

Otrovanja riba

Skitarelić, Nina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:377445>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
VETERINARSKI FAKULTET**

NINA SKITARELIĆ

Otrovanja riba

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Diplomski rad je izrađen na Zavodu za farmakologiju i toksikologiju i Zavodu za biologiju i patologiju riba i pčela Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Predstojnica Zavoda za farmakologiju i toksikologiju:

Doc. dr. sc. Jelena Šuran

Predstojnik Zavoda za biologiju i patologiju riba i pčela:

Izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević

Mentori Diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Andreja Prevendar Crnić

Izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević

Članovi Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Emil Srebočan
2. Izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević
3. Prof. dr. sc. Andreja Prevendar Crnić
4. Doc. dr. sc. Jelena Šuran (zamjena)

Zahvala

*Zahvaljujem mentorima prof. dr. sc. Andreji Prevendar Crnić i izv. prof. dr. sc. Emilu Gjurčeviću na ukazanom povjerenju, strpljenju i susretljivosti tijekom izrade ovog rada.
Zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom studiranja.*

Popis kratica

ppm - parts per million (jedan dio na 1000000 dijelova = $1/10^6 = 10^{-6}$ pr. $\mu\text{g/g}$)

ppb - parts per billion (jedan dio na 1000000000 dijelova = $1/10^9 = 10^{-9}$ pr. $\mu\text{g/kg}$)

FAO - The Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organizacija za prehranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda)

FB - fumonizin B

MON - moniliformin

AST - aspartat aminotransferaza

ALT - alanin aminotransferaza

AFB₁ - aflatoksin B₁

OTA - ohratoksin A

OTB - ohratoksin B

OTC - ohratoksin C

PCDD - poliklorirani dibenzodioksini

PCDF - poliklorirani dibenzofurani

POC - perzistentni organski onečišćivači

PCB - poliklorirani bifenili

Popis slika

Slika 1. Lubin (*Dicentrarchus labrax*)

http://www.hlede.net/studentski_radovi/ribe/RibeSveZajedno.pdf (20.02.2020.)

Slika 2. Kruženje dušika u vodi

Prilagođeno prema: <https://inlandaquatics.com/aquarium-nitrogen-cycle/>(20.02.2020.)

Slika 3. Uzgoj ribe u kavezima, Cromaris, Zadar

https://www.google.com/search?q=kavezi+za+uzgoj+riba&sxsrf=ALeKk02gWAht-b3OEq71ht9j0k9aiFZlqg:1583236851003&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi4uOXwoP7nAhWF_CoKHWDADasQ_AUoAXoECAsQAw&biw=1920&bih=937#imgc=
(2.03.2020.)

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	3
2.1. Otrovanje riba dušikovim spojevima	3
2.1.1. Otrovanje riba amonijakom.....	4
2.1.2. Otrovanje nitritom.....	6
2.2. Otrovanje riba bakrom.....	8
2.3. Otrovanje riba klorom	9
2.4. Otrovanje riba mikotoksinima iz riblje hrane	10
2.4.1. Fumonizini i moniliformin	11
2.4.2. Aflatoksini	11
2.4.3. Ohratoksini	12
2.5. Otrovanja riba organskim onečišćivačima.....	13
2.6. Metil živa	13
3. RASPRAVA	15
3.1. Preporuke za provođenje toksikoloških istraživanja	16
3.2. Smjernice za smanjenje rizika otrovanja riba	17
4. ZAKLJUČCI.....	18
5. LITERATURA.....	19
6. SAŽETAK.....	26
7. SUMMARY.....	27
8. ŽIVOTOPIS.....	28

1. UVOD

Akvakultura je uzgoj ili kultivacija vodenih organizama korištenjem tehnika osmišljenih da povećaju proizvodnju navedenih organizama preko prirodnog kapaciteta okoliša, gdje organizmi ostaju u vlasništvu fizičke ili pravne osobe tijekom faze uzgoja i proizvodnje, do i uključujući fazu izlova (ANONYMOUS, 2018). To je dio ribarstva koji se bavi uzgojem vodenih organizama, uključujući ribe, rakove, školjke, mekušce i morske alge. Obuhvaća uzgoj ribe u moru (marikultura) i slatkim vodama. Akvakultura se bavi uzgojem vodenih organizama koji se koriste prvenstveno u ljudskoj prehrani. Posljednjih desetljeća prehrana ulovljenom ribom u svijetu je u stagnaciji, dok je prehrana uzgojenom ribom u stalnom porastu (BUHA, 2015). Osim primarne svrhe akvakulture - proizvodnja hrane, akvakultura se bavi i obnovom staništa, umjetnim povećanjem populacija riba, proizvodnjom mamaca (žive ribe) za ribolov, obnovom populacija ugroženih vrsta riba, uzgojem ukrasnih vrsta riba za akvarije, uzgojem biljnih vrsta za upotrebu u farmaceutskim, prehrambenim te biotehnološkim proizvodima (BUHA, 2015). Uzgoj prema „Zakonu o morskom ribarstvu“ gospodarska je djelatnost kontrolirane reprodukcije i rasta riba i drugih morskih organizama (ANONYMOUS, 2019c). U europskim zemljama akvakultura je prvenstveno orijentirana na proizvodnju riba i mekušaca, dok je proizvodnja algi i makrofita dominantno zastupljena u azijskim državama (BUHA, 2015).

Uzgoj ribe u moru započeo je prije više od 3000 godina u različitim dijelovima svijeta (RISTIĆ, 1973).

Republika Hrvatska ima dugu tradiciju uzgoja vodenih organizama. Organizirani uzgoj kamenica u Malostonskom zaljevu zabilježen je još u 16. stoljeću, a Hrvatska je bila i među prvima u uzgoju lubina i komarče na Mediteranu. Na Jadranu je pokrenut i prvi uzgoj tune u kavezu na Mediteranu, a još uvijek smo jedna od vodećih zemalja u uzgoju ove vrste. Lubin (*Dicentrarchus labrax*) (Slika 1.), komarča (*Sparus aurata*), tuna (*Thunnus thynnus*), dagnja (*Mytilus galloprovincialis*) i kamenica (*Ostrea edulis*) su danas najznačajnije uzgojne vrste u hrvatskoj akvakulturi, koja se intenzivno razvija i bilježi konstantan porast u proizvodnji (ANONYMOUS, 2015).



Slika 1. Lubin (*Dicentrarchus labrax*)

http://www.hlede.net/studentски_radovi/ribe/RibeSveZajedno.pdf (20.02.2020.)

Uzgoj slatkovodnih vrsta riba u Hrvatskoj dijeli se na uzgoj toplovodnih i uzgoj hladnovodnih ribljih vrsta. Najznačajnije vrste u slatkovodnom uzgoju su šaran (*Cyprinus carpio*) i kalifornijska pastrva (*Oncorhynchus mykiss*) (ANONYMOUS, 2015).

Gubitci u uzgoju ribe često se mogu javiti i zbog otrovanja riba različitim otrovnim tvarima koje djeluju na metabolizam riba. Najčešće se radi o različitim kemijskim spojevima koji smanjuju prirast te dovode do bolesti i uginuća.

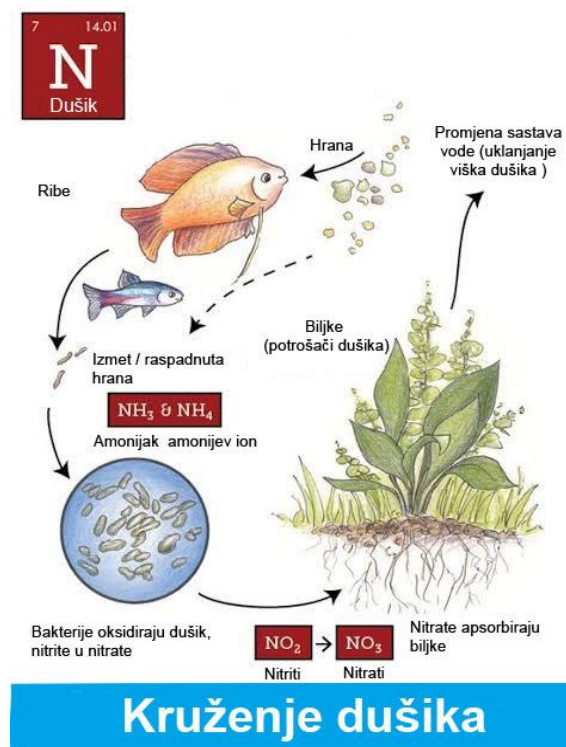
Otrovanja riba mogu biti akutnog, subakutnog i kroničnog tijeka (COPPOCK i NATION, 2012). Otrovnosti ribe unose hranom u organizam i iz onečišćene vodene okoline (COPPOCK i NATION, 2012). Stupanj otrovanja ovisiti će o vrsti kemijskog spoja i vrsti ribe koja je izložena, te o temperaturi, pH i ionskom sastavu vode u kojoj riba obitava (WLASOW i sur., 2010). Otrovanja kemijskim tvarima, te onečišćenost staništa riba povećavaju njihovu osjetljivost na bolesti (COPPOCK i NATION, 2012). Stoga je za pravilan uzgoj važno osigurati ribama zdravu hranu te prikladan i nezagađen vodeni okoliš.

2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Otrovanje riba dušikovim spojevima

Kruženje dušika u vodenim ekosustavima je vrlo bitno za biološku ravnotežu, pri čemu organski dušik (N), amonijak i drugi spojevi s dušikom prelaze u neškodljivi, plinoviti dušik (N₂) (Slika 2.). Najčešći ionski oblici u kojima se dušik pojavljuje u vodi su ioni amonija (NH₄⁺), nitrita (NO₂⁻) i nitrata (NO₃⁻) (CAMARGO i sur., 2005). U vodu dušik dopijeva ne samo iz atmosfere nego i razgradnjom organske tvari. Zbog toga su važan izvor dušika u vodenim ekosustavima nepojedeni ostaci hrane i amonijak kojeg izlučuju životinje (ribe uglavnom putem škrge) (FIJAN, 2006).

U vodenoj sredini aerobne nitrificirajuće bakterije iz rodova *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* razgrađuju amonijak preko nitrita do nitrata. U tim biokemijskim procesima amonijak prvo oksidira u nitrite uz pomoć bakterija *Nitrosomonas* spp., a nakon toga nitriti oksidiraju u nitrata uz pomoć bakterija *Nitrobacter* spp. Kao konačni proizvod denitrifikacije nastaje plinoviti dušik (FIJAN, 2006). Na djelovanje bakterija *Nitrosomonas* spp. i *Nitrobacter* spp. znatno utječe pH, temperatura i koncentracija kisika u vodi (COPPOCK i NATION, 2012). U kruženju dušika u vodenim ekosustavima postoje sezonske oscilacije. Tako se npr. porast koncentracije nitrita u vodi i posljedično otrovanje riba, tzv. bolest smeđe krvi, češće pojavljuje u proljeće i jesen (DURBOROW i sur., 1997). Najopasniji dušikovi spojevi koji mogu biti otrovni za ribe su amonijak i nitriti. Nitrat je razmjerno neotrovan i otrovanja njime u praksi su izuzetno rijetka (FIJAN, 2006).



Slika 2. Kruženje dušika u vodi

Prilagođeno prema: <https://inlandaquatics.com/aquarium-nitrogen-cycle/>(20.02.2020.)

2.1.1. Otrovanje riba amonijakom

Riba svojim metabolizmom povećava koncentraciju dušičnih spojeva u vodi (amonijak, nitrite i nitrate), povećava koncentraciju CO_2 i fosfata, povećava količinu suspendiranih čestica i smanjuje koncentraciju kisika. Smatra se da dnevno izluči 40 - 60% dušika unesenog u organizam putem hrane (IP i CHEW, 2010). Suvišak dušika iz tijela ribe izlučuju pretežno u obliku amonijaka. Dnevna količina amonijaka koju riba izluči može varirati zavisno o količini i kvaliteti hrane, odnosno o postotku bjelančevina u dnevnom obroku. Smanjena koncentracija kisika te povećana koncentracija amonijaka u vodi dovodi do smanjenog prirasta (KULIŠIĆ, 1989). Glavno mjesto stvaranja amonijaka je jetra. Budući da je otrovan i uzrokuje teške posljedice za organizam, dio amonijaka može se preraditi u manje štetnu mokraćevinu (ureu). Za taj je proces potrebna energija (WILKIE, 2002). Amonijak i mokraćevinu ribe uglavnom izlučuju putem škrga (BRUNO i sur., 2013; ROBERTS i ELLIS, 2012). Osim toga, amonijak u vodi nastaje i iz dušika uslijed razgradnje organske tvari. Organska tvar iz koje će nastati amonijak dospjeva u vodu na različite načine: izmetom životinja, truljenjem vegetacije i raspadanjem uginulih životinja, putem nepojedenih ostataka

hrane itd. (NOVOSELIĆ, 2006).

U vodi se amonijak nalazi u dva oblika, kao neškodljivi amonijev ion (NH_4^+) i slobodni neionizirani amonijak (NH_3). Za ribe je otrovan neionizirani amonijak (NH_3), koji na škragama lako prolazi kroz staničnu membranu i to iz područja veće u područje manje koncentracije, tj. u skladu s koncentracijskim gradijentom. Između slatkovodnih i morskih riba postoje razlike između izlučivanja amonijaka. Pri lužnatoj reakciji vode (visoki pH) izlučivanje amonijaka je smanjeno. Udio iona amonija (NH_4^+) i amonijaka (NH_3) u vodi ovisi o temperaturi, pH i salinitetu. Što su pH i temperatura vode veći, veći je i udio otrovnog amonijaka (COPPOCK i NATION, 2012). Zbog toga će otrovanje riba amonijakom biti češće u lužnatim, tvrdim vodama (COPPOCK i NATION, 2012).

U šaranskim ribnjacima treba koncentraciju amonijaka kontrolirati redovito, svakih 10 - 14 dana ujutro i navečer te uvijek kada je smanjeno uzimanje hrane i kada riba pokazuje bilo kakve znakove bolesti (FIJAN, 2006). Ribe će ovisno o vrsti, naglo uginuti pri koncentraciji amonijaka između 0,8 - 2,0 mg/L. Usporeni rast uzrokuju koncentracije iznad 0,2 mg/L. U pastrvskim ribnjacima i u kavezima amonijak treba biti niži od 0,01 - 0,002 mg/L (FIJAN, 2006).

Morske ribe su osjetljivije prema amonijaku od slatkovodnih (RANDALL i TSUI, 2002). Većina amonijaka u krvi riba nalazi se u ionskom obliku (NH_4^+), jer je pH krvi niži približno za dvije jedinice od pK (konstante disocijacije) amonijaka (~9,5). Povećanje koncentracije NH_4^+ u krvi pojačava glikolizu u citosolu i narušava Krebsov ciklus u mitohondrijima. NH_4^+ u visokoj koncentraciji može zamijeniti kalij u transportu iona i narušiti elektrokemijski gradijent.

Mehanizam štetnog djelovanja amonijaka u riba još nije potpuno razjašnjen. Mišićna aktivnost, hranidba i stres zbog povišene razine hormona kortizola povećavaju koncentraciju amonijaka u krvi (RANDALL i TSUI, 2002). Nadalje, povećana koncentracija amonijaka u krvi umanjuje mišićnu aktivnost. Pretpostavlja se da zbog štetnog djelovanja amonijaka nastaje metabolička disfunkcija jetre i poremećaji neurotransmisije te elektrokemijski poremećaji mišićja trupa ribe (RANDALL i TSUI, 2002).

Povećana koncentracija amonijaka u vodi smanjuje sposobnost plivanja (WICKS i sur., 2002). Ta smanjena sposobnost plivanja povezana je s depolarizacijom bijelog mišićja. Otrovnost amonijaka znatno se smanjuje s povećanjem koncentracije kalcijevih iona u vodi (WICKS i RANDALL, 2002). Osim toga, povećana koncentracija amonijaka u vodi povećava oksidacijski stres na škragama i ometa transport iona (IP i CHEW, 2010).

Kronična otrovnost amonijaka dokazana je u mlađi kalifornijskih pastrva pri

koncentracijama 0, 0,215 i 0,423 ppm (DAOUST i FERGUSON, 1984). Ovo istraživanje provedeno u kontroliranim uvjetima (pH vode 7,93), pokazalo je da se klinički znakovi otrovanja (nepravilno plivanje ili ležanje na dnu te gubitak apetita) pojavljuju tek pri koncentraciji od 0,423 ppm. No, s vremenom (nakon 55-og dana) istraživane kalifornijske pastrve nisu pokazivale izražene znakove otrovanja. Mikroskopskom pretragom uočene su promjene u epitelnim stanicama proksimalnih tubula bubrega (DAOUST i FERGUSON, 1984).

Subakutna otrovnost amonijaka pri različitim koncentracijama ispitivana je kod atlantskog lososa (*Salmo salar*) (KNOPH i THROUD, 1996). To istraživanje provedeno u protočnom sustavu u morskoj vodi, pokazalo je da se s porastom koncentracije ukupnog amonijaka u vodi linearno povećava koncentracija amonijaka u krvi. Nadalje, autori su zaključili da koncentracija ukupnog amonijaka (amonijev ion NH_4^+ i neionizirani amonijak NH_3) od 2,4 ppm ne djeluje štetno na zdravlje atlantskog lososa.

Izloženost nilske tilapije (*Oreochromis niloticus*) povećanim koncentracijama ukupnog amonijaka u vodi (do 10 ppm) tijekom šest tjedana ima za posljedicu oštećenje škrge koje se histološki očituje hiperemijom, hiperplazijom epitelnih stanica, spajanjem sekundarnih škržnih listića i proširenjem kapilara u škržnim listićima. Histološke promjene pri povećanoj koncentraciji ukupnog amonijaka uočene su i u jetri (hidropična degeneracija) te bubrezima (hiperemija i glomerulonefritis) tilapije (BENLI i sur., 2008).

2.1.2. Otrovanje nitritom

Za razliku od amonijaka, nitrit (NO_2^-) je znatno manje otrovan za ribe (COPPOCK i NATION, 2012). U vodi je prisutan kao međuproizvod pri oksidaciji amonijaka (JENSEN i HANSEN, 2011). Otrovanje riba nitritom može se pojaviti kad se poremeti kruženje dušika u vodenom ekosustavu. Prisutnost nitrita u vodi može biti štetna ne samo za ribe, nego i za druge vodene organizme (CAMARGO i sur., 2005). Slatkovodne ribe i rakovi osjetljiviji su na nitrit od kopnenih životinja (BOYD, 1982; BOYD i TUCKER, 1998; CAMARGO i sur., 2005). Osjetljivost pojedinih vrsta riba na nitrit je različita i uglavnom je povezana s inhibicijskim djelovanjem kloridnih iona (Cl^-) na uzimanje nitrita putem škrge (DURBOROW i sur., 1997; JENSEN, 2003; FIJAN, 2006). Općenito, slatkovodna riba je osjetljivija na visoke koncentracije nitrita od morske ribe, što je djelomično povezano s boljom sposobnosti uzimanja nitrita putem škrge (COPPOCK i NATION, 2012). No, i ribe iz porodice

Centrarchidae kao što su pastrvski grgeč (*Micropterus salmoides*) te vrste *Micropterus dolomieu*, *Lepomis macrochirus* i *Lepomis cyanellus* nisu osjetljivi na nitrit. Som (*Silurus glanis*), zlatni karas (*Carassius auratus auratus*), masnoglava bjelica (*Pimephales promelas*) i tilapije (*Tilapia*) su osjetljivi, a kalifornijska pastrva je izrazito osjetljiva na povećanu koncentraciju nitrita (COPPOCK i NATION, 2012).

Kada uđe u krvotok putem škruga, nitrit u eritrocitima pretvori dvovalentni ion željeza (Fe^{2+}) u trovalentni (Fe^{3+}) i pritom oksidira hemoglobin u methemoglobin koji ne može prenositi kisik (COPPOCK i NATION, 2012). To rezultira anemijom i gušenjem i kada u vodi ima dovoljno kisika. Budući da je hemoglobin crvene boje, a methemoglobin smeđe, krv i tkivo škruga postaju smeđi, a otrovanje riba nitritom naziva se bolest smeđe krvi (FIJAN, 2006).

Promijenjeni afinitet hemoglobina za kisik i promijenjena pH vrijednost krvi povećavaju kretanje kisika u riblji mjehur što utječe na održavanje ravnoteže i plivanje (COPPOCK i NATION, 2012). Posredstvom nitrita, kod riba koštunjača dolazi do prekida mehanizma izmjene iona Na^+ i iona H^+ u crvenim krvnim stanicama. To može još više smanjiti afinitet hemoglobina za kisik i dovesti do povećanja anaerobnog metabolizma i pojave acidoze (COPPOCK i NATION, 2012).

Kao što je spomenuto, visoka koncentracija nitrita može dovesti do brzog uginuća ribe. U usporedbi sa slatkom vodom, u morskoj vodi ribe će ugibati tek pri izrazito visokim koncentracijama nitrita (KROUPOVA i sur., 2005). Izlaganje kalifornijske pastrve koncentraciji nitrita u vodi od 1 mmol dovodi do vazodilatacije i povećanog srčanog opterećenja (AGGERGAARD i JENSEN, 2001; JENSEN i AGNISOLA, 2005). Do uginuća kalifornijske pastrve dolazi kada je koncentracija methemoglobina veća od 70%, a koncentracija nitrita u plazmi 2,9 mmol. Tako visoka koncentracija nitrita dovodi do oštećenja oka te oštećenja jetrenih stanica i smanjenog skladištenja glikogena (COPPOCK i NATION, 2012). Nadalje, izlaganje šarana koncentraciji nitrita u vodi od 1 ppm tijekom 48 sati ima za posljedicu povećani postotak methemoglobina, povećanu koncentraciju nitrita i nitrata te smanjenu koncentraciju klorida (Cl^-) u krvi (JENSEN i sur., 1987).

Otrovanje riba nitritom može se spriječiti dodavanjem klorida u vodu (DURBOROW i sur., 1997). Ovisno o vrsti ribe, dodavanje klorida u omjeru $\text{Cl}^- : \text{NO}_2^- = 10 : 1$ spriječit će otrovanje i uginuće (COPPOCK i NATION, 2012). Da bi se spriječilo otrovanje nitritom, za uzgajališta somova preporučeno je održavati razinu klorida u vodi na oko 100 ppm (COPPOCK i NATION, 2012). Nadalje, u uzgajalištima je potrebno smanjiti dnevni obrok i povećati protok vode (COPPOCK i NATION, 2012). U recirkulacijskim sustavima treba

osigurati odgovarajuću podlogu za prihvaćanje i rast bakterija *Nitrobacter* spp., odnosno treba uspostaviti biološki filter (FIJAN, 2006).

2.2. Otrovanje riba bakrom

Sadržaj pojedinih teških metala, poglavito bakra, je od velikog značaja za zdravlje te normalan razvoj i rast riba (COPPOCK i NATION, 2012). Bakar u tragovima je esencijalni nutrijent za ribe, no u većim količinama je otrovan. U vodeni sustav bakar dospijeva na različite načine, npr. površinskim vodama koje se slijevaju s poljoprivrednih površina na kojima se za gnojidbu koristi stajski gnoj (COPPOCK i NATION, 2012) ili izlivanjem ostataka bakrovih spojeva (fungicida) (SREBOČAN i SREBOČAN, 2009). U slatkoj vodi bakar je slabo vezan za molekule vode, a s organskim tvarima i drugim elementima stvara komplekse. Metalni kompleksi bakra u ribljem tkivu otapaju se u lipidima te tako mogu brzo difundirati kroz staničnu membranu i unijeti metal u stanicu, što rezultira povećanom biodostupnošću bakra i otrovanjem ribe. Za istraživanje otrovnosti bakra nerijetko se kao bioindikator koristi vrsta *Pimephales promelas*. Pri tomu je od posebnog značaja utvrditi slobodne metalne ione, koji čine tzv. „toksičnu frakciju“ koja se može transportirati tkivom ribe i nakupljati u staničnoj membrani, poglavito u škrgama (COPPOCK i NATION, 2012).

Brojna istraživanja pokazala su da škrge akumuliraju bakar ubrzo nakon izlaganja ribe povišenoj koncentraciji bakra u vodi. To rezultira različitim poremećajima (GROSELL i sur., 2007), koji mogu dovesti i do uginuća ribe. Smrtnost u riba izravno je povezana s količinom bakra koji se nakuplja u škrgama (GROSELL i sur., 2007). Ustanovljeno je da je otrovnost bakra različita za pojedine vrste riba (COPPOCK i NATION, 2012). Na otrovnost bitno utječe i tvrdoća vode, prvenstveno razina iona kalcija (Ca^{2+}) i magnezija (Mg^{2+}) u vodi, budući da magnezijevi i kalcijevi ioni konkuriraju ionima bakra tijekom resorpcije (SCIERA i sur., 2004). Osim toga, važan je i pH vode te prisutnost karbonatnih iona i otopljenog organskog ugljika u vodi. Promjene u navedenim parametrima mogu uzrokovati velike razlike u otrovnosti i smrtnoj dozi bakra za pojedinu vrstu ribe. Također, promjena saliniteta vode povećava otrovnost bakra (GROSELL i sur., 2007). Smanjenje pH vode povećava otrovnost bakra, pa tako smanjenje pH za jednu jedinicu dovodi do 100 puta veće otrovnosti bakra. Toplovodne ribe su manje osjetljive na suvišak bakra od hladnovodnih (COPPOCK i NATION, 2012). U istraživanju provedenom na vrsti *Pimephales promelas*, dokazano je da povećana razina natrij i kalcij klorida u vodi dovodi do smanjene otrovnosti bakra. Nasuprot

tome, povećana razina kalij klorida povećava osjetljivost ribe na bakar (ERICKSON i sur., 1996).

Za većinu vrsta postoji minimalna tolerancija na ione bakra. Ioni bakra u škrgama remete funkciju kloridnih iona u stanicama u procesu regulacije prolaza iona te uzrokuju poremećaje u osmoregulaciji i oštećenja u krvožilnom sustavu. Uz navedeno, ioni bakra su neurotoksični za ribu te mijenjaju odgovor na mirisne i mehaničke podražaje (BALDWIN i sur., 2003; LINBO i sur., 2006).

2.3. Otrovanje riba klorom

Elementarni klor je plin žutozelene boje, oštra, nadražujuća mirisa. Teži je od zraka i dobro se otapa u vodi (ANONYMOUS, 2020a). Vrlo je reaktivan i izravno se spaja s većinom elemenata. S kisikom, dušikom i ugljikom može se spajati samo preko drugih spojeva. S brojnim metalima izravno reagira dajući soli. Uporaba klora je raznovrsna. Osobito je važan u proizvodnji organskih spojeva, prvenstveno vinil - klorida za PVC mase (ANONYMOUS, 2020a). Također se koristi za kloriranje vodovodne vode i vode u bazenima, u svrhu dezinfekcije. Klor dioksid koji se upotrebljava za dezinfekciju vode, reducira se u klorit i otrovniji je od klorita (SVECEVICIUS i sur., 2005). Vodovodna voda može sadržavati i do 2 ppm klora, pa stoga vodovodna voda nije pogodna za uzgoj ribe. I u akvakulturi se klor i spojevi klora koriste za dezinfekciju (BOYD i TUCKER, 1998).

Klor je izrazito otrovan za ribe. Otrovnost klora zavisi o vrsti ribe, trajanju izloženosti i kakvoći vode. Otrovanja mogu nastati pri upotrebi klornih dezinficijensa, liječenju riba kloraminom i ispuštanju kloriranih otpadnih voda koje sadrže slobodni klor. Koncentracije između 0,1 i 4 mg/L usmrtit će ribu za nekoliko sati do nekoliko desetaka dana (FIJAN, 2006). Izloženost kloru općenito uzrokuje oštećenje škrge. Kod akutnog otrovanja javlja se nekroza škrge, dok kod kroničnog otrovanja dolazi do hipertrofije i hiperplazije epitela škržnih listića (COPPOCK i NATION, 2012).

2.4. Otrovanje riba mikotoksinima iz riblje hrane

Mikotoksini (grč. *mykos* - gljiva, grč. *toxicon* - otrov) su sekundarni produkti metabolizma plijesni koje ih sintetiziraju tijekom rasta na supstratima biljnog i životinjskog porijekla (PERŠI i sur., 2011). Mikotoksini, kao česti onečišćivači hrane, uzročnici su različitih bolesti u čovjeka i životinja. U organizam najčešće dospijevaju putem hrane. Otrovanja koja uzrokuju nazivaju se mikotoksikoze. Prema procjeni Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 25% hrane koja se proizvodi u svijetu kontaminirano je mikotoksinima (PERŠI i sur., 2011). Od dvjestotinjak do sada poznatih mikotoksina, hranu za ribe mogu kontaminirati: fumonizin B (FB), moniliformin (MON), aflatoxin B₁ (AFB₁) i ohratoksini A, B i C (OTA, OTB, OTC) (COPPOCK i NATION, 2012).

Pojavnost mikotoksina ovisi o prisutnosti pojedinih vrsta plijesni, o klimatskim i okolišnim uvjetima te fizikalno - kemijskim čimbenicima koji djeluju na proizvodnju i skladištenje hrane. Njihovom nastanku pogoduje temperatura od -5 do 60⁰C. Za stvaranje mikotoksina važna je i količina vode u pojedinoj namirnici, pa tako postotak vode od 13% i više pogoduje nastanku mikotoksina. Plijesni mogu rasti i proizvoditi mikotoksine na raznim žitaricama i uljaricama i to u svim proizvodnim fazama - od uzgoja u polju, prije žetve, nakon žetve, tijekom prerade, transporta i skladištenja (PERŠI i sur., 2011).

Mikotoksikoze u ljudi i životinja mogu biti akutne ili kronične. S ciljem sprječavanja moguće kontaminacije hrane plijesnima i mikotoksinima, potrebno je poznavati preventivne mjere. One obuhvaćaju: fizikalne, kemijske i biološke mjere pri uzgoju, žetvi i pohrani krme i žitarica te mjere tijekom proizvodnog procesa, transporta i pri skladištenju hrane. Najviše dopuštene količine mikotoksina u hrani u Hrvatskoj određuju se u µg/kg jestivog dijela namirnice, a propisane su „Zakonom o kontaminantima“ (ANONYMOUS, 2019b) i „Pravilnikom o sigurnosti hrane za životinje“ (ANONYMOUS, 2020b).

2.4.1. Fumonizini i moniliformin

Fumonizini su mikotoksini koje proizvode plijesni roda *Fusarium*, najčešće vrste *Fusarium verticillioides* i *Fusarium proliferatum* (COPPOCK i JACOBSEN, 2009). Među fumonizinima, najotrovnijim se smatra fumonizin B₁ (FB₁).

Utjecaj FB₁ dodanog u hranu na zdravlje šarana istražili su KOVAČIĆ i sur. (2004). Autori su utvrdili da FB₁ u šaranskoj mlađi uzrokuje povišenu vrijednost alanin aminotrasferaze, upalu bubrega, jetre, gušterače, srca, slezene i mozga, smanjen prirast te smanjenu otpornost na bakterijske bolesti. PETRINEC i sur. (2004) utvrdili su da jednogodišnji šaranski mlađ hranjen hranom koja sadržava FB₁ (10 i 100 ppm tijekom 42 dana) ima povećani broj štapićastih stanica u organizmu. U odraslih šarana FB₁ pogoduje nastanku eritrodermatitisa šarana i uzrokuje povećanje broja eritrocita i trombocita, serumske razine kreatinina, ukupnog bilirubina i aktivnosti aspartat aminotransferaze (AST) i alanin aminotransferaze (ALT) (PEPELJNJAK i sur., 2003).

Moniliformin je mikotoksin kojeg proizvode brojne vrste plijesni roda *Fusarium* (JESTOI, 2008). Istraživanje TUANA i sur. (2003) pokazalo je da FB₁ i MON dodavani u različitim koncentracijama (0 - 150 ppm) u hranu mlađi tilapija (*Oreochromis niloticus*) tijekom osam tjedana, dovode do poremećaja metabolizma i niske smrtnosti koja nije povezana s dozom.

2.4.2. Aflatoksini

Najopasniji, najpoznatiji i najčešći među mikotoksinima su aflatoksini, proizvodi plijesni *Aspergillus flavus* i *A. parasiticus* (FIJAN, 2006). Kod ljudi i životinja aflatoksini uzrokuju akutnu i kroničnu mikotoksikozu. Kod dugotrajne izloženosti mogu imati i karcinogeni učinak (COPPOCK i NATION, 2012). Nakupljaju se prvenstveno u jetri, ali i u drugim organima te mišićju (NOMURA i sur., 2011). Prije oko 50 godina aflatoksini su uzrokovali masovnu pojavu hepatocelularnog karcinoma i znatna uginuća u uzgajanih kalifornijskih pastrva u Sjedinjenim Američkim Državama. Istraživanja su pokazala da je uzrok aflatoksin B₁ (AFB₁) pronađen u brašnu od sjemenki pamuka koje je dodavano u hranu za pastrve (GJURČEVIĆ, 2016).

Losos je otporniji na kancerogeni učinak aflatoksina od kalifornijske pastrve. Leukociti kalifornijske pastrve izrazito su osjetljivi na AFB₁ (OTTINGER i KAATTARI,

1998). Izlaganje embrija kalifornijske pastrve AFB₁ uzrokuje dugotrajni poremećaj imuniteta u jedinki koje su se izlegle (OTTINGER i KAATTARI, 2000). Hranidba vrste *Labeo rohita* hranom koja je sadržavala 500 ppm AFB₁ djeluje štetno na imunski sustav i smanjuje otpornost na bolesti (SAHOO i MUKHERJEE, 2003). NGUYEN ANH i sur. (2002) istražili su učinak AFB₁ u riba roda *Tilapia*. Tako je jednomjesečna mlađ tilapije tijekom osam tjedana dobivala hranu koja je sadržavala različite količine AFB₁ (od 0 do 100 ppm). Nakon šestog tjedna postotak preživljavanja riba hranjenih sa 100 ppm iznosio je 55%. Ribe su imale smanjeni prirast i niži hematokrit. Također, ribe hranjene već sa 10 ppm AFB₁ imale su oštećenu jetru.

Za razliku od kalifornijske pastrve i tilapije, kanalski som je otporniji na kancerogeni učinak AFB₁ (GALLAGHER i EATON, 1995). Dodatak vitamina C u hranu riba rezultirat će povećanom otpornošću na AFB₁ (COPPOCK i NATION, 2012).

2.4.3. Ohratoksini

Ohratoksini A (OTA), ohratoksini B (OTB) i ohratoksini C (OTC) su metaboliti pojedinih plijesni roda *Aspergillus* i *Penicillium* (JACOBSEN i sur., 2007; COPPOCK i JACOBSEN, 2009). Plijesni roda *Penicillium* su značajnije za umjerenu klimu, dok je tropska klima pogodnija vrsti *Aspergillus ochraceus*. Ohratoksini se najviše proizvode u klimatskim uvjetima s 80 - 85% vlage u zraku i s temperaturom nižom od 10°C (COPPOCK i NATION, 2012). Toksikološka istraživanja su utvrdila da ohratoksini imaju različite štetne učinke na zdravlje riba: nefrotoksični, hepatotoksični, imunotoksični i neurotoksični učinak (GJURČEVIĆ, 2016).

U istraživanjima provedenim u kontroliranim uvjetima, dokazano je da u kalifornijske pastrve OTA ima štetniji učinak od OTB (COPPOCK i NATION, 2012). Toksični učinak OTA utvrđen je i u kanalskog soma, u istraživanjima provedenim u kontroliranim uvjetima. Tako u kanalskih somova hranjenih tijekom osam tjedana hranom koja je sadržavala različite koncentracije OTA (0 - 8 ppm), dolazi do smanjenog prirasta, snižene vrijednosti hematokrita i povećanog uginuća. Nakon osam tjedana uginulo je 20% riba (MANNING i sur., 2003). U vrsta roda *Tilapia* OTA uzrokuje povećanje broja melanomakrofagnih centara u jetri i bubregu, sniženu vrijednost hematokrita i smanjenu koncentraciju hemoglobina (SHALABY, 2004).

2.5. Otrovanja riba organskim onečišćivačima

Poliklorirani dibenzodioksini (PCDD) i poliklorirani dibenzofurani (PCDF) su perzistentni organski onečišćivači (POC) i predstavljaju veliku opasnost za živi svijet i okoliš. Nastaju u različitim kemijskim procesima u industriji kloriranih spojeva, industriji papira ili procesima koji se odvijaju pri visokim temperaturama, poput spaljivanja otpada, metalurških procesa, proizvodnje cementa itd. (SOFILIĆ, 2014).

Poliklorirani bifenili (PCB) su također perzistentni organski onečišćivači. Zbog široke primjene, rasprostranjeni su u okolišu. Imaju toksični i kancerogeni učinak. Slabo su topljivi u vodi i dobro u mastima, što ima za posljedicu njihovu bioakumulaciju u masnom tkivu (COPPOCK i NATION, 2012).

Iako se u okolišu nalaze u relativno niskim koncentracijama, ekotoksikološki značaj im je vrlo velik (SOFILIĆ, 2014). Naime, prenose se na velike udaljenosti putem vode i zraka pa su široko rasprostranjeni po cijelom svijetu (SOFILIĆ, 2014). Zbog široke rasprostranjenosti POC (PCDD, PCDF i PCB) su prisutni i u vodenim organizmima (COPPOCK i NATION, 2012), a zbog svoje karakteristike da se biokoncentriraju u masnom tkivu živih organizama, svi POC predstavljaju važan javno zdravstveni problem (SOFILIĆ, 2014). Sukladno tomu, čovjek može biti izložen djelovanju ovih spojeva pri konzumiranju riba i školjkaša.

Izvor perzistentnih organskih onečišćivača za ribe predstavljaju proteini i masti iz hrane, ali i mulja (COPPOCK i NATION, 2012). U istraživanju provedenom u kontroliranim uvjetima dokazano je da se u kalifornijske pastrve 30% PCDD i PCDF iz hrane ugradi u masno tkivo aksijalnog mišićja (KARL i sur., 2003). Može se zaključiti da je koncentracija PCDD i PCDF u hrani izravno povezana s njihovom koncentracijom u masnom tkivu (COPPOCK i NATION, 2012).

2.6. Metil živa

Živa je teški metal poznat od davnih vremena, a njezino štetno djelovanje na radnike u rudnicima opisivali su već Plinije i Dioskurid (KOVAČEVIĆ i sur., 2005). Metil živa nastaje metilacijom anorganske žive djelovanjem mikroorganizama u okolišu i ulazi u vodeni hranidbeni lanac. Najviše koncentracije žive su pronađene kod predatorskih riba i morskih sisavaca (SEDAK i sur., 2016). Stoga su ljudi koji konzumiraju takvu ribu posljedično

izloženi štetnom djelovanju metil žive. Budući da je rijetko prisutna u hrani, podaci o štetnim učincima žive na ribe su malobrojni (GJURČEVIĆ, 2016). Otrovanja riba redovito imaju kronični tijek, a uginuće nastupa uslijed zakazivanja jetre ili bubrega (FIJAN, 2006). Metil živa ima afinitet prema aksijalnom mišićju riba te se u njemu bioakumulira (BERNTSSEN i sur., 2004). U ovom istraživanju provedenom u kontroliranim uvjetima, dokazano je da iz hrane ribe mogu apsorbirati 6% anorganske žive i 23% metil žive. Procijenjeni prag otrovnosti za atlantskog lososa je 0,5 ppm metil žive u hrani, dok je količina manja od 0,88 ppm methemoglobina utjecala na mriješćenje kod velikoglavog klana (HAMMMERSCHMIDT i sur., 2002).

3. RASPRAVA

Važan dio ribarstva čini akvakultura, koja se bavi uzgojem vodenih organizama, prvenstveno riba (ANONYMOUS, 2015). Uzgojena riba važan je dio prehrane ljudi, tim više što je izlov ribe posljednjih desetljeća u stagnaciji gotovo u cijelom svijetu. Najznačajnije uzgojne vrste slatkovodnih riba u Hrvatskoj su šaran i kalifornijska pastrva. Dominantne uzgojne vrste u hrvatskoj marikulturi su: lubin, komarča i tuna. Posljednjih godina u uzgoj se uvode i nove vrste kao što je npr. hama (*Argyrosomus regius*) (ANONYMOUS, 2019a). Morsku ribu se uzgaja gotovo u svim obalnim županijama, najviše u Zadarskoj (BUHA, 2015) i to uz primjenu najmodernijih tehnologija (Slika 3.). Tuna iz uzgoja plasira se uglavnom na japansko tržište, dok se „bijela riba“ plasira na domaće, ali i na tržište Europske unije (ANONYMOUS, 2019a).



Slika 3. Kavezi za uzgoj ribe. Cromaris, Zadar

[http://www.cromaris.hr/upload/tbl_novosti/webdji_0365_142829.jpg.axd?width=600&height=350
&crop=auto&quality=60](http://www.cromaris.hr/upload/tbl_novosti/webdji_0365_142829.jpg.axd?width=600&height=350&crop=auto&quality=60) (22.05.2020)

Zavisno o vrsti ribe i tehnologiji proizvodnje, u ribogojstvu su u upotrebi dvije glavne kategorije hrane - kompletne i dodatne. Kompletna hrana podmiruje sve hranidbene potrebe ribe i uglavnom podrazumijeva industrijski proizvedene krmne smjese oblikovane kao pelete.

Dodatna pak hrana je jedan od temelja šaranske proizvodnje (npr. žitarice) i služi za nadopunu prirodne hrane koja se razvija u ribnjacima (FIJAN, 2006). Uzimanje kontaminirane hrane i resorpcija iz vode dva su najvažnija načina kako riba dobiva i nakuplja u svojim tkivima štetne tvari iz prirodne sredine (FIJAN, 2006). Budući da kompletna hrana i žitarice ne smiju sadržavati štetne tvari u nedozvoljenim količinama (FIJAN, 2006) i da proizvođači kontroliraju sirovine na prisutnost štetnih tvari (GJURČEVIĆ, 2016), otrovanja hranom danas su rijetka.

Voda, s druge strane, često je onečišćena raznim štetnim i otrovnim tvarima što može štetno utjecati na ribe, dovesti do zaostajanja u rastu, nastanka bolesti i uginuća. Nadalje, nakupljanje štetnih tvari u ribi može ju učiniti neprikladnom za ljudsku potrošnju (FIJAN, 2006). Voda može biti onečišćena uslijed poplava, izlivanjem raznih kemikalija iz okoliša te izlivanjem septičkih jama i slivnih voda, posebice tijekom obilnih oborina. Osjetljivost ribe na promjene parametara kakvoće vode varira ovisno o vrsti i starosti (FINN, 2007). Pojedini parametri kakvoće vode međusobno su povezani, pa će tako promjena jednog parametra utjecati na vrijednosti ostalih. Tako će npr. pH vode značajno utjecati na topivost teških metala (FINN, 2007).

3.1. Preporuke za provođenje toksikoloških istraživanja

Toksikološka istraživanja potrebno je povremeno provoditi i u zatvorenim sustavima. Kao mogući razlog za provođenje toksikoloških istraživanja COPPOCK i NATION (2012) navode povećano uginuće ribe, poremećaje u razmnožavanju, smanjeno uzimanje hrane i smanjeni prirast. Važno je zabilježiti svaku pojavu kojoj bi uzrok mogao biti toksikološki, svako zagađenje okoliša te svaku promjenu u protokolu hranjenja, održavanja kvalitete vode i skrbi o ribi. Bilježenje podataka i vođenje evidencije o parametrima kakvoće vode mogu poslužiti za otkrivanje štetnih promjena (COPPOCK i NATION, 2012).

Prema COPPOCK i NATION (2012) pri toksikološkom istraživanju važno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- je li događaj nastao naglo ili postepeno?
- koliko je stara riba kod koje se poremećaj pojavio te gdje se nalazi?
- jesu li uočeni klinički znakovi bolesti ili otrovanja?
- može li poremećaj biti povezan s promjenom hrane, pojedinih sastojaka u hrani ili

promjenom mjesta skladištenja hrane?

- je li poremećaj povezan s promjenom kvalitete vode, filtracijom vode, prekidom struje ili s kišnim razdobljem?
- jesu li korišteni pesticidi?
- jesu li korišteni neki lijekovi?
- postoje li smrtni slučajevi kopnenih životinja u okolnom području uzgajališta?
- je li uginuće povezano s propadanjem vodene vegetacije ili fitoplanktona?
- za što se prije koristilo područje na kojem je smješteno uzgajalište?
- jesu li podaci o pojavi bolesti, toksikološki podaci i podaci o sastavu hrane dostupni?

Kao što je navedeno, uginuće ribe može biti posljedica promjene parametara kakvoće vode, kao što je npr. smanjena koncentracija kisika. Općenito, manje ribe su otpornije na nestašicu kisika, ali osjetljivije prema kemijskim spojevima u vodi (COPPOCK i NATION, 2012).

3.2. Smjernice za smanjenje rizika otrovanja riba

Otrovi i otrovne tvari u vodeni sustav najčešće ulaze vodom i hranom. Stoga se kontrola vode i hrane nameće kao najvažniji dio protokola u zaštiti zdravlja ribe od djelovanja otrovnih tvari (COPPOCK i NATION, 2012).

Nerijetko otrovne tvari u vodu dopijevaju slivnim vodama. Jednako tako, vodu onečišćuje i riba svojim izlučevinama. Da bi se spriječile štete u ribogojstvu potrebno je redovito kontrolirati parametre kakvoće vode. Posebnu pozornost treba posvetiti otpadnim vodama iz domaćinstava, industrije, poljoprivrede i šumarstva.

U uzgoju treba koristiti samo zdravstveno ispravnu hranu, a sastojci za riblju hranu i žitarice za hranidbu u ribogojstvu ne smiju sadržavati nedozvoljene količine štetnih tvari. Stoga i hranu za ribe treba kontrolirati redovito. Nagomilavanje štetnih tvari može ribu učiniti neprikladnom za ishranu ljudi, a propisi o higijenskoj ispravnosti i upotrebljivosti riba za ishranu u pojedinim državama mogu biti različiti (FIJAN, 2006).

Budući toksikološki izazovi neće samo uključiti brigu o vodama, hrani i do sada poznatim uzročnicima bolesti i toksinima iz okoline, već će se morati prilagoditi daljnjem razvoju znanosti i pojavi novih otrovnih tvari. Stoga će toksikološki nadzor uzgoja ribe i u budućnosti predstavljati veliki izazov.

4. ZAKLJUČCI

1. Riba mogu biti izložene različitim otrovnim spojevima iz onečišćene vodene sredine ili otrovne spojeve mogu unijeti u organizam hranom.
2. Otrovnost će ovisiti o vrsti otrovnog kemijskog spoja i vrsti ribe te kakvoći vode.
3. Otrovanja riba mogu biti akutnog, subakutnog i kroničnog tijeka.
4. Najotrovniji dušikovi spojevi za ribe su amonijak i nitriti.
5. Povišena koncentracija bakra i klora može izazvati otrovanje, ali i uginuće ribe.
6. Općenito, najčešće opisani znakovi otrovanja riba su nespecifični; smanjen prirast i gubitak apetita, otežano i nepravilno plivanje te oštećenje epitelnih stanica škrge.
7. Važniji mikotoksini koji mogu kontaminirati hranu za ribe su: fumonizin, moniliformin, aflatoxin B₁ i ohratoksini A, B i C.
8. Mikotoksini mogu uzrokovati oštećenje bubrega, jetre, gušterače, srca, slezene, mozga i imunskog sustava, smanjen prirast, a mogu imati i karcinogeni učinak.
9. Organski onečišćivači (PCDD, PCDF, PCB) i metil živa predstavljaju opasnost za zdravlje ribe. Njihovo nagomilavanje u tijelu ribe, može ribu učiniti neprikladnom za ishranu ljudi.
10. Općenito, izloženost otrovnim tvarima smanjuje njihovu otpornost na bolesti.
11. Za pravilan uzgoj ribe važno je osigurati ribama zdravu hranu te zdrave uvjete rasta u ribnjaku, ribogojilištu te u kavezima u kojima se vrši uzgoj ribe.

5. LITERATURA

AGGERGAARD, S., F. B. JENSEN (2001): Cardiovascular changes and physiological response during nitrite exposure in rainbow trout. *J. Fish. Biol.* 59, 13-27.

ANONYMOUS (2015): Nacionalni strateški plan razvoja akvakulture za razdoblje 2014-2020. Ministarstvo poljoprivrede.

https://ribarstvo.mps.hr/UserDocsImages/akvakultura/NSPA%202014-2020_hrv.pdf
(14.02.2020.)

ANONYMOUS (2018): Zakon o akvakulturi. Narodne novine, br. 111/2018.

ANONYMOUS (2019a): Morska akvakultura u Hrvatskoj - pregled. Grupacija svjetske banke. https://poljoprivreda2020.hr/wp-content/uploads/2019/04/Morska_akvakultura_veljaca_2019.pdf. (14.02.2020.)

ANONYMOUS (2019b): Zakon o kontaminantima. Narodne novine, br. 39/13 i 114/18.

ANONYMOUS (2019c): Zakon o morskom ribarstvu. Narodne novine, br. 14/2019.

ANONYMOUS (2020a): Klor. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31978> (23.4.2020.)

ANONYMOUS (2020b): Pravilnik o sigurnosti hrane za životinje. Urednički pročišćeni tekst, Narodne novine, br. 102/16 i 60/20.

BALDWIN, D. H., J. F. SANDAHL, J. S. LABENIA, N. L. SCHOLZ (2003): Sublethal effects of copper on coho salmon: impacts on nonoverlapping receptor pathways in the peripheral olfactory nervous system. *Environ. Toxicol. Chem.* 22, 2266-2274.

BENLI, A. C., G. KOKSAL, A. OZKUL (2008): Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): effects on gill, liver and kidney histology. *Chemosphere* 72, 1355-1358.

- BERNTSSEN, M. H. G., K. HYLLAND, K. JULSHAMN, A. K. LUNDEBYE, R. WAAGBO (2004): Maximum limits of organic and inorganic mercury in fish feed. *Aquaculture. Nutr.* 10, 83-97.
- BOYD, C. E. (1982): *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Elsevier, New York, pp. 1-318.
- BOYD, C. E., C. S. TUCKER (1998): *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Kluwer, Boston, pp. 1-624.
- BRUNO, D., P. A. NOGUERA, T. T. POPPE (2013): *A Colour Atlas of Salmonid Diseases*. 2nd ed., Springer. Dordrecht, Heidelberg, New York, London, pp. 1-193.
- BUHA, I. (2015): *Stanje Europske akvakulture. Završni rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska*.
- CAMARGO, J. A., A. ALONSO, A. SALAMANCA (2005): Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58, 1255-1267.
- COPPOCK, R. W., B. J. JACOBSEN (2009): Mycotoxins in animal and human patients. *Toxicol. Ind. Health.* 25, 637-655.
- COPPOCK, R. W., P. N. NATION (2012): *Aquatic toxicology*. 2nd ed., In: *Veterinary Toxicology*. (Gupta, R. C., Ed.). Academic Press. Cambridge, pp. 887-895.
- DAOUST, P. Y., H. W. FERGUSON (1984): The pathology of chronic ammonia toxicity in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish. Dis.* 7, 199-205.
- DURBOROW, R. M., D. M. CROSBY, M. W. BRUNSON (1997): *Nitrate in Fish Ponds*. Southern Regional Aquaculture Center, Stoneville, Mississippi State University.
- ERICKSON, R. J. B., D. A. BENOTT, V. R. MATTSON, E. N. LEONARD, H. P. NELSON (1996): The effects of water chemistry on the toxicity of copper to fathead minnows. *Environ. Toxicol. Chem.* 15, 181-193.

FIJAN, N. (2006): Bolesti prouzročene poremećajima u okolišu. U: Zaštita zdravlja riba (Fijan, N., Ur.), Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, str. 279-314.

FINN, R. N. (2007): The physiology and toxicology of salmonid eggs and larvae in relation to water quality criteria. *Aquat. Toxicol.* 81, 337-354.

GALLAGHER, E. P., D. L. EATON (1995): In vitro biotransformation of aflatoxin B₁ in channel catfish liver. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 132, 82-90.

GJURČEVIĆ, E. (2016): Hranidba i zdravlje riba. U: Hranidba riba. (Bogut, I., L. Bavčević, I. Stević, Ur.), Hrvatska akademija za znanost i umjetnost u Bosni i Hercegovini, Mostar, B i H; Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, B i H; Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Mostar, str. 457-482.

GROSELL, M., J. BLANCHARD, K. V. BRIX, R. GERDES (2007): Physiology is pivotal for interactions between salinity and acute copper toxicity to fish and invertebrates. *Aquat. Toxicol.* 84, 162-172.

HAMMMERSCHMIDT, C. R., M. B. SANDHEINRICH, J. G. WIENER, R. G. RADA (2002): Effects of dietary methylmercury on reproduction of fathead minnows. *Environ. Sci. Technol.* 36, 877-883.

IP, Y. K., S. F. CHEW (2010): Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. *Front. Physiol.* 1, 134.

JACOBSEN, B. J., R. W. COPPOCK, M. S. MOSTROM (2007): Mycotoxins and Mycotoxicoses. Montana State University, Extension Publication EBO174, Bozeman, MT.

JENSEN, F. B. (2003): Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* 135, 9-24.

JENSEN, F. B., C. AGNISOLA (2005): Perfusion of the isolated trout heart coronary circulation with red blood cells: effects of oxygen supply and nitrite on coronary flow and myocardial oxygen consumption. *J. Exp. Biol.* 208, 3665-3674.

JENSEN, F. B., N. A. ANDERSEN, N. HEISLER (1987): Effects of nitrite exposure on blood respiratory properties, acid - base and electrolyte regulation in the carp (*Cyprinus carpio*). *J. Comp. Physiol. B.* 157, 533-541.

JENSEN, F. B., M. N. HANSEN (2011): Differential uptake and metabolism of nitrite in normoxic and hypoxic goldfish. *Aquat. Toxicol.* 101, 318-325.

JESTOI, M. (2008): Emerging fusarium - mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin: a review. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 48, 21-49.

KARL, H., H. KUHLMANN, U. RUOFF (2003): Transfer of PCDDs and PCDFs into the edible parts of farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), via feed. *Aquacult. Res.* 34, 1009-1014.

KNOPH, M. B., K. THORUD (1996): Toxicity of ammonia to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater: effects on plasma osmolality, ion, ammonia, urea and glucose levels and hematologic parameters. *Comp. Biochem. Physiol. A.* 113, 375- 382.

KOVAČEVIĆ, R., S. MILAČIĆ, D. JOVIČIĆ, I. TANASKOVIĆ (2005): Savremeni aspekti patogenetskih mehanizama delovanja metala na ljudski organizam tokom profesionalne ekspozicije. *Zaštita materijala* 46, 51-54.

KOVAČIĆ, S., Z. PETRINEC, S. PEPELJNIAK, M. ŠEGVIĆ KLARIĆ (2004): Toksični učinci fumonizina B1 u šarana (*Cyprinus carpio* L.). *Praxis veterinaria* 52, 183-192.

KROUPOVA, H., J. MACHOVA, Z. SVOBODOVA (2005): Nitrite influence on fish: a review. *Vet. Med.* 50, 461-471.

KULIŠIĆ, B. (1989): Utjecaj koncentracije neioniziranog amonijaka iz vode na pastrvski mlađ na ribogojilištu Knin. *Ribar. Jugosl.* 44,50-53.

LINBO, T. L., C. M. STEHR, J. P. INCARDONA, N. L. SCHOLZ (2006): Dissolved copper triggers cell death in the peripheral mechanosensory system of larval fish. *Environ. Toxicol. Chem.* 25, 597-603.

MANNING, B. B., R. M. ULLOA, M. H. LIA, E. H. ROBINSONA, G. E. ROTTINGHAUS (2003): Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. *Aquaculture* 219, 739-750.

NGUYEN ANH, T., J. M. GRIZZLE, R. T. LOVELL, B. B. MANNING, G. E. ROTTINGHAUS (2002): Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B₁. *Aquaculture* 212, 311-319.

NOMURA, H. M., M. OGISO, M. YAMASHITA, H. TAKAKU, A. KIMURA, M. CHIKASOU, Y. NAKAMURA, S. FUJII, M. WATAI, H. YAMADA (2011): Uptake by dietary exposure and elimination of aflatoxins in muscle and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Agric. Food. Chem.* 59, 5150-5158.

NOVOSELIĆ, D. (2006): Ekologija i zaštita voda. U: Biologija riba. (Bogut, I., Ur.). Poljoprivredni fakultet. Osijek, str. 406-587.

OTTINGER, C. A., S. L. KAATTARI (1998): Sensitivity of rainbow trout leucocytes to aflatoxin B₁. *Fish. Shellfish. Immunol.* 8, 515-530.

OTTINGER, C. A., S. L. KAATTARI (2000): Long-term immune dysfunction in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed as embryos to aflatoxin B₁. *Fish. Shellfish. Immunol.* 10, 101-106.

PEPELJNJAK, S. Z., Z. PETRINEC, S. KOVAČIĆ, M. SEGVIC (2003): Screening toxicity study in young carp (*Cyprinus carpio* L.) on feed amended with fumonisin B₁. *Mycopathologia* 156, 139-145.

PERŠI, N., J. PLEADIN, A. VULIĆ, M. ZADRAVEC, M. MITAK (2011): Mikotoksini u žitaricama i hrani životinjskog podrijetla. *Vet. Stanica* 42, 335-345.

- PETRINEC, Z. S., S. PEPELJNJAK, S. KOVAČIĆ, A. KRZNARIĆ (2004): Fumonisin B₁ causes multiple lesions in common carp (*Cyprinus carpio*). Dtsch. Tierarztl. Wochenschr. 111, 358-363.
- RANDALL, D. J., T. K. N. TSUI (2002): Ammonia toxicity in fish. Marine. Pollut. Bull. 45, 17-23.
- RISTIĆ, M. Đ. (1973): Stanje i realne mogućnosti razvoja lagunarnog ribarstva u priobalnom regionu Jadrana. Croat. J. Fisher. 28, 7-8.
- ROBERTS, R. J., A. E. ELLIS (2012): The Anatomy and Physiology of Teleosts. In: Fish pathology, 4th ed., (Roberts, R. J., Ed.). Blackwell Publishing Ltd. Chichester, pp. 17- 61.
- SAHOO, P. K., S. C. MUKHERJEE (2003): Immunomodulation by dietary vitamine C in healthy and aflatoxin B₁ - induced immunocompromised rohu (*Labeo rohita*). Comp. Immunol. Mycobiol. Infect. Dis. 26, 65-76.
- SCIERA, K. L., J. J. ISELY, J. R. TOMASSO, S. J. KLAINÉ (2004): Influence of multiple water - quality characteristics on copper toxicity in to fathead minnows (*Pimephales promelas*). Environ. Toxicol. Chem. 23, 2900-2905.
- SEDAK, M., N. BILANDŽIĆ, B. ČALOPEK, M. ĐOKIĆ, B. SOLOMUN KOLANOVIĆ, I. VARENINA, Đ. BOŽIĆ, I. VARGA, B. ŠIMIĆ, M. ĐURAS, T. GOMERČIĆ (2016): Toksični metali - bioindikator zagađenja u morskom okolišu - II dio: arsen i živa. Vet. stanica 47, 35-49.
- SHALABY, A. M. E. (2004): The opposing effect of ascorbic acid (vitamin C) on ochratoxin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Proceedings of the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Pine Bluff, USA, pp. 209-221.
- SOFILIĆ, T. (2014): Ekotoksikologija. Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, str. 1-173.

SREBOČAN, V., E. SREBOČAN (2009): Veterinarska toksikologija. 2.izd., Medicinska naklada, Zagreb, str. 1-515.

SVECEVICIUS, G. J., P. SYVOKIENE, P. STASI NAITE, L. MICKENIENE (2005): Acute and chronic toxicity of chlorine dioxide (ClO₂) and chlorite (ClO₂⁻) to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 12, 302-305.

TUAN, N. A., B. B. MANNING, R. T. LOVELL, G. E. ROTTINGHAUS (2003): Responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B₁. Aquaculture 217, 515-528.

WICKS, B. J., R. JOENSEN, Q. TANG, D. J. RANDALL (2002): Swimming and ammonia toxicity in salmonids: the effect of sublethal ammonia exposure on the swimming performance of coho salmon and the acute toxicity of ammonia in swimming and resting rainbow trout. Aquat. Toxicol. 59, 55-69.

WICKS, B. J., D. J. RANDALL (2002): The effect of feeding and fasting on ammonia toxicity in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquat. Toxicol. 59, 71-82.

WILKIE, M. P. (2002): Ammonia excretion and urea handling by fish gills: present understanding and future research challenges. J. Exp. Zool. 293, 284-301.

WLASOW, T. K., P. DEMSKA - ZAKES, P. GOMULKA, S. JARMOLOWICZ (2010): Various aspects of piscine toxicology. Interdiscip. Toxicol. 3, 100-104.

6. SAŽETAK

Važan dio ribarstva čini akvakultura, koja se bavi uzgojem vodenih organizama, prvenstveno riba. Uzgoj ribe u Republici Hrvatskoj obuhvaća marikulturu te uzgoj ribe u slatkim vodama. Uzgojena riba važan je dio prehrane ljudi. Riba može doći u kontakt s različitim otrovnim spojevima iz okoline. Otrovnost će ovisiti o vrsti kemijskog spoja i vrsti ribe te kvaliteti vode. Otrovanja riba mogu biti akutnog, subakutnog i kroničnog tijeka. Mogu biti uzrokovana povećanim koncentracijama klor, bakra i različitih kemijskih spojeva iz vodene sredine, poput dušikovih spojeva. Također, otrovanja riba su često posljedica kontaminacije riblje hrane mikotoksinima, osobito fumonizinima, moniliforminom, aflatoksinom B₁ i ohratoksinima A, B i C. Na zdravlje riba štetno mogu djelovati i perzistentni organski onečišćivači. Uz navedeno, riba može doći u kontakt i s različitim teškim metalima npr. živom. Otrovnost tvari u vodeni sustav najčešće ulaze hranom i vodom. Stoga je kontrola vode i hrane važan dio protokola u zaštiti zdravlja riba.

Ključne riječi: ribe, otrovanje, dušikovi spojevi, klor, bakar, mikotoksini, dioksini, metil živa

7. SUMMARY

Fish poisoning

An important part of fisheries is aquaculture, which deals with the cultivation of aquatic organisms, primarily fish. Fish cultivation in the Republic of Croatia includes mariculture and freshwater fish farming. Cultured fish is an important part of the human diet. Fish can come into contact with various toxic compounds from the environment. Toxicity will depend on the type of chemical compound and the type of fish and the quality of the water. Fish poisoning can be acute, subacute and chronic. It can be caused by increased concentrations of chlorine, copper and various chemical compounds from the aqueous medium, such as nitrogen compounds. Also, fish poisoning is often the result of contamination of fish food with mycotoxins, especially fumonisins, moniliformin, aflatoxin B1 and ochratoxins A, B and C. Persistent organic contaminants can also have a detrimental effect on fish health. In addition, fish can also come into contact with various heavy metals, such as mercury. Toxic substances most often enter the water system through food and water. Therefore, water and food control is an important part of the protocol in protecting fish health.

Key words: fish, poisoning, nitrogen compounds, chlorine, copper, mycotoxins, dioxins, methylmercury

8. ŽIVOTOPIS

Nina Skitarelić rođena je 1994. godine u Zadru, Republika Hrvatska. Osnovnu školu završila je u Zadru. Srednjoškolsko obrazovanje stekla je također u svome rodnom gradu, završivši Gimnaziju Vladimir Nazor u Zadru. Nakon završene srednje škole, 2012. godine upisala je Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studija na Veterinarskom fakultetu pohađala je različite seminare iz područja struke, a u više navrata je volontirala u Veterinarskoj ambulanti Zoo - Vet u Zadru. Za vrijeme studija bila je aktivan član studentske udruge eSTUDENT. Godine 2019. odlazi u sklopu Erasmus+ programa na razmjenu studenata u Gent u Belgiji gdje obavlja stručnu praksu u veterinarskoj ambulanti DAP Clos Fleuri. Govori i piše engleskim i njemačkim jezikom, a služi se i nizozemskim jezikom.