

Žabe podrevnice v tropskem deževnem gozdu Kostarike

Tom Turk

Rio Bolsa je ena od številnih majhnih rečic ali večjih potokov, ki v bližini tropske raziskovalne postaje v La Gambi pritečejo iz temačnih globin tropskega deževnega gozda nacionalnega parka Piedras Blancas. Na prvi pogled se prav nič ne razlikuje od drugih – majhne brzice, ki tečejo čez kamne in skale ter se praviloma zlivajo v kristalno čiste tolmune, v katere se včasih ujame kakšen sončni žarek, ki mu uspe prodreti skozi bujno in nepregledno zelenje. Pa vendar je Rio

Bolsa drugačna od drugih podobnih rečic, saj ponekod ob njenih bregovih žive drobne, a ikonične žabice, ki bi morale biti zaradi svojih živih barv dobro vidne. Pa niso, a o tem nekoliko kasneje. Žabice, ki smo jih zavzeto iskali med prodom, obrežnim listjem in vejevjem, medtem ko smo brodili skozi tolmune, se prebijali čez spolzke skale in se plazili med podrtimi debli, ki so marsikje zajezili tok reke, so se pridno izmikale našim pogledom.

Predstavnice podrevnic iz rodu Allobates niso strupene, zato tudi niso kričice obarvane. Živijo prikrito med listi na gozdnih tleh in v špranjah med kamni na obrežjih gozdnih potočkov, od koder pa se lahko samci glasno oglašajo. Če jih presenetimo, zelo hitro skačejo in kar na lepem izginejo, ko se skrijejo med listje. Težko jim je slediti, kaj šele fotografirati. Na sliki je vrsta A. talamancae. Foto: Tom Turk.



Podrevnice, listavke, jajcežerke in sorodnice

Žabe, ki so se trmasto skrivale pred nami, uvrščamo v družino podrevnic (*Dendrobatiidae*), ki združuje številne rodove teh bolj ali manj živopisanih in praviloma zelo majhnih žabic. Vse skupaj poznamo okrog 180 vrst, ki živijo izključno v neotropskih deževnih gozdovih Srednje in Južne Amerike. Glavni rodovi družine so *Dendrobates* (podrevnice, v ožjem pomenu besede), *Phylllobates* (listavke) in *Oophaga* (dobesedno jajcežerke). Sistematika žab se zadnje čase zaradi molekularnih metod ugotavljanja sorodnosti hitro spreminja, zato tudi vrste pogosto menjajo rodove, celo družine, in podrevnice pri tem niso izjema. Kakorkoli, angleško govoreči narodi vse podrevnice in sorodne žabice imenujejo »poison dart frogs«, saj toksine nekaterih vrst številna južnoameriška plemena res uporabljajo za zastrupljanje konic puščic, ki jih izstreljujejo s pihalniki. Resnici na

ljubo, vse podrevnice niso strupene, večino pa njihovi izločki res vsebujejo številne organske molekule, med katerimi so nekatere, ki lahko ubijejo tudi človeka. Kostariške vrste niso tako strupene, čeprav tako kakor njihove južnoameriške sorodnice vsebujejo podobne toksine, a v precej manjših količinah. V Kostariki živi osem vrst podrevnic. Pet iz rodov *Dendrobates*, *Phylllobates* in *Oophaga* je živoobarvanih in strupenih, tri



Samček vrste A. talamancae s tovorom paglavcev na svojem hrbtu išče primerno lužico, kamor jih bo odložil, in tako poskrbel, da se bodo paglavci razvili v odrasle žabe.

Foto: Tom Turk.

vrste iz rodov *Allobates* in *Silverstoneia* pa so nevpadljivih rjavih barv z nekaj svetlejšimi progami. Te živijo prikrito med listjem in nimajo toksičnih izločkov, nekateri herpetologi jih zato uvrščajo v samostojno družino nestrupenih podrevnic Aromobatidae.

Podrevnice so dobri starši

Podrevnice najpogosteje najdemo ob manjših rečicah, kot je tudi Rio Bolsa. Zadržujejo se med vlažnim listjem in vejevjem, včasih tudi med kamni in skalami, na prodiščih, ki jih ustvarja reka. Kljub njihovi kričeči obarvanosti (aposematične oziroma svarilne barve), ki morebitnim plenilcem jasno sporoča, da so strupene, jih težko opazimo. Znajo se dobro skriti med nepreglednim opadom, ki pokriva tla tropskega deževnega gozda. Podrevnice odlagajo svoja jajca med vlažno listje. Pri večini vrst samci skrbijo, da ostane okolica primerno vlažna, če ni, redno vlažijo odložena jajčeca z urinom podobno tekočino, ki jo izločijo iz posebne vrečke. Ko se izležejo paglavci, jih na hrbtu odnesejo do ustrezne lužice ali v vodo, ki se nabira v čašah bromelij in med listi podobnih epifitskih rastlin. Samci nekaterih vrst tovorijo na hrbtu le enega, največ dva paglavca, drugi pa lahko tudi več. Skrb za zarod je še zlasti zanimiv pri rodu *Oophaga*. Samčki iz tega rodu, vsak s svojim paglavcem na hrbtu, splezajo na drevo do prve ustrezne bromelije, kjer jih stresejo v vodo, ki se nabira v čaši. Ker paglavci tam nima ustrezne hrane, samica v čašo večkrat odloži neoplojena jajčeca, ki rabijo paglavcu za hrano, dokler se ne preobrazi v odraslo žabo.

Večina podrevnic je strupenih, nekatere so nevarne tudi človeku

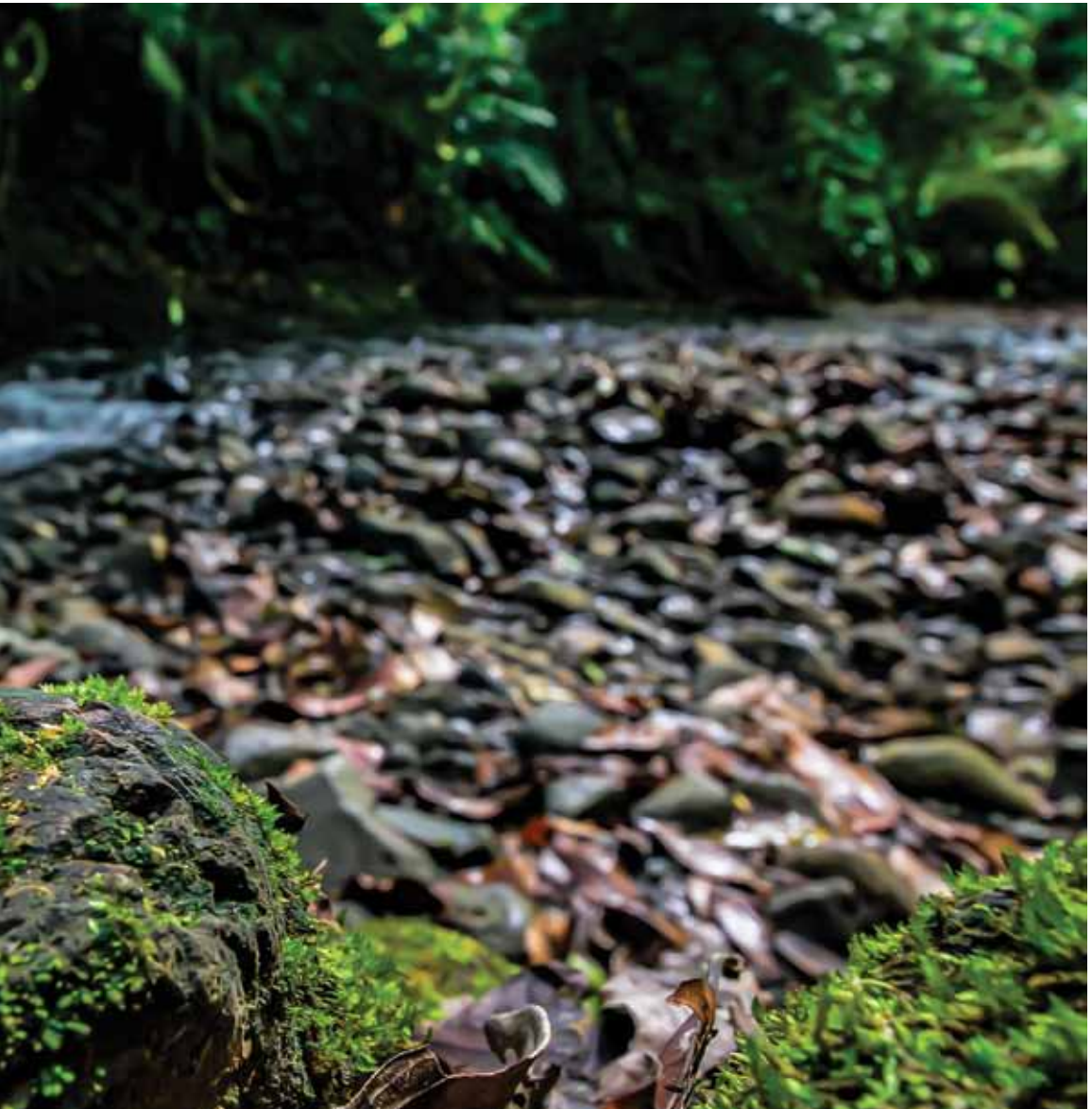
Raziskovalci in tudi rejci podrevnic vedo, da je njihova toksičnost odvisna od prehrane. V naravi to večinoma predstavljajo hrošči iz družine Melyridae, ki naj bi bili glavni vir batrahotoksina, najbolj strupenega steroidnega alkaloida, ki je v kožnih



Značilno življenjsko okolje podrevnic vrste Oophaga granulifera so obrežja manjših gozdnih potokov, njihova prodišča, špranje med večjimi in manjšimi kamni ter z listjem in vejevjem pokrita vlažna gozdna tla ob potokih.
Foto: Tom Turk.

izločkih najbolj strupenih listavk (*Phylllobates*). Toksini drugih podrevnic pa bi lahko izvirali tudi iz mravelj (na primer družine Formicidae), s katerimi se velikokrat hranijo te žabice. Podrevnice imajo v primerjavi z drugimi vrstami žab, ki se prehranjujejo s podobnim plenom, sposobnost, da lahko prevzamejo toksične snovi iz svojega plena, nekatere nespremenjene, druge pa nekoliko

biotransformirane nato kopičijo v kožnih žlezah in jih po potrebi izločajo na površino kože. Ker je v ujetništvu prehrana podrevnic drugačna, tudi toksičnih snovi v takem okolju ne morejo dobiti in zato izgubijo strupenost. Raznih toksičnih kožnih alkaloidov, ki jih izločajo podrevnice, je veliko, trenutno jih poznamo okrog devetdeset. Glavni med njimi so *pumiliotoksini A-D* (de-



kahidrokvinolinske spojine), *histrionikotoksin* (1-azaspiro [5.5]undekan), skupina *gefirotoksinov* (perhidropiropiperidinske in perhidropirolokvinolinske spojine), epibatidin (kloropiridil azabicikloheptan) in steroidni, že omenjeni alkaloid, batrahotoksin. Ti toksini imajo številne in raznolike biološke učinke. Večina jih na tak ali drugačen način vpliva na prenos živčnega vzburjenja iz motoričnih živcev na mišice. Delujejo kot modulatorji nekaterih ionskih kanalčkov na različnih mestih živčno-mišičnega prenosa. Najmočnejši toksin podrevice je nedvomno batrahotoksin, steroidom podobna lipofilna molekula, ki deluje na eno od vezavnih mest (mesto 2) v napetostno odvisnih kanalčkih Na^+ na aksonu motoričnih živcev. Z vezavo na kanalček povzroči neprekinjeno depolarizacijo motoričnega nevrona, prekomerno vzburjenje prečno-progastih mišic in končno njihovo paralizo. Največ batrahotoksina vse-

bujejo kožni izločki južnoameriških listavk *Phyllobates bicolor*, *P. aurotaenia* in *P. terribilis*. Zlasti zadnja je glavni vir batrahotoksina za avtohtone prebivalce amazonskega gozda z območja Choco v Kolumbiji. Uporabljajo ga za premaz svojih puščic za lov na opice, lenivce in podobne živali, ki žive visoko v drevesnih krošnjah. Že najmanjša ranitev s tako puščico pomeni uspešen lov, saj strup plen zelo hitro paralizira, da ta pade z drevesa lovcu dobesedno »v naročje«. Z žabami, ki jim zagotavljajo batrahotoksin, lovci ravnajo z vsem dolžnim spoštovanjem. Pri odvzemu strupa ravnajo z njimi skrajno previdno in pazijo, da ne pridejo v stik s strupom, ki bi bil tudi za njih lahko poguben.

V Kostariki živi osem vrst podrevice, a jih ni prav lahko najti

Kot že rečeno, kostariške vrste še zdaleč niso tako strupene, vendar je pri rokova-

Oophaga granulifera je okrog tri centimetre velika podrevice in ena bolj pogostih vrst svojega rodu. Je izrazito teritorialna vrsta in jo, kljub zelo podobnemu življenjskemu prostoru, ki ga ustvarjajo manjši vodotoki v tropskem deževnem gozdu, najdemo le ponekod. Foto: Tom Türk.



nju z obema vrstama iz rodu *Phyllobates* (*P. lagubris* in *P. vittatus*) kljub vsemu potrebna previdnost. Zelo malo možnosti pa je, da boste obe vrsti kostariških listavk sploh uspeli videti v naravi, saj kljub živi obarvanosti živita skrivno življenje. Več je možnosti za srečanje z obema vrstama podrevnic iz rodu *Oophaga* (pacifiško *O. granulifera* in njej alopatrično vrsto *O. pumilio*, ki naseljuje karibsko stran Kostarike). Tudi edino kostariško predstavnico rodu *Dendrobates*, *D. auratus*, je nekoliko lažje zaslediti v naravi, čeprav je tudi za to potrebno kar nekaj sreče. Predvsem vrste iz rodu *Oophaga* so zelo ozemeljske, zato jih kljub podobnosti celotnega življenjskega prostora ob reki lahko najdemo le na nekaterih mestih. Pred nekaj leti, ko smo organizirali drugo ekskurzijo v Kostariko, nam je za eno od teh mest povedal Dennis Kollarits, raziskovalec z Univerze na Dunaju, ki se v La Gambi ukvarja s

preučevanjem podrevnic. Takrat smo jih našli brez težav in tudi dve leti kasneje smo na istem mestu dokaj hitro naleteli na dve ali tri oranžno-zelenkaste žabice vrste *Oophaga granulifera*.

Letos smo se na pohodu in oprezanju za podrevnicami razdelili v dve skupini, toda mesta, kjer smo prejšnja leta naleteli nanje, nikakor nismo uspeli najti. Neverjetno koliko stvari se lahko v dveh letih spremeni v deževnem gozdu, čeprav je videti vse zelo podobno. Toda tok reke ubira svojo pot, deževno obdobje in podrtja drevesa naredijo svoje, tako da smo brez uspeha kar dolgo tavalili ob rečnem toku. Končno smo tisti, ki smo bili prvi, sklenili, da se obrnemo, saj nad stikanjem za žabami med kupi listja in vejevja nismo bili več navdušeni, še zlasti ne, ko sta dve študentki skoraj pohodili zajetno, najbolj strupeno kostariško kačo suličarko (*Bothrops asper*). Ta ni bila videti

Edina predstavnica rodu Dendrobates v Kostariki je zeleno-črna podrevnica D. auratus, ki je velika okrog štiri centimetre. Foto: Tom Turk.





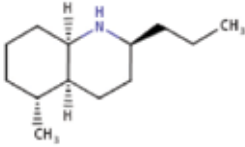
Kožne žleze podrevnice na fotografiji so na površino kože izločile belkasti strupeni izloček. Kostariške podrevnice niso tako strupene kot njihove južnoameriške sorodnice, a je vseeno bolje, da z njimi ravnamo previdno. Foto: Tom Turk.

nič kaj dobre volje, saj sta jo očitno zmotili med prebavljanjem plena. Za povrh vsega je piscu teh vrstic še spodrsnilo na spolzki skali, tako da si je razbil komolec ter poškodoval fotoaparatus. Oba sta na srečo zdržala do konca potovanja, bolelo je pa vseeno. Na srečo je imela skupina za nami več sreče ali pa boljše oči. Prej kot mi so se ustavili ob reki in ko smo se jim pridružili, so ravno navdušeno opazovali eno od dveh podrevnic vrste *Oophaga granulifera*, ki so ju uspeli najti. Te žabice so res prikupne in v bistvu kar potrpežljivo pozirajo fotografu. Opravili smo fotoseanso in se zadovoljno odpravili nazaj po rečni strugi. Čez petdeset metrov pa nas je čakalo novo prijetno preseneče-

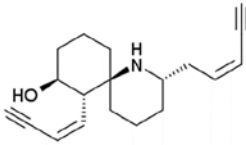
nje. Na rečnem produ je čepela zeleno-črna podrevnica (*Dendrobates auratus*). Te žabice se tukaj res nismo nadejali, kajti osebkovi te vrste večinoma živijo globlje v gozdu, kjer jih lahko opazimo le, če imamo res dobre oči. Ker se je okrog nje očitno nagnetlo preveč občudovalcev in so jo nekateri tudi malo pobezali s palčko, je žabica iz kožnih žlez začela izločati belkasti strupeni izloček, ki nas je prepričal, da se žabice ni pametno dotikati. Bili smo navdušeni, saj smo na štiri potovanjih v Kostariko to vrsto podrevnic videli le dvakrat. Tropski deževni gozd nam je tako še enkrat dokazal, da je poln življenja, ki pa ga ni lahko najti. Žabe, ki smo jih iskali, le potrjujejo to pravilo.

Zgradba pomembnejših toksinov v izločkih žab podrevnic in njihovo delovanje

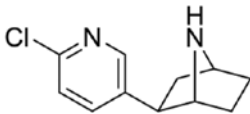
- Pumiliotoksin C (modulator delovanja napetostno odvisnih kanalčkov Na^+).



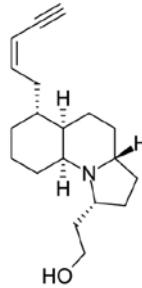
- Histrionikotoksin (nekompetitivni zaviralec nikotinskega tipa acetilholinskih receptorjev - nAChR)



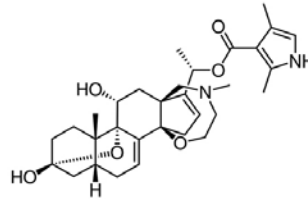
- Epibatidin (agonist nekaterih podtipov nAChR in mAChR v centralnem in perifernem živčevju)



- Gefirotoksin (agonist muskarinskega tipa acetilholinskih receptorjev – mAChR)



- Batrahotoxin (modulator delovanja napetostno odvisnih kanalčkov Na^+ na motoričnih živcih)



Uravnavanje encimov s ciljanjem alosteričnih mest: primer katepsina K • Kemija

Uravnavanje encimov s ciljanjem alosteričnih mest: primer katepsina K

Tjaša Goričan, Marko Novinec

Zdravilne učinkovine večinoma delujejo tako, da uravnavajo delovanje bioloških molekul v telesu. Pogosto so njihove tarče encimi, to je beljakovine, ki delujejo kot katalizatorji kemijskih reakcij v telesu. Vsi encimi žal niso enako dovzetni za uravnavanje, zdravilne učinkovine pa morajo imeti tudi

čim manj stranskih učinkov v telesu. Zato je v razvoju novih učinkovin potrebnih veliko znanja o sami tarči ter tudi dobršna mera iznajdljivosti. V zadnjih letih se v načrtovanju učinkovin uveljavlja načelo ciljanja tako imenovanih alosteričnih mest na površini encimov, ki so namenjena prav uravnavanju