

Genetska pisanost pisancev

Besedilo: Anja Palandačič Foto: Arhiv ribje zbirke Prirodoslovnega muzeja na Dunaju

Ravno v času velike noči, ko je nastajal ta prispevek, so bili pisanci zelo popularni. A članek pred vami je namenjen malo drugačnim, manj znanim, a zato prav nič manj zanimivim pisancem: ribjim pisancem.

Pisanci (*Phoxinus* sp.) so majhne ribe iz družine klenovcev (Leuciscidae), ki dosežejo velikost do štirinajst centimetrov, najpogosteje pa so veliki med sedem in deset centimetrov. So splošno razširjeni, saj naseljujejo različne tipe vodnih teles, od visokogorskih jezer do nižinskih potokov in rek. Kljub temu so hladnoljubne ribe, ki jim ustrezajo temperature med sedmimi in dvajsetimi stopinjami, predvsem pa je za njihov obstoj pomembna dovolj visoka koncentracija kisika v vodi. Tako lahko v hitro tekočih rekah in potokih kratkoročno prenesejo tudi višje temperature. Raziskovalci so ugotovili, da je optimalna temperatura za razvoj njihovih možganov 14 °C. Pri pisancih je prisoten spolni dimorfizem, kar pomeni da se samice in samci razlikujejo. Samci imajo veliko večje, širše in bolj zaobljene prsne plavuti.

Drstijo se na trdi podlagi, vendar njihova jajčeca niso lepljiva, zato jih odložijo med prodnike, kjer so zaščiteni pred vodnim tokom, hkrati pa jih voda, bogata s kisikom, ves čas preliva. Po nekaj dneh se iz jajčec razvijejo ličinke, ki se pustijo odnesti v mirnejši del vodotoka. Tam, med bogatim rastlinjem, ki jim daje zatočišče in hrano, aktivno lovijo vse, kar plava v vodnem stolpcu, od alg pa do majhnih nevretenčarjev oziroma njihovih ličink. Tudi odrasli pisanci so omnivori, kar pomeni, da se prehranjujejo tako z rastlinsko kot živalsko hrano. Najraje imajo majhne rakce, na primer vodne bolhe. Čeprav so pisanci na videz nezahtevne, visoko prilagodljive ribe, pa za razvoj in razmnoževanje potrebujejo hladno vodo z veliko kisika ter specifična mikrookolja, ki omogočajo razvoj vseh različnih razvojnih stopenj.

GENETSKE RAZISKAVE PISANCEV SO POSKRBELE ZA PRESENEČENJE

Pisanci so razširjeni praktično po celotni Evropi, razen na jugu Apeninskega in Iberskega polotoka, ter vzhodno vse do Japonskega in Ohotskega morja. In čeprav so v začetku 19. in 20. stoletja raziskovalci opisali več različnih vrst, so bile le-te zaradi pomanjkanja jasno prepoznavnih



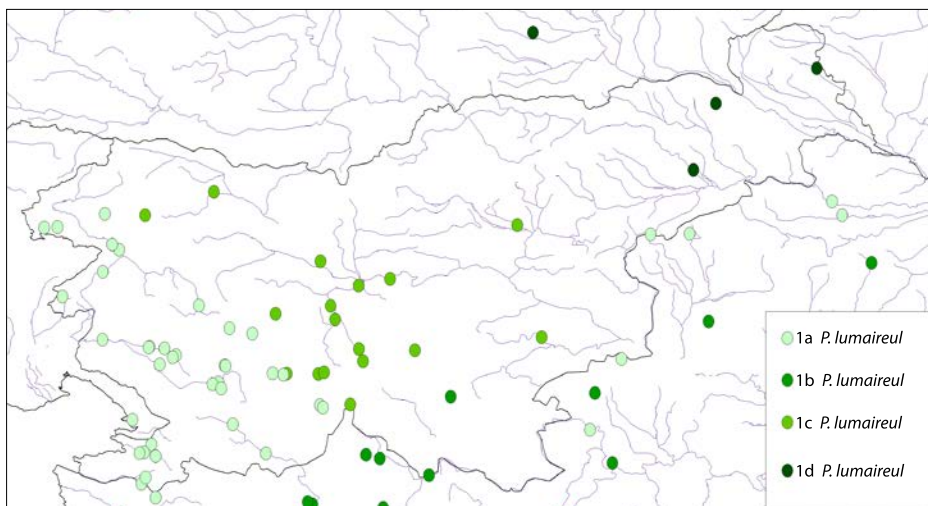
Pisanec *Phoxinus lumaireul* iz Ižice, ujet pod mostom Peruzzijske ulice, malo pred sotočjem z Ljubljano. Njihovo rodovno ime v slovenščini je zgovorno, zares so pisani, kar je povezano predvsem z obarvanostjo v času drsti (med aprilom in junijem, odvisno od zunanjih temperatur in temperature vode), ko se samcem trebuh in obrobe ust ter prsnih in trebušnih plavuti obarvajo rdeče, zrastejo pa jim tudi drstne bradavice. Skupaj s prelivajočim zelenim trupom, ki ga krasijo še črne črte ali pike, so zares barviti – in čudoviti.

telesnih lastnosti združene v eno samo vrsto: navadni pisanec (*Phoxinus phoxinus*). Nato so leta 2004 raziskovalci na osnovi telesnih značilnosti najprej obudili vrsto pisanca iz črnomoškega povodja, leta 2007 je sledil opis dveh novih vrst iz sredozemskega povodja in obuditev vrste iz egejskega povodja. Ko so se z letom 2015 začele prve genetske raziskave, pa je prišlo do prave eksplozije vrstne pestrosti. Izkazalo se je namreč, da pisanci pred-

stavljajo vrstni kompleks – veliko število na videz podobnih vrst, ki pa se genetsko razlikujejo. V takih primerih se pogosto uporablja tudi izraz »kriptične (= prikrite) vrste«, saj so bodisi zaradi pomanjkanja znanstvenih študij bodisi zaradi dejanskega pomanjkanja vidnih zunanjih telesnih razlik med vrstami ostale skrite. Trenutno je v Evropi veljavnih 13 različnih vrst pisancev, prisotnih pa je še mnogo več genetskih linij. Poleg tega je ostalo še kar nekaj neraziskanih povodij, zato se bo število vrst verjetno še povečalo. Po drugi strani se je območje razširjenosti navadnega pisanca skrčilo na dele porečij Rena, Meuse in Sene v Nemčiji in Franciji.

ZAKAJ SO PISANCI TAKO TEŽAVNI?

Razlogov, da pisanci predstavljajo kriptični kompleks vrst, je več. Na prvem mestu je pomanjkanje očitnih telesnih razlik. Čeprav je na začetku veljalo, da je vzrok za pomanjkanje odsotnost podrobnih znanstvenih raziskav na dovolj velikem številu vzorcev, je danes jasno, da je nekatere redke vrste sicer možno nedvomno ločiti od ostalih, večine pa kljub podrobnemu preučevanju, meritvam in testiranju različnih znakov vendarle ne. Vsaj ne brez statistične primerjave vzorcev. Trenutno za najbolj zanesljive telesne znake veljajo prisotnost, vzorec in velikost lusk, predvsem med prsnima plavutma, ter sestava pobočnice (oblika, število lusk s senzornimi porami). Vendar se ponovno zaplete že pri prisotnosti lusk, saj so nekatere tako majhne, da jih je mogoče videti le s posebnim barvanjem.



Zemljevid razporeditve genetskih linij pisanca v Sloveniji. Sodobne genetske raziskave so pokazale, da je v Sloveniji razširjena le ena vrsta pisanca – *Phoxinus lumaireul*, ki pa je izjemno genetsko pestra. Zasediti je vsaj štiri genetske podlinije: v jadranskem povodju, v porečjih Kolpe in Drave ter v osrednji Sloveniji.



Vzorčenje na Nadiži. Pisance se najlažje vzorči s križno mrežo. Postavi se jo v vodo, počaka, da pisanci priplavajo nanjo, nakar se jo potegne iz vode. Mreža se na robovih vboči in prepereči, da bi pisanci iz nje pobegnili.



Vzorčenje na Nadiži. V nizki vodi Nadiže, kjer pisancev kar mrgoli, jih lahko zajamemo kar z mrežo zajemalko. Za genetske raziskave se pisancem odreže delček prsne ali repne plavuti in se jih žive izpusti. Plavuti pa se jim hitro (v roku enega meseca) regenerirajo. Alternativno se lahko vzorči tudi brise kože, vendar je predvsem za najnovejše genetske analize tako vzorčenje manj učinkovito.

Za številne klenovce, pa tudi ribe na splošno velja, da sorodne vrste naseljujejo vsaka svoje vodno območje – običajno večje reke s pritoki – porečja. Meje med porečji tako predstavljajo tudi meje med različnimi vrstami. Pri pisancih pa je ta vzorec precej pomešan, razširjenost posamičnih vrst mnogokrat presega različna porečja ali celo povodja, kar onemogoči določanje vrst glede na geografsko območje.

Obstaja pa še en problem. Čeprav pisanci niso komercialno zanimive ribe, so se mnogokrat uporabljali za hrano le-tem, zato so bili podvrženi prenosom. Uporabljali so se kot živa hrana v ribogojnicah, na primer na Nizozemskem. Vnašali so se kot hrana predatorskim ribam, na primer v visokogorskih jezerih v Italiji, Španiji, pa tudi Sloveniji. Včasih so bili vloženi nezavedno, z drugimi ribjimi mladnicami. Pogosto so se uporabljali tudi kot živa vaba. Na koncu ribolova so jih tako enostavno izpustili v najbližji vodotok, kjer prej niso bili nujno naravno prisotni. Tak primer je Norveška, kjer pisanci veljajo za invazivno vrsto. Pisanci se nadalje uporabljajo tudi kot okrasne ribe v ribnikih, mogoče jih je naročiti tudi po internetu. Poleg tega so različne vrste pisancev prišle v stik prek umetnih povezav med vodotoki, na primer preko Rensko-Donavskega kanala. Ti načini so omogočili razširjane pisancev v nova okolja, kjer jih prej ni bilo, ali pa

mešanje vrst oziroma izpodrivanje naravno prisotnih z vnesenimi vrstami. Pisanci so tako lahko hkrati ogrožene ali pa invazivne vrste.

Ker je dolgo veljalo, da je po Evropi razširjena samo ena vrsta, vrste pa so na prvi pogled vse enake, ljudje niti niso opazili, da spodbujajo prenos oziroma mešanje vrst. Ljudje so ribe prenašali že v času Rimljanov, vendar kljub temu velja, da so se intenzivni prenosi/vnosi dogajali v zadnjih 70 letih. S pomočjo vzorcev iz muzejskih zbirk, ki so bili nabrani v 19. in na začetku 20. stoletja, so tako raziskovalci poskušali ugotoviti, kje so bile posamezne vrste razširjene naravno in kje so se razširile zaradi človeškega posredovanja.

PISANCI V SLOVENIJI

Tudi za Slovenijo je dolgo veljalo, da jo naseljuje navadni pisanec (*P. phoxinus*). Kasneje so nekateri raziskovalci predvideli, da se poleg njega v donavskem porečju, v jadranskem povodju nahaja še ena vrsta, laški ali primorski pisanec (*P. lumaireul*). Ta predvidevanja so se izkazala za napačna, saj so genetske raziskave pokazale, da je v Sloveniji razširjena le ena vrsta pisancev, *P. lumaireul*, ki pa je izjemno genetsko pestra. Tako je možno zaslediti vsaj štiri genetske podlinije, ki se bodo morda v nadaljnjih raziskavah izkazale za vrste. Prva je zastopana v jadranskem povodju, druga v porečju Kolpe, tretja v porečju Drave, četrta pa je razširjena le v osrednji Sloveniji. Ker je vrsta *P. lumaireul* po do sedaj zbranih podatkih razširjena vse do Srbije, tako v jadranskem kot črnomoškem povodju, je slovensko poimenovanje vrste (laški ali primorski pisanec) preozko. Vrsta je bila sicer najprej opisana na območju reke Pad, tako da bi jo bilo mogoče opisati kot *padskega pisancev*. Ker pa *lumaireul* verjetno izhaja iz francoske besede *lumaire*, kar pomeni luč, svetilka, bi ji lahko rekli *bleščeči pisanec*.

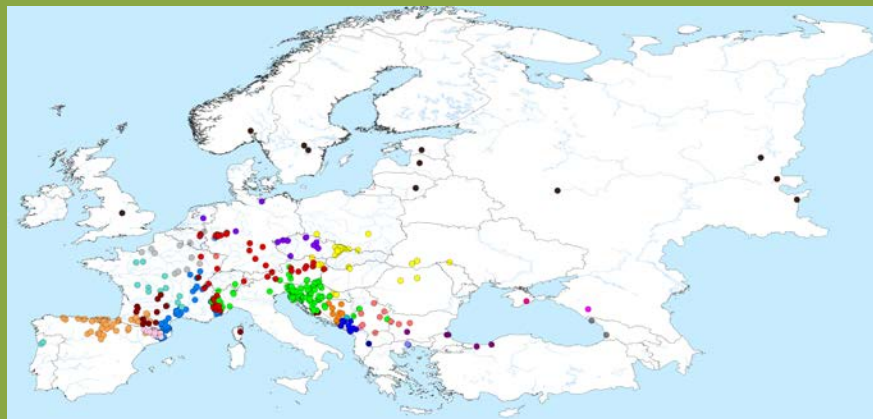
TRENTNE RAZISKAVE

Poleg splošnih biogeografskih raziskav o razširjenosti posameznih vrst pisancev v Evropi in Sloveniji poteka trenutno v ribji zbirki Prirodoslovnega muzeja na Dunaju v sodelovanju z Oddelkom za biologijo Biotehniške fakultete projekt, ki preučuje selitve vodnih organizmov na Dinarskem krasu. Sofinancirata ga Avstrijska znanstvena fundacija (FWF) in Javna agencija za raziskovalno dejavnost (ARRS). Projekt preučuje, ali so trenutni vzorci razširjenosti vrst posledica preteklih geoloških dogodkov, zgodovinskih hidroloških povezav, ali nanje vplivajo tudi podvodne povezave v krasu, ki pogosto povezujejo površinsko ločena sosednja porečja. Raziskave potekajo s pomočjo genetskih analiz,

SKRITA BIOTSKA PESTROST

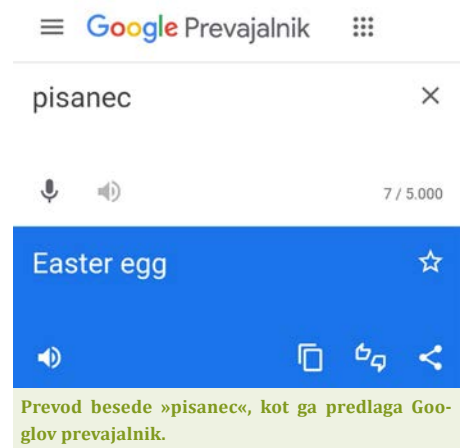
Dolgo je veljalo, da Evropo naseljuje ena sama vrsta pisancev: navadni pisanec. Po številnih genetskih raziskavah pa se je izkazalo, da evropski prostor naseljuje najmanj 23 različnih genetskih linij (*na sliki označene z različnimi barvami*), od katerih je trenutno veljavnih 13 vrst. Zanimivo je, da razporeditev teh vrst ne sledi porečjem oziroma povodjem, kar je običajno za razporeditev ribjih vrst. Predvideva se, da ima ta vzorec različne vzroke, ki vključujejo pretekle geološke dogodke, pa tudi vnose in prenose s strani človeka. Pisanci so eden najboljših primerov skrite biodiverzitete, saj so pokazali, da izjemna biotska pestrost ni omejena le na nedostopna ali tropska območja, ampak se lahko skriva na našem pragu, in to med organizmi, za katere menimo, da jih dobro poznamo. S pomanjkanjem raziskav pa se lahko zgodi, da vrste izumrejo, še predno so sploh odkrite.

Na zemljevidu je »bleščeči« pisanec *P. lumaireul* označen z zeleno barvo, medtem ko je navadni pisanec (*P. phoxinus*) označen s sivo.



ki pokažejo stopnjo sorodnosti med različnimi/sosednjimi populacijami. Tako se je pokazalo, da so posamezne vrste pisanec vzdolž Dinarskega krasa večkrat »prestopile« hidrološko mejo med jadranskim in črnomoškim povodjem. Podrobna primerjava genetskih in hidroloških podatkov v Sloveniji nakazuje, da pisaneci uporabljajo podzemne vodne povezave ter da se populacije iz na videz ločenih, nadzemnih vodotokov preko njih mešajo. Najbolj viden je ta proces pri pisanecih iz Vipave in Pivke, pa tudi Cerkniškega jezera, Malega Obrha, Rakovega Škocjana, ki si vsaj delno

delijo genetski vzorec oziroma tvorijo eno povezano populacijo. Trenutne raziskave so sicer potekale na omejenem številu genetskih znakov. V nadaljevanju bo študija razširjena na številne, ki bodo omogočili natančnejše ovrednotenje sorodnosti populacij, poskušala pa bo tudi določiti, kdaj je prišlo do razcepa med seboj ločenih populacij. Poleg tega bomo raziskovalci poskušali določiti, v kolikšni meri so vnosi rib na območju Slovenije vplivali na razširjenost posameznih genetskih podlinij pisanca, ter ovrednotiti stopnjo njihove ogroženosti. 🌿



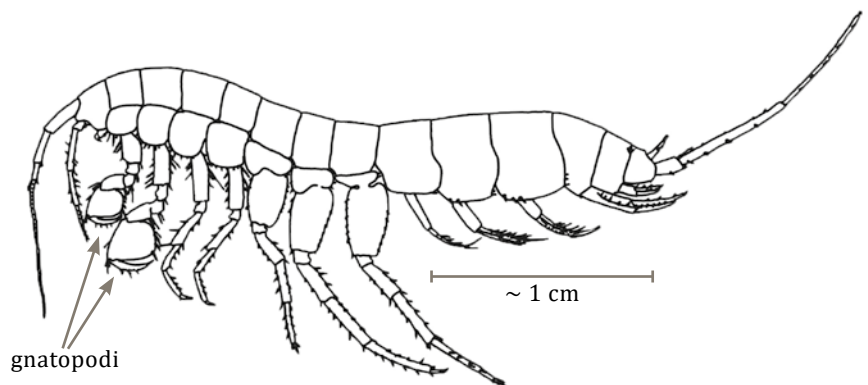
Prvi vpogled v prehranjevalne spletne dinarskega podzemlja

Besedilo: Ester Premate

Podzemne ekosisteme najbolj zaznamujeta stalna tema in s tem povezano pomanjkanje hrane. Ker rastlin v podzemlju ni, so podzemne živali večinoma odvisne od dotoka hrane s površja. To je eden od glavnih razlogov, da podzemlje označujemo za ekstremno okolje – okolje, kjer je hrane malo in kjer naj bi bile prehranske verige izjemno okrnjene. Pa je temu res tako?

Viri hrane v podzemlju so v primerjavi s površinskimi ekosistemi skromni in nepredvidljivi. Hrano v podzemlje prinašajo pretežno reke ponikalnice, prenikla voda, veter in živali, ki migrirajo med podzemljem in površjem, kot so na primer netopirji. V brezni pomemben del organskih snovi predstavlja odmrta rastlinska biomasa, ki vanje preprosto pade. Podzemne živali so na takšno okolje dobro prilagojene: so odporne na stradanje in lahko preživijo dolga obdobja brez hrane. Hkrati naj bi bile prehranski generalisti, torej ne ravno izbirčne pri načinu prehranjevanja in izbiri virov hrane.

Zaradi omenjenih značilnosti podzemnih ekosistemov je dolgo veljalo, da so prehranjevalne verige kratke in sestavljene iz zgolj treh členov: detrita oziroma odmrle organske biomase kot osnovnega člana ter dveh členov porabnikov – razkrojevalcev (detritivorov) in njihovih plenilcev. Ta teoretična predvidevanja so bila podprta z le redkimi opazovanji živali v naravi ali laboratoriju. Preučevanje vedenja, prehranjevanja in odnosov med podzemni-



Slika 1: Skica slepe postranice (*N. stygius*) z označenimi sprednjimi okončinami na trupu – gnatopodi, s katerimi prijema delce hrane. (prirejeno po Trontelj in sod. (2012))

mi živalmi je namreč izjemno zahtevno, saj nam je njihov habitat pretežno nedostopen. Opazujemo jih lahko ob časovno omejenih obiskih jam, v laboratorijih pa težko poustvarimo njihovo naravno okolje in jih težko gojimo.

Danes se preučevanja prehranjevalnih verig in spletov lotimo na drugačen način. Raziskovalci se tako pogosto poslužujejo analize vsebine prebavil z uporabo metabarkodiranja DNK ali pa za določanje prehranjevalne oziroma trofične niše uporabljajo analizo stabilnih izotopov. Prav zadnja je na področju podzemne biologije prispevala k zelo zanimivim odkritjem. Omeniti velja odkritje kemoavtotrofije v jamah in s tem povezanih prehranjevalnih verig, kjer osnovo predstavljajo primarni kemoavtotrofni proizvajalci in ne odmrta organska biomasa. Takih sistemov poznamo na svetu zgolj peščico. Poleg tega so stabilni izotopi razkrili obstoj dolgih pod-

zemnih prehranjevalnih verig, primerljivih s površinskimi, in podzemnih vrst, ki so specializirane za določene vire hrane. Čeprav je teh združb po svetu razmeroma malo, so nekatera dolgo sprejeta predvidevanja o podzemnih združbah postavila na glavo.

Študij, ki bi se na podoben način lotile preučevanja podzemnih združb na območju Dinaridov, do sedaj ni bilo. Dinaridi so po številu podzemnih vrst med najbolj pestrimi na svetu in imajo zagotovo najdaljšo zgodovino raziskovanja. V podzemlju Dinaridov bi, zaradi pestrosti habitatov in njihovih prebivalcev, lahko pričakovali tudi pestre prehranjevalne verige. Poleg tega v istih podzemnih združbah Dinaridov nemalokrat sobiva več ozko sorodnih vrst. Na podlagi teorije o ekoloških nišah smemo pričakovati, da se sobivajoče vrste med seboj razlikujejo vsaj v eni dimenziji ekološke niše, na primer v tem, v kakšnem