

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

PREHRANA ŽABA PORODICE DENDROBATIDAE KAO IZVOR
OTROVNIH ALKALOIDA

DIETARY SOURCE FOR SKIN ALKALOIDS
OF DENDROBATID POISON FROGS

SEMINARSKI RAD

Senka Baškiera

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: prof. dr. sc. M. Mrakov i

Zagreb, 2010.

SADRŽAJ

1. UVOD	2
2. TAKSONOMIJA I KLASIFIKACIJA.....	3
3. GEOGRAFSKA RASPROSTRANJENOST	4
4. MORFOLOŠKE ZNAČAJKE SKUPINE	5
5. EKOLOGIJA.....	7
5.1. Razmnožavanje i briga za mlade	7
6. OTROVNOST.....	9
6.1. Prehrana – izvor otrovnih alkaloida.....	12
7. UGROŽENOST	18
8. UZGOJ U ZATOČENIŠTVU („Captive care“).....	19
9. LITERATURA.....	20
10. SAŽETAK.....	23
11. SUMMARY	24

1. UVOD

Životinje mogu sintetizirati bioaktivne tvari ili ih izolirati iz organizama kojima se hrane, a porodica Dendrobatidae je samo jedan dio ove velike skupine. U svijetu vodozemaca, skupine bezrepaca (Anura) izoliranje lipofilnih alkaloida iz hrane i spremanje u žlijezde, zana ajno je za žabe porodice Dendrobatidae iz Središnje i Južne Amerike, porodicu Mantellidae s Madagaskara, rod *Melanophryniscus* (Bufonidae) iz Južne Amerike, te rod *Pseudophryne* (Myobatrachidae) iz Australije (Daly i sur. 2007). Žabe porodice Dendrobatidae diuralne su životinje koje nastanjuju vlažne tropske kišne šume Središnje i Južne Amerike. Najpoznatije su po svojoj karakteristi noj obojenosti i posjedovanju otrovnih alkaloida. To su bitno svojstvo prepoznali i drevni Indijanci iz Kolumbije koji su svoje strelice premazivali njihovim otrovima kako bi uspješnije lovili divlje životinje. Stoga ih na engleskom jeziku i nazivaju: *poison dart frogs*, *poison arrow frogs* ili samo *poison frogs*. Dugo se smatralo da alkaloide sintetiziraju same žabe, no uzgajanjem u zato eništvu one ih ne bi posjedovale. To je dovelo do sljede e pretpostavke, a to je da alkaloidi potje u iz prehrane samih žaba.

Cilj ovog seminarskog rada je opisati biologiju i ekologiju žaba porodice Dendrobatidae s naglaskom na njihovu prehranu koja ima za posljedicu pojavu toksih spojeva u koži žaba. Prou avanje prehrane ovih žaba tako er je dalo nova saznanja ne samo o njihovoj toksi nosti, ve i o njihovoj rasprostranjenosti, te o rasprostranjenosti njihovog plijena.

2. TAKSONOMIJA I KLASIFIKACIJA

Porodica Dendrobatidae spada u red bezrepci (Anura) koji zajedno s redom repaši (Caudata) i beznošci (Gymnophiona) pripadaju razredu vodozemaca (Amphibia). Ovaj razred spada u nadrazred eljustousti (Gnathostomata), potkoljeno kralješnjaci (Vertebrata) i koljeno svitkovci (Chordata).

Prema posljednjim podacima Američkog prirodoslovnog muzeja (The American Museum of Natural History), poznato je 6 638 vrsta vodozemaca u koje spada i porodica Dendrobatidae (<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia>). Unutar porodice Dendrobatidae opisano do sada je 172 vrste koje su podijeljene u 3 potporodice: *Colostethinae* (59 vrsta), *Dendrobatinae* (56 vrsta) i *Hyloxalinae* (57 vrsta).

- Razred: [Amphibia](#) (6638 vrsta)
 - Red: [Anura](#) (5858 vrsta, 49 porodica)
 - Porodica: [Bufonidae](#) (550 vrsta)
 - Porodica: [Dendrobatidae](#) (172 vrste)
 - Potporodica: [Colostethinae](#) (59 vrsta)
 - Potporodica: [Dendrobatinae](#) (56 vrsta)
 - Potporodica: [Hyloxalinae](#) (57 vrsta)
 - Porodica: [Mantellidae](#) (186 vrsta)
 - Potporodica: [Boophinae](#) (70 vrsta)
 - Potporodica: [Laliostominae](#) (4 vrste)
 - Potporodica: [Mantellinae](#) (112 vrsta)
 - Porodica: [Myobatrachidae](#) (85 vrsta).

3. GEOGRAFSKA RASPROSTRANJENOST

Vrste porodice Dendrobatidae nastanjuju tropske kišne šume Središnje i Južne Amerike. Žabe ove porodice zastupljene se u području Središnje Amerike od Nikaragve do Paname, zatim u području Južne Amerike od Gvajane, područja Amazone, južno do Bolivije pa sve do južnog i jugoistočnog Brazila (Frost i sur. 2006) (Slika 1.).



Slika 1. Područje rasprostranjenja vrsta porodice Dendrobatidae

(www.static.newworldencyclopedia.org)

4. MORFOLOŠKE ZNAČAJKE SKUPINE

Žabe porodice Dendrobatidae najznačajnije su po privlačnim bojama tijela što ih čini prepoznatljivima u svijetu, ali i vrlo traženima zbog sve većeg trenda uzgajanja kao kućnih ljubimaca. Većina je ovih žaba vrlo mala, ponekad manja od 1.5 cm, iako postoje i one koje dostižu 6 centimetara. Najveća dužina tijela (njuška – kloaka) iznosi od 2 do 4 cm. Teže svega 2 grama. Najlakši način određivanja spola je promatranje njihova ponašanja u prirodi. Mužjaci se razlikuju od ženki po karakterističnom glasanju. Iako su poznate po žarkim bojama i specifičnim uzorcima (Slika 2.), nisu sve vrste otrovne i obojene kao ostale otrovne vrste ove porodice. Naime, većina žaba roda *Colostethus* (Slika 3.) smeđe je boje i ne posjeduju otrove.



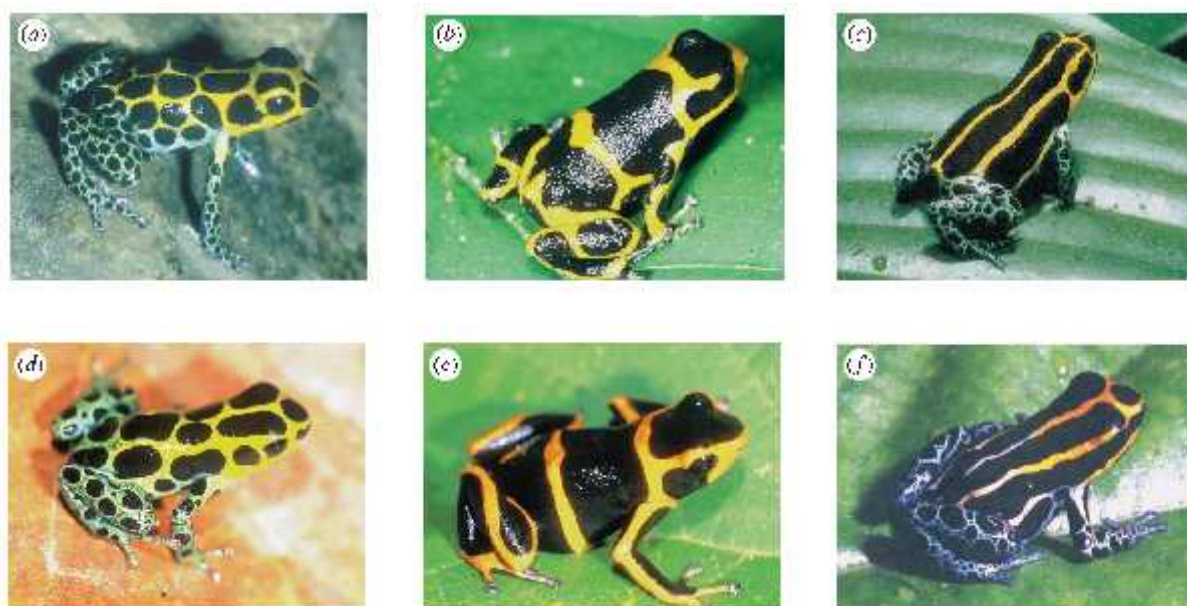
Slika 2. Tipični izgled predstavnika porodice Dendrobatidae (*Dendrobates leucomelas*) pokazuje karakteristično aposematično obojenje tijela i specifične uzorke po kojima je cijela porodica prepoznatljiva.

(www.amnh.org)



Slika 3. Vanjski izgled neotrovne vrste *Colostethus panamensis* iz porodice Dendrobatidae pokazuje nespecifično smeđe obojenje. Žaba je neugledna i kriptički obojena. (www.naturephotographyblog.squarespace.com)

Aposemija (upozoravajuća obojenost) je obojenost otrovnih vrsta vodozemaca koje žarkim bojama upozoravaju neprijatelje da su otrovne. To je adaptivna sposobnost kojom organizam (potencijalni plijen) odašilje poruku o svom neugodnom mirisu ili posjedovanju otrova pokazuju i intenzivno obojenje tijela. Osim aposemije, u ovih vrsta pojavljuje se i mimikrija i to tzv. Müllerov tip mimikrije. Riječ je o pojavi da nekoliko opasnih vrsta dijeli slične oznake, pa grabežljivac koji neuspješno pokuša uhvatiti jednu vrstu, ubuduće izbjegava sve životinje sa sličnim oznakama. Npr. *Dendrobates imitator* (Slika 4.), iako toksičan, oponaša boje i uzorke drugih žaba ove porodice u Peruu. Kakav će uzorak oponašati ovisi, naravno, o vrsti s kojom dijeli stanište. Tako u gradu Tarapoto oponaša *D. variabilis*, u kanjonu Huallaga *D. fantasticus*, a u gradu Yurimaguas *D. ventrimaculatus* (Symula i sur. 2001). Obojenost također igra važnu ulogu i u razmnožavanju.



Slika 4. Gornje tri slike (a – c) prikazuju istu vrstu, *Dendrobates imitator*. Ova žaba dijeli stanište s različitim vrstama na različitim mjestima. Vrsta koju *D. imitator* oponaša prikazana je ispod njenog morfološkog oblika. Slika d prikazuje *D. variabilis* (Tarapoto), e *D. fantasticus* (kanjon Huallaga), f *D. ventrimaculatus* (Yurimaguas).

(Symula i sur. 2001)

5. EKOLOGIJA

Za razliku od većine žaba, ovo su diurnalne životinje koje preferiraju vlažna staništa, ali ne žive u samoj vodi. Većina je vrsta terestrička, a neke od vrsta su arborealne te mogu živjeti u krošnjama na visini od 10 metara.

5.1. Razmnožavanje i briga za mlade

Većina žaba ove porodice su predani roditelji. *Dendrobates pumilio* odnosi mlade punoglavce u krošnje drve a nose ih na leđima (Slika 5.). No postavlja se sljedeće pitanje; ako je koža ovih žaba toliko toksična da može uzrokovati i smrt, kako to da se mladi ne otroju? Naime, otrovnost se javlja tek u odraslih jedinki (Takada i sur. 2005). Mladi se drže na leđima svojih roditelja pomoću mukoznih izlučevina za koje se pretpostavlja da su odgovorne

za njihovu zaštitu i transport. Kada se popnu na određenu visinu, roditelji svoje mlade ostavljaju u bazen i ima vode koja se nakuplja u različitim epifitskim biljkama, najčešće onima iz porodice Bromeliaceae, gdje se punoglavci hrane malim beskralješnjacima dok ih majke dodatno prihranjuju liježu i neoplođena jaja. Punoglavce, osim na ovaj način, roditelji mogu odlagati i na šumskom tlu, sakrivaju ih među otpalom lišćem. Oplodnja je vanjska što znači da ženke legu jaja koje mužjaci naknadno oplođuju. Broj položenih jaja razlikuje se unutar porodice. Ženke roda *Colostethus* polažu od 25 do 35 jaja, dok ženke roda *Dendrobates* polažu svega 2 do 6 (Schlager 2003), a parenje se odvija za vrijeme kišnih sezona. Teritorijalne su životinje pa se primjerice mužjaci često bore za najbolje mjesto s kojeg će zvati ženke na parenje. Ženke se bore za najbolja gnijezda, a često napasti i tu kako bi pojele jaja kompetitora. Zbog toga mužjaci moraju čuvati svoja gnijezda. Ženke vrste *D. auratus* ponašaju se vrlo zaštitnički prema svojim partnerima pa će tako napasti svaku ženku koja mu se približi (Schlager 2003). Potrebno je 2 tjedna da se izlegu mali punoglavci, a 6 tjedana da se razviju u odrasle jedinke.



Slika 5. Izražena briga za mlade: *Dendrobates pumilio* nosi mlade na leđima koje će položiti u male bazen i ima vode na epifitskim biljkama, najčešće onima porodice Bromeliaceae gdje će se hraniti i razvijati.

(www.jennydemalaga.es)

6. OTROVNOST

Otrovnost ovih žaba njihovo je najznačajnije svojstvo. One sadrže lipofilne alkaloide u svojim žlijezdama koji predstavljaju oblik zaštite od predatora. Prisutnost otrova vrlo jasno nagovještavaju svojim jarko obojenim tijelom i karakterističnim uzorcima što im uspješno omogućuje bezbrižno kretanje danju bez opasnosti da bi mogle biti napadnute. Na otrovnost ovih žaba otporna je jedino *Liophis epinephelus* (Colubridae), zmija koja je zabilježena kao njihov jedini prirodni neprijatelj (Slika 6.), ako u ovu kategoriju, naravno, ne svrstavamo ovjeka. To njihovo važno svojstvo prepoznali su i drevni Indijanci na području Kolumbije koji su svoje strjelice trljali o leću *Phyllobates terribilis* i koristili za lov divljih životinja. Naime, *P. terribilis* smatra se najotrovnijom životinjom na svijetu (Myers i sur. 1978). A osim porodice Dendrobatidae, slična pojava aposemije prisutna je i u potporodici *Mantellinae* (Mantellidae), malim žabama s Madagaskara koje i svojim izgledom nalikuju na male otrovne žabe Amazone (Slika 7.).



Slika 6. *Liophis epinephelus* – jedina zabilježena životinja otporna na otrov žaba porodice Dendrobatidae i njihov jedini prirodni neprijatelj.

(www.herpetography.com)



Slika 7. *Mantella milotympanum* – predstavnik potporodice *Mantellinae*, skupine žaba s Madagaskara koje nalikuju na žabe porodice Dendrobatidae

(www.mantella.amphibiancare.com)

Aposemija je pojava za koju se smatra da se razvija zajedno s pojavom otrovnosti u životinja. Komparativnim analizama utvrđeno je kako postoji veza između razvoja obojenosti i otrovnosti neke jedinke. U istraživanjima u kojima se htjela utvrditi raznolikost, količina i jakost pojedinih alkaloida izoliranih iz žaba porodice Dendrobatidae (Summers i Clough 2001), dobiveni su podaci koji potvrđuju hipotezu da evolucija povećanja otrovnosti životinje ide paralelno s evolucijom jačine obojenosti. Kao najjači otrovi istaknuti su oni iz skupine batrahotoksina, a drugi po jakosti pripadaju skupini pumiliotoksina. Kao potvrda da je *P. terribilis* najotrovnija iz porodice Dendrobatidae stoji činjenica da su batrahotoksini pronađeni samo unutar roda *Phyllobates* (Slika 8.). Prema slici možemo vidjeti kako je obojenost dosljedna jačina otrova koju sadrži u odnosu na npr. vrste roda *Epipedobates* koje su označene kao manje otrovne (Slika 9.).



Slika 8. *Phylllobates terribilis* – zbog posjedovanja batrahotoksina i jarke obojenosti smatra se najotrovnijom žabom u cijeloj porodici Dendrobatidae.

(www.animalpicturesarchive.com)



Slika 9. Vrste roda *Epipedobates* manje su otrovne, a njihova obojenost je manje izražena.

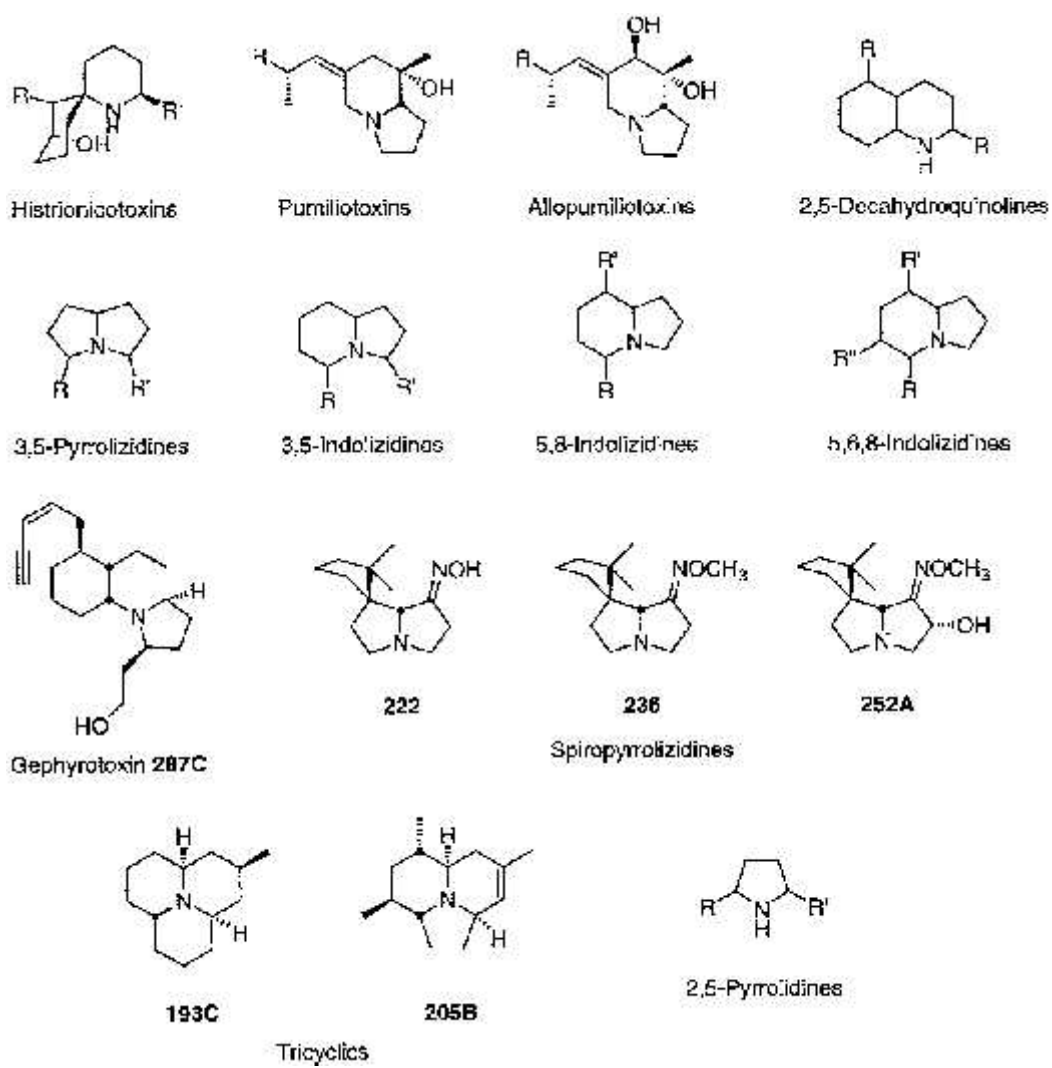
(www.arkive.org)

6.1. Prehrana – izvor otrovnih alkaloida

Prehrana u ovih žaba uvelike se sastoji od lankonožaca, od kojih većinu čine mravi. Hrane se paučicama, grinjama, mušicama, kornjašima, stonogama, termitima, skokunima i mravima. Upravo su mravi odgovorni za postojanje otrova u žlijezdama ovih žaba. U otrovnih žaba, većim dijelom (od 50-73%) prehranu sačinjavaju mravi, dok u onih netoksičnih svega 6-16% (Schlager 2003).

Izolirano je više od 800 različitih alkaloida, svrstanih u 24 razreda, iz različitih žaba porodica Dendrobatidae, Mantellidae, Bufonidae i Myobatrachidae. Većina vrsta alkaloida uzima i pohranjuje u nepromijenjenom obliku. No, u roda *Dendrobates* poznata je konverzija pumiliotoksina u otrovnije alopumiliotoksine. Pretpostavka da se alkaloidi koje te žabe sakupljaju nalaze u lankonošcima koje koriste u prehrani, potvrđuje činjenica da su ti isti alkaloidi pronađeni u jednoj i u drugoj skupini organizama (Saporito i sur. 2006). Razina alkaloida varira unutar i između različitih populacija te je uvelike ovisna i o godišnjem dobu, jer ove životinje alkaloide dobivaju iz organizama kojima se hrane. Stoga je jasno da koncentracija alkaloida uvelike ovisi o brojnosti organizama koje koriste u prehrani. Dakle, možemo reći da ta koncentracija ovisi o vremenskom i prostornom rasporedu. Varijacija u koncentraciji alkaloida najviše je osjetljiva na geografsku udaljenost. Naime, populacije koje se nalaze bliže na nekom području imaju sličniju koncentraciju i raznolikost alkaloida za razliku od onih koje su međusobno prostorno udaljenije (Saporito i sur. 2006)

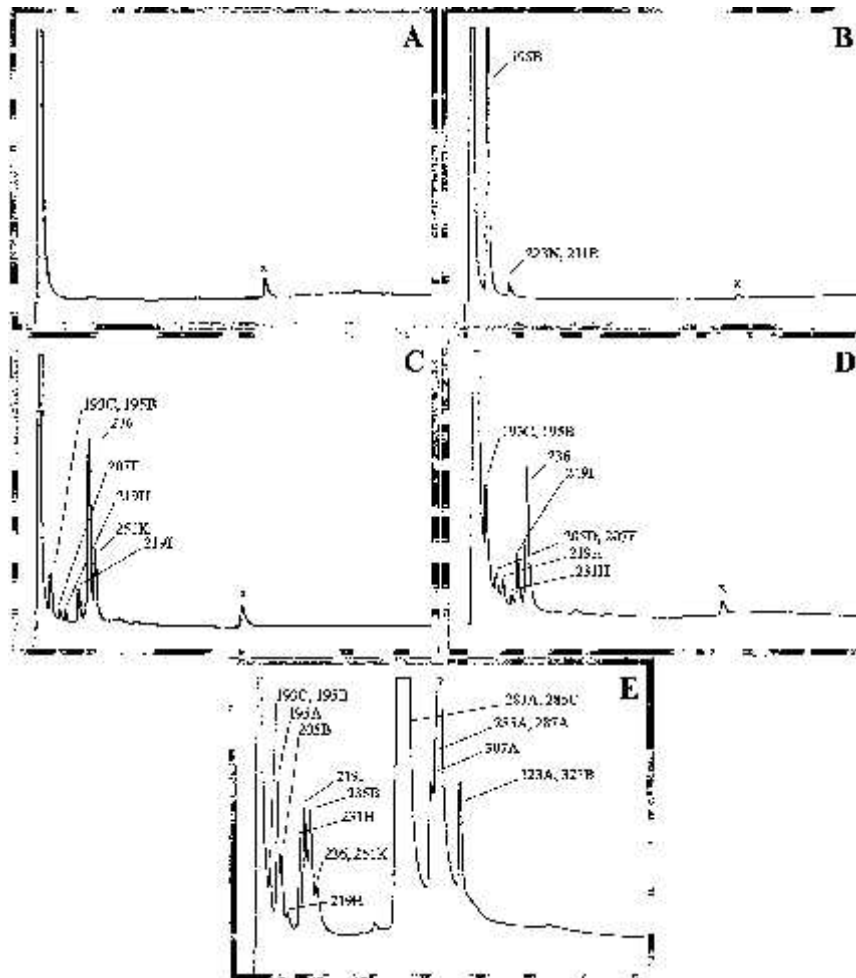
No kako je dokazano da je prehrana izvor ovih alkaloida? Naime, istraživanja koja su znanstvenici vršili na žabama vrste *Dendrobates auratus* (Daly i sur. 1999) pokazuju sljedeće rezultate: žabe koje su uzgajane u zatočeništvu, ali im steljućini svježe lišće sakupljeno s tla s njihovog prirodnog staništa, sadržavale su 14 od ukupno 40 alkaloida koji su pronađeni u žaba uzetih iz divljine s istog mjesta s kojeg je sakupljeno lišće. Nadalje, žabe koje su uzgajane na stelji koja je prethodno smrznuta kako bi se uklonili svi lankonošci, nisu imale, ili su imale alkaloida u vrlo maloj količini. Žabe koje su uzete direktno iz svog prirodnog staništa, naravno, sadrže sve alkaloida (Slika 10.).



Slika 10. Struktura različitih alkaloida ekstrahiranih iz žabe *Dendrobates auratus*

(Daly i sur. 1999)

Daly i sur. 1999 su po eli istraživanje sakupljanjem punoglavaca vrste *Dendrobates auratus* na području grada Paname. Nakon uzgoja, 14 je odraslih žaba uzgajano kroz 5 do 7 mjeseci u sljedećim uvjetima. Pet je mladih žaba stavljeno u kavez kojeg zatvara metalna mreža protiv komaraca kako bi spriječila ulazak većih kukaca izvana. Tri su žabe preživjele i služile su za daljnju analizu. Jedini izvor prehrane ovim žabama bile su vinske mušice roda *Drosophila*, a lišće na kojem su živjele je prethodno smrznuto na dva tjedna kako bi isključilo mogućnost pojave kukaca u kavezu. Drugu grupu činili su šest mladih žaba koje su također bile u kavezu s metalnom mrežom protiv komaraca, no za razliku od prošle grupe, ovdje za izvor prehrane služile su kukci koji su se nalazili na lišću koje se pribavljalo ovoj grupi jedanput tjedno s mjesta odakle su punoglavci uzeti. Vinske mušice su dodavane svaka dva tjedna kao dodatak prehrani. Kukci koji su se nalazili oko kaveza su također pridonijeli prehrani do neke mjere. Četiri su žabe preživjele i razvile se u odrasle jedinke. Treća u grupu činile su četiri mlade žabe koje su stavljene u veliki stakleni terarij koji je zatvoren tako da se onemogućio ulazak kukaca iz okoliša. Prehrana u terariju se sastojila isključivo od vinskih mušica koje su se dodavale svaki drugi dan. Dvije su žabe preživjele koje su naknadno žrtvovane za potrebe daljnjeg istraživanja. Zadnju ispitnu grupu činile su dvije odrasle jedinke *Dendrobates auratus* koje su sakupljene na samom staništu na kojem su sakupljeni i punoglavci. Iz koža žaba su nadalje ekstrahirani i odvojeni alkaloidi koji su se kasnije analizirali plinskom kromatografijom i masenom spektrometrijom, te plinskom spektroskopijom infracrvenog zračenja. Slijedi prikaz dobivenih rezultata (Slika 12.).



Slika 12. Profil alkaloida ekstrahiranih iz koža *Dendrobates auratus* dobiven plinskom kromatografijom. A Žabe uzgojene u terariju. B Žabe uzgajane u vanjskom kavezu: prehrana – vinske mušice. C i D Žabe uzgajane u vanjskom kavezu: prehrana – svježe lišće. E Žabe sakupljene u prirodnom staništu (Cerro Ancón).

(Daly i sur. 1999)

Tijekom istog istraživanja, sakupljeno je i 50 različitih kolonija mrava na brdu Ancón, mjestu gdje inače živi *D. auratus*. Nedugo zatim, sakupljeno je još mrava iz 11 različitih kolonija blizu mjesta gdje su sakupljene odrasle jedinke *D. auratus*, na otoku Taboga.

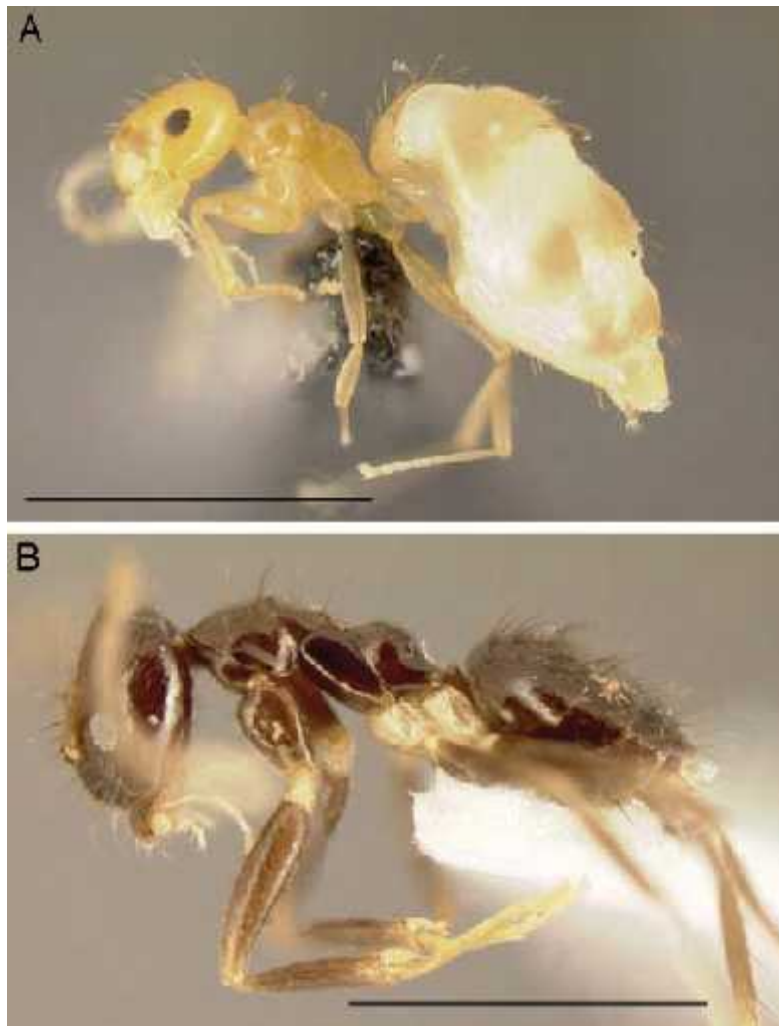
Iz slike 12. su vidljivi rezultati istraživanja. Pretpostavljeno je da se žabe uzgajane u kavezima i terariju imaju ili malu količinu alkaloida u odnosu na žabe uhvaćene u divljini ili ih ne imaju uopće. Dobiveni rezultati sukladni su postavljenoj hipotezi. Žabe koje su uzgajane u terariju, u potpunosti izolirane od vanjskih utjecaja, nemaju alkaloida u ekstrahiranim kožama,

što je i bilo za očekivati uz postavljenu hipotezu i prijašnja istraživanja (Daly i sur. 1992, 1994 a, b). Bilo kakva prisutnost alkaloida u ovom slučaju, upućivalo bi na neuspješnost potpune izolacije žaba od kukaca. Žabe uzgajane u vanjskom kavezu, čiji su izvor prehrane bile dodavane vinske mušice, sadržavale su u najvećoj količini 3-butil-5-metil indolizidin, alkaloid koji se nalazi u mravima potporodice *Myrmicinae*. Zabilježeno je još nekoliko alkaloida koji inače sadrže mali mravi te navedene potporodice, koji su zajedno s manjim kukcima mogli proći kroz mrežu u kavez u kojem su bile žabe i tako biti izvor ovih alkaloida. Žabe koje su bile uzgajane u kavezu, ali im je dodano svježe lišće u kojima su se nalazili lankonošci, imale su barem 16 različitih alkaloida u koži. Alkaloid koji je bio zabilježen u najvećoj količini bio je spiropirolizidin oksim eter, a karakterističan je za stonoge. Pronađeni su i alkaloidi koji se nalaze u *Myrmicinae* mravima i u kornjašima porodice Coccinellidae. Žaba koja je uzeta iz njenog prirodnog staništa imala je više od 40 alkaloida u koži. Oni koji se ovdje ističu su histriponikotoksini jer se pojavljuju samo u ovom slučaju, a u žaba koje su uzgajane u kavezu kojima se dodavalo svježe lišće se ne pojavljuju. Isto vrijedi i za pumiliotoksine. Spiropirolizidin, koji se nalazio u velikim koncentracijama u žaba koje su uzgajane u kavezu, u ovih se žaba nalazio u manjoj količini. No, nekoliko alkaloida koji su bili zastupljeni u manjim koncentracijama u žaba koje su uzete iz staništa, ponajviše dekahidrokvinolini, alopumiliotoksini i 5,8-disupstituirani indolizidini nisu pronađeni u žaba koje su uzgajane u zatočeništvu. Ali zato dva pirolidinska spoja, označeni kao alkaloidi u tragovima, pronađeni u obje grupe uzgajane u kavezima, nisu pronađeni u žabama iz divljine.

Prema prethodno navedenom može se zaključiti sljedeće: prisutnost lankonožaca uvjetuje pojavu alkaloida. A njihova koncentracija i raznolikost ovisi o raspoloživosti plijena. No da bi povezali ove alkaloidne s plijenom, moramo ih tamo i pronaći. To je učinjeno analizom ukupno 61 populacije mrava roda *Solenopsis* (*Diplorhoptrum*) koje su sakupljene s već navedenih mjesta (Daly i sur. 1999). U tim populacijama mrava pronađen je dekahidrokvinolinski koji je pronađen u žaba koje su odrasle u divljini. Ovi se mravi nalaze na istom mjestu gdje žive i žabe, pa im prema tome, mogu služiti i najvjerojatnije služiti kao plijen od kojeg uspješno izoliraju i pohranjuju alkaloidne. Mravi iz drugog uzorka s Isla Taboga, vrsta *Megalomyrmex silvestri*, sadrže 3,5-disupstituirane pirolizidine.

Prema istraživanju putem plinske kromatografije i masene spektrometrije utvrđeni su razni spojevi pumiliotoksina u mravima porodice Formicidae i žabama porodice Dendrobatidae (Saporito i sur. 2004). Naime, mravi rodova *Brachymyrmex* (*Brachymyrmex longicornis* i *B. depilis*) i *Paratrechina steinheili* (Slika 13.) sadrže prethodno navedene

spojeve, a iste nalazimo i u koži žaba. Smatralo se da su mravi potencijalni plijen ovih žaba, a analizom sadržaja želuca žaba u njemu je prona ena vrsta *B. depilis*. Prisutnost pumiliotoksina u ovim mravima, kao i u ekstraktima kože *Dendrobates pumilio*, zajedno s ostacima *B. depilis* u želucima ovih žaba, definitivno može stajati kao dokaz da ove žabe koriste navedene mrave kao izvor prehrane i pumiliotoksina.



Slika 13. Mravi koji sadrže pumiliotoksin: A *B. longicornis*, B *P. steinheili* – izvor prehrane i toksina žaba porodice Dendrobatidae. (Oznaka 1 mm), Bocas del Toro, Panama

(Saporito i sur. 2004)

Uz mrave, kornjaše i stonoge, alkaloide sadrže još i grinje podreda *Brachypylina* (Oribatida). Metodama plinske kromatografije i masene spektrometrije analizirani su ekstrakti odraslih jedinki grinja vrste *Scheloribates azumaensis*. Analize potvrđuju prisutnost pumiliotoksina i prekokcinelina. O važnosti ovih grinja govori činjenica da one čine čak 49% prehrane mužjaka i 38% prehrane ženki vrste *D. pumilio*. No određene vrste mrava se također njima hrane, tako da žabe mogu ove alkaloide dobivati od grinja direktno ili posredno od mrava koji se njima hrane (Takada i sur. 2005).

7. UGROŽENOST

Prema podacima IUCN-a (Frost 2006) od do tada opisanih 5 532 vrsta unutar reda bezrepci (Anura), na Crvenoj listi nalazi se 36 izumrlih vrsta, 1 vrsta izumrla u divljini, 412 ih je kritično ugroženo, 682 ugroženo, 618 osjetljivo, 320 gotovo ugroženo, 2 105 najmanje zabrinjavajuće, a za 1 358 vrsta nema dovoljno podataka. To znači da ih je 31,6% ugroženo ili izumrlo. Što se same porodice Dendrobatidae tiče, podaci su sljedeći: od ukupnog broja vrsta (157), nijedna nije izumrla, niti jedna u divljini, 12 ih je kritično ugroženo, 16 ugroženo, 9 je osjetljivih, 13 gotovo ugroženih, 47 najmanje zabrinjavajuće, a 60 vrsta nije procijenjeno, što znači da ih je 23,6% ugroženo ili izumrlo.

8. UZGOJ U ZATO ENIŠTVU („Captive care“)

Sve više se poveća trend uzgajanja ovih žaba zbog njihove specifične obojenosti i otrovnosti što ih čini atraktivnim. Nerijetko na internetu možemo pronaći i kako ljudi izmjenjuju iskustva o uzgoju ovih žaba ili izražavaju želju za istim. No, kako je već spomenuto, ove žabe ne posjeduju sve otrovne alkaloide ako se uzgajaju u zatočeništvu jer nemaju prirodan izvor hrane koji im to omogućava. Posjedovanje ovih alkaloida nije atraktivno samo kolekcionarima zanimljivih kućnih ljubimaca, već i brojnim farmaceutima koji bi ih iskoristili u medicinske svrhe. No, za dobivanje alkaloida bitan je uzgoj, a uzgoj uzrokuje nedostatak nekih specifičnih alkaloida. Zna li to da bi se ljudska djelatnost mogla proširiti na hvatanje ovih žaba i izdvajanje iz njihovog prirodnog okoliša kako bi se mogle „iscijediti“ za dobivanje potencijalnih lijekova? Njihovo je stanište danas već previše ugroženo zbog deforestacije rijeke Amazone. Nekim vrstama ove porodice prijete izumiranje. Stanimo na trenutak i pokušajmo doživjeti svijet oko sebe. Nismo sami ovdje, ali samo najспособniji ostvariti težnju da tako i ostane. Na nama je da sačuvamo ono što smo sami počeli uništavati.

9. LITERATURA

- Daly J. W., Secunda S. I., Garraffo H. M., Spande T. F., Wisnieski A., Nishihara C., Cover Jr. J. F., 1992. Variability in alkaloid profiles in neotropical poison frogs (Dendrobatidae): Genetic versus environmental determinants. *Toxicon* **30**, 887-989.
- Daly J. W., Secunda S. I., Garraffo H. M., Spande T. F., Wisnieski A., Cover Jr. J. F., 1994a. An uptake system for dietary alkaloids in poison frogs (Dendrobatidae). *Toxicon* **32**, 657-663
- Daly J. W., Garraffo H. M., Spande T. F., Jaramillo C., Rand A. S., 1994b. Dietary source for skin alkaloids of poison frogs (Dendrobatidae)?. *Journal of Chemical Ecology* **20**, 943-955
- Daly J. W., Garraffo H. M., Jain P., Spande T. F., Snelling R. R., Jaramillo C., Rand A. S., 1999. Arthropod – frog connection: decahydroquinoline and pyrrolizidine alkaloids common to microsympatric myrmicine ants and dendrobatid frogs. *Journal of Chemical Ecology* **26**, 73-85
- Daly J. W., Wilham J. M., Spande T. F., Garraffo H. M., Gil R. R., Silva G. L., Vaira M., 2007. Alkaloids in bufonid toads (*Melanophryniscus*): Temporal and geographic determinants for two argentinian species. *Journal of Chemical Ecology* **33**, 871-887
- Frost D. R., Grant T., Faivovich J., Bain R. H., Haas A., Haddad C. F. B., De Sa R. O., Channing A., Wilkinson M., Donnellan S. C., Raxworthy C. J., Campbell J. A., Blotto B. L., Moler P., Drewes R. C., Nussbaum R. A., Lynch J. D., Green D. M., Wheeler W. C., 2006. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History* **297**, 1-371
- Myers C. W., Daly J. W., Malkin B., 1978. A dangerously toxic new frog (Phyllobates) used by the Emberá Indians of western Colombia, with discussion of blowgun fabrication and dart poisoning. *Bulletin of the American Museum of Natural History* **161**, 307-365
- Saporito R. A., Garraffo H. M., Donnelly M. A., Edwards A. L., Longino J. T., Daly J. W., 2004. Formicine ants: An arthropod source for the pumiliotoxin alkaloids of dendrobatid poison frogs. *PNAS* **101**, 8045-8050

Saporito R. A., Donnelly M. A., Garraffo H. M., Spande T. F., Daly J. W., 2006. Geographic and seasonal variation in alkaloid-based chemical defenses of *Dendrobates pumilio* from Bocas del Toro, Panama. *Journal of Chemical Ecology* **32**, 795-814

Schlager N. (ed), 2003. Poison frogs (Dendrobatidae). U: Grzimek's Animal Life Encyclopedia. Volume 6, Amphibians. Ed. Schlager N., Duellman W. E., Thomson Gale Publishing, 2nd ed., Detroit, 197-210.

Summers K., Clough M. K., 2001. The evolution of coloration and toxicity in the poison frog family (Dendrobatidae). *PNAS* **98**, 6227-6232.

Symula R., Schulte R., Summers K., 2001. Molecular phylogenetic evidence for a mimetic radiation in peruvian poison frogs supports a Müllerian mimicry hypothesis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **268**, 2415-2421.

Takada W., Sakata T., Shimano S., Enami Y., Mori N., Nishida R., Kuwahara Y., 2005. Scheloribatid mites as the source of pumiliotoxins in dendrobatid frogs. *Journal of Chemical Ecology* **31**, 2403-2415.

http://en.wikipedia.org/wiki/Poison_dart_frog

http://herpetography.com/wp-content/uploads/2010/07/liophis_epinephelus.jpg

http://mantella.amphibiancare.com/images/m_milotympanum01.jpg

<http://naturephotographyblog.squarespace.com/journal/2010/4/9/colostethus-panamensis-panama-poison-dart-frog-panama-amphib.html>

<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>

http://static.newworldencyclopedia.org/e/e6/Dendrobatidae_range.PNG

<http://www.amnh.org/exhibitions/frogs/gallery/vivarium.php?image=1&page=vivarium/index#cap>

<http://www.animalpicturesarchive.com/view.php?tid=3&did=25366&mode=full>

<http://www.arkive.org/phantasmal-poison-frog/epipedobates-tricolor/image-G23304.html>

<http://www.eol.org/pages/1554>

<http://www.iucnredlist.org/initiatives/amphibians/analysis/red-list-status>

<http://www.jennydemalaga.es/fotografia/fotos-de-bellas-ranas-en-extincion>

<http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Dendrobatidae>

10. SAŽETAK

Žabe porodice Dendrobatidae sadrže otrovne alkaloide u kožnim žlijezdama. Dugo se smatralo da ih same sintetiziraju, no istraživanjem je dokazano kako su alkaloidi ipak porijeklom od malih lankonožaca kojima se hrane. Vršena su istraživanja koja bi dokazala teoriju o postanku alkaloida iz prehrane. To je uključivalo uzgoj žaba u kavezu u kojemu su vinske mušice bile jedini izvor prehrane. U tim uvjetima pronađeno je vrlo malo alkaloida. Uzgoj u kavezu sa svježim lišćem sakupljenim iz njihovog izvornog staništa, dalo je drugačiji profil alkaloida. Žabe sakupljene iz prirodne okoline, naravno, sadržavale su sve alkaloide koje ta vrsta inače sadrži. No one koje su uzgajane u staklenom terariju, potpuno izolirane od okoline, nisu sadržavale otrovne alkaloide. Ovakav je ishod pokusa bio i za očekivati uz postavljenu hipotezu i prijašnja istraživanja.

Žabe ove porodice većim dijelom koriste mrave u prehrani. Istraživanja su uključivala različite vrste ove porodice, a njima se htjela naći i poveznica između njih i mrava porodice Formicidae preko raznih spojeva pumiliotoksina koriste i plinsku kromatografiju i masenu spektrometriju. Istraživanja su pokazala kako mravi rodova *Brachymyrmex* i *Paratrechina* sadrže navedene spojeve. Prisutnost pumiliotoksina u ovim mravima, kao i u ekstraktima kože *Dendrobates pumilio*, zajedno s pronalaskom *B. depilis* u želucima ovih žaba, definitivno može stajati kao dokaz da ove žabe koriste navedene mrave kao izvor prehrane i pumiliotoksina.

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti sljedeće: prisutnost lankonožaca uvjetuje pojavu alkaloida. A njihova koncentracija i raznolikost ovisi o raspoloživosti plijena.

Aposemija je pojava za koju se smatra da se razvija zajedno s pojavom otrovnosti, a komparativnim je analizama utvrđena veza između obojenosti i otrovnosti jedinki. Upravo im je ta otrovnost omogućila dnevni način života i bezbrižno kretanje bez brige od napada predatora, a sposobnost sakupljanja otrovnih alkaloida iz organizama kojima se hrane, učinila ih je veoma uspješnom skupinom životinja.

11. SUMMARY

Dendrobatid frogs contain a variety of poisonous alkaloids in the skin glands. These alkaloids were initially considered to be synthesized by these frogs, but later studies showed they were actually of dietary origin. There were many research efforts to test the dietary hypothesis. Such work included placing frogs into outdoor cage with a diet of only fruit flies. The occurrence of alkaloids in skin extracts from these captive-raised frogs was very low. Another group of captive-raised frogs placed in outdoor screened cage, but provided with fresh leaf litter gathered from the area where these frogs were common, showed different alkaloid profile. And as expected, wild-caught frogs contained all alkaloids known to that species. Frogs raised in large glass terrarium, isolated entirely from natural surroundings, had no detectable alkaloids in the skin extracts. All of the results were as expected from previous studies and consistent with a given hypothesis.

Dendrobatid frogs consume a high proportion of ants as part of their diet in the wild. Using gas chromatographic-mass spectral analysis, many tests were made on a variety of dendrobatid frog species to find a connection between formicine ants and these frogs. That connection was found in the presence of pumiliotoxins in both groups. Pumiliotoxins were detected in ants of the genera *Brachymyrmex* and *Paratrechina*. The presence of pumiliotoxins in these ants as well as in skin extracts of the dendrobatid frog *Dendrobates pumilio*, coupled with the presence of these ants in stomach contents of *Dendrobates pumilio*, strongly suggests that these ants represent a dietary source for pumiliotoxins in these populations of frogs.

Based on results of all research it can be said that arthropods are the source of poison alkaloids in dendrobatid frogs and that their amount and variety is determined only by the availability of those arthropods in their environment.

A comparative approach was used to test a prediction of the hypothesis of aposematism: coloration will evolve in tandem with toxicity. And it's the combination of two that allows them to have a diurnal lifestyle and to live carelessly, freed from any fear of predation. This made them to be very successful and well adapted species.