

Genetske raziskave in pestrost podzemeljskih živali na Dolenjskem

Dr. Valerija Zakšek

Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Pogled v podzemlje nam odpira pogled v skrivnosten in temačen svet, kjer vladajo tema, pomanjkanje hrane in visoka zračna vlaga. Prav tema in omejene povezave s površjem so glavni razlog, da v jamah običajno primanjkuje hrane. Hkrati pa je to prostor, kjer se temperatura le malo spreminja. Podzemlje, ki je v nekaterih pogledih skrajno okolje, vsekakor predstavlja izziv za življenje in živa bitja ter seveda tudi za jamarje in druge raziskovalce. Z izzivi življenja v takem okolju se je uspešno spopadlo kar veliko število živalskih vrst. Že hiter pogled na jamske živali nam pokaže, da so lahko živali v podzemlju prav posebnih oblik. Zanje so večinoma značilne telesne prilagoditve na življenje v tem specifičnem okolju: pogosto so brez ali imajo reducirane kožne pigmente in oči, razvita imajo izostrena čutila za tip in voh, pogosto imajo podaljšane noge in tipalnice.

Na posebnost in veliko pestrost podzemeljskega živalstva na Dinarskem krasu so opozarjali že prvi raziskovalci življenja v podzemlju, prav s Postojnske jame pa je bila znanstveno opisana tudi prva jamska žival, hrošč drobnovratnik (*Leptodirus hochenwartii*). Velika pestrost podzemeljskih živali na Dinarskem krasu pa je izjemna tudi v svetovnem okviru, saj je do zdaj s tega območja znanih že blizu tisoč podzemeljskih vrst. A kljub že znanemu velikemu bogastvu živali, ki so specializirane in prilagojene na življenje v podzemlju (troglobiontov), dodatne raziskave in novi raziskovalni pristopi kažejo, da smo njegovo izjemno pestrost šele začeli odkrivati. Tako nam je vključitev genetskih in drugih modernih metod v raziskovanje življenja v podzemlju razkrila, da je njegova pestrost in bogastvo na Dinarskem krasu še veliko večja, kot smo mislili do sedaj.

Raziskovanje živalstva, tudi v podzemlju, je v preteklosti temeljilo predvsem na neposrednem opazovanju organizmov in primerjanju morfoloških značilnosti med njimi. Različni genetski pristopi v raziskavah, ki so se uveljavili v zadnjih desetletjih, pa nam odstirajo pogled v doslej povsem neznane svetove. Uporaba različnih molekularnih tehnik je v zadnjih dveh desetletjih prav prevetrila biogeografske raziskave in raziskave podzemeljskega živalstva. Molekulski pristop v raziskovanju podzemeljskih živali Dinarskega krasa večinoma temelji na ugotavljanju nukleotidnega zaporedja delov molekule DNK. Te molekule nosijo ogromno količino informacij, predstavljajo genski zapis vsakega organizma in so prisotne v skoraj vsaki celici. Prav primerjava med zapisi posameznih delov DNK pa nam lahko marsikaj pove o genetski raznovrstnosti, o genskem pretoku med populacijami in nam omogoča tudi pogled v njihove sorodstvene odnose ter razkriva skrivnosti zgodovine naseljevanja podzemlja. To pa so za raziskovalce tega skrivnostnega podzemeljskega sveta še kako zanimiva in vznemirljiva vprašanja!

Zagotovo najbolj znamenita žival tako dolenskega krasa kot celotnega Dinarskega krasa je močeril ali človeška ribica. O njem je kot o zmajevem mladiču že v 17. stoletju pisal Valvasor, kasneje pa je bil opisan z znanstvenim imenom *Proteus anguinus*. Presenetljivo, šele v osemdesetih letih prejšnjega stoletja je bil v izvirih v bližini Črnomlja v Beli krajini najden tudi črni močeril. S svojim temnim telesom in rdečimi škrgami je verjetno raziskovalce spominjal na parklja, zato je bil opisan kot nova podvrsta močerila z znanstvenim imenom *Proteus anguinus parkelj*. Tako kot beli tudi črni močeril živi le v jamskih vodah na majhnem območju v Beli krajini. Za razliko od svojih svetlih sorodnikov pa ima dobro razvite oči, krajšo in širšo glavo ter sorazmerno krajše noge. Prav raziskava črnega močerila, objavljena leta 1994, je bila ena prvih raziskav na kakšni podzemeljski živali iz Dinarskega krasa, ki je vključevala tudi genetsko analizo. V laboratoriju so bili analizirani alocimi (različne alelene oblike encimov) nekaterih slovenskih populacij močerila. S temi analizami sta raziskovalca prof. Sket in Arntzen pokazala, da je črni močeril bližnji sorodnik belega močerila. Še več, izkazalo se je, da sta črna in bela podvrsta z območja Bele krajine bližnja sorodnika in da so ostale bele (troglomorfne) populacije močerila med sabo veliko bolj genetsko oddaljene. Te ugotovitve je kasneje razširila in potrdila tudi raziskovalka Špela Gorički s pomočjo analize nukleotidnih zaporedij delov DNK. Tako zdaj vemo, da so človeške ribice, ki se pojavljajo na Dolenjskem krasu sorodstveno veliko bližje črnim močerilom kot npr. svojim svetlim sorodnikom z Notranjske ali ostalih delov Dinaridov. S pomočjo molekularskih analiz je bilo torej ugotovljeno, da se je bela (troglomorfna) oblika močerila v preteklosti torej večkrat neodvisno razvila. Kasnejše molekularske analize so pokazale tudi zelo veliko genetsko diferenciacijo močerila, ki kaže, da je na Dinarskem krasu pravzaprav več samostojnih vrst močerila. A najbolj posebna od vseh je populacija močerila iz Istre, ki se tudi po morfoloških znakih zelo razlikuje od ostalih.



Genetske raziskave so pokazale veliko genetsko pestrost močerila (*Proteus anguinus*). FOTO SLAVKO POLAK

Že nekaj let pred raziskavami črnega močerila pa so postale objekt molekulskih raziskav jamske kozice. Jamske kozice iz rodu *Troglocaris* lahko pogosto srečamo v podzemeljskih vodah vzdolž celotnega Dinarskega krasa. Molekulske raziskave jamskih kozic so se prav tako začele z raziskovanjem njihovih alocimov leta 1990, a so bile omejene le na območje italijanskega krasa. A že raziskave populacij s tako omejenega območja so nakazale izredno veliko genetsko pestrost tudi znotraj jamskih kozic. Njihove poglobljene študije s pomočjo molekulskih odsekov DNK smo se lotili pred nekaj leti. S pomočjo uporabe molekulskih tehnik pa smo odkrili, da je tudi pestrost jamskih kozic na Dinarskem krasu veliko večja kot smo mislili. Analiza nukleotidnih zaporedij nam je namreč razkrila njihovo veliko pestrost, tudi na Dolenjskem. Prav z dolenjskega krasa, iz Kompoljske jame pri Dobrepolju, je bila leta 1848 jamska kozica prvič tudi znanstveno opisana. Pregled in analize številnih populacij jamskih kozic z dolenjskega krasa in iz Bele krajine pa so nam razkrili še eno zanimivost. Nekatere populacije jamskih kozic iz Dolenjske in Bele krajine so edine, ki imajo v očeh še ostanek pigmenta. Pri vseh ostalih je le ta namreč popolnoma reduciran. Tako smo torej odkrili, da se samo v podzemeljskih vodah Dolenjske in Bele krajine verjetno prebivata dve podvrsti ali celo vrsti jamskih kozic. Še pred nekaj leti so bile iz celotnega Dinarskega krasa znane le tri vrste jamskih kozic, a sedaj vemo, da na tem območju živi kar enajst različnih vrst. Nekatere izmed njih sicer še čakajo na svoje znanstveno ime in opis.

V raziskovalni skupini za zoologijo in speleobiologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani se intenzivno ukvarjamo tudi z raziskovanjem drugih skupin podzemeljskih živali, kot so na primer slepe postranice iz rodu *Niphargus* in jamski ježki iz rodu *Monolistra*. Tudi njihovo pestrost odkrivamo s pomočjo molekulskih raziskav. Tudi zadnja raziskava slepe postranice (*Niphargus subtypicus*), ki je v glavnem razširjena v jugovzhodni Sloveniji, nam tudi kaže zanimivo genetsko diferenciacijo znotraj



Jamska kozica (*Troglocaris anophthalmus*), pogosta prebivalka podzemeljskih voda dolenjskega krasa. FOTO SLAVKO POLAK

tega območja. Tudi pri slepi postranici smo ugotovili zanimivo delitev na dve skupini na območju Dolenjske in Bele krajine. Kaj je vzrok za genetsko diferenciacijo prav na tem območju, pa za enkrat ostaja uganka.

Skupina jamskih ježkov (*Monolistrini*) je v jamskih vodah Dinarskega krasa zastopana z velikim številom vrst, ki so morfološko zelo raznoliki. Nekateri imajo popolnoma gladek hrbet, nekateri le manjše izrastke ali pa celo dolge trne. S pomočjo molekulskih raziskav pa so raziskovalci odkrili, da je morfološko najbolj pestra skupina jamskih ježkov genetsko precej enotna, na drugi strani pa so med tistimi, ki so si na prvi pogled zelo podobne, genetske razlike zelo velike. V jamskih potokih na Dolenjskem je zelo pogost dvorepi jamski ježek (*Monolistra caeca*), najbolj znano in klasično nahajališče pa je Podpeška jama. Izkazalo se je, da populacije v porečju Krke niso enotne. Molekulske raziskave potrjujejo zanimiv vzorec razširjenost: jamski ježki v jamskih vodah so verjetno še danes razširjeni vzdolž smeri predkraških površinskih rek, čeprav so današnje podzemeljske povezave čisto drugačne.

Dolenjski kras pa je tudi območje, kjer v podzemlju živijo tudi edinstvene živali. Mednje prav gotovo sodita jamski cevkar (*Marifugia cavatica*) in jamska školjka (*Congeria kusceri*), katere živi primerki so bili v Sloveniji najdeni šele v letu 2010. Obe izredno skrivnostni prebivalci dinarskih podzemeljskih voda pa sta že objekt molekulskih raziskav. Jamskega cevkarja raziskujemo v Ljubljani, jamsko školjko pa raziskujejo raziskovalci v Zagrebu. Jamski cevkar je iz Slovenije znan le iz nekaj lokacij na Dolenjskem krasu in še iz ene jame v jugozahodni Sloveniji. Sicer je z Dolenjske in Bele krajine znanih tudi veliko jam in izvirov, kjer so bile najdene le prazne cevke, cevkarji pa živijo neznano kje v njihovem zaledju. Z najnovejšimi molekulskimi raziskavami jamskega cevkarja smo ponovno ugotovili popolno ločenost populacij jugovzhodne in jugozahodne Slovenije, torej le v Sloveniji živita dve vrsti jamskega cevkarja, skupaj pa so na Dinaridih vsaj štiri različne vrste. Čeprav živita jamski cevkar in jamska školjka precej drugače kot že predhodno obravnavani organizmi, je tudi zanju značilna velika genetska raznolikost.

Genetske študije vseh do sedaj raziskovanih raznolikih podzemeljskih skupin nam kažejo veliko genetsko diferenciacijo znotraj Dinaridov. A tudi če se omejimo le na Slovenijo, smo ugotovili veliko razliko med podzemeljsko favno notranjskega in dolenjskega krasa. Genetske raziskave nekaterih, večinoma vodnih, podzemeljskih organizmov pa kažejo tudi večjo genetsko diferenciacijo znotraj Dolenjske in Bele krajine v primerjavi s krasom jugozahodne Slovenije. A tudi podzemeljski hrošči očitno niso nobena izjema in le še potrjujejo raznolikost vrst dolenjskega krasa od tistih z notranjskega. Molekulske raziskave podzemeljskih živali Dinarskega krasa tako prispevajo k še večjemu številu znanih vrst tega območja in nam omogočajo vpogled v zanimive zgodbe o njihovi evoluciji in zgodovini. Tako na eni strani utrjujejo pomen Dinarskega krasa kot svetovne vroče točke podzemeljske biodiverzitete in na drugi prinašajo številna nova spoznanja o prebivalcih podzemlja. Izgleda, da nam kljub številnim novim spoznanjem, ki ga je omogočil prav razvoj modernih genetskih tehnik, raziskovalnih izzivov v podzemlju še dolgo ne bo zmanjkalo.