sele, V., Belghit, I., Ørnsrud, R., Lock, E., & Amlund, H. (2019). Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet. *Food Additives & Contaminants Part A*, 36(8), 1191–1205. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1619938>

Biasato, I., De Marco, M., Rotolo, L., Renna, M., Lussiana, C., Dabbou, S., Capucchio, M. T., Biasibetti, E., Costa, P., Gai, F., Pozzo, L., Dezzutto, D., Bergagna, S., Martínez, S., Tarantola, M., Gasco, L., & Schiavone, A. (2016). Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(6), 1104–1112. <https://doi.org/10.1111/jpn.12487>

Blagojević, D. P., & Grubor-Lajšić, G. (2000). Multifunctionality of antioxidant system in insects. *Archives of Biological Sciences*, 52(4), 185–194.

Blanchard, J. L., Watson, R. A., Fulton, E. A., Cottrell, R. S., Nash, K. L., Bryndum-Buchholz, A., Büchner, M., Carozza, D. A., Cheung, W. W. L., Elliott, J., Davidson, L. N. K., Dulvy, N. K., Dunne, J. P., Eddy, T. D., Galbraith, E., Lotze, H. K., Maury, O., Müller, C., Tittensor, D. P., & Jennings, S. (2017). Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 1240–1249. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0258-8>

Bogut, I., Adamek, Z., Puskadija, D., Galovic, D., & Bodakos, D. (2010). Nutritional value of planktonic cladoceran *Daphnia magna* for common carp (*Cyprinus carpio*) fry feeding. *Croatian Journal of Fisheries*, 68(1), 1–10.

Bogut, I., Horvat, L., Adamek, Z., Katavić, I. (2006): Ribogojstvo. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 523 str.

Böhm, M., Schultz, S., Koussoroplis, A., & Kainz, M. J. (2014). Tissue-Specific Fatty Acids Response to Different Diets in Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). *PLoS ONE*, 9(4), e94759. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094759>

Bohnes, F. A., Hauschild, M. Z., Schlundt, J., & Laurent, A. (2018). Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1061–1079. <https://doi.org/10.1111/raq.12280>

Bolorunduro, P. I., & Abdullah, A. Y. (1996). *Water quality management in fish culture* (Extension Bulletin No. 98). National Agricultural Extension and Research Liaison Services.

Bolt, H. M. (1996). Human GSH-Transferase in risk assessment. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 405–409. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9480-9_49

Borchert, A., Wang, C. C., Ufer, C., Schiebel, H., Savaskan, N. E., & Kuhn, H. (2006). The role of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase isoforms in murine embryogenesis. *Journal of Biological Chemistry*, 281(28), 19655–19664. <https://doi.org/10.1074/jbc.m601195200>

Borgogno, M., Dinnella, C., Iaconisi, V., Fusi, R., Scarpaleggia, C., Schiavone, A., Monteleone, E., Gasco, L., & Parisi, G. (2017). Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(10), 3402–3411. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8191>

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of Protein-Dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>

Britton, J. R., Boar, R. R., Grey, J., Foster, J., Lugonzo, J., & Harper, D. M. (2007). From introduction to fishery dominance: the initial impacts of the invasive carp *Cyprinus carpio* in Lake Naivasha, Kenya, 1999 to 2006. *Journal of Fish Biology*, 71(sd), 239–257. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01669.x>

Buonocore, G., Perrone, S., & Tataranno, M. L. (2010). Oxygen toxicity: chemistry and biology of reactive oxygen species. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, 15(4), 186–190. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2010.04.003>

Burr, G. S., Wolters, W. R., Barrows, F. T., & Hardy, R. W. (2012). Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 334–337, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.044>

Burrells, C., Williams, P., Southgate, P., & Crampton, V. (1999). Immunological, physiological and pathological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentrations of soybean proteins. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 72(3–4), 277–288. [https://doi.org/10.1016/s0165-2427\(99\)00143-9](https://doi.org/10.1016/s0165-2427(99)00143-9)

Buyukcapar H. M., Kamalak, A. (2006): Raw and heat-treated culban (*Vicia peregrina*) seed as protein source for mirror carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *South African Journal of Animal Science* 36, 235–242.

Byambas, P., Hornick, J. L., Marlier, D., & Francis, F. (2019). Vermiculture in animal farming: A review on the biological and nonbiological risks related to earthworms in animal feed. *Sustainable Environment*, 5(1), 1591328. <https://doi.org/10.1080/23311843.2019.1591328>

Cadenas, E. (1989). BIOCHEMISTRY OF OXYGEN TOXICITY. *Annual Review of Biochemistry*, 58(1), 79–110. <https://doi.org/10.1146/annurev.bi.58.070189.000455>

Caimi, C., Gasco, L., Biasato, I., Malfatto, V., Varello, K., Prearo, M., Pastorino, P., Bona, M. C., Francese, D. R., Schiavone, A., Elia, A. C., Dörr, A. J. M., & Gai, F. (2020). Could Dietary *Black Soldier Fly* Meal Inclusion Affect the Liver and Intestinal Histological Traits and the Oxidative Stress Biomarkers of Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*) Juveniles? *Animals*, 10(1), 155. <https://doi.org/10.3390/ani10010155>

Cappelozza, S., Leonardi, M. G., Savoldelli, S., Carminati, D., Rizzolo, A., Cortellino, G., Terova, G., Moretto, E., Badaile, A., Concheri, G., Saviane, A., Bruno, D., Bonelli, M., Caccia, S., Casartelli, M., & Tettamanti, G. (2019). A First Attempt to Produce Proteins from Insects by Means of a Circular Economy. *Animals*, 9(5), 278. <https://doi.org/10.3390/ani9050278>

Chan, L. I., Qi-You, X. U., Hong, X. U., and Zhang, T. Q. (2008). Effects of different feed additives on immunity and antioxidation on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *J. Anhui Agric. Univ.* 35, 456–461. doi: 10.1007/s11676-008-0012-9

Cheban, L., Grynko, O., & Marchenko, M. (2017). Nutritional value of *Daphnia magna* (Straus, 1820) under conditions of co-cultivation with fodder microalgae. *Biolohichni Systemy*, 9(2), 166–170. <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.02.166>

Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., Enes, P., Biasato, I., Schiavone, A., Gai, F., & Gasco, L. (2020). Partially Defatted *Tenebrio molitor* Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic Responses. *Animals*, 10(2), 229. <https://doi.org/10.3390/ani10020229>

Chen, H., Yu, J., Ran, X., Wu, J., Chen, Y., Tan, B., & Lin, S. (2023). Effects of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) on Growth Performance, Hepatic Health and Digestibility in Juvenile Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*). *Animals*, 13(8), 1389. <https://doi.org/10.3390/ani13081389>

- Chen, J., & Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>
- Chen, Y., Liu, Y., Yang, H., Yuan, Y., Liu, F., Tian, L., Liang, G., & Yuan, R. (2012). Effect of dietary oxidized fish oil on growth performance, body composition, antioxidant defence mechanism and liver histology of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*. *Aquaculture Nutrition*, 18(3), 321–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00900.x>
- Chistiakov, D., & Voronova, N. (2009). Genetic evolution and diversity of common carp *Cyprinus carpio* L. *Open Life Sciences*, 4(3), 304–312. <https://doi.org/10.2478/s11535-009-0024-2>
- Chiu, S., Shiu, Y., Wu, T., Lin, Y., & Liu, C. (2015). Improvement in non-specific immunity and disease resistance of barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), by diets containing *Daphnia similis* meal. *Fish & Shellfish Immunology*, 44(1), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.02.002>
- Chowdhury, S., & Saikia, S. K. (2020). Oxidative stress in Fish: a review. *Journal of Scientific Research*, 12(1), 145–160. <https://doi.org/10.3329/jsr.v12i1.41716>
- Claiborne, A. (1985): Catalase activity, in: Greenwald, R.A., (Eds.), *CRC Handbook of Methods. for Oxygen Radical Research*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 283–284.
- Coad, B. W. (2003). “Trout and Salmon of North America” by Robert J. Behnke. 2002. [book review]. *The Canadian Field-Naturalist*, 117(2), 318. <https://doi.org/10.22621/cfn.v117i2.710>
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R., & Paoletti, M. G. (2005). House cricket small-scale farming. In M. G. Paoletti (Ed.), *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers. 519–544.
- Craft, C. D., Ross, C., Sealey, W. M., Gaylord, T. G., Barrows, F. T., Fornshell, G., & Myrick, C. A. (2016). Growth, proximate composition, and sensory characteristics of Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* consuming alternative proteins. *Aquaculture*, 459, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.039>
- Crawford, S. S., & Muir, A. M. (2007). Global introductions of salmon and trout in the genus *Oncorhynchus*: 1870–2007. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(3), 313–344. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9079-1>
- Crivelli, A. J. (1981). The biology of the common carp, *Cyprinus carpio* L. in the Camargue, southern France. *Journal of Fish Biology*, 18(3), 271–290. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb03769.x>
- Ćirković, M., Ljubijević, D., Novakov, N., & Đorđević, V. (2015). *Gajenje i kvalitet mesa šaranskih riba*. Naučni institut za veterinarstvo Novi Sad.
- Ćirković, M., Jovanović, B., & Maletin, S. (2002). *Ribarstvo: Biologija – tehnologija – ekologija – ekonomija*. Poljoprivredni fakultet.
- D’Agaro, E., Gibertoni, P., & Esposito, S. (2022). Recent Trends and Economic Aspects in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Sector. *Applied Sciences*, 12(17), 8773. <https://doi.org/10.3390/app12178773>

D'Souza, N., Skonberg, D. I., Stone, D. a. J., & Brown, P. B. (2006). Effect of soybean meal-based diets on the product quality of rainbow trout fillets. *Journal of Food Science*, 71(4). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00018.x>

Dabbou, S., Gai, F., Biasato, I., Capucchio, M. T., Biasibetti, E., Dezzutto, D., Meneguz, M., Plachà, I., Gasco, L., & Schiavone, A. (2018). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology/Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>

Das, S. J., Ravikanth, V. V., & Sujatha, M. (2010). Nitric oxide as a major risk factor for oxidative stress in coronary artery disease: A preliminary investigation. *Science and Culture*, 76(5–6), 174–175.

Dawood, M. A. (2020). Nutritional immunity of fish intestines: important insights for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 642–663. <https://doi.org/10.1111/raq.12492>

De Silva, S. S. (1993). Supplemental feeding in semi-intensive aquaculture systems. In M. B. New, A. G. J. Tacon, & I. Csavas (Eds.), *Farm-made aquafeeds: Proceedings of the FAO/AADCP Regional Expert Consultation on Farm-Made Aquafeeds, Bangkok, Thailand, 14–18 December 1992* (pp. 24–60). FAO-RAPA/AADCP

De Lima, J. S., Pittaluga, M. L., De Menezes Lovatto, N., Veiverberg, C. A., Borille, R., & Lazzari, R. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*) potential in fish nutrition: a review. *Research Society and Development*, 10(16), e269101623229. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23229>

Delfosse, C., Bienboire-Frosini, C., Chabaud, C., Lafont-Lecuelle, C., Cozzi, A., & Pageat, P. (2016). Using physiological and zootechnical profiles to evaluate welfare in farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) under stressful conditions. *Aquaculture International*, 24(5), 1449–1457. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0004-2>

Dernekbaşı, S., & Karayücel, İ. (2023). Impact of *Tenebrio molitor* larvae meal substituted for fish meal in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Growth performance and feed efficiency. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*. <https://doi.org/10.52998/trjmms.1294701>

Dernekbası, S. (2012). Digestibility and Liver Fatty Acid Composition of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed by Graded Levels of Canola Oil. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(1). https://doi.org/10.4194/1303-2712-v12_1_13

Devaa, J. W., Nithaniyal, S., Panneerselvam, V., & Uthandakalaipandian, R. (2023). Origin and History of Introduction of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) Stocks in Southern India As Inferred From Y-linked Marker. *Asian Fisheries Science*, 36(2). <https://doi.org/10.33997/j.afs.2023.36.2.003>

Ding, J., Liu, P., Li, J., Wang, Q., Chen, P., & Gao, B. (2013). Comparison of nonspecific immunity and the activities of antioxidant enzymes in different populations of *Charybdis japonica*. *JOURNAL OF FISHERIES OF CHINA*, 37(2), 275. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1231.2013.38145>

Domaizon, I., Desvillettes, C., Debroas, D., & Bourdier, G. (2000). Influence of zooplankton and phytoplankton on the fatty acid composition of digesta and tissue lipids of silver carp: mesocosm experiment. *Journal of Fish Biology*, 57(2), 417–432. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb02181.x>

Dong, C., Xu, J., Wang, B., Feng, J., Jeney, Z., Sun, X., & Xu, P. (2015). Phylogeny and Evolution of Multiple Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) Populations Clarified by Phylogenetic Analysis Based on Complete Mitochondrial Genomes. *Marine Biotechnology*, 17(5), 565–575. <https://doi.org/10.1007/s10126-015-9639-7>

Dragojlović, D., Đuragić, O., Pezo, L., Popović, L., Rakita, S., Tomičić, Z., & Spasevski, N. (2022). Comparison of Nutritional Profiles of Super Worm (*Zophobas morio*) and Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) as Alternative Feeds Used in Animal Husbandry: Is Super Worm Superior? *Animals*, 12(10), 1277. <https://doi.org/10.3390/ani12101277>

Dröge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82(1), 47–95. <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2001>

Du, Z., Tian, L., Liang, G., & Liu, Y. (2009). Effect of Dietary Energy to Protein Ratios on Growth Performance and Feed Efficiency of Juvenile Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). *The Open Fish Science Journal*, 2(1), 25–31. <https://doi.org/10.2174/1874401x00902010025>

Dulić, Z., Živić, I., Pergal, M., Živić, M., Stanković, M., Manojlović, D., & Marković, Z. (2018). Accumulation and seasonal variation of toxic and trace elements in tissues of *Cyprinus carpio* from semi-intensive aquaculture ponds. *Annales De Limnologie - International Journal of Limnology*, 54, 4. <https://doi.org/10.1051/limn/2017036>

Dulić, Z., Stanković, M., Rašković, B., Spasić, M., Ćirić, M., Grubišić, M., & Marković, Z. (2011). Role and significance of zooplankton in semi-intensive carp production. In *Proceedings of the 5th International Conference "Aquaculture & Fishery"* (pp. 66–71).

Dynes, R. A. (2003). *Earthworms: Technology information to enable the development of earthworm production* (RIRDC Publication No. 03/085, pp. 1–33). Kingston, Australia: Rural Industries Research and Development Corporation.

Đorđević, N., Grubić, G., Makević, M., & Jokić, Ž. (2009). *Ishrana domaćih i gajenih životinja* (str. 566). Beograd: Poljoprivredni fakultet.

Guerreiro, I., Castro, C., Serra, C. R., Coutinho, F., Couto, A., Peres, H., Pousão-Ferreira, P., Corraze, G., Oliva-Teles, A., & Enes, P. (2023). Feeding Yellow Worms to Meagre: Effects on Whole-Body Fatty acid profile and hepatic and intestine oxidative status. *Antioxidants*, 12(5), 1031. <https://doi.org/10.3390/antiox12051031>

Eaton, D. L., & Bammler, T. K. (1999). Concise review of the glutathione S-transferases and their significance to toxicology. *Toxicological Sciences*, 49(2), 156–164. <https://doi.org/10.1093/toxsci/49.2.156>

Edwards, C. A., & Fletcher, K. (1988). Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 24(1–3), 235–247. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90069-2)

Edwards, C. A. (1985). Production of feed protein from animal waste by earthworms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 310(1144), 299–307. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0120>

El-Beltagi, H. S., & Mohamed, H. I. (2013). Reactive oxygen species, lipid peroxidation and antioxidative defense mechanism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 44. <https://doi.org/10.15835/nbha4118929>

El-Feky, M. M. M., & Abo-Taleb, H. (2020). Effect of feeding with different types of nutrients on intensive culture of the water flea, *Daphnia magna* Straus, 1820. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(1), 655–666. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.76554>

El-Ouny, Y. M., Maulu, S., Zaki, M. A., Helaly, A. A., Nour, A. a. M., ElBasuini, M. F., Labib, E. M., Khalil, R. H., Gouda, A. H., Hessein, A. A., Verdegem, M., & Khalil, H. S. (2023). Effect of fishmeal replacement with dried red wigglers (*Eisenia fetida*) worm meal on growth and feed utilization, production efficiency, and serum biochemistry in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Aquaculture Reports*, 29, 101518. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101518>

El-Regal, M. a. A., El-Wazeer, A., Elnaga, Z. S. A., & Amr, A. A. (2018). Composition and Spatio-Temporal Distribution of zooplankton community in the Egyptian Red Sea Coast at Hurghada. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 22(3), 1–12. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2018.8761>

European Commission. (2017). *Regulation (EU) No 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein*. *Official Journal of the European Union*. Retrieved February 12, 2019, from EUR-Lex website

European Parliament & Council. (2008). *Regulation (EC) No 762/2008 of 9 July 2008 on the submission by Member States of statistics on aquaculture and repealing Council Regulation (EC) No 788/96*. *Official Journal of the European Union*, L 218, 1–13. Retrieved from eur-lex.europa.eu

Fabrikov, D., Del Carmen Vargas-García, M., Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M. J., Ortíz, S. M. C., Morales, A. E., Cardenete, G., Tomás-Almenar, C., & Melenchón, F. (2021a). Effect on Intermediary Metabolism and Digestive Parameters of the High Substitution of Fishmeal with Insect Meal in *Sparus aurata* Feed. *Insects*, 12(11), 965. <https://doi.org/10.3390/insects12110965>

Fabrikov, D., Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M. J., Hidalgo, M. C., Cardenete, G., Tomás-Almenar, C., Melenchón, F., & Guil-Guerrero, J. L. (2021b). Effect of feeding with insect meal diet on the fatty acid compositions of sea bream (*Sparus aurata*), tench (*Tinca tinca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Aquaculture*, 545, 737170. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737170>

Fadaee, R. (2012). A review on earthworm *Eisenia fetida* and its applications. *Annals of Biological Research*, 3(5), 2500–2506.

Farag, F., Wally, Y., Daghsh, S., & Ibrahim, A. (2014). Some gross morphological studies on the internal anatomy of the scaled common carp fish (*Cyprinus carpio*) in Egypt. *Journal of Veterinary Anatomy*, 7(1), 15–29. <https://doi.org/10.21608/jva.2014.44724>

Fasakin, E., Serwata, R., & Davies, S. (2005). Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) diets. *Aquaculture*, 249(1–4), 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.059>

Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269–285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>

Flajšhans, M., & Hulata, G. (2007). Genetic effects of domestication, culture and breeding of fish and shellfish, and their impacts on wild populations of common carp (*Cyprinus carpio*). In T. Svasand, D. Crosetti, E. Garcia-Vazquez, & E. Verspoor (Eds.), *Genetic impact of aquaculture activities on native populations: Genimpact final scientific report* (EU contract No. RICA-CT-2005-022802, pp. 32–39).

Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5)

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024*. FAO eBooks. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Freccia, A., Tubin, J. S. B., Rombenso, A. N., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly approach or Commercial Reality? In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90489>

Fridovich, I. (1995). Superoxide radical and superoxide dismutases. *Annual Review of Biochemistry*, 64(1), 97–112. <https://doi.org/10.1146/annurev.bi.64.070195.000525>

Fulton, T. W. (1904): The rate of growth of fishes. Annual Report No. 22. Fisheries Board of Scotland, UK, pp. 141–241.

Fyhn, H. J., Finn, R. N., Helland, S., Rønnestad, I., & Lømsland, E. (1993). Nutritional value of phyto- and zooplankton as live food for marine fish larvae. In H. Reinertsen, L. A. Dahle, K. Jørgensen, & K. Tvinnereim (Eds.), *Fish farming technology* (pp. 121–126). Balkema.

Garcia-Medina, S., Razo-Estrada, A. C., Gómez-Oliván, L. M., Amaya-Chávez, A., Madrigal-Bujaidar, E., & Galar-Martínez, M. (2009). Aluminum-induced oxidative stress in lymphocytes of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 36(4), 875–882. <https://doi.org/10.1007/s10695-009-9363-1>

Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Zotte, A. D., Danieli, P. P., De Angelis, A., Fortina, R., Marino, R., Parisi, G., Piccolo, G., Pinotti, L., Prandini, A., Schiavone, A., Terova, G., Tulli, F., & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2020.1743209>

Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal Alternative protein sources for aquaculture feeds. In *Springer briefs in molecular science* (pp. 1–28). https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1

Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P., & Chatzifotis, S. (2016). Tenebrio molitor meal in diets for European

sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 220, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003>

Gaudioso, G., Marzorati, G., Faccenda, F., Weil, T., Lunelli, F., Cardinaletti, G., Marino, G., Olivotto, I., Parisi, G., Tibaldi, E., Tuohy, K. M., & Fava, F. (2021). Processed Animal Proteins from Insect and Poultry By-Products in a Fish Meal-Free Diet for Rainbow Trout: Impact on Intestinal Microbiota and Inflammatory Markers. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5454. <https://doi.org/10.3390/ijms22115454>

Gavrić, P. J. (2015). Oxidative stress biomarkers and metal concentrations in selected tissues of grass snake (*Natrix natrix*) and dice snake (*Natrix tessellata*) from Obedska Bara and Pančevački Rit localities (Doctoral dissertation)

Gebremichael, A., Sándor, Z., & Kucska, B. (2023). Does dietary inclusion of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) affect growth and body composition of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*)? *South African Journal of Animal Science*, 52(4), 444–451. <https://doi.org/10.4314/sajas.v52i4.04>

Gedrovica, I. (2020). Assessment of Earthworm (*Lumbricidae*) Species Suitability for Processing into Powder. *American Journal of Entomology*, 4(3), 45. <https://doi.org/10.11648/j.aje.20200403.11>

Gerber, P., Opio, C., & Steinfeld, H. (2007). *Poultry production and the environment—A review*. Animal Production and Health Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gherardi, F. (2010). Invasive crayfish and freshwater fishes of the world. *Revue Scientifique Et Technique De L OIE*, 29(2), 241–254. <https://doi.org/10.20506/rst.29.2.1973>

Gouvello, R. L., Hochart, L., Laffoley, D., Simard, F., Andrade, C., Angel, D., Callier, M., De Monbrison, D., Fezzardi, D., Haroun, R., Harris, A., Hughes, A., Massa, F., Roque, E., Soto, D., Stead, S., & Marino, G. (2017). Aquaculture and marine protected areas: Potential opportunities and synergies. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(S1), 138–150. <https://doi.org/10.1002/aqc.2821>

Gu, J., Liang, H., Ge, X., Xia, D., Pan, L., Mi, H., & Ren, M. (2021). A study of the potential effect of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) substitution for fish meal on growth, immune and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & Shellfish Immunology*, 120, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.024>

Gunya, B., Patrick, J. M., Arno, H., Voster, M. (2016): Nutrient composition and fatty acid profiles of oven-dried and freeze-dried earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Food and Nutritional Research*, 4(6), 343–348. <https://doi.org/10.12691/jfnr-4-6-1>

Habig, W. H., Pabst, M. J., & Jakoby, W. B. (1974). Glutathione S-transferases: The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of Biological Chemistry*, 249(22), 7130–7139

Hailu, M. (2013). Reproductive aspects of common carp (*Cyprinus carpio* L, 1758) in a tropical reservoir (Amerti: Ethiopia). *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 5(9), 260–264. <https://doi.org/10.5897/jene2013.0387>

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2007). *Free radicals in biology and medicine* (4th ed.). Oxford University Press.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1999). *Free radicals in biology and medicine* (3rd ed.). Oxford University Press.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1989). Free radicals, ageing and disease. In *Free radicals in biology and medicine* (2nd ed.). Oxford University Press.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1985). *Free radicals in biology and medicine* (1st ed.). Clarendon Press.

Halverson, M. A. (2008). Stocking Trends: A quantitative review of governmental fish stocking in the United States, 1931 to 2004. *Fisheries*, 33(2), 69–75. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-33.2.69>

Hameed, A., Majeed, W., Naveed, M., Ramzan, U., Bordiga, M., Hameed, M., Rehman, S. U., & Rana, N. (2022). Success of Aquaculture Industry with New Insights of Using Insects as Feed: A Review. *Fishes*, 7(6), 395. <https://doi.org/10.3390/fishes7060395>

Hardouin, J., & Mahoux, G. (2003). *Zootechnie d'insectes – Élevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux*. Bureau pour l'Échange et la Distribution de l'Information sur le Mini-élevage (BEDIM).

Hardy, R. W. (1996). Alternate protein sources for salmon and trout diets. *Animal Feed Science and Technology*, 59(1–3), 71–80. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00888-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00888-8)

Hassan, I., Gai, F., Cirrincione, S., Rimoldi, S., Saroglia, G., & Terova, G. (2023). Chitinase and insect meal in Aquaculture Nutrition: A Comprehensive overview of the latest achievements. *Fishes*, 8(12), 607. <https://doi.org/10.3390/fishes8120607>

Hassan, S. E., Azab, A. M., Abo-Taleb, H. A., & El-Feky, M. M. (2020). Effect of replacing fish meal in the fish diet by zooplankton meal on growth performance of *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(6), 267–280. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.111756>

Henderson, R., & Sargent, J. (1983). Studies on the effects of di-(2-ethylhexyl) phthalate on lipid metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdnerii*) fed zooplankton rich in wax esters. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Comparative Pharmacology*, 74(2), 325–330. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(83\)90109-3](https://doi.org/10.1016/0742-8413(83)90109-3)

Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.00>

Herawati, V. E., Hutabarat, J., & Karnaradjasa, O. (2018). The effect of nutrient content and production of *Daphnia magna* mass cultured using various wastes processed with different fermentation time. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 11, 1289–1299.

Herawati, V. E., Nugroho, R. A., Pinandoyo, N., & Hutabarat, J. (2017). Nutritional value content, biomass production and growth performance of *Daphnia magna* cultured with different

animal wastes resulted from probiotic bacteria fermentation. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 55, 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012004>

Hill, D. S. (2002). Pests of stored foodstuffs and their control. In *Kluwer Academic Publishers eBooks*. <https://doi.org/10.1007/0-306-48131-6>

Hoffmann, L., Rawski, M., Nogales-Mérida, S., Kołodziejcki, P., Pruszyńska-Oszmałek, E., & Mazurkiewicz, J. (2021). Mealworm meal use in sea trout (*Salmo trutta m. trutta*, L.) fingerling diets: effects on growth performance, histomorphology of the gastrointestinal tract and blood parameters. *Aquaculture Nutrition*, 27(5), 1512–1528. <https://doi.org/10.1111/anu.13293>

Hornung, B. (1991). The importance of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L. 1758) as carriers of zearalenone when fed to insectivorous birds and other pet animals. In *Die Bedeutung der Larven des Mehlkäfers (Tenebrio molitor, L. 1758) als Überträger von Zearalenon in der Fütterung von insektivoren Vögeln und anderen Heimtieren* (p. 81).

Hossain, M. Y., Hossen, M. A., Islam, M. M., Pramanik, M. N. U., Nower, F., Paul, A. K., Hameed, H. A., Rahman, M. M., Kaushik, G., & Bardoloi, S. (2016). Biometric indices and size at first sexual maturity of eight alien fish species from Bangladesh. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(3), 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.09.001>

Huet, M. (1986). *Textbook of fish culture: Breeding and cultivation of fish* (438 pp.). Fishing News Books.

Hulak, M., Kaspar, V., Kohlmann, K., Coward, K., Tešitel, J., Rodina, M., Gela, D., Kocour, M., & Linhart, O. (2009). Microsatellite-based genetic diversity and differentiation of foreign common carp (*Cyprinus carpio*) strains farmed in the Czech Republic. *Aquaculture*, 298(3–4), 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.021>

Iaconisi, V., Secci, G., Sabatino, G., Piccolo, G., Gasco, L., Papini, A. M., & Parisi, G. (2019). Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets. *Aquaculture*, 513, 734403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734403>

Iaconisi, V., Bonelli, A., Pupino, R., Gai, F., & Parisi, G. (2018). Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture*, 484, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.034>

Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Bovera, F., & Piccolo, G. (2017). Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*, 476, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.007>

Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C., & Miura, T. (2019). Replacement of Fish Meal by Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Larvae in Diet Improves Growth Performance and Disease Resistance in Red Seabream (*Pargus major*). *Animals*, 9(3), 100. <https://doi.org/10.3390/ani9030100>

Ighodaro, O., & Akinloye, O. (2017). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4), 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001>

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 12966-2:2017 – Animal and vegetable fats and oils – Gas chromatography of fatty acid methyl esters – Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids.*

International Organization for Standardization. (2014). *ISO 11136:2014 – Sensory analysis – Methodology – General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area.*

International Organization for Standardization. (2013). *ISO 5984:2013 – Animal feeding stuffs – Determination of crude ash.*

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 5983-1:2010 – Animal feeding stuffs – Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content – Part 1: Kjeldahl method.*

International Organization for Standardization. (2007). *ISO 8589:2007 – Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms.*

International Organization for Standardization. (2001). *ISO 6492:2001 – Animal feeding stuffs – Determination of fat content.*

International Organization for Standardization. (2001). *ISO 6496:2001 – Animal feeding stuffs – Determination of moisture and other volatile matter content.*

Iwama, G. K., & Tautz, A. F. (1981). A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(6), 649–656. <https://doi.org/10.1139/f81-087>

Jajić, I., Popovic, A., Urosevic, M., Krstovic, S., Petrovic, M., Guljas, D., & Samardzic, M. (2020). Fatty and amino acid profile of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Biotechnology in Animal Husbandry*, 36(2), 167–180. <https://doi.org/10.2298/bah2002167j>

Jajić, I., Popović, A., Urošević, M., Krstović, S., Petrović, M., & Guljaš, D. (2019). Chemical Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Reared in Serbia. *Contemporary Agriculture*, 68(1–2), 23–27. <https://doi.org/10.2478/contagri-2019-0005>

Jannathulla, R., Rajaram, V., Kalanjiam, R., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J. S. (2019). Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Research*, 50(12), 3493–3506. <https://doi.org/10.1111/are.14324>

Jeong, S., Khosravi, S., Mauliasari, I. R., & Lee, S. (2020). Dietary inclusion of mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s41240-020-00158-7>

Jinadasa, J., Kothalawala, A. B., & Herath, H. M. B. K. (2005). Status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Waldaum 1792) population after the cessation of stocking in waterways of Horton Plains, Sri Lanka. *Vidyodaya Journal of Science*, 12, 9–27.

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2006). Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1162–1181. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.03.004>

Joseph, K. B., Soderberg, R. W., & Terlizzi, D. E. (1993). *An introduction to water chemistry in freshwater aquaculture* (NRAC Fact Sheet No. 170).

Jozefiak, A., Nogales-Mérida, S., Mikołajczak, Z., Rawski, M., Kierończyk, B., & Mazurkiewicz, J. (2019). The Utilization of Full-Fat Insect Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Nutrition: The Effects on Growth Performance, Intestinal Microbiota and Gastrointestinal Tract Histomorphology. *Annals of Animal Science*, 19(3), 747–765. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0020>

Khan, M. A., Hassan, M. M., Sumon, K. A., & Rashid, H. (2020). Culture of freshwater zooplankton *Daphnia magna* fed with different feed combination. *Bangladesh Journal of Fisheries*, 32(1), 55–59. <https://doi.org/10.52168/bjf.2020.32.07>

Khan, S., Naz, S., Sultan, A., Alhidary, I., Abdelrahman, M., Khan, R., Khan, N., Khan, M., & Ahmad, S. (2016). Worm meal: a potential source of alternative protein in poultry feed. *World S Poultry Science Journal*, 72(1), 93–102. <https://doi.org/10.1017/s0043933915002627>

Klasing, K. C., Thacker, P., Lopez, M. A., & Calvert, C. C. (2000). Increasing the calcium content of mealworms (*Tenebrio molitor*) to improve their nutritional value for bone mineralization of growing chicks. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 31(4), 512–517. [https://doi.org/10.1638/1042-7260\(2000\)031\[0512:ITCCOM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1638/1042-7260(2000)031[0512:ITCCOM]2.0.CO;2)

Kohlmann, K., Kersten, P., & Flajšhans, M. (2005). Microsatellite-based genetic variability and differentiation of domesticated, wild and feral common carp (*Cyprinus carpio* L) populations. *Aquaculture*, 247(1–4), 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.024>

Kostecka, J., & Pączka, G. (2006). Possible use of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) biomass for breeding aquarium fish. *European Journal of Soil Biology*, 42, S231–S233. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.029>

Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Cornol, Switzerland: Publications Kottelat.

Kroeckel, S., Harjes, A., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., & Schulz, C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute — Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364–365, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>

Kruidenier, L., & Verspaget, H. W. (2002). Oxidative stress as a pathogenic factor in inflammatory bowel disease — radicals or ridiculous? *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 16(12), 1997–2015. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2036.2002.01378.x>

Kumar, V., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2010). Dietary inclusion of detoxified *Jatropha curcas* kernel meal: effects on growth performance and metabolic efficiency in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36(4), 1159–1170. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9394-7>

Lall, S. P., & Tibbetts, S. M. (2009). Nutrition, feeding, and behavior of fish. *Veterinary Clinics of North America Exotic Animal Practice*, 12(2), 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2009.01.005>

Langeland, M., Vidakovic, A., Vielma, J., Lindberg, J., Kiessling, A., & Lundh, T. (2014). Digestibility of microbial and mussel meal for Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture Nutrition*, 22(2), 485–495. <https://doi.org/10.1111/anu.12268>

Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food. In *Food science text series*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>

Le, H. D., Meisel, J. A., de Meijer, V. E., Gura, K. M., & Puder, M. (2009). The essentiality of arachidonic acid and docosahexaenoic acid. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 81(2–3), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.05.020>

Lemaire, P., & Livingstone, D. R. (1993). Pro-oxidant/antioxidant processes and organic interactions in marine organisms, in particular the flounder *Platichthys flesus* and the mussel *Mytilus edulis*. *Trends in Comparative Biochemistry & Physiology*, 1, 1119–1147

Li, H., Xue, R., Sun, J., & Ji, H. (2022). Improving flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by completely replacing dietary soybean meal with yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). *Animal Nutrition*, 12, 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.12.004>

Li, J., Li, J., Wei, T., & Li, J. (2016). Down-Regulation of MicroRNA-137 improves high Glucose-Induced oxidative stress injury in human umbilical vein endothelial cells by Up-Regulation of AMPKA1. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 39(3), 847–859. <https://doi.org/10.1159/000447795>

Li, M. H., Minchew, C. D., Oberle, D. F., & Robinson, E. H. (2010). Evaluation of Glycerol from Biodiesel Production as a Feed Ingredient for Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(1), 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00320.x>

Li, Y., Li, J., Lu, J., Li, Z., Shi, S., & Liu, Z. (2017). Effects of live and artificial feeds on the growth, digestion, immunity and intestinal microflora of mandarin fish hybrid (*Siniperca chuatsi* ♀ × *Siniperca scherzeri* ♂). *Aquaculture Research*, 48(8), 4479–4485. <https://doi.org/10.1111/are.13273>

Li, Y., Kong, L., Gao, H., and Yan, Y. (2008). Progress on free radical and diseases. *Prog. Vet. Med.* 4, 85–88. doi: 10.3969/j.issn.1007-5038.2008.04.021

Liland, N., Araujo, P., Xu, X., Lock, E., Radhakrishnan, G., Prabhu, A., & Belghit, I. (2021). A meta-analysis on the nutritional value of insects in aquafeeds. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 743–759. <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0147>

Lim, S., & Lee, K. (2008). Supplemental iron and phosphorus increase dietary inclusion of cottonseed and soybean meal in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture Nutrition*, 14(5), 423–430. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00546.x>

Lindholm-Lehto, P. C., Logrén, N., Mattila, S., Pulkkinen, J. T., Vielma, J., & Hopia, A. (2023). Quality of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Reared in Recirculating Aquaculture System and during Depuration Based on Chemical and Sensory Analysis. *Aquaculture Research*, 2023, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/3537294>

Livingstone. (2001). Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42(8), 656–666. [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(01\)00060-1](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(01)00060-1)

Lock, E., Arsiwalla, T., & Waagbø, R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22(6), 1202–1213. <https://doi.org/10.1111/anu.12343>

Loh, T. (2005). Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*, 96(1), 111–114. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.03.001>

Lopes, J., Silva, L., & Baldisserotto, B. (2001). Survival and growth of silver catfish larvae exposed to different water pH. *Aquaculture International*, 9(1), 73–80. <https://doi.org/10.1023/A:1012512211898>

Lougheed, V. L., Crosbie, B., & Chow-Fraser, P. (1998). Predictions on the effect of common carp (*Cyprinus carpio*) exclusion on water quality, zooplankton, and submergent macrophytes in a Great Lakes wetland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(5), 1189–1197. <https://doi.org/10.1139/f97-315>

Lukowicz, M. (1982). Intensive carp *Cyprinus carpio* (L.) rearing in a farm pond in southern Germany and its effects on water quality. *Aquacultural Engineering*, 1(2), 121–137. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(82\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0144-8609(82)90004-8)

Lushchak, V. I., Bagnyukova, T. V., Lushchak, O. V., Storey, J. M., & Storey, K. B. (2005). Hypoxia and recovery perturb free radical processes and antioxidant potential in common carp (*Cyprinus carpio*) tissues. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 37(6), 1319–1330. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2005.01.006>

Luthada-Raswiswi, R., Mukaratirwa, S., & O'Brien, G. (2021). Animal protein sources as a substitute for fishmeal in Aquaculture Diets: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences*, 11(9), 3854. <https://doi.org/10.3390/app11093854>

Ljubojević, D., Ćirković, M., Đorđević, V., Puvača, N., Trbović, D., Vukadinov, J., & Plavša, N. (2013). Fat quality of marketable fresh water fish species in the Republic of Serbia. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(5), 445–450. <https://doi.org/10.17221/53/2013-cjfs>

MacCrimmon, H. R. (1971). World Distribution of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28(5), 663–704. <https://doi.org/10.1139/f71-098>

Magouz, F. I., Essa, M. A., Matter, M., Mansour, A. T., Alkafafy, M., & Ashour, M. (2021). Population Dynamics, Fecundity and Fatty Acid Composition of *Oithona nana* (*Cyclopoida*, *Copepoda*), Fed on Different Diets. *Animals*, 11(5), 1188. <https://doi.org/10.3390/ani11051188>

Mahmoud, M. a. A., & Buettner, A. (2016). Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: Case of fish meat and skin from earthen-ponds farming. *Food Chemistry*, 232, 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.172>

Makkar, H. (2017). Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12(8), 1744–1754. <https://doi.org/10.1017/s175173111700324x>

Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Manduzio, H., Monsinjon, T., Galap, C., Leboulenger, F., & Rocher, B. (2004). Seasonal variations in antioxidant defences in blue mussels *Mytilus edulis* collected from a polluted area: major contributions in gills of an inducible isoform of Cu/Zn-superoxide dismutase and of glutathione S-transferase. *Aquatic Toxicology*, 70(1), 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.07.003>

Marberg, A., Van Kranenburg, H., & Korzilius, H. (2017). The big bug: The legitimation of the edible insect sector in the Netherlands. *Food Policy*, 71, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.07.008>

Mariod, A. A. (2020). Nutrient Composition of Mealworm (*Tenebrio molitor*). In *Springer eBooks* (pp. 275–280). https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_20

Marjanović, S. M., Belošević, S. D., Stanković, M. B., Banjac, V. V., Rakita, S. M., Vranković, J. S., & Marković, Z. Z. (2024). Complete replacement of fishmeal with unconventional animal protein sources: A comparative study of the effects of use of mealworm, earthworm and zooplankton on growth parameters, fatty acid composition and sensory profile rainbow trout. *Aquaculture Reports*, 39, 102512. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102512>

Marković, Z. (2010). *Šaran: Gajenje u ribnjacima i kaveznim sistemima*. Prof. dr Zoran Marković

Marković, Z., Poleksić, V., Tivić, I., Stanković, M., Čuk, D., Spasić, M., Dulić, Z., Rašković, B., Ćirić, M., Bošković, D., & Vukojević, D. (2009). Stanje ribarstva u Srbiji. *Zbornik predavanja sa IV međunarodne konferencije Ribarstvo*, 30–38. Institut za zootehniku, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu; Institut Nofima-Marin; Institut Haki.

Marković, Z., & Mitrović-Tutundžić, V. (2003). *Gajenje ribe*. Zadužbina Andrejević.

Marmulla, G., & Rösch, R. (1990). Maximum daily ration of juvenile fish fed on living natural zooplankton. *Journal of Fish Biology*, 36(6), 789–801. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05628.x>

Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di Meo, C., Attia, Y. A., Nizza, A., & Bovera, F. (2015). In Vitro Crude Protein Digestibility of *Tenebrio Molitor* and *Hermetia Illucens* Insect Meals and its Correlation with Chemical Composition Traits. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 3889. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3889>

Matés, J. (2000). Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology. *Toxicology*, 153(1–3), 83–104. [https://doi.org/10.1016/s0300-483x\(00\)00306-1](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)00306-1)

Mattioli, S., Paci, G., Fratini, F., Bosco, A. D., Tuccinardi, T., & Mancini, S. (2021). Former foodstuff in mealworm farming: Effects on fatty acids profile, lipid metabolism and antioxidant molecules. *LWT*, 147, 111644. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111644>

Mazlum, Y., Turan, F., & Yıldırım, Y. B. (2021). Evaluation of mealworms (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source for narrow-clawed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*) juveniles. *Aquaculture Research*, 52(9), 4145–4153. <https://doi.org/10.1111/are.15253>

McCord, J. M., & Fridovich, I. (1988). Superoxide dismutase: The first twenty years (1968–1988). *Free Radical Biology and Medicine*, 5(5–6), 363–369. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(88\)90109-8](https://doi.org/10.1016/0891-5849(88)90109-8)

Medina, A. L., Cova, J. A., Vielma, R. A., Pujic, P., Carlos, M. P., & Torres, J. V. (2003). Immunological and chemical analysis of proteins from *Eisenia foetida* earthworm. *Food and Agricultural Immunology*, 15(3–4), 255–263. <https://doi.org/10.1080/09540100400010084>

Melenchón, F., Larrán, A. M., Sanz, M., Rico, D., Fabrikov, D., Barroso, F. G., Galafat, A., Alarcón, F. J., Morales, A. E., Hidalgo, M. C., Lourenço, H. M., Pessoa, M., & Tomás-Almenar, C. (2023a). Different Diets Based on Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*)—Part A: Facing the Decrease in Omega–3 Fatty Acids in Fillets of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fishes*, 8(6), 286. <https://doi.org/10.3390/fishes8060286>

Melenchón, F., Larrán, A. M., Hernández, M., Abad, D., Morales, A. E., Pula, H. J., Fabrikov, D., Sánchez-Muros, M. J., Galafat, A., Alarcón, F. J., Lourenço, H. M., Pessoa, M., & Tomás-Almenar, C. (2023b). Different Diets Based on Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*)—Part B: Modification of the Intestinal Inflammatory Response and the Microbiota Composition of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fishes*, 8(6), 284. <https://doi.org/10.3390/fishes8060284>

Melenchón, F., De Mercado, E., Pula, H. J., Cardenete, G., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Lourenço, H. M., Pessoa, M., Lagos, L., Weththasinghe, P., Cortés, M., & Tomás-Almenar, C. (2022). Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 12(2), 179. <https://doi.org/10.3390/ani12020179>

Melenchón, F., Larrán, A., De Mercado, E., Hidalgo, M., Cardenete, G., Barroso, F., Fabrikov, D., Lourenço, H., Pessoa, M., & Tomás-Almenar, C. (2020). Potential use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) insectmeals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 27(2), 491–505. <https://doi.org/10.1111/anu.13201>

Mendoza, N., De Dios, N., Vazquez, N., Cruz, N., Ricque, N., Aguilera, N., & Montemayor, N. (2001). Fishmeal replacement with feather-enzymatic hydrolyzates co-extruded with soya-bean meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, 7(3), 143–151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2001.00164.x>

Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>

Miller, S. A., & Cowl, T. A. (2005). Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on macrophytes and invertebrate communities in a shallow lake. *Freshwater Biology*, 51(1), 85–94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01477.x>

Misra, H.P., Fridovich, I. (1972): The role of superoxide anion in the autooxidation of epinephrine and a sample assay for superoxide dismutase. *J. Biol. Chem.* 247, 3170–3175.

Mohanta, K. N., Subramanian, S., & Korikanthimath, V. S. (2016). Potential of earthworm (*Eisenia foetida*) as dietary protein source for rohu (*Labeo rohita*) advanced fry. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1138594. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1138594>

Morales, M., Martínez-Paz, P., Martín, R., Planelló, R., Urien, J., Martínez-Guitarte, J. L., & Morcillo, G. (2014). Transcriptional changes induced by in vivo exposure to pentachlorophenol (PCP) in *Chironomus riparius* (Diptera) aquatic larvae. *Aquatic Toxicology*, 157, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.09.009>

Moutinho, S., Pedrosa, R., Magalhães, R., Oliva-Teles, A., Parisi, G., & Peres, H. (2020). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae larvae meal in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Effects on liver oxidative status and fillet quality traits during shelf-life. *Aquaculture*, 533, 736080. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736080>

Munguti, J. M. (2007). *Utilisation of locally available feedstuffs for Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) production in small-scale cage culture in Kenya* (Doctoral dissertation, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Austria)

Musyoka, S. N., Liti, D., Ogello, E. O., Meulenbroek, P., & Waidbacher, H. (2020). Earthworm, *Eisenia fetida*, bedding meal as potential cheap fishmeal replacement ingredient for semi-intensive farming of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, 51(6), 2359–2368. <https://doi.org/10.1111/are.14579>

Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E., & Waidbacher, H. (2019). Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50(9), 2301–2315. <https://doi.org/10.1111/are.14091>

Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Forster, I., Gatlin, D. M., Goldberg, R. J., Hua, K., & Nichols, P. D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103–15110. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>

Nelson, J. S. (1994). *Fishes of the world* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.

Ng, W., Liew, F., Ang, L., & Wong, K. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32, 273–280. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>

Ngoc, T. N., Pucher, J., Becker, K., & Focken, U. (2015). Earthworm powder as an alternative protein source in diets for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*, 47(9), 2917–2927. <https://doi.org/10.1111/are.12743>

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080–1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>

Ogello, E. O., Munguti, J. M., Sakakura, Y., & Hagiwara, A. (2014). Complete replacement of fish meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) grow-out with alternative protein sources: A review. *International Journal of Advanced Research*, 2(8), 962–978

Ogunji, J. O., Nimptsch, J., Wiegand, C., Schulz, C., Rennert, B. (2011): Effect of housefly maggot meal (magneal) diets on catalase, and glutathione S-transferase in the liver and gills of carp *Cyprinus carpio* fingerling. *International Aquatic Research* 3, 11–20

Okunsebor, S. A. (2014): Culture of zooplankton (*Brachionus calyciflorus*, *Moina micrura* and *Daphnia pulex*) as live food for *Heterobranchus bidorsalis* hatchling. *Applied Hydrobiology and Fisheries*.

Oliva-Teles, A. (2012). Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of Fish Diseases*, 35(2), 83–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x>

Olsen, R. L., & Hassan, M. R. (2012). A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*, 27(2), 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>

Pares-Sierra, G., Durazo, E., Ponce, M. A., Badillo, D., Correa-Reyes, G., & Viana, M. T. (2012). Partial to total replacement of fishmeal by poultry by-product meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their effect on fatty acids from muscle tissue and the time required to retrieve the effect. *Aquaculture Research*, 45(9), 1459–1469. <https://doi.org/10.1111/are.12092>

Park, J. B., Choi, W. H., Kim, S. H., Jin, H. J., Han, Y. S., Lee, Y. S., & Kim, N. J. (2014). Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*, 28(1), 5–9. <https://doi.org/10.7852/ijie.2014.28.1.5>

Park, H., Ahn, I., Kim, H., Lee, J., & Shin, S. C. (2009). Glutathione S-transferase as a biomarker in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* after exposure to the polychlorinated biphenyl mixture Aroclor 1254. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology & Pharmacology*, 150(4), 528–536. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.07.008>

Parolini, M., Ganzaroli, A., & Bacenetti, J. (2020). Earthworm as an alternative protein source in poultry and fish farming: Current applications and future perspectives. *The Science of the Total Environment*, 734, 139460. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139460>

Pascual, M., & Bentzen, P. (2001). First documented case of anadromy in a population of introduced rainbow trout in Patagonia, Argentina. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130(1), 53–67.

Paul, U., Cocan, D., Constantinescu, R., Lațiu, C., Sava, A., Hegedűs, C., Coroian, A., Ihuț, A., Răducu, C., & Mireșan, V. (2020). Water quality parameters which influence rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) welfare in classic systems. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 63(1).

Peng, K., Mo, W., Xiao, H., Wang, G., & Huang, Y. (2021). Effects of black soldier fly pulp on growth performance, histomorphology and lipid metabolism gene expression of *Micropterus salmoides*. *Aquaculture Reports*, 20, 100737. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100737>

Pereira, J., & Gomes, E. (1995). Growth of rainbow trout fed a diet supplemented with earthworms, after chemical treatment. *Aquaculture International*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/bf00240919>

Perrow, M. R., Jowitt, A. J. D., Leigh, S. A. C., & others. (1999). The stability of fish communities in shallow lakes undergoing restoration: Expectations and experiences from the Norfolk Broads (U.K.). *Hydrobiologia*, 408, 85–100. <https://doi.org/10.1023/A:1017010005609>

Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., & Parisi, G. (2017). Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*, 226, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.007>

Prachom, N., Yuangsoi, B., Pumnuan, J., Ashour, M., Davies, S. J., & El-Haroun, E. (2023). Effects of Substituting the Two-Spotted Cricket (*Gryllus bimaculatus*) Meal for Fish Meal on Growth Performances and Digestibility of Striped Snakehead (*Channa striata*) Juveniles. *Life*, 13(2), 594. <https://doi.org/10.3390/life13020594>

Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje (2010). Zakon o bezbdnosti hrane („Službeni glasnik RS”, broj 41/09)

Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., & Abbasi, S. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>

Pucher, J., Mayrhofer, R., El-Matbouli, M., & Focken, U. (2014). Effects of modified pond management on limnological parameters in small-scale aquaculture ponds in mountainous Northern Vietnam. *Aquaculture Research*, 47(1), 56–70. <https://doi.org/10.1111/are.12465>

Pulido-Rodriguez, L. F., Cardinaletti, G., Secci, G., Randazzo, B., Bruni, L., Cerri, R., Olivotto, I., Tibaldi, E., & Parisi, G. (2021). Appetite Regulation, Growth Performances and Fish Quality Are Modulated by Alternative Dietary Protein Ingredients in Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Culture. *Animals*, 11(7), 1919. <https://doi.org/10.3390/ani11071919>

Purkerson, D. G., Doblin, M. A., Bollens, S. M., Luoma, S. N., & Cutter, G. A. (2003). Selenium in San Francisco Bay zooplankton: Potential effects of hydrodynamics and food web interactions. *Estuaries*, 26(4), 956–969. <https://doi.org/10.1007/bf02803354>

Rahman, M. M., Hossain, M. Y., Jo, Q., Kim, S., Ohtomi, J., & Meyer, C. (2009). Ontogenetic shift in dietary preference and low dietary overlap in rohu (*Labeo rohita*) and common carp (*Cyprinus carpio*) in semi-intensive polyculture ponds. *Ichthyological Research*, 56(1), 28–36. <https://doi.org/10.1007/s10228-008-0062-1>

Rahman, M. M., Verdegem, M. C., Nagelkerke, L. A., Wahab, M. A., & Verreth, J. A. (2008). Swimming, grazing and social behaviour of rohu *Labeo rohita* (Hamilton) and common carp *Cyprinus carpio* (L.) in tanks under fed and non-fed conditions. *Applied Animal Behaviour Science*, 113(1–3), 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.09.008>

Rahman, M. M., Wahab, M. A., & Verdegem, M. C. J. (2007). Common carp increases rohu production in farmers' ponds. *Stream Journal*, 6, 14–15

Ramarathnam, N., Rubin, L. J., & Diosady, L. L. (1993). Studies on meat flavor. 4. Fractionation, characterization, and quantitation of volatiles from uncured and cured beef and chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(6), 939–945. <https://doi.org/10.1021/jf00030a020>

Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., & Pino, J. M. (2002). Use of (*Tenebrio molitor*) (Coleoptera: *Tenebrionidae*) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 214–220. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>

Randazzo, B., Zarantonello, M., Cardinaletti, G., Cerri, R., Giorgini, E., Belloni, A., Contò, M., Tibaldi, E., & Olivotto, I. (2021). *Hermetia illucens* and Poultry by-Product Meals as Alternatives to Plant Protein Sources in Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) Diet: A Multidisciplinary Study on Fish Gut Status. *Animals*, 11(3), 677. <https://doi.org/10.3390/ani11030677>

Reinemer, P., Prade, L., Hof, P., Neufeind, T., Huber, R., Zettl, R., Palme, K., Schell, J., Koelln, I., Bartunik, H. D., & Bieseler, B. (1996). Three-dimensional structure of glutathione S-transferase from *Arabidopsis thaliana* at 2.2 Å resolution: Structural characterization of herbicide-conjugating plant glutathione S-transferases and a novel active site architecture. *Journal of Molecular Biology*, 255(2), 289–309. <https://doi.org/10.1006/jmbi.1996.0024>

Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., & Dias, J. (2019). Graded Incorporation of Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Diet Improves Growth Performance and Nutrient Retention. *Animals*, 9(4), 187. <https://doi.org/10.3390/ani9040187>

Republički zavod za statistiku. (2024). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2024*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2024/Pdf/G20242057.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2023). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2023*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2023/Pdf/G20232056.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2022). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2022*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G20222055.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2021). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2021*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2021/Pdf/G20212054.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2020). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2020*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2020/Pdf/G20202053.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2019). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2019*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G20192052.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2018). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2018*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2018/Pdf/G20182051.pdf>

Republički zavod za statistiku. (2017). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2017*. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2017/Pdf/G20172022.pdf>

Reyes, M., Rodríguez, M., Montes, J., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Morote, E., & Sánchez-Muros, M. J. (2020). Nutritional and Growth Effect of Insect Meal Inclusion on Seabass (*Dicentrarchus labrax*) Feeds. *Fishes*, 5(2), 16. <https://doi.org/10.3390/fishes5020016>

Riccardi, N., & Mangoni, M. (1999). Considerations on the biochemical composition of some freshwater zooplankton species. *Journal of Limnology*, 58(1), 58. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.58>

Robin, J., & Skalli, A. (2007). Incorporation of dietary fatty acid in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) — A methodological approach evidencing losses of highly unsaturated fatty acids. *Aquaculture*, 263(1–4), 227–237. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.044>

Robinson, M. K., Rustum, R. R., Chambers, E. A., Rounds, J. D., Wilmore, D. W., & Jacobs, D. O. (1997). Starvation enhances hepatic free radical release following endotoxemia. *Journal of Surgical Research*, 69(2), 325–330. <https://doi.org/10.1006/jsre.1997.5062>

Rondón, V., Ovalles-Durán, J., & León-Leal, M. (2003). Nutritional value of earthworm flour (*Eisenia fetida*) as a source of amino acids and its quantitative estimation through reversed phase chromatography (HPLC) and pre-column derivation with o-phthalaldehyde. *ARS Pharmacy*, 44(1), 43–58.

Rønnestad, I., & Conceicao, L. E. C. (2005). Aspects of protein and amino acid digestion and utilisation by marine fish larvae. In J. M. Starck & T. Wang (Eds.), *Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates* (pp. 389–416). Enfield, NH: Science Publishers.

Rorat, A., Suleiman, H., Grobelak, A., Grosser, A., Kacprzak, M., Płytycz, B., & Vandenbulcke, F. (2015). Interactions between sewage sludge-amended soil and earthworms—comparison between *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* composting species. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 3026–3035. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5635-8>

Ross, S. W., Dalton, D. A., Kramer, S., & Christensen, B. (2001). Physiological (antioxidant) responses of estuarine fishes to variability in dissolved oxygen. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology & Pharmacology*, 130(3), 289–303. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(01\)00243-5](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(01)00243-5)

Ruiz-Núñez, B., Pruijboom, L., Dijk-Brouwer, D. J., & Muskiet, F. A. (2013). Lifestyle and nutritional imbalances associated with Western diseases: causes and consequences of chronic systemic low-grade inflammation in an evolutionary context. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(7), 1183–1201. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.02.009>

Sadekarpawar, S., & Parikh, P. (2013). Gonadosomatic and hepatosomatic indices of freshwater fish *Oreochromis mossambicus* in response to a plant nutrient. *World Journal of Zoology*, 8(1), 110–118. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjz.2013.8.1.7268>

Salinas, I., Zhang, Y., & Sunyer, J. O. (2011). Mucosal immunoglobulins and B cells of teleost fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 35(12), 1346–1365. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.11.009>

Sampathkumar, K., Yu, H., & Loo, S. C. J. (2023). Valorisation of industrial food waste into sustainable aquaculture feeds. *Future Foods*, 7, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100240>

Sánchez-Muros, M. J., de Haro, C., Guil, J. L., & Barroso, F. G. (2017). Effect of feeding in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with diet containing *Tenebrio molitor* meal (Order: Coleoptera). *Annals of Aquaculture Research*, 4(3), 1039.

Sánchez-Muros, M., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>

Santhosh, B., & Singh, N. P. (2007). *Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura* (Publication No. 29). ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Centre.

- Santos-Silva, J., Bessa, R., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. *Livestock Production Science*, 77(2–3), 187–194. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(02)00059-3)
- Scott, D., Hewitson, J., & Fraser, J. (1978). The origins of rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson in New Zealand. *California Fish and Game*, 64, 210–218
- Sealey, W. M., Gaylord, T. G., Barrows, F. T., Tomberlin, J. K., McGuire, M. A., Ross, C., & St-Hilaire, S. (2011). Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(1), 34–45. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00441.x>
- Selli, S., Rannou, C., Prost, C., Robin, J., & Serot, T. (2006). Characterization of Aroma-Active Compounds in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Eliciting an Off-Odor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), 9496–9502. <https://doi.org/10.1021/jf0619582>
- Senate of the University of Belgrade. (2016). *The Code of Professional Ethics of the University of Belgrade. Official Gazette of the Republic of Serbia*, 189/16, 16
- Seo, H., Kim, H. R., & Cho, I. H. (2020). Aroma Characteristics of Raw and Cooked *Tenebrio molitor* Larvae (Mealworms). *Food Science of Animal Resources*, 40(4), 649–658. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e35>
- Shafique, L., Abdel-Latif, H. M. R., Hassan, F., Alagawany, M., Naiel, M. a. E., Dawood, M. a. O., Yilmaz, S., & Liu, Q. (2021). The Feasibility of Using Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a Sustainable Aquafeed Industry. *Animals*, 11(3), 811. <https://doi.org/10.3390/ani11030811>
- Sharma, S., Shah, E., Davla, D., Dixit, G., Patel, A., & Kumar, A. K. (2019). Effect of microalga-based diet on oxidative stress enzymes of African catfish, *Clarias gariepinus*. *International Aquatic Research.*, 11(4), 377–387. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-00245-z>
- Sheehan, D., Meade, G., Foley, V. M., & Dowd, C. A. (2001). Structure, function and evolution of glutathione transferases: implications for classification of non-mammalian members of an ancient enzyme superfamily. *Biochemical Journal*, 360(1), 1. <https://doi.org/10.1042/0264-6021:3600001>
- Sherman, R. (2003). *Raising earthworms successfully* (Publication No. EBAE 103-83). North Carolina Cooperative Extension Service.
- Sherratt, P. J., & Hayes, J. D. (2001). Glutathione S-transferases. In C. Ioannides (Ed.), *Enzyme systems that metabolise drugs and other xenobiotics* (pp. 319–352)
- Sies, H. (1991). *Oxidative stress: Oxidants and antioxidants*. Academic Press.
- Simonović, P. (2001). *Ribe Srbije*. Zavod za zaštitu prirode Srbije i Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Simopoulos, A. P. (2009). Omega 6/Omega 3 Essential Fatty Acids: Biological Effects. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 1–16. <https://doi.org/10.1159/000192755>
- Singh, A. K., Kamalam, B. S., & Kumar, P. (2016). Charting ways to invigorate rainbow trout production in India. *Journal of Fisheries Sciences*, 10, 25–32.

Singh, P., Maqsood, S., Samoon, M. H., Phulia, V., Danish, M., & Chalal, R. S. (2011). Exogenous supplementation of papain as growth promoter in diet of fingerlings of *Cyprinus carpio*. *International Aquatic Research*, 3(1), 1–9.

Sivakumaran, K. P., Brown, P., Stoessel, D., & Giles, A. (2003). Maturation and Reproductive Biology of Female Wild Carp, *Cyprinus carpio*, in Victoria, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 68(3), 321–332. <https://doi.org/10.1023/a:1027381304091>

Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., & Gasco, L. (2019). The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*, 9(4), 119. <https://doi.org/10.3390/ani9040119>

Sogbesan, A., & Ugwumba, A. (2008a). Nutritional values of some non-conventional animal protein feedstuffs used as fishmeal supplement in aquaculture practices in Nigeria. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8, 159–164.

Sogbesan, O. A., & Madu, C. T. (2008b). Evaluation of Earthworm (*Hyperiodrilus euryaulos*, Clausen, 1914; Oligocheata: Eudrilidae) Meal as Protein Feedstuff in Diets for *Heterobranchus longifilis Valenciennes*, 1840 (*Teleostei, Clariidae*) Fingerlings Under Laboratory Condition. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 23–31. <https://doi.org/10.3923/rjes.2008.23.31>

Son, Y., Hwang, I., Nho, C. W., Kim, S. M., & Kim, S. H. (2021). Determination of Carbohydrate Composition in Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Larvae and Characterization of Mealworm Chitin and Chitosan. *Foods*, 10(3), 640. <https://doi.org/10.3390/foods10030640>

Song, Y., Kim, M., Moon, C., Seo, D., Han, Y. S., Jo, Y. H., Noh, M. Y., Park, Y., Kim, S., Kim, Y. W., & Jung, W. (2018). Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomological Research*, 48(3), 227–233. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12304>

Stafford, E. A., & Tacon, A. G. J. (1985). The nutritional evaluation of dried earthworm meal (*Eisenia foetida*, Savigny, 1826) included at low levels in production diets for rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Aquaculture Research*, 16(3), 213–222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1985.tb00310.x>

Stanković, D., Stephens, M. R., & Snoj, A. (2015). Origin and introduction history of self-sustaining rainbow trout populations in Europe as inferred from mitochondrial DNA and a Y-linked marker. *Hydrobiologia*, 770(1), 129–144. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2577-6>

Stanković, M. (2013). *Uticaj smeša koncentrata sa različitim učešćem proteina i masti na prirast i konverziju hrane u ishrani mlađi šarana (Cyprinus carpio, L., 1758)* (Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet).

St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., & Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the Black Soldier Fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 309–313. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>

Stocker, R., & Keaney, J. F. (2004). Role of oxidative modifications in atherosclerosis. *Physiological Reviews*, 84(4), 1381–1478. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2003>

Strand, Å., Magnhagen, C., Alanärä, A. (2011): Growth and Energy Expenditures of Eurasian Perch *Perca fluviatilis* (Linnaeus) in Different Temperatures and of Different Body Sizes. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 2, 114

Su, J., Liu, Y., Xi, L., Lu, Q., Liu, H., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Han, D., & Xie, S. (2022). The effect of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion on growth performance and liver health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(11), 1297–1309. <https://doi.org/10.3920/jiff2021.0033>

Su, J., Gong, Y., Cao, S., Lu, F., Han, D., Liu, H., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., & Xie, S. (2017). Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish & Shellfish Immunology*, 69, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008>

Sun, C., Zhang, J., & Duan, S. (1999). *Introduction to free radical biology*. University of Science & Technology of China Press.

Summerfelt, R. C. (2000). *Water quality considerations for aquaculture* (pp. 2–7). Department of Animal Ecology, Iowa State University.

Suontama, J., Kiessling, A., Melle, W., Waagbø, R., & Olsen, R. (2007). Protein from Northern krill (*Thysanoessa inermis*), Antarctic krill (*Euphausia superba*) and the Arctic amphipod (*Themisto libellula*) can partially replace fish meal in diets to Atlantic salmon (*Salmo salar*) without affecting product quality. *Aquaculture Nutrition*, 13(1), 50–58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00453.x>

Swar, D. B. (2008). History of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) introduction in Nepal. In T. B. Gurung (Ed.), *Proceedings of the 1st National Workshop on Scaling-up of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Farming Strategies in Nepal, Kathmandu, Nepal, 22–23 August 2008* (pp. 21–24). Fisheries Research Division.

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2013). Fish Matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22–38. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753405>

Tacon, A. G., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

Tacon, A. G., & Forster, I. P. (2003). Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226(1–4), 181–189. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00476-9](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00476-9)

Tacon, A. G. J. (1993). *Feed ingredients for warmwater fish: Fish meal and other processed feedstuffs* (FAO Fisheries Circular No. 856, p. 64). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Taipale, S. J., Pulkkinen, K., Keva, O., Kainz, M. J., & Nykänen, H. (2022). Lowered nutritional quality of prey decrease the growth and biomolecule content of rainbow trout fry. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemistry and Molecular Biology*, 262, 110767. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2022.110767>

Taler, Z. (1954). Raspostranjenje i popis slatkovodnih riba Jugoslavije. *Glasnik Prirodnjačkog muzeja Srpske zemlje, Serija B, (knj. 5–6)*, Beograd.

Tamura, M., Oschino, N., Chance, B. (1982): Some characteristics of hydrogen and alkyl-hydroperoxides metabolizing systems in cardiac tissue. *J. Biochem.* 92, 1019–1031.

Tanaka, A., Yamamoto, A., Murota, K., Tsujiuchi, T., Iwamori, M., & Fukushima, N. (2017). Polyunsaturated fatty acids induce ovarian cancer cell death through ROS-dependent MAP kinase activation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 493(1), 468–473. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.08.168>

Tavakoli, S., Naseri, M., Abedi, E., & Imani, A. (2018). Shelf-life enhancement of whole rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated with Reshgak ice coverage. *Food Science & Nutrition*, 6(4), 953–961. <https://doi.org/10.1002/fsn3.636>

Tempero, G. W., Ling, N., Hicks, B. J., & Osborne, M. W. (2006). Age composition, growth, and reproduction of koi carp (*Cyprinus carpio*) in the lower Waikato region, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 40(4), 571–583. <https://doi.org/10.1080/00288330.2006.9517446>

The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. (2024). In *FAO eBooks*. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Thévenot, A., Rivera, J. L., Wilfart, A., Maillard, F., Hassouna, M., Senga-Kiesse, T., Féon, S. L., & Aubin, J. (2017). Mealworm meal for animal feed: Environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1260–1267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.054>

Thirupathaiah, M., Samatha, C., & Sammaiah, C. (2012). Analysis of water quality using physico-chemical parameters in Lower Manair Reservoir of Karimnagar district, Andhra Pradesh. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 172–180.

Tilami, S. K., Turek, J., Červený, D., Lepič, P., Kozák, P., Burkina, V., Sakalli, S., Tomčala, A., Sampels, S., & Mráz, J. (2020). Insect Meal as a Partial Replacement for Fish Meal in a Formulated Diet for Perch *Perca fluviatilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(12), 867–878. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_12_03

Timmons, M. B., Guerdat, T., & Vinci, B. J. (2018). Water quality. In *Recirculating aquaculture* (4th ed., p. 2758). Ithaca Publishing Company LLC.

Tocher, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 11(2), 107–184. <https://doi.org/10.1080/713610925>

Tohidinejad, E., Madani, H., & Jenabi, M. (2011). *Organic fertilizers and vermicompost*. Shahid Bahonar University of Kerman Publications.

Tomic, N., Djekic, I., Hofland, G., Smigic, N., Udovicki, B., & Rajkovic, A. (2020). Comparison of supercritical CO₂-Drying, Freeze-Drying and frying on sensory properties of beetroot. *Foods*, 9(9), 1201. <https://doi.org/10.3390/foods9091201>

Turchini, G. M., Francis, D. S., Keast, R. S., & Sinclair, A. J. (2011). Transforming salmonid aquaculture from a consumer to a producer of long chain omega-3 fatty acids. *Food Chemistry*, 124(2), 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.083>

Uiuiu, P., Cocan, D., Constantinescu, R., Latiu, C., Sava, A., Hegedús, C., Coroian, A., Ihut, A., Raducu, C., & Miresan, V. (2020). Water quality parameters which influence rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) welfare in classic systems. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 63(1), 509–515.

Uauy, R., & Valenzuela, A. (2000). Marine oils: the health benefits of n-3 fatty acids. *Nutrition*, 16(7–8), 680–684. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(00\)00326-9](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(00)00326-9)

Ulbricht, T., & Southgate, D. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m)

Valfré, F., Caprino, F., & Turchini, G. (2003). The health benefit of seafood. *Veterinary Research Communications*, 27, 507–512. <https://doi.org/10.1023/b:verc.0000014208.47984.8c>

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2006). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>

Valko, M., Izakovic, M., Mazur, M., Rhodes, C. J., & Telser, J. (2004). Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 266(1/2), 37–56. <https://doi.org/10.1023/b:mcbi.0000049134.69131.89>

Van Huis, A., & Oonincx, D. G. a. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>

Van Huis, A. (2012). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

Ventura, M., & Catalan, J. (2010). Variability in amino acid composition of alpine crustacean zooplankton and its relationship with nitrogen-15 fractionation. *Journal of Plankton Research*, 32(11), 1583–1597. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbq066>

Velasquez, L., Ibañez, I., Herrera, C., & Oyarzun, M. (1991). A note on the nutritional evaluation of worm meal (*Eisenia fetida*) in diets for rainbow trout. *Animal Science*, 53(1), 119–122. <https://doi.org/10.1017/s000335610000605x>

Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & van Boekel, M. A. J. S. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study* (Rapport 638). Wageningen Livestock Research. Retrieved from Wageningen University website. https://www.wur.nl/upload_mm/2/8/0/f26765b9-98b2-49a7-ae43-5251c5b694f6_234247%5B1%5D

Vodounnou, D. S. J. V., Kpogue, D. N. S., Tossavi, C. E., Mennsah, G. A., & Fiogbe, E. D. (2016). Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia fetida*) during vermiculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 87–92. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0119-5>

Wales, J. H. (1939). *General report of investigations on the McCloud River drainage in 1938*. *California Fish and Game*, 25(4), 272–309.

Wang, H. C., Liao, H. Y., & Chen, H. L. (2011). Tenebrio Small-Scale Ecological Farming Feasibility Study. *Advanced Materials Research*, 356–360, 267–270. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.356-360.267>

Wang, Y. C., Chen, Y. T., Li, X. R., Xia, J. M., Du, Q., & Sheng, Z. C. (1996). Study on rearing the larvae of *Tenebrio molitor* Linne and the effects of its processing and utilization. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 30, 288–292.

Watanabe, T. (2002). Strategies for further development of aquatic feeds. *Fisheries Science*, 68(2), 242–252. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2002.00418.x>

Weber, M. J., & Brown, M. L. (2009). Effects of Common Carp on Aquatic Ecosystems 80 Years after “Carp as a Dominant”: Ecological Insights for Fisheries Management. *Reviews in Fisheries Science*, 17(4), 524–537. <https://doi.org/10.1080/10641260903189243>

Woodgate, S. L., Wan, A. H. L., Hartnett, F., Wilkinson, R. G., & Davies, S. J. (2022). The utilisation of European processed animal proteins as safe, sustainable and circular ingredients for global aquafeeds. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1572–1596. <https://doi.org/10.1111/raq.12663>

Woynarovich, A., Hoitsy, G., & Moth-Poulsen, T. (2011). *Small-scale rainbow trout farming* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 561). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Woynarovich, A., Moth-Poulsen, T., & Péteri, A. (2010). *Carp polyculture in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: A manual* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 554). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Yasutake, W. T., & Wales, J. H. (1983). *Microscopic anatomy of salmonids: An atlas*. U.S. Fish and Wildlife Service

Yildirim-Aksoy, M., Lim, C., Li, M. H., and Klesius, P. H. (2010). Interaction between dietary levels of vitamins C and E on growth and immune responses in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). *Aquac. Res.* 39, 1198–1209. [doi: 10.1111/j.1365-2109.2008.01984.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01984.x)

Yu, C., Xing, B., Xu, L., & Li, D. (2008). Water quality management in intensive aquaculture in China. *Computer and Computing Technologies in Agriculture, Volume II*, 259, 1243–1252. International Federation for Information Processing

Yue, S., Huang, C., Wang, R., & Qiao, Y. (2021). Selenium toxicity, bioaccumulation, and distribution in earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to different substrates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112250. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112250>

Zaki, M. A., Ashour, M., Heneash, A. M. M., Mabrouk, M. M., Alprol, A. E., Khairy, H. M., Nour, A. M., Mansour, A. T., Hassanien, H. A., Gaber, A., & Elshobary, M. E. (2021). Potential Applications of Native Cyanobacterium Isolate (*Arthrospira platensis* NIOF17/003) for Biodiesel Production and Utilization of Its Byproduct in Marine Rotifer (*Brachionus plicatilis*) Production. *Sustainability*, 13(4), 1769. <https://doi.org/10.3390/su13041769>

Zambrano, L., Scheffer, M., & Martínez-Ramos, M. (2001). Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *Oikos*, 94(2), 344–350. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.940215.x>

Zengin, H. (2021). The effects of feeding and starvation on antioxidant defence, fatty acid composition and lipid peroxidation in reared *Oncorhynchus mykiss* fry. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96204-y>

Zhao, Y., Zhu, X., & Sun, X. (2008). Microsatellite diversity in cultured populations of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in China. *Journal of Fish Biology*, 73(5), 1249–1255. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.01894.x>

Zhenjun, S., Xianchun, L., Lihui, S., & Chunyang, S. (1997). Earthworm as a potential protein resource. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 221–236. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991517>

Zhou, J., Liu, S., Ji, H., & Yu, H. (2017). Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 424–433. <https://doi.org/10.1111/anu.12574>

Zhou, J., Wu, Q., Wang, Z., & Ye, Y. (2004). Genetic Variation Analysis within and among Six Varieties of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) in China Using Microsatellite Markers. *Russian Journal of Genetics*, 40(10), 1144–1148. <https://doi.org/10.1023/b:ruge.0000044758.51875.25>

Zlaugotne, B., Pubule, J., & Blumberga, D. (2022). Advantages and disadvantages of using more sustainable ingredients in fish feed. *Heliyon*, 8(9), e10527. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10527>

Zweig, R. D., Morton, J. D., & Stewart, M. M. (1999). *Source water quality for aquaculture*. The World Bank.

Žikić, V. R., Štajn, Š. A., Saičić, S. Z., Spasić, B. M., & Milovanović, R. S. (2000). Toksikološki značaj zaštite od oksidacionih oštećenja. Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu.

8. PRILOG A

Tabela 1. Procentualno učešće komponenti u eksperimentalnim hranama sa različitim izvorima proteina za istraživanje na šaranu

Komponenta (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Riblje brašno	18,1	-	-	-
Brašno kalifornijske gliste	-	17,1	-	-
Brašno larve velikog brašnara	-	-	21,2	-
Brašno zooplanktona	-	-	-	24,1
Soja, zrno (termički obrađeno)	25,00	25,00	25,00	25,00
Suncokterova sačma (40%)	20,00	20,00	20,00	20,00
Pšenica	14,72	15,00	19,80	10,20
Zrno kukuruza	11,00	10,00	5,00	8,00
Kukuruzni skrob	6,00	6,00	5,00	6,00
Sojino ulje	2,9	2,9	-	2,60
Monokalcijum fosfat	0,40	0,90	0,90	1,00
Jodirana so (NaCl)	0,18	0,20	0,20	0,20
Stočna kreda	0,50	1,70	1,70	1,70
Lizin-L (78%)	0,20	0,20	0,20	0,20
Premiks (Šaran) (1%)	1,00	1,00	1,00	1,00

^a**HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktonu.

Tabela 2. Procentualno učešće komponenti u eksperimentalnim hranama sa različitim izvorima proteina za istraživanje na kalifornijskoj pastrmci

Komponente (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
Riblje brašno	39,2	-	-	-
Brašno kalifornijske gliste	-	34,00	-	-
Brašno larve velikog brašnara	-	-	44,30	-
Brašno zooplanktona	-	-	-	44,50
Kukuruzni skrob	19,5	21,00	17,90	12,80
Sojino ulje	16,8	20,20	13,00	17,90
Mesno brašno	15,00	15,00	15,00	15,00
Zrno soje (termički obrađeno)	3,10	3,10	3,10	3,10
Hemoglobin SD	3,00	3,00	3,00	3,00
Krvno brašno	1,00	1,00	1,00	1,00
Monokalcijum fosfat	1,00	1,00	1,00	1,00
Premiks	1,00	1,00	1,00	1,00
Metionin – DL (99%)	0,25	0,25	0,25	0,25
Lizin-L (78%)	-	0,30	0,30	0,30
Digest fast	0,05	0,05	0,05	0,05
Antioksidant	0,10	0,10	0,10	0,10

^a**HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktonu.

Tabela 3. Masnokiselinski sastav eksperimentalnih hrana sa različitim izvorima proteina korišćenih za istraživanje na šaranu

Komponenta (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
C12:0	-	-	0,56	-
C14:0	0,72	1,41	1,20	1,00
C15:0	0,10	-	-	0,42
C16:0	12,86	15,57	12,25	23,50
C18:0	5,05	4,08	5,90	9,36
C20:0	0,62	-	0,70	-
C22:0	0,37	0,26	0,50	-
ΣSFA	19,72	21,32	21,11	34,28
C16:1	1,29	1,09	1,24	1,35
C18:1n9c	25,63	31,75	22,70	34,40
ΣMUFA	26,92	32,83	23,94	35,75
C18:2n6c	43,70	42,10	47,34	22,35
C18:3n3	6,73	3,75	5,60	2,54
C18:4n3	-	-	-	0,27
C20:2n6	0,27	-	0,51	0,47
C20:3n6	-	-	-	2,71
C20:3n3	-	-	0,60	-
C20:4n6	0,37	-	-	-
C20:5n3	0,53	-	0,90	1,40
C22:5n3	0,24	-	-	-
C22:6n3	1,53	-	-	0,23
ΣPUFA	53,36	45,85	54,95	29,97
ω-3 PUFA	9,02	3,75	7,10	4,44
ω-6 PUFA	44,34	42,10	47,85	25,53
ω-6/ ω-3	4,91	11,22	6,74	5,74

^a**HFM**: hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF**: hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM**: hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO**: hrana bazirana na brašnu zooplanktonu.



Slika 13. Priprema uzoraka kalifornijske pastrmke hranjene eksperimentalnim hranama sa različitim izvorima proteina za senzornu analizu (autor: S. Marjanović)

9. PRILOG B

Tabela 4. Rezultati prosečne vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	23,38±0,28	23,48±0,27	0,05
	5		23,52±0,23		
	9		23,53±0,30		
II period 31-60 (dana)	1	28	23,44±0,29	23,66±0,31	0,06
	5		23,49±0,26		
	9		24,04±0,38		
III period 61-90 (dana)	1	28	23,11±0,37	23,34±0,38	0,07
	5		23,01±0,49		
	9		23,89±0,28		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	23,31±0,34	23,49±0,38	0,04
	5		23,34±0,41		
	9		23,82±0,38		

Tabela 5. Rezultati prosečne vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	23,37±0,27	23,43±0,29	0,05
	6		23,38±0,33		
	10		23,55±0,26		
II period 31-60 (dana)	2	28	23,40±0,29	23,62±0,30	0,06
	6		23,83±0,36		
	10		23,64±0,25		
III period 61-90 (dana)	2	28	23,46±0,38	23,41±0,31	0,06
	6		23,63±0,31		
	10		23,14±0,25		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	23,41±0,31	23,49±0,34	0,04
	6		23,61±0,38		
	10		23,44±0,33		

Tabela 6. Rezultati prosečne vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	23,54±0,32	23,49±0,33	0,06
	7		23,49±0,34		
	11		23,44±0,33		
II period 31-60 (dana)	3	28	23,57±0,37	23,62±0,33	0,06
	7		23,71±0,37		
	11		23,57±0,34		
III period 61-90 (dana)	3	28	23,38±0,26	23,29±0,26	0,05
	7		23,08±0,28		
	11		23,40±0,25		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	23,50±0,30	23,46±0,34	0,04
	7		23,42±0,42		
	11		23,47±0,31		

Tabela 7. Rezultati prosečne vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu zooplanktona u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	23,31±0,33	23,37±0,30	0,05
	8		23,44±0,29		
	12		23,37±0,27		
II period 31-60 (dana)	4	28	23,35±0,32	23,49±0,28	0,05
	8		23,48±0,26		
	12		23,64±0,27		
III period 61-90 (dana)	4	28	23,52±0,31	23,39±0,28	0,05
	8		23,53±0,26		
	12		23,14±0,26		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	23,39±0,36	23,42±0,32	0,03
	8		23,48±0,30		
	12		23,38±0,31		

Tabela 8. Rezultati prosečne pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	8,21±0,51	8,06±0,57	0,11
	5		7,99±0,61		
	9		7,97±0,58		
II period 31-60 (dana)	1	28	8,15±0,43	8,27±0,37	0,07
	5		8,35±0,27		
	9		8,30±0,41		
III period 61-90 (dana)	1	28	8,25±0,38	8,19±0,48	0,09
	5		8,19±0,48		
	9		8,12±0,57		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	8,20±0,44	8,17±0,49	0,05
	5		8,18±0,49		
	9		8,13±0,54		

Tabela 9. Rezultati prosečne pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	8,12±0,60	8,07±0,59	0,11
	6		8,02±0,58		
	10		8,07±0,59		
II period 31-60 (dana)	2	28	8,28±0,45	8,22±0,45	0,09
	6		8,17±0,38		
	10		8,22±0,51		
III period 61-90 (dana)	2	28	8,17±0,39	8,16±0,48	0,09
	6		8,14±0,54		
	10		8,16±0,52		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	8,19±0,49	8,15±0,51	0,06
	6		8,11±0,50		
	10		8,15±0,54		

Tabela 10. Rezultati prosečne pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	8,05±0,55	8,02±0,57	0,11
	7		8,03±0,56		
	11		7,97±0,60		
II period 31-60 (dana)	3	28	8,21±0,47	8,20±0,40	0,08
	7		8,29±0,33		
	11		8,09±0,40		
III period 61-90 (dana)	3	28	8,15±0,51	8,10±0,56	0,11
	7		8,00±0,58		
	11		8,16±0,58		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	8,14±0,51	8,10±0,52	0,06
	7		8,10±0,51		
	11		8,07±0,53		

Tabela 11. Rezultati prosečne pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu zooplanktona u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	7,95±0,57	7,99±0,59	0,11
	8		8,01±0,59		
	12		8,00±0,60		
II period 31-60 (dana)	4	28	8,19±0,46	8,20±0,41	0,08
	8		8,28±0,32		
	12		8,14±0,44		
III period 61-90 (dana)	4	28	8,30±0,40	8,23±0,46	0,09
	8		8,23±0,44		
	12		8,16±0,54		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	8,14±0,50	8,14±0,50	0,06
	8		8,17±0,47		
	12		8,10±0,53		

Tabela 12. Rezultati prosečne koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	8,73±0,56	8,72±0,60	0,12
	5		8,70±0,65		
	9		8,73±0,60		
II period 31-60 (dana)	1	28	8,90±0,52	8,86±0,49	0,09
	5		8,99±0,57		
	9		8,68±0,38		
III period 61-90 (dana)	1	28	8,88±0,42	8,91±0,42	0,08
	5		8,78±0,41		
	9		9,07±0,43		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	8,84±0,50	8,83±0,52	0,06
	5		8,82±0,56		
	9		8,83±0,51		

Tabela 13. Rezultati prosečne koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	8,61±0,58	8,75±0,55	0,11
	6		8,82±0,60		
	10		8,81±0,48		
II period 31-60 (dana)	2	28	8,90±0,54	8,85±0,50	0,1
	6		8,84±0,53		
	10		8,81±0,44		
III period 61-90 (dana)	2	28	8,68±0,40	8,93±0,44	0,08
	6		8,97±0,48		
	10		9,13±0,43		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	8,73±0,52	8,84±0,51	0,06
	6		8,88±0,54		
	10		8,92±0,47		

Tabela 14. Rezultati prosečne koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnjara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	8,82±0,54	8,71±0,59	0,11
	7		8,61±0,77		
	11		8,70±0,47		
II period 31-60 (dana)	3	28	8,85±0,59	8,84±0,52	0,1
	7		8,80±0,48		
	11		8,87±0,49		
III period 61-90 (dana)	3	28	8,87±0,41	8,91±0,44	0,08
	7		8,90±0,44		
	11		8,97±0,48		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	8,85±0,51	8,82±0,53	0,06
	7		8,77±0,59		
	11		8,85±0,48		

Tabela 15. Rezultati prosečne koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu zooplanktona u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	8,73±0,65	8,69±0,56	0,11
	8		8,68±0,59		
	12		8,67±0,43		
II period 31-60 (dana)	4	28	8,75±0,59	8,81±0,52	0,1
	8		8,84±0,50		
	12		8,85±0,46		
III period 61-90 (dana)	4	28	8,85±0,46	8,99±0,42	0,08
	8		8,97±0,43		
	12		9,12±0,44		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	8,79±0,55	8,83±0,51	0,06
	8		8,83±0,52		
	12		8,88±0,47		

Tabela 16. Rezultati prosečne vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	102,17±6,18	102,46±5,10	0,98
	5		100,68±4,53		
	9		104,54±4,60		
II period 31-60 (dana)	1	28	105,67±6,34	105,16±6,52	1,27
	5		105,31±6,40		
	9		104,51±7,12		
III period 61-90 (dana)	1	28	103,02±4,09	104,39±4,38	0,84
	5		102,33±4,38		
	9		107,81±4,68		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	103,62±5,76	104,00±5,64	0,63
	5		102,77±5,47		
	9		105,62±5,73		

Tabela 17. Rezultati prosečne vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	101,16±6,44	102,29±7,28	1,4
	6		100,60±10,57		
	10		105,10±4,84		
II period 31-60 (dana)	2	28	108,04±6,30	105,01±5,52	1,06
	6		103,56±5,15		
	10		103,43±5,10		
III period 61-90 (dana)	2	28	102,25±4,22	104,57±5,10	0,98
	6		104,48±6,02		
	10		106,98±5,06		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	103,82±6,43	103,96±6,43	0,71
	6		102,88±7,71		
	10		105,17±5,15		

Tabela 18. Rezultati prosečne vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	101,92±5,68	102,39±5,69	1,1
	7		100,81±6,47		
	11		104,43±4,91		
II period 31-60 (dana)	3	28	106,23±6,31	106,21±7,33	1,41
	7		106,33±6,92		
	11		106,07±8,75		
III period 61-90 (dana)	3	28	103,27±3,97	104,05±4,62	0,89
	7		102,89±5,22		
	11		106,00±4,68		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	103,81±5,64	104,22±6,19	0,69
	7		103,35±6,58		
	11		105,50±6,36		

Tabela 19. Rezultati prosečne vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu zooplanktona u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	101,48±5,71	102,99±4,88	0,94
	8		102,72±4,91		
	12		104,77±4,01		
II period 31-60 (dana)	4	28	105,60±6,65	104,30±6,00	1,16
	8		102,66±4,18		
	12		104,63±7,16		
III period 61-90 (dana)	4	28	105,06±4,29	106,20±4,92	0,95
	8		106,01±5,20		
	12		107,54±5,27		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	104,04±5,86	104,50±5,52	0,61
	8		103,80±4,98		
	12		105,65±5,72		

Tabela 20. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	462,70±32,85	463,15±32,84	6,32
	5		463,44±32,81		
	9		463,30±32,86		
II period 31-60 (dana)	1	28	523,04±47,97	519,58±49,40	9,51
	5		518,30±51,41		
	9		517,41±48,82		
III period 61-90 (dana)	1	28	438,96±20,40	437,79±20,01	3,38
	5		437,00±19,35		
	9		437,41±20,29		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	474,90±50,02	473,50±49,59	5,51
	5		472,91±49,91		
	9		472,70±48,83		

Tabela 21. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu kalifornijske gliste u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	464,30±32,83	462,57±32,62	6,28
	6		459,93±34,03		
	10		463,48±31,00		
II period 31-60 (dana)	2	28	522,07±48,28	520,26±48,89	9,41
	6		519,93±49,11		
	10		518,78±49,78		
III period 61-90 (dana)	2	28	438,89±20,45	437,41±20,33	3,91
	6		437,41±20,22		
	10		435,93±20,32		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	475,09±49,70	473,41±49,76	5,53
	6		472,42±50,21		
	10		472,73±49,37		

Tabela 22. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu larvi velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	460,00±31,44	461,48±32,38	6,23
	7		463,00±32,73		
	11		461,44±32,98		
II period 31-60 (dana)	3	28	518,70±48,11	517,91±48,96	9,42
	7		516,15±50,82		
	11		518,89±47,95		
III period 61-90 (dana)	3	28	436,11±20,19	437,09±20,35	3,92
	7		436,26±19,90		
	11		438,89±20,96		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	471,60±49,25	472,16±49,16	5,46
	7		471,80±49,32		
	11		473,07±48,91		

Tabela 23. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa šaranom hranjenim eksperimentalnom hranom baziranom na brašnu zooplanktona u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	462,78±31,11	463,40±32,19	6,2
	8		464,00±32,74		
	12		463,41±32,74		
II period 31-60 (dana)	4	28	522,74±46,20	521,04±47,50	9,14
	8		520,33±48,72		
	12		520,04±47,57		
III period 61-90 (dana)	4	28	439,74±20,04	438,25±20,36	3,92
	8		438,63±20,77		
	12		436,37±20,26		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	475,09±48,76	474,23±49,21	5,47
	8		474,32±49,40		
	12		473,27±49,47		

10. PRILOG C

Tabela 24. Masnokiselinski sastav eksperimentalne hrane korišćene za istraživanje na kalifornijskoj pastrmci

Komponenta (%)	Eksperimentalne hrane ^a			
	HFM	HEF	HTM	HZO
C12:0	-	14,06	-	-
C14:0	3,04	10,25	2,30	2,32
C16:0	17,34	13,22	17,92	35,14
C18:0	4,27	4,66	2,87	6,99
SFA	24,65	42,19	23,09	44,45
C14:1	-	8,04	-	-
C16:1	5,11	9,03	2,02	8,90
C18:1n9c	34,51	15,41	37,98	27,82
MUFA	39,62	32,48	40,00	36,72
C18:2n6	6,79	24,05	35,31	8,28
C18:3n3	7,43	1,28	1,60	5,77
C20:3n3	1,81	-	-	1,08
C20:4n6	4,81	-	-	0,54
C20:5n3	4,48	-	-	2,43
C2:5n3	1,32	-	-	0,15
C22:6n3	9,09	-	-	0,57
PUFA	35,73	25,33	36,91	18,82
ω -6/ ω -3	4,91	11,22	6,74	5,74

^a**HFM:** hrana bazirana na ribljem brašnu; **HEF:** hrana bazirana na brašnu kalifornijske gliste (*Eisenia fetida*); **HTM:** hrana bazirana na brašnu larvi velikog brašnara (*Tenebrio molitor*); **HZO:** hrana bazirana na brašnu zooplanktonu.

Tabela 25. Rezultati prosečnih vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	20,83±0,61	20,83±0,65	0,15
	5		20,81±0,68		
	9		20,86±0,67		
II period 31-60 (dana)	1	28	20,80±0,66	20,86±0,64	0,14
	5		20,88±0,65		
	9		20,90±0,61		
III period 61-90 (dana)	1	28	20,90±0,71	20,9±0,71	0,19
	5		20,50±0,73		
	9		21,30±0,69		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	20,84±0,66	20,86±0,67	0,16
	5		20,73±0,69		
	9		21,02±0,66		

Tabela 26. Rezultati prosečnih vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na kalifornijskoj glisti u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	20,85±0,72	20,83±0,69	0,15
	6		20,82±0,69		
	10		20,83±0,67		
II period 31-60 (dana)	2	28	20,85±0,69	20,87±0,68	0,14
	6		20,86±0,64		
	10		20,91±0,72		
III period 61-90 (dana)	2	28	20,83±0,58	20,86±0,60	0,19
	6		20,87±0,59		
	10		20,88±0,62		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	20,84±0,66	20,85±0,66	0,16
	6		20,85±0,64		
	10		20,87±0,67		

Tabela 27. Rezultati prosečnih vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na larvama velikog brašnjara u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	20,93±0,70	20,89±0,71	0,15
	7		20,91±0,69		
	11		20,84±0,73		
II period 31-60 (dana)	3	28	20,86±0,66	20,88±0,64	0,14
	7		20,90±0,62		
	11		20,88±0,65		
III period 61-90 (dana)	3	28	20,87±0,59	20,86±0,62	0,19
	7		20,84±0,63		
	11		20,88±0,64		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	20,89±0,65	20,88±0,66	0,16
	7		20,88±0,65		
	11		20,86±0,67		

Tabela 28. Rezultati prosečnih vrednosti temperature vode (°C) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na zooplanktonu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	20,80±0,62	20,83±0,61	0,15
	8		20,84±0,59		
	12		20,86±0,63		
II period 31-60 (dana)	4	28	20,92±0,65	20,89±0,63	0,14
	8		20,88±0,62		
	12		20,87±0,61		
III period 61-90 (dana)	4	28	20,85±0,69	20,84±0,67	0,19
	8		20,81±0,66		
	12		20,87±0,65		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	20,86±0,65	20,85±0,64	0,16
	8		20,84±0,62		
	12		20,87±0,63		

Tabela 29. Rezultati prosečnih pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	8,36±0,07	8,38±0,07	0,15
	5		8,37±0,09		
	9		8,41±0,06		
II period 31-60 (dana)	1	28	8,33±0,02	8,34±0,05	0,14
	5		8,36±0,04		
	9		8,32±0,08		
III period 61-90 (dana)	1	28	8,36±0,08	8,37±0,06	0,19
	5		8,38±0,05		
	9		8,36±0,06		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	8,35±0,06	8,36±0,06	0,16
	5		8,37±0,06		
	9		8,36±0,07		

Tabela 30. Rezultati prosečnih pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na kalifornijskoj glisti u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	8,31±0,08	8,33±0,07	0,15
	6		8,35±0,07		
	10		8,34±0,05		
II period 31-60 (dana)	2	28	8,40±0,05	8,37±0,06	0,14
	6		8,37±0,09		
	10		8,35±0,05		
III period 61-90 (dana)	2	28	8,32±0,11	8,34±0,09	0,19
	6		8,38±0,09		
	10		8,33±0,06		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	8,34±0,08	8,35±0,07	0,16
	6		8,37±0,08		
	10		8,34±0,05		

Tabela 31. Rezultati prosečnih pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na larvama velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	8,25±0,03	8,27±0,03	0,15
	7		8,26±0,03		
	11		8,29±0,04		
II period 31-60 (dana)	3	28	8,33±0,05	8,31±0,04	0,14
	7		8,30±0,03		
	11		8,29±0,04		
III period 61-90 (dana)	3	28	8,29±0,05	8,28±0,06	0,19
	7		8,28±0,08		
	11		8,26±0,06		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	8,29±0,04	8,29±0,04	0,16
	7		8,28±0,05		
	11		8,28±0,05		

Tabela 32. Rezultati prosečnih pH vrednosti vode predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na zooplanktonu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	8,24±0,05	8,26±0,04	0,15
	8		8,25±0,04		
	12		8,28±0,04		
II period 31-60 (dana)	4	28	8,31±0,03	8,29±0,03	0,14
	8		8,29±0,03		
	12		8,27±0,04		
III period 61-90 (dana)	4	28	8,32±0,07	8,30±0,06	0,19
	8		8,29±0,07		
	12		8,30±0,05		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	8,29±0,05	8,28±0,04	0,16
	8		8,28±0,05		
	12		8,28±0,04		

Tabela 33. Rezultati prosečnih vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	7,87±0,06	7,88±0,06	0,15
	5		7,86±0,04		
	9		7,91±0,07		
II period 31-60 (dana)	1	28	7,96±0,06	7,94±0,05	0,14
	5		7,92±0,05		
	9		7,94±0,04		
III period 61-90 (dana)	1	28	8,00±0,06	7,90±0,07	0,19
	5		7,85±0,08		
	9		7,86±0,06		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	7,94±0,06	7,91±0,06	0,16
	5		7,88±0,06		
	9		7,90±0,06		

Tabela 34. Rezultati prosečnih vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na kalifornijskoj glisti u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	8,02±0,09	7,99±0,07	0,15
	6		7,96±0,06		
	10		7,98±0,07		
II period 31-60 (dana)	2	28	8,05±0,11	8,03±0,09	0,14
	6		8,01±0,08		
	10		8,04±0,07		
III period 61-90 (dana)	2	28	7,98±0,06	8,00±0,06	0,19
	6		8,05±0,05		
	10		7,99±0,08		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	8,02±0,09	8,01±0,07	0,16
	6		8,01±0,06		
	10		8,00±0,07		

Tabela 35. Rezultati prosečnih vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na larvama velikog brašnjara u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	7,94±0,10	7,98±0,12	0,15
	7		8,02±0,13		
	11		7,98±0,11		
II period 31-60 (dana)	3	28	7,92±0,11	7,95±0,09	0,14
	7		7,94±0,09		
	11		7,98±0,08		
III period 61-90 (dana)	3	28	7,99±0,14	7,96±0,10	0,19
	7		7,93±0,08		
	11		7,96±0,11		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	7,95±0,12	7,96±0,10	0,16
	7		7,96±0,10		
	11		7,97±0,11		

Tabela 36. Rezultati prosečnih vrednosti koncentracije rastvorenog kiseonika (mg/L) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na zooplanktonu u tank sistemu

Posmatrani period	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	7,80±0,10	7,84±0,08	0,15
	8		7,86±0,06		
	12		7,87±0,08		
II period 31-60 (dana)	4	28	7,90±0,13	7,88±0,09	0,14
	8		7,88±0,07		
	12		7,85±0,08		
III period 61-90 (dana)	4	28	7,84±0,05	7,87±0,07	0,19
	8		7,86±0,09		
	12		7,91±0,07		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	7,85±0,09	7,86±0,08	0,16
	8		7,87±0,07		
	12		7,88±0,08		

Tabela 37. Rezultati prosečnih vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	87,27±1,46	87,75±1,26	0,24
	5		88,04±1,00		
	9		87,95±1,32		
II period 31-60 (dana)	1	28	87,04±1,57	86,73±1,53	0,29
	5		86,28±1,39		
	9		86,88±1,62		
III period 61-90 (dana)	1	28	86,33±1,91	86,52±0,82	0,34
	5		87,04±1,79		
	9		86,20±1,76		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	86,88±1,69	87,00±1,67	0,18
	5		87,12±1,59		
	9		87,01±1,72		

Tabela 38. Rezultati prosečnih vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na kalifornijskoj glisti u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	87,70±1,17	87,74±1,10	0,21
	6		88,01±0,94		
	10		87,52±1,19		
II period 31-60 (dana)	2	28	86,59±1,45	86,47±1,49	0,28
	6		85,68±1,32		
	10		87,13±1,71		
III period 61-90 (dana)	2	28	87,13±1,52	86,71±1,62	0,31
	6		86,49±1,64		
	10		86,51±1,70		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	87,14±1,45	86,97±1,56	0,27
	6		86,73±1,64		
	10		87,05±1,59		

Tabela 39. Rezultati prosečnih vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na larvama velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	88,04±1,17	87,74±1,22	0,23
	7		87,32±1,42		
	11		87,85±1,06		
II period 31-60 (dana)	3	28	86,34±1,35	86,34±1,37	0,26
	7		86,75±1,36		
	11		85,94±1,39		
III period 61-90 (dana)	3	28	86,64±1,86	86,56±1,77	0,33
	7		86,16±1,64		
	11		86,87±1,82		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	87,00±1,65	86,88±1,61	0,27
	7		86,74±1,54		
	11		86,89±1,64		

Tabela 40. Rezultati prosečnih vrednosti saturacije vode (%) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na zooplanktonu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	88,14±1,09	87,85±1,20	0,23
	8		87,58±1,47		
	12		87,84±1,04		
II period 31-60 (dana)	4	28	86,22±1,02	86,60±1,33	0,25
	8		86,35±1,39		
	12		87,24±1,57		
III period 61-90 (dana)	4	28	87,29±1,55	86,85±1,75	0,33
	8		86,84±1,73		
	12		86,41±1,96		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	87,22±1,46	87,10±1,57	0,27
	8		86,92±1,60		
	12		87,16±1,66		

Tabela 41. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na ribljem brašnu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	1	28	450,50±38,97	454,84±35,47	6,7
	5		458,21±33,58		
	9		455,82±33,86		
II period 31-60 (dana)	1	28	492,93±23,21	493,04±23,20	4,39
	5		493,57±23,28		
	9		492,61±23,12		
III period 61-90 (dana)	1	28	471,61±34,01	472,15±33,85	6,4
	5		473,71±33,31		
	9		471,14±34,23		
Početak-kraj 1-90 (dana)	1	84	471,68±36,73	473,35±34,72	3,79
	5		475,17±33,40		
	9		473,19±34,03		

Tabela 42. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na kalifornijskoj glisti u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	2	28	459,54±34,05	459,57±34,20	6,47
	6		462,00±34,21		
	10		457,18±34,33		
II period 31-60 (dana)	2	28	493,25±23,18	493,38±23,13	4,37
	6		493,39±23,29		
	10		493,50±22,92		
III period 61-90 (dana)	2	28	471,07±33,78	471,54±34,55	6,53
	6		471,75±34,72		
	10		471,79±35,14		
Početak-kraj 1-90 (dana)	2	84	474,62±33,49	474,83±33,79	3,69
	6		475,71±33,52		
	10		474,15±34,37		

Tabela 43. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na larvama velikog brašnara u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	3	28	459,32±34,19	457,30±34,16	6,46
	7		455,82±34,29		
	11		456,75±34,01		
II period 31-60 (dana)	3	28	493,32±22,66	493,43±22,52	4,26
	7		492,93±22,84		
	11		494,04±22,07		
III period 61-90 (dana)	3	28	471,25±33,69	470,62±34,54	6,53
	7		467,93±35,93		
	11		472,68±33,99		
Početak-kraj 1-90 (dana)	3	84	474,63±33,42	473,78±34,04	3,71
	7		472,23±34,84		
	11		474,49±33,86		

Tabela 44. Rezultati prosečnih vrednosti elektroprovodljivosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) predstavljeni po tanku i periodima u eksperimentu sa kalifornijskom pastrmkom hranjenom eksperimentalnom hranom baziranom na zooplanktonu u tank sistemu

Posmatrani period (dana)	Tank	Obim uzorka	Prosečna vrednost posmatrano po tankovima	Prosek za posmatrani period	Standardna greška
I period 1-30 (dana)	4	28	456,61±35,72	458,17±34,70	6,56
	8		456,68±33,47		
	12		461,21±34,91		
II period 31-60 (dana)	4	28	494,04±24,33	494,10±22,80	4,31
	8		495,29±21,07		
	12		493,96±23,01		
III period 61-90 (dana)	4	28	473,93±33,94	473,90±33,97	6,42
	8		473,36±33,90		
	12		472,61±34,08		
Početak-kraj 1-90 (dana)	4	84	474,86±34,92	475,19±34,03	3,71
	8		475,11±33,70		
	12		475,60±33,48		

Tabela 45. Rezultati PCA analize (Eigen vrednost, proporcija objašnjene varijanse, kumulativna proporcija objašnjene varijanse)

Glavna komponenta	Oznaka glavne komponente	Eigen vrednost (Eigenvalue)	Proporcija objašnjene varijanse (%)	Kumulativna proporcija objašnjene varijanse (%)
Prva glavna komponenta	PC1	18,60	65,16	65,16
Druga glavna komponenta	PC2	5,277	18,48	83,64
Treća glavna komponenta	PC3	2,855	10,00	93,64
Četvrta glavna komponenta	PC4	0,2958	1,04	94,67
Peta glavna komponenta	PC5	0,2536	0,89	95,56
Šesta glavna komponenta	PC6	0,1924	0,67	96,24
Sedma glavna komponenta	PC7	0,1743	0,61	96,85
Osma glavna komponenta	PC8	0,1576	0,55	97,40
Deveta glavna komponenta	PC9	0,1212	0,42	97,82
Deseta glavna komponenta	PC10	0,1135	0,40	98,22
Jedanaesta glavna komponenta	PC11	0,08632	0,30	98,52
Dvanaesta glavna komponenta	PC12	0,07838	0,27	98,80
Trinaesta glavna komponenta	PC13	0,06861	0,24	99,04
Četrnaesta glavna komponenta	PC14	0,06044	0,21	99,25
Petnaesta glavna komponenta	PC15	0,04978	0,17	99,42
Šesnaesta glavna komponenta	PC16	0,04283	0,15	99,57
Sedamnaesta glavna komponenta	PC17	0,03252	0,11	99,69
Osamnaesta glavna komponenta	PC18	0,02916	0,10	99,79
Devetnaesta glavna komponenta	PC19	0,02111	0,07	99,86
Dvadeseta glavna komponenta	PC20	0,01471	0,05	99,92
Dvadeset prva glavna komponenta	PC21	0,01112	0,04	99,96
Dvadeset druga glavna komponenta	PC22	0,005532	0,02	99,97
Dvadeset treća glavna komponenta	PC23	0,004521	0,02	99,99
Dvadeset četvrta glavna komponenta	PC24	0,002343	0,01	100,00
Dvadeset peta glavna komponenta	PC25	0,0002869	1,01e-003	100,00
Dvadeset šesta glavna komponenta	PC26	9,237e-005	3,24e-004	100,00

Biografija autora

Stefan Marjanović je rođen 02. maja 1992. godine u Požarevcu. Osnovnu školu „Vuk Karadžić“ u Požarevcu završio je 2007. godine sa odličnim uspehom. Tehničku školu sa domom učenika „Nikola Tesla“ u Kostolcu, završio je 2011. godine sa odličnim uspehom. Poljoprivredni fakultet, Univerziteta u Beogradu, odsek za Zootehniku, upisao je školske 2012/13. godine. Diplomski rad pod nazivom „Aktivnost pčela i priprema pčelinjih društava za prezimljavanje“, odbranio je 22. novembra 2017. godine sa ocenom 10 (deset), čime je stekao stručni naziv diplomirani inženjer poljoprivrede. Osnovne akademske studije završio je sa prosečnom ocenom 8,57. Master akademske studije upisao je školske 2018/19. godine na istom fakultetu. Položio je sve ispite propisane studijskim programom Poljoprivredne nauke, modul Zootehnika i 26. septembra 2019. godine odbranio master rad pod nazivom „Isхранa šarana (*Cyprinus carpio*) u poluintenzivnom sistemu grajenja smešama sa različitim sadržajem proteina“, sa ocenom 10 (deset), čime je završio master akademske studije sa prosečnom ocenom 9,57 i stekao akademski naziv master inženjer poljoprivrede. Doktorske akademske studije je upisao školske 2019/20. godine na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Zootehnika. Veće naučne oblasti biotehničke nauke 11.10.2022. godine je dalo saglasnost na odluku Nastavno-naučnog veća Poljoprivrednog fakulteta (32/10-5.6. od 28.09.2022.) o prihvatanju teme doktorske disertacije Stefana Marjanovića, pod naslovom “Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))“ pod mentorstvom prof. dr Zorana Markovića i dr Jelene Vranković, naučni savetnik.

Autor je 30. januara 2020. godine izabran u zvanje istraživač pripravnik, čime je započeo rad kao saradnik na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja TR–31075, realizovanom na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Nakon toga izabran je u zvanje istraživač saradnik. Angažovan na istraživanjima u okviru Ugovora o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada, koji se sprovodi između Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (evidencioni broj ugovora za 2025. godinu: 451-03-137/2025-03/200116).

Tokom dosadašnjeg rada aktivno je učestvovao u postavljanju, sprovođenju i interpretaciji rezultata brojnih eksperimenata iz oblasti ishrane šarana i kalifornijske pastrmke, kao i u istraživanjima vezanim za selekciju ovih vrsta riba. U okviru svojih istraživanja najveću pažnju posvećuje problemima ishrane riba, posebno šarana, kalifornijske pastrmke i cverglana.

U saradnji sa drugim autorima objavio je ukupno 26 publikacija, među kojima se izdvajaju 2 naučna rada u prestižnim međunarodnim časopisima (kategorija M21), 1 rad u međunarodnom časopisu (kategorija M24), 1 rad u nacionalnom časopisu (kategorija M63), kao i 22 saopštenja predstavljena na međunarodnim naučnim skupovima (kategorija M34).

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Stefan Marjanović

Broj indeksa: ZO 190030

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampe i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Stefan Marjanović

Broj indeksa: ZO 190030

Studijski program: Poljoprivredne nauke

Nalov rada: Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

Mentor: prof. dr Zoran Marković

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Efekat korišćenja alternativnih izvora proteina animalnog porekla u hrani za ribe na proizvodne karakteristike i antioksidativni status gajenog šarana (*Cyprinus carpio* L., 1758) i kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss* (Walb., 1792))

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.