

Mnogočetinaš *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) u Jadranu

Vodopija, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:820100>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Matija Vodopija

Mnogočetinaš *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) u Jadranu
The polychaete *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) in the Adriatic
Sea
Završni rad

Matija Vodopija
Preddiplomski studij Znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environmental Sciences)
Mentorica: izv. prof. dr. sc. Tatjana Bakran-Petricioli

Zagreb, 2021.

Ovaj rad je izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Tatjane Bakran-Petricioli.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2.1. Sredozemlje kao prostor globalnih promjena	1
2.1.2. Sredozemno more kao vruća točka raznovrsnosti i promjena	1
2.1.3. Jadransko more kao vruća točka raznovrsnosti i promjena	3
2.2. Mnogočetinaš <i>Hermodice carunculata</i> – cirkumatlantska vrsta	3
2.2.1. Biologija i ekologija <i>H. carunculata</i>	3
2.2.2. Vremenska i prostorna rasprostranjenost <i>H. carunculata</i> u Jadranu i okolnim morima	6
2.3. <i>Hermodice carunculata</i> u bentosu Jadrana	7
2.3.1. Utjecaj globalnih promjena na <i>H. carunculata</i>	7
2.3.2. Nastanak potencijalne „domaće invazivne“ vrste	9
2.3.3. Posljedice širenja rasprostranjenosti <i>H. carunculata</i>	10
2.3.4. Moguće buduće promjene	10
3. Zaključak	12
4. Literatura	13
5. Sažetak	16
6. Summary	16
7. Životopis	17

1. Uvod

Globalni sustavi atmosfere i mora u posljednjih nekoliko desetljeća svjedoče do sada nezabilježenim i neporecivim promjenama uzrokovanim recentnom antropogenom aktivnošću povezanom s industrijalizacijom društava. Ističe se globalno zagrijavanje, koje se očituje na kopnu i u moru. Na udaru mnogih različitih štetnih posljedica navedenih promjena nalazi se Sredozemlje, koje je ujedno i područje vrlo visoke biološke raznolikosti. Ovakvi novonastali problemi izvrsno su ilustrirani vrstom mnogočetinaša *Hermodice carunculata*. Ova vrsta posljednjih desetljeća širi svoj areal sjeverno, potencijalno uzrokujući niz štetnih učinaka na tamošnje zajednice organizama. Do sada često ignoriran, *H. carunculata* predstavlja zanimljivu vrstu čije proučavanje može dovesti do novih saznanja o odnosima morskih organizama, ali i o mnogočetinašima općenito. Upravo takva istraživanja nužna su kako bi se odnosi vrsta u dinamičnom i veoma promjenjivom okruženju mogli razumjeti i pravilno interpretirati. U ovom radu dan je pregled spoznaja o genetičkoj strukturi, morfologiji, populacijama i širenju *H. carunculata* s posebnim osvrtom na Jadran kao na osjetljivo područje vrlo visoke bioraznolikosti. Prikazan je i pregled mogućih budućih promjena u strukturama morskih zajednica Jadrana na temelju poznatih primjera iz već objavljenih istraživanja o *H. carunculata*.

2.1. Sredozemlje kao prostor globalnih promjena

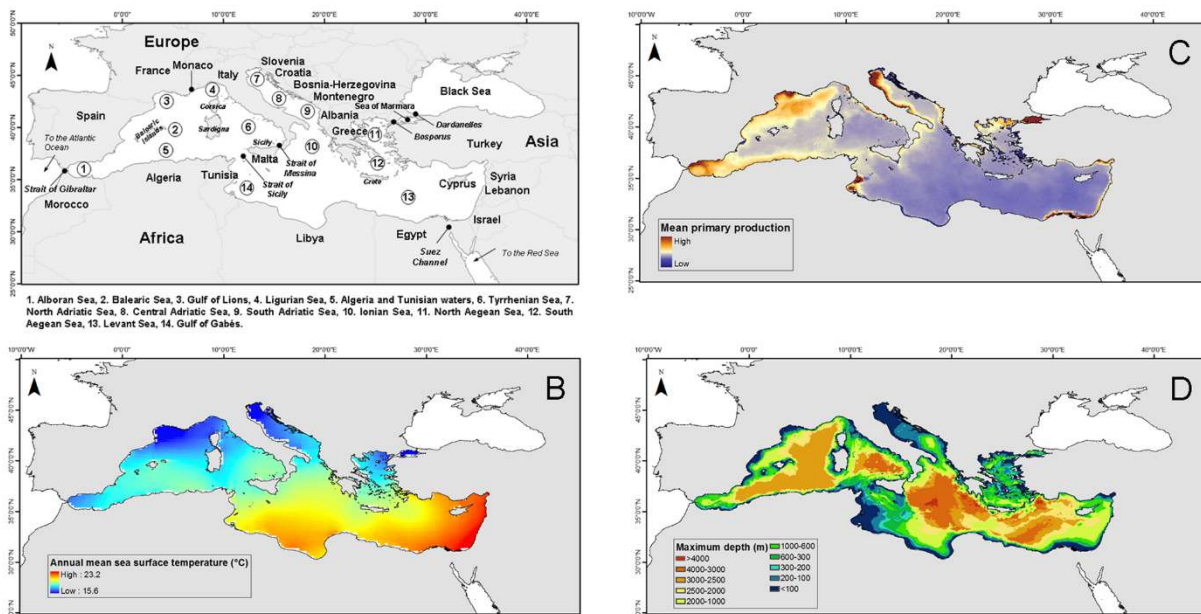
Sredozemno more, kao dio šire regije Mediterana, već je više tisućljeća centralna točka rasta, razvoja, migracija i izmjene dobara i ideja mnogih društava. Dugotrajna i zamršena povijest ljudskog obitavanja na Mediteranu razvila je identitet tog prostora koji i danas raste i evoluiru s 21 mediteranskom državom i preko 200 milijuna posjetitelja godišnje (Coll i sur., 2010), no istovremeno čovjek je na jednako fascinantnu prirodu ovog područja također ostavio nepovratan trag. Istraživanja ukazuju na to da su pretpovijesni stanovnici ovog prostora imali minoran učinak na svoje okruženje, no antropogeni pritisak na morske vrste Sredozemlja uočljiv je već tijekom mezolitika i neolitika u vidu zooarheoloških ostataka masovnog izlova različitih vrsta ribe i morskih medvjedica (Coll i sur., 2020). Tijekom starog vijeka ljudski pritisak nad prirodom Sredozemlja će početi brže rasti te će se nastaviti do danas (Coll i sur., 2020). Usprkos tome što se malo regija može pohvaliti raznolikošću prirodnih fenomena poput Mediterana, čovječanstvo je pred rizikom da nepovratno izgubi milijune godina raznolikosti.

2.1.1. Sredozemno more kao vruća točka raznovrsnosti i promjena

Protežući se na gotovo 3 milijuna km² Sredozemno more je najveće i najdublje zatvoreno more na svijetu (Coll i sur., 2010). Na čitavom području prevladava niz različitih ekoloških čimbenika, od toplog i

slanog Levanta do hladnog Lionskog zaljeva. Velika raznolikost ekoloških čimbenika uzrokovala je da Sredozemno more ima niz veoma specifičnih staništa, zajednica i bioloških fenomena. Ističu se naselja cvjetnice *Posidonia oceanica*, grebeni koje gradi puž *Dendropoma petraeum* te činjenica da ovo more predstavlja glavno mrjestilište za istočnoatlantsku plavoperajnu tunu (*Thunnus thynnus*) (Coll i sur., 2010).

Općenito gledajući, mediteranska bioraznolikost i produktivnost smanjuje se sa sjeverozapada prema jugoistoku (slika 1), najraznolikiji su obalni prostori i kontinentalne podine, upravo ona područja koja su danas pod najvećim antropogenim pritiskom (Schulze i sur., 2017). Ukupan broj vrsta u Sredozemnom moru prije desetak godina bio je procijenjen na 17.000 (Coll i sur., 2010). Zanimljiva je i činjenica da kolutićavci, koljeno kojem pripada *H. carunculata* čine 6,6% tih vrsta (Coll i sur., 2010). Međutim, sve je više istraživanja s alarmantnim podacima i dokazima naglih i brzih antropogenih promjena kroz koje ovaj prostor prolazi sve više narušavajući ravnotežu prirode i višetisućljetne ljudske prisutnosti. Vjeruje se kako u Sredozemnom moru danas obitava između 600 i 1.000 stranih vrsta, od kojih većina dolazi upravo preko Sueskog kanala - čovjekove intervencije u barijeru među morima (Coll i sur., 2010). Većina tih vrsta je termofilna, a projekcije porasta temperature mora predviđaju rast od oko 3 °C (Coll i sur., 2010), nastavno na porast od 1,5 °C zabilježen od 1982. do danas (Righi i sur., 2020). Jasno je kako će koloplet takvih uvjeta imati neupitne efekte na zajednice koje ovdje obitavaju. U moru globalnih promjena, ističe se manji prostor Mediterana, Jadran, koji, zahvaljujući spletu čimbenika koji ondje vladaju, i dalje odražava raznolikost Sredozemlja na jednom mnogo manjem prostoru.



Slika 1. Različiti aspekti raznolikosti Sredozemnog mora (Coll i suri sur., 2010). A – administrativna podjela prostora uz Sredozemno more. B – Godišnji prosjek površinske temperature mora. C – Prosječna primarna proizvodnja. D – Podjela prema prosječnoj maksimalnoj dubini.

2.1.2. Jadransko more kao vruća točka raznovrsnosti i promjena

Jadransko more je najsjeverniji dio Mediterana, veliko vodeno tijelo od 138.595 km² (4,6% ukupne površine Mediterana), uvučeno duboko u europsko kopno (Bonacci i sur., 2021). Kao takvo, stoji na međi raznih kopnenih i maritimnih utjecaja što, između ostalog, uzrokuje veliku heterogenost ovog mora (Bonacci i sur., 2021). Raznolikosti prirodnih pojava pridonosi i dubinski gradijent jako izražen prema jugoistoku i veliki broj otoka, otočića, hridi i grebena (Duplančić Leder i sur., 2004). Obala Republike Hrvatske ima duljinu od 5.835 km od čega čak 1.777 kilometara otpada na otoke (Bonacci i sur., 2021). Kao prostor velike raznovrsnosti, ali i prostor pod snažnim utjecajem globalno mijenjajućih sustava klime, hidrologije i bioloških zajednica Jadran predstavlja vruću točku pod velikom prijetnjom skore trajne promjene.

Specifični utjecaji koji djeluju na području Jadranskog mora i njegove okolice odražavaju se na kompleksan spoj prirodno-društvenih čimbenika koji se protežu na više razina. Glavni prirodni čimbenici su povećanje površinske temperature mora, negativni trendovi u količini padalina i smanjen dotok slatke vode bogate nutrijentima manjim vodnim režimom rijeke Po (Bonacci i sur., 2021). Osnovne vrijednosti spomenutih parametara potom se prenose na društvo, na primjer smanjujući dostupnu pitku vodu. Daleko najveći efekt ima površinska temperatura mora, koja, osim što utječe na zajednice u moru, utječe i na prijenos energije atmosferom, atmosferske pojave (vjetar, padaline), evapotranspiraciju, vlagu i hidrološki ciklus.

Statističkim metodama na primjeru srednjeg Jadrana potvrđen je trend zagrijavanja temperature zraka i temperature površine mora koji se dodatno pojačao tijekom devedesetih (Bonacci i sur., 2021). Valja naglasiti kako, prema analiziranim podacima, postoji zaostajanje temperature morske vode za temperaturom zraka od otprilike 6 godina, što bi moglo značiti kako još drastičnije promjene slijede morskom okolišu u budućnosti. Ovakva saznanja pozivaju na intenzivnije istraživanje globalnih promjena koje zahvaćaju Jadran i žustriju legislativnu aktivnost koja bi dodatno zaštitila staništa i organizme pod najvećom opasnosti trajnog narušavanja.

2.2. Mnogočetinaš *Hermodice carunculata* – cirkumatlantska vrsta

2.2.1. Biologija i ekologija *H. carunculata*

Hermodice carunculata (Pallas, 1776) je mnogočetinaš iz porodice Amphinomidae. Porodica Amphinomidae pojavljuje se diljem svijeta, a najzastupljenija je u plitkim tropskim i subtropskim morima. Pojedini pripadnici ove porodice pojavljuju se i u abisalu, a mnoge vrste toplijih mora dostižu značajnu veličinu (nekoliko desetaka centimetara) i imaju tijelo šarolikih boja s brojnim četinama. Najveća zabilježena jedinka *H. carunculata* bila je dugačka 77 centimetara (Righi i sur., 2020). Neki od

ovih organizama u četinama sadržavaju komplatin, spoj koji izaziva iritaciju kože nakon dodira (Arias i sur., 2013). Mnogi amfinomidi imaju glaveni (nukalni) organ, te greben na protostomiju nazvan karunkul, obje tvorbe imaju osjetnu funkciju. Obitavanje i hranjenje u plićacima igra veliku ulogu u biologiji ove skupine. *H. carunculata* ima tipičnu šarenu obojenost porodice kojoj pripada te se pojavljuje s različitim tonovima crvene boje na tijelu, najčešće u obliku dviju dugih linija duž čitavog tijela (slika 2). Uz to, obično tamno sive do crne kolutiće odvajaju žućkaste pruge. Kada se to uzme u obzir, ne čudi što je lokalno ime ove vrste vatreni crv. Najprepoznatljiva karakteristika ovih životinja su mnogobrojne bijele četine, koje su smještene duž njegovih parapodija – lateralnih nečlankovitih tjelesnih izdanaka. Parapodiji su dvodijelni s ventralnim neuropodijima i dorzalnim notopodijima. Četine mnogočetinaša uglavnom su u cijelosti građene od hitina, dok se porodica Amphinomidae, u koju spada *H. carunculata*, ističe time da su četine građene od hitina i kalcijevog karbonata (Schulze i sur., 2017). Četine *H. carunculata* imaju različite oblike, od glatkih i krhkih, nalik kosi, do čvršćih i nazubljenih koje su u anglosaskoj literaturi često nazivane harpunskim četinama. Otrovnost četina kod *H. carunculata* nije dokazana te su za reakcije intenzivne boli, oticanja i utrnutosti ponuđena različita objašnjenja. Pojedini autori navode kako u iznimnim slučajevima može doći do srčanih i dišnih poteškoća. Činjenica je kako se mnogi mnogočetinaši, a tako i *H. carunculata* hrane otrovnim plijenom te unesene toksine akumuliraju u tijelu bez negativnog utjecaja, što možda objašnjava zanimljivost da se baš ovi organizmi koriste u pripravi specifičnog voodoo otrova na Haitimu (Schulze i sur., 2017).



Slika 2. Jedinka *H. carunculata* na kamenitom dnu pri dubini od oko 2 metra. Crni kolutići omeđeni su dvama crvenim linijama uz koje se nalaze i bijele četine (snimio M. Vodopija).

Areal mnogočetinaša *Hermodice carunculata* vrlo je širok te obuhvaća područja toplijih dijelova Atlantika uključujući Karipsko more, Meksički zaljev, Sredozemlje i Crveno more (Schulze i sur., 2017). Ovi mnogočetinaši aktivni su tijekom noći, dok dan najčešće provode skriveni u različitim prirodnim i antropogeno stvorenim zaklonjenim prostorima. Ponajviše se nalaze u medio- i infralitoralno, no pojedini radovi navode i pronalazke na dubini od 300 metara (Schulze i sur., 2017). Većina pripadnika ove vrste živi na čvrstom supstratu (gole stijene, stijene prekrivene infralitoralnim algama ili koraligenom zajednicom, špilje), a mnogo rjeđe na dnima prekrivenim sedimentom, u livadama morskih cvjetnica ili na olupinama (Righi i sur., 2020). Ovakvi podaci mogu biti pristrani obzirom na odabir mjesta za ronjenje i prikupljanje podataka.

Preliminarna istraživanja ukazivala su da ovi mnogočetinaši imaju veliku genetsku raznolikost s obzirom na veliku geografsku rasprostranjenost (Ahrens i sur., 2013). Uz to, uobičajeno je da kod kozmopolitskih uspješnih (populacijski mnogobrojnih) morskih vrsta s ubrzanim tokom gena i mogućnošću geografskog rasprostiranja, kakva je i vrsta *H. carunculata*, detaljnija genetička i morfološka istraživanja pokazuju da postoji i više od jedne kriptične vrste (Righi i sur., 2019). Tako su specifična genetska istraživanja ukazivala na postojanje dvije razvojne grane u istraženim populacijama *H. carunculata* – atlantskoj i sredozemnoj. Individue su se razlikovale po broju branhijalnih filamenata i obliku analnog otvora (Righi i sur., 2019). Međutim, kasnije je postignut konsenzus među znanstvenicima da ne postoji kriptična vrsta *H. negrolineata* u Sredozemlju, a razlike u morfologiji pripisane su većoj oksigeniranosti atlantskog oceana od Sredozemlja (Righi i sur., 2019).

Jedinke vrste *H. carunculata* su oportunistički svejedi. Primijećeno je kako pri traženju plijena *H. carunculata* podiže anteriorni dio tijela i naglo maše njime što je vjerojatno povezano s kemorecepcijom i identifikacijom plijena (Simonini i sur., 2018). U divljini najčešće je zabilježeno hranjenje zvjezdačama (Barroso i sur., 2016), ježincima (Simonini i sur., 2017), meduzama (Stoner i Layman, 2015) i koraljima (Sussman i sur., 2003; Ladd i Shantz, 2016), a nešto rjeđe gorgonijama, hobotnicama, mahovnjacima, bačvicama, školjkašima, spužvama i sesilnim mnogočetinašima (Righi i sur., 2020). Laboratorijska istraživanja produljila su listu plijena na hitone i druge bentičke žarnjake poput vlasulja, kamenih koralja i moruzgvi (Righi i sur., 2020) te pripadnike vlastite vrste (Sussman i sur., 2003). *H. carunculata* često primjenjuje različite taktike za odljepljivanje plijena od podloge i napad na plijen koji ima neku vrstu čvrste zaštite, no posebno je značajna njihova predacija nad ranjenim i mladim jedinkama, koja se primijećena kod zvjezdača (Barroso i sur., 2016) i koralja (Witman, 1988). Poznata je samo nekolicina prirodnih neprijatelja *H. carunculata* i svi su ograničeni na područje Kariba (Ladd i Shantz, 2016), u Mediteranu bi izostanak takvih predatora mogao pridonijeti većoj raširenosti ovog organizma.

Parenje vatrenih crva također se odvija podizanjem anteriornog dijela tijela i oscilirajućim mahanjem tim dijelom lijevo-desno kako bi se ubrzao proces ispuštanja gameta (slika 3) (Tosso i sur., 2020). Vrsta

H. carunculata vrlo često se navodi kao vrsta s pelagičkim ličinačkim stadijem zvanim rostrarija koji ima velik potencijal rasprostranjivanja. No o ličinačkom razvoju mnogočetinaša zaključuje se gotovo isključivo iz uzoraka planktona, među kojima je opisan i stadij rostrarije, ličinke s više kolutića i dva pipka za hranjenje za koju je predložen i naziv „juvenilni planktonski stadij“ zbog odvedenosti tjelesnih struktura (Tosso i sur., 2020). Stadij rostrarije podrazumijevao bi odbacivanje četina za plivanje kakve pokazuju metatrohofore *Hermodice carunculata* pa je, u svjetlu novijih istraživanja, sve manje uvjerljiv kao jedan od razvojnih stadija *H. carunculata* (Tosso i sur., 2020).



Slika 3. Tipičan položaj grupe *H. carunculata* pri parenju. Vidljivo je mahanje anteriorim dijelom tijela pri širenju gameta (snimio M. Vodopija).

2.2.2. Vremenska i prostorna rasprostranjenost *H. carunculata* u Jadranu i okolnim morima

Vatreni crvi su termofilni organizmi koje se polako šire centralnim Mediteranom (Jadransko i Tirensko more) (Righi i sur., 2020). Podaci o populacijama i granicama njihovih areala na ovom području su sporadični i neorganizirani, no objedinjeni predstavljaju okosnicu teorije termofilnog širenja ove vrste kroz posljednjih 50 godina i u budućnosti.

H. carunculata je u centralnom Mediteranu zabilježen još prvom polovicom devetnaestog stoljeća, u moru oko Sicilije (Righi i sur., 2020). Čini se kako, što zbog manjka istraživanja i podataka na tim prostorima, što zbog eventualnih promjena u moru, *H. carunculata* napreduje sjevernim rubom areala u idućih pedesetak godina te početkom dvadesetog stoljeća biva opažen u vodama Viškog arhipelaga tijekom istraživanja palagruške faune (Babić i Rössler, 1912). Ovaj slučaj istaknut je kao prvo opažanje *H. carunculata* u Jadranu. Značaj populacijama ovih mnogočetinaša na gore spomenutim prostorima još pri početku prošlog stoljeća daje i to da je upravo otok Vis 1912. odabran kao mjesto za proučavanje morfologije i anatomije *H. carunculata* (Storch, 1913). Postupno širenje *H. carunculata* na zapadnoj obali Pirinejskog poluotoka, se uzima kao dokaz za ekspanziju tropskih i suptropskih vrsta prema

sjeveru (Encarnação i sur., 2019). Pri pregledu povijesne znanstvene literature koja bilježi pojavnost *H. carunculata* valja naglasiti kako je utvrđeno da su ovi organizmi više puta izostavljani iz cenzusa vrsta pojedinih kamenitih obala, ponajviše zbog načina uzorkovanja koji se najčešće obavljao dredžom ili autonomnim ronjenjem uz analizu kvadrata morskog dna. Štoviše, mnogi znanstvenici koji su radili na takvim cenzusima potvrdili su kako su tijekom uzorkovanja primjećivali jedinke ove vrste čija prisutnost često ne bi bila zabilježena u publikacijama (Toso i sur., 2020). Pravi primjer toga je cenzus obale Apulije. Tijekom popisivanja morskih vrsta 2000. godine vrsta *Hermodice carunculata* nije zabilježena dok danas njihova brojnost ondje prelazi od 0.2 do 1 individue po m² (Simonini i sur., 2018). Ovakvi slučajevi ne mogu se pripisati iznenadnoj invaziji mnogočetinaša u pliće obalne prostore Sredozemlja, jer spomenuto ukazuje na njihovo obitavanje na tim prostorima barem 150 godina unatrag, pogotovo zato jer je trend porasta temperature gotovo neprekinut od 1982. (Righi i sur., 2020). Bez obzira što je istraživanje kolutićavaca Sredozemnog mora procijenjeno kao izvrsno i dobro etablirano u znanstvenoj literaturi (Coll i sur., 2010) očito je kako se u konkretnom opisivanju areala vrste *H. carunculata* i njegovog širenja kroz posljednjih stoljeće i pol znanstvenici trebaju okrenuti svojoj literaturi, društvenim mrežama i građanskoj znanosti (Krželj i sur., 2020; Righi i sur., 2020).

Tijekom vremenskog intervala od početka 19. stoljeća pa do 2019. godine (Righi i sur., 2020) zabilježeno je rasprostiranje *H. carunculata* prema sjeveru. Na primjer, podaci do 1967. ukazuju na pojavnost ove vrste sa sjevernom granicom kod Viškog arhipelaga, a zapadnom kod Napuljskog zaljeva. Između 1967. i 2008. u Jadranu dolazi do pomicanja granice pojavnosti vatrenih crva tako da se ona pomakla do Murtera (gdje ostaje do 2014.), dok u Tirenskom moru ona ostaje blizu Napulja (Righi i sur., 2020). U najrecentnijem periodu došlo je do velike preraspodjele populacija *H. carunculata*. Na zapadnoj obali Apeninskog poluotoka one su doprle do južne Toskane, šireći se također uz obale Sardinije, južne Albanije i Grčke, dok su nova zapažanja na Jadranu bila na Kvarneru, oko Lošinja i Krka (Righi i sur., 2020). Čini se da postoji korelacija između širenja areala *H. carunculata* i pomicanja izoterme površinske temperature mora od 14 °C (Righi i sur., 2020). Suprotno tome, postoje i hladnije točke Mediterana poput Lionskog zaljeva i sjevernog Jadrana gdje *H. carunculata* još uvijek nije zabilježen. Daljnje zagrijavanje i prethodno zabilježena homogenizacija ovih hladnijih dijelova mora mogla bi doprinijeti širenju ove vrste i u ta područja.

2.3. *Hermodice carunculata* u bentosu Jadrana

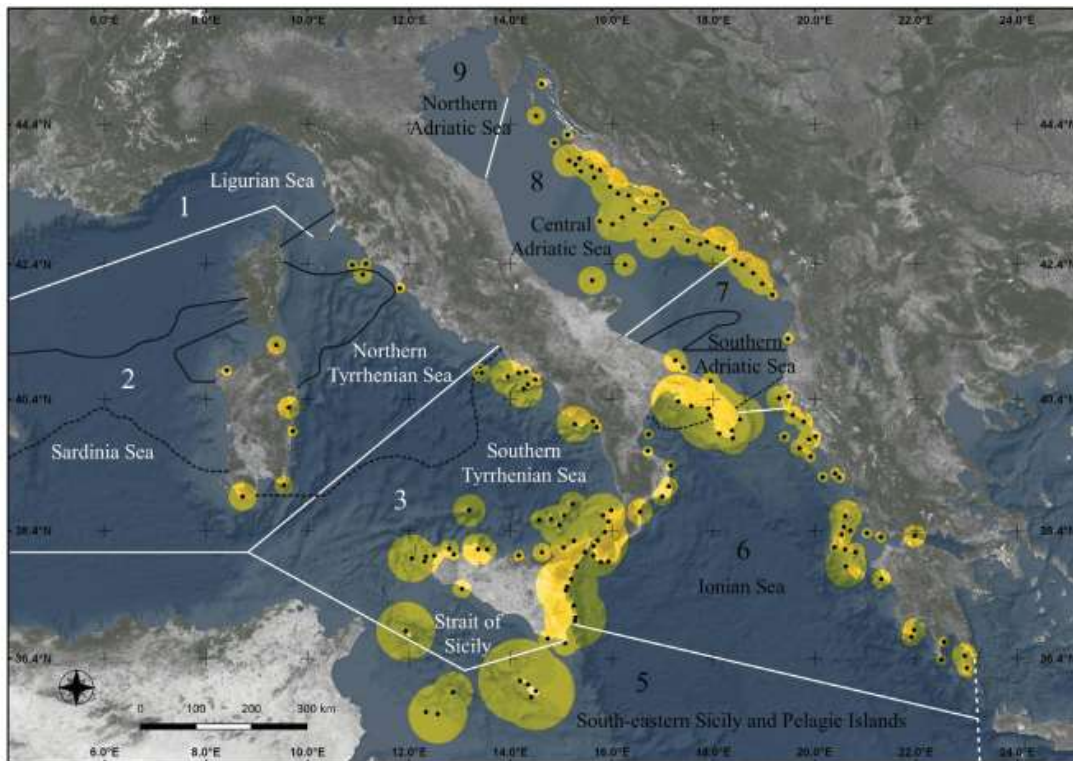
2.3.1. Utjecaj globalnih promjena na *H. carunculata*

Iz prezentiranih podataka o pojavnosti *H. carunculata* očito je kako se radi o termofilnoj vrsti koja svoj areal širi sjeverno, gotovo uniformno od zapadnog (Encarnação i sur., 2019) do srednjeg Mediterana (Righi i sur., 2020). Čini se kako je *H. carunculata* vrsta koja je ekološki veoma plastična i spremna za raznolike uvjete života. Jedinke ovog mnogočetinaša mogu se pronaći i u ekološki ekstremnim prilikama

na staništima poput plitkih koraljnih grebena koji periodično osekom bivaju isušeni, s velikim oscilacijama u koncentracijama otopljenog kisika, temperature i saliniteta ili trofički opterećenih područja tik uz ribogojilišta (Schulze i sur., 2017). Uz to, na Azorima se ovi mnogočetinaši pronalaze u neposrednoj blizini plitkih hidrotermalnih otvora gdje morska voda dostiže temperature od 63,3°C, visoku koncentraciju sulfata, teških metala i nizak pH (Schulze i sur., 2017). Jedinke ove vrste često su prisutne i na područjima na kojima se prakticira ribolov dinamitom, gdje se često hrane ribljom strvinom i gdje su prisutne visoke koncentracije nikla, cinka, željeza, olova i kadmija u okolišu koje se akumuliraju u životinjama (Schulze i sur., 2017).

Istraživanja ukazuju da temperatura igra veliku ulogu u životu i uspjehu ove vrste. Poznato je kako drugi mnogočetinaši šire svoj areal zahvaljujući sve toplijim morima, poput vrsta *Arenicola marina* i *Diopatra* sp. (Righi i sur., 2020) pa se isto može pretpostaviti i za vrstu *Hermodice carunculata*. Nadalje, laboratorijska istraživanja pokazala su da je za preživljavanje ličinki *H. carunculata* potrebna optimalna temperatura od 27 °C (sve ličinke ugibaju pri temperaturi od 22 °C ili nižoj), mortalitet ličinki ostaje visok i pri optimalnoj temperaturi. Ispod 19 °C vatreni crvi prestaju s vidljivom aktivnosti, ali ne ugibaju. Takva ekološka ograničenja mogla bi uvjetovati širenje i stvaranje populacija na novim prostorima. Za daljnje širenje *H. carunculata*, koje je, čini se, neminovno, govori u prilog širenje areala nekih vrsta npr. ribe *Thalassoma pavo* i koralja *Astroides calyularis* prema hladnijim područjima Sredozemlja; Ligurskom moru i sjevernom Jadranskom moru (Righi i sur., 2020). Prostor Jadrana na kojemu je vrsta *H. carunculata* uspostavila nove populacije korelira s maksimalnim ljetnim temperaturama mora i s pomicanjem na sjever spomenute izoterme površinske temperature mora od 14 °C u veljači (slika 4) (Righi i sur., 2020). Daljnje zagrijavanje i prethodno zabilježena homogenizacija ovih hladnijih dijelova mora mogla bi doprinijeti daljnjem širenju *H. carunculata* koje bi moglo biti usporeno jedino uvođenjem

ili pronalaskom prirodnog neprijatelja te eventualnim daljnjim zakiseljavanjem mora koje bi moglo negativno utjecati na stvaranje četina od kalcijevo karbonata koje ovim organizmima koriste za obranu.



Slika 4. Centralni Mediteran podijeljen u ekoregije (bijele linije). Na karti je naznačena izoterma od 14 °C površinske temperature mora u veljači izračunata prema podacima za čitavo dvadeseto stoljeće (crna, iscrkvana linija) i podacima za period od 1985. – 2006. (crna, puna linija). Preuzeto iz Righi i sur., 2020.

2.3.2. Nastanak potencijalne „domaće invazivne“ vrste

Prema definiciji domaće invazivne vrste nastaju onda kada povećanje native populacije ima izražen, mjerljiv negativni učinak na dotadašnju okolinu koju je vrsta nastanjivala (Righi i sur., 2020). Dok bi navedeni podaci o oportunističkom hranjenju mogli nagnati mnoge da *Hermodice carunculata* prozovu domaćom invazivnom vrstom, činjenica je kako su podaci kojima znanost raspolaže o toj vrsti u ovom trenutku podosta manjkavi i sporadični. Većina istraživanja bazirana je na laboratorijskim promatranjima, a takva fokusirana i specijalizirana istraživanja počela su se objavljivati u većem broju tek u nekoliko posljednjih godina. Uistinu su potrebna mnogo detaljnija terenska istraživanja i modeliranja utjecaja koji ovaj organizam ima na svoj okoliš i novi okoliš u koji pristiže kako bi se takvi zaključci mogli donositi. Takva istraživanja iziskivat će veću uključenost građanske znanosti koja se već iskazala kao dobar alat u upotpunjivanju praznina u podacima o pojavnosti vrste i ujedno u edukaciji i volontiranju građana u znanstvenom radu (Krželj i sur., 2020). Za sada je možda mnogo bolji naziv za ovu vrstu u novim područjima neonativna vrsta, ona vrsta čiji se areal povećava kao odgovor na antropogene promjene u okolišu (Righi i sur., 2020). Prije svega, zato što su interakcije *H. carunculata*

s novim okolišem nedovoljno istražene, ali i zato što mijenjanje areala *H. carunculata* nije izoliran slučaj promjene, već se radi o potpunom mijenjanju staništa i tropikalizaciji, širenju areala niza suptropskih i tropskih vrsta i uzastopnog smanjenja areala vrsta koje u novonastalim uvjetima ne mogu preživjeti. Primjer za to je smeđa alga *Fucus vesiculosus* koja se od 1986., kada je zabilježena na obali Maroka, povukla 1.250 kilometara sjeverno (današnja južna granica ove vrste nalazi se u estuariju rijeke Tejo u Portugalu) (Encarnação i sur., 2019).

2.3.3. Posljedice širenja rasprostranjenosti *H. carunculata*

H. carunculata ne predstavlja prvu termofilnu vrstu koja migrira sjeverno, ipak to je vrsta koja omogućava praćenje migracije i kolonizacije veoma raznolikih prostora unutar Sredozemnog mora. Uz to, proučavanje ove vrste dovelo je do boljeg razumijevanja širenja koraljnih patogena putem bentičkih beskralježnjaka (Sussman i sur., 2003). S negativne strane, upravo je spomenuto širenje koraljnog patogena, bakterije *Vibrio shiloi* primjer u kojem je *H. carunculata* prvi zabilježeni rezervoar i vektor za tu bakteriju koja izaziva izbjeljivanje koralja *Occulina patagonica* tijekom ljetnog porasta temperature preko 30 °C (Sussman i sur., 2003). Izbjeljivanje se odvija ljeti (bakterija iziskuje visoku temperaturu za proliferaciju) te je opetovanim uzorkovanjem utvrđeno kako zdravi koralji ljeti nemaju bakterije u svojim tkivima. Vrsta *H. carunculata* potencijalno može postati invazivna zbog velike prilagodljivosti svog životnog i reproduktivnog ciklusa, velikog kapaciteta za širenje svoje vjerojatno dugoživuće ličinke i predacije na čitavom nizu organizama koje žive u novim okolišima. Sve navedeno jest zabrinjavajuće za budućnost, naročito zato jer već i sada su zabilježene invazije drugih vrsta iste porodice, poput vrste *Linopherus canariensis* koja posebnu veliku brojnost dostiže u staništima koja su pod ekološkim stresom (Arias i sur., 2013). Budući da *H. carunculata* također obitava u mnogim staništima s već narušenom ekološkom ravnotežom, ona zaista predstavlja realnu opasnost. Posebnu pozornost u takvim područjima treba obratiti na trofičke odnose *Hermodice carunculata* i ključnih vrsta poput hitona, ježinaca i zvjezdača. Predacija nad ovim organizmima višestruko je potvrđena i predstavlja potencijal za stvaranje trofičke kaskade. Ovi ključni organizmi reguliraju čitave biocenoze svojom predacijom nad drugim životinjama ili brštenjem algi. Hridinski ježinci su veoma važni organizmi ekosustava jer svojom prisutnošću mogu promijeniti okolinu bogatu makroalgama u голу stjenovitu okolinu u kojoj dominiraju inkustrirajuće alge. Njihov nestanak iz neke zajednice tako može dovesti do daljnjih kaskadnih učinaka (Simonini i sur., 2017).

2.3.4. Moguće buduće promjene

Povijesni pregled uzroka lokalnog izumiranja ili većeg odumiranja vrsta sjevernog Jadrana ukazuje prvenstveno na ljudsku migraciju i naseljavanje sve većeg područja, a potom na gubitak staništa. U

budućnosti, stručnjaci predviđaju kako će antropogeni pritisci kumulativno pridonijeti padu bioraznolikosti Jadrana dok će uništenje i degradacija staništa predvoditi kao glavni utjecaji na okoliš (Coll i sur., 2010).

U promatranju Sredozemlja i Jadrana kao staništa koja se mijenjaju uz globalne promjene, važno je promotriti nekoliko klimatoloških parametara. Površinska izoterma od 15 °C je zamišljena linija koja označava područje sjeverno od kojeg površinska temperatura pada ispod 15 °C (nalik već spomenutoj izotermi od 14 °C). Ona je dobivena kao produkt stoljeća mjerenja vrijednosti temperature pri površini mora. Gledajući njene promjene, čini se kako se izoterma pomiče sjeverno, iz područja Otrantskih vrata dublje u Jadran, što otvara mogućnosti kolonizacije novo obuhvaćenog prostora. Štoviše, prostor promijenjenog temperaturnog režima osjetljiv je i na širenje nativnih organizama, što istraživanje korelacije areala *H. carunculata* i izoterme površinske temperature u veljači potvrđuje (Righi i sur., 2020). Druga važna vrijednost je i razdjelnica površinske temperature na 14 °C koja se nalazi na jugu zapadnog dijela Mediterana (zapadno od Sicilije). Klimatološki gledano, kreirana je sustavom fronti i vrtloženjem mora duž Alžirskog bazena. U podacima, razdjelnica predstavlja izotermu površine morske vode u veljači. Usporedbom stogodišnjih podataka, izgleda kako se i ovaj parametar pomiče sjeverno, uzrokujući zanimljivu dinamiku širenja vrsta južnog Sredozemlja koje su donedavno bile rijetke na sjeveru, između ostalih dvije vrste koje ukazuju na temperaturne promjene Jadrana - ribe *Thalassoma pavo* i poliheta *Hermodice carunculata* (Encarnação i sur, 2019). Budući da su takve vrste nekad bile meridionalno ograničene u svojem arealu, ovakav proces često se naziva i meridionalizacija.

Osim kompleksnih odnosa organizama u jadranskim i sredozemnim zajednicama, zatopljenje remeti i meteorološke parametre, koji potom dalje remete hidrološke parametre dodatno narušavajući ekološke uvjete. Hladni, zimski period ključan je za jadransku termohalinu cirkulaciju i fluktuaciju (Grbec i sur., 2015). Kompleksni atmosferski odnosi nad Jadranom utječu na rasprostranjenost i kolebanje pelagičkih organizama u moru. Na udaru ovih utjecaja su vrlo često pelagičke ribe, veoma važne za okolne zajednice, sardine i inćuni. Od 1970-ih zabilježena su snažna i nepredvidiva kolebanja biomase ovih dviju vrsta (Grbec i sur., 2015). Obje vrste su prošle kroz svojevrstan put dostizanja apsolutnog minimuma brojnosti (u različitim trenucima od sedamdesetih do danas), povezan s litoralizacijom, povećanim ribolovom, ali i dostupnošću planktonske hrane koja je također pod utjecajem kolebanja temperature i saliniteta (Grbec i sur., 2015).

Iz svega navedenog očito je kako se sve bržim mijenjanjem prirodnih uvjeta antropogenom aktivnošću mijenjaju i ekološke usluge koje prirodni okoliš obavlja. Shvaćanje te kompleksne veze i krhkosti ljudskog društva koje u ovom opsegu narušava prirodu bit će ključno u nadolazećim desetljećima.

3. Zaključak

Hermodice carunculata (Pallas, 1776), lokalno zvan vatrenim crvom, je mnogočetinaš koji obitava u bentosu plitkih priobalnih zajednica diljem Atlantika, Sredozemlja i Jadranskog mora. Prostrana staništa Mediterana i Jadrana nude niz raznolikih ekoloških uvjeta te omogućavaju život tisućama vrsta različitih organizama. Nedavna brza ekspanzija *H. carunculata* općenito se povezuje s zagrijavanjem Sredozemlja i Jadrana. *H. carunculata* je oportunistička predatorska vrsta, ekološki veoma plastična, spremna na nadolazeće globalne promjene, bez poznatih prirodnih predatora u Sredozemlju. Kao vrsta, predstavlja rizik prevelikog širenja i ima potencijal narušavanja ravnoteže u morskim zajednicama, smanjivanjem brojnosti ključnih vrsta koje pružaju ravnotežu među predatorima i plijenom (zvjezdače, ježinci) i vrsta koje biokonstrukcijom pružaju stanište drugim vrstama (koralji). Također daje nam priliku učenja o dinamici širenja termofilnih vrsta u Hrvatskoj i šire te o novonastalim odnosima na koloniziranim područjima. Ukoliko se *H. carunculata* promakne u invazivnu vrstu, bit će potrebno mnogo napora, kako znanstvenih, tako administrativnih, u ublažavanju štete koju ova vrsta može prouzročiti.

4. Literatura

- Ahrens, J. B., Borda, E., Barroso, R., Paiva, R. C., Campbell, A. M., Wolf, A., Nugues, M. M., Rouse, G. W., Schulze, A. (2013) The curious case of *Hermodice carunculata* (Annelida: Apmhinomidae): Evidence for genetic homogeneity throughout the Atlantic Ocean and adjacent basins, *Molecular Ecology*, 22(8), 2280-2291. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.12263>
- Arias, A., Barroso, R., Anadón, N. Paiva, P. C. (2013) On the occurrence of the fireworm *Eurythoe complanata* complex (Annelida, Amphinomidae) in the Mediterranean Sea with an updated revision of the alien Mediterranean amphinomids, *ZooKeys* 337, 19-33.
- Babić, K., Rossler, E. (1912) Beobachtungen über die Fauna von Pelagosa, *Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*, 62, 220- 233.
- Barroso, R., Almeida, D., Contins, M., Filgueiras, D., Dias, R. (2016) *Hermodice carunculata* (Pallas, 1766) (Polychaeta: Amphinomidae) preying on starfishes, *Marine Biodiversity*, 46, 333-334.
- Bonacci, O. Bonacci, D., Patekar, M., Pola, M. (2021) Trends in Air and Sea Surface Temperature in the Central Adriatic Sea (Croatia), *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (4), 358. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse9040358>
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F., i sur. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats, *PLoS ONE* 5(8), e11842. DOI: <https://doi:10.1371/journal.pone.0011842>
- Duplančić Leder, T., Ujević, T., Čala, M. (2004) Coastline lengths and areas of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale of 1: 25 000, *Geoadria*, 9 (1), 5-32.
- Encarnaçãõ, J., Morais, P., Baptista, V., Cruz, J., Teodósio, M. A. (2019) New Evidence of Marine Fauna Tropicalization off the Southwestern Iberian Peninsula (Southwest Europe), *Diversity*, 11(4), 48. DOI: <https://doi.org/10.3390/d11040048>
- Grbec, B., Morović, M., Matić, F., Ninčević Gladan, Ž., Marasović, I., Vidjak, O., Bojanić, N., Čikeš Keč, V., Zorica, B., Kušpilić, G., Matić-Skoko, S. (2015) Climate regime shifts and multi-decadal variability of the Adriatic Sea pelagic ecosystem, *Acta Adriatica*, 56(1), 47-66
- Krželj, M., Cerrano, C., Di Camillo, C. G. (2020) Enhancing Diversity Knowledge through marine Citizen Science and Social Platforms: The Case of *Hermodice carunculata* (Annelida, Polychaeta), *Diversity*, 12(8), 311. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12080311>

- Ladd, M. C., Shantz, A., A. (2016) Novel enemies - previously unknown predators of the bearded fireworm, *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(6), 342-343. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.1305>
- Righi, S., Maletti, I., Maltagliati, F., Castelli, A., Barbieri, M., Fais, S., Prevedelli, D., Simonini, R. (2019) Morphometric and molecular characterization of an expanding Ionian population of the fireworm *Hermodice carunculata* (Annelida), *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99, 1569- 1577.
- Righi, S., Prevedelli, D., Simonini, R. (2020) Ecology, distribution and expansion of a Mediterranean native invader, the fireworm *Hermodice carunculata* (Annelida), *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 558- 574. DOI: <https://doi.org/10.12681/mms.23117>
- Schulze, A., Grimes, C. J., Rudek, T. E. (2017) Tough, armed and omnivorous: *Hermodice carunculata* (Annelida: Amphinomidae) is prepared for ecological challenges, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97 (5), 1075-1080 (Special issue 5: Proceedings of the 12th International Polychaete Conference Amgueddfa Cymru – National Museum Wales Cardiff, Wales, UK, 1-5 August 2016) DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315417000091>
- Simonini, R., Maletti, I., Righi, S., Fai, S., Prevedelli, D. (2018) Laboratory observations on predator-prey interactions between the bearded fireworm (*Hermodice carunculata*) and Mediterranean benthic invertebrates, *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 51(3), 145- 158.
- Simonini, R., Righi, S., Maletti, I., Fai, S., Prevedelli, D. (2017) Bearded versus thorny: the fireworm *Hermodice carunculata* preys on the sea urchin *Paracentrotus lividus*, *Ecology*, 98(10), 2730- 2732.
- Stoner, E. W., Layman, C. A. (2015) Bristle worms attack: benthic jellyfish are not trophic dead ends, *Frontiers in Ecology and the Environment* 13(4), 226-227. DOI: <https://doi.org/10.1890/1540-9295-13.4.226>
- Storch, O. (1913) Vergleichend-anatomische Polychätenstudien, *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, vol. 122, str. 877- 988.
- Sussman, M. Loya, Y., Fine, M., Rosenberg, E. (2003) The marine fireworm *Hermodice carunculata* is a winter reservoir and spring-summer vector for the coral-bleaching pathogen *Vibrio shiloi*, *Environmental Microbiology* 5(4), 250-255.
- Toso, A., Boulamail, S., Lago, N., Pierri, C., Piraino, S., Giangrande, A. (2020) First description of early developmental stages of the native invasive fireworm *Hermodice carunculata* (Annelida, Amphinomidae); a cue to the warming of the Mediterranean Sea, *Mediterranean Marine Science*, 21(2), 442- 447. DOI: <https://doi.org/10.12681/mms.22043>

Witman, J. D. (1988) Effects of predation by the fireworm *Hermodice carunculata* on milleporid hydrocorals, *Bulletin of Marine Science* 42(3), 446-458.

5. Sažetak

Vatreni crv, *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) je bentički predatorski mnogočetinaš koji obitava diljem Atlantskog oceana, uključujući i Mediteran. To je vrsta koja je u posljednje vrijeme uspostavila niz novih populacija uz obale Sredozemnog mora pa tako i u Jadranu. Informacije o ovoj vrsti često su manjkave i sporadične, no recentna istraživanja pokazuju jasan trend koloniziranja novih prostora koji, pod pritiskom globalnih promjena ekosustava, postaju sve topliji. Zasad ova vrsta još nije prešla u kategoriju invazivne vrste no definitivno ima potencijal da to postane u budućnosti. Ovaj rad, napravljen na temelju nedavno objavljenih istraživanja, daje sintezu recentnih prostorno-vremenskih promjena u populacijama *H. carunculata* uz objašnjenje specifičnih uvjeta koje ova vrsta susreće u novim okolišima i potencijalnoj prijetnji koju predstavlja.

Ključne riječi: *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776), Jadransko more, globalne promjene, temperatura mora, širenje areala

6. Summary

The bearded fireworm, *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) is a benthic polychaete predator native to the Atlantic including the waters of the Mediterranean. This species has recently successfully established new populations along the coasts of the Mediterranean as well as in the Adriatic. Information about the species is often scarce and sporadic, but recent studies show its clear tendency of colonising new areas which, under the pressure of global changes in ecosystems, becoming warmer. For time being, this species is not yet invasive but it definitely has the potential to become one in the future. This paper, based on recent studies covering this species, provides a synthesis of recent spatio-temporal changes in *H. carunculata* populations along with explanations of specific conditions the species is facing in new environments and potential threat it poses.

Key words: *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776), Adriatic Sea, global changes, sea temperature, species expansion

7. Životopis

Matija Vodopija rođen je u Splitu, 30. rujna 1999. Osnovnoškolsko obrazovanje stječe u Osnovnoj školi Vis, u gradu Visu, gdje završava i gimnazijski odjel Srednje škole Antun Matijašević Karamaneo. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja prisustvuje Državnom natjecanju iz kemije 2015. godine gdje osvaja treće mjesto u kategoriji znanstveni rad. Uz to, 2016. i 2017. natječe se na državnom natjecanju „Opisujemo sustave“ gdje 2016. osvaja prvo mjesto, a 2017. drugo. Tijekom 2017. godine sudjeluje u srednjoškolskom projektu ERASMUS+ STEPS (Seas, Tourism, Environment, Protection and Sustainability) u Italiji (Taranto) i na Visu. U akademskoj godini 2018./2019. upisuje preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom preddiplomskog studija volontira u struci tijekom Noći biologije (2019.) i Noći muzeja (2020.). Tijekom akademske godine 2020./2021. aktivni je član Studentskog predstavništva u Vijeću Biološkog odsjeka. Pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Tatjane Bakran-Petricioli pri Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu tijekom akademske godine 2020./2021. izrađuje završni rad na temu „Mnogočetinaš *Hermodice carunculata* (Pallas, 1776) u Jadranu“.