

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A görög karsztvipera (*Vipera graeca*)
bizonyíték-alapú védelmét megalapozó
multidiszciplináris kutatások**

Mizsei Edvárd

Témavezetők: Dr. Lengyel Szabolcs és Dr. Tóthmérész Béla



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2022

1. Témafelvetés

A 21. század legnagyobb környezeti problémája a biológiai sokféleség rendkívüli mértékű és sebességű fogyatkozása. A ritka, veszélyeztetett fajok esetében sokszor nem állnak rendelkezésre azok az ismeretek, adatok vagy kutatási eredmények, amelyek a védelmi intézkedések tervezéséhez szükségesek, vagy a rendelkezésre álló információ csak egy adott területre vonatkozik, és inkább tapasztalati úton, eseti megfigyelések alapján keletkezik, ezért nem általánosítható. A stratégiák meghatározásához elengedhetetlenül fontos a veszélyeztető tényezők feltárása és a semlegesítő hatáskiváltásátcélzótevékenységelméleti megalapozottságának és gyakorlati hatékonyságának vizsgálata. A bizonyíték-alapú konzervációbiológia a hatékony természetvédelmi beavatkozások egyik legfontosabb alappillére.

A kétélűek és hullók állományai világszerte fogyatkoznak. A parlagi vipera (*Vipera ursinii*) és a parlagi-sztyeppi vipera komplex (*Vipera ursinii* komplex) Európa egyik legveszélyeztetettebb gerinces faja és fajcsoportja, amelyek közül a görög kartszvipera (*Vipera ursinii graeca* Nilson & Andrén, 1988)¹ a legkevésbé ismert. A *V. graeca* a *V. ursinii* komplex bazális filogenetikai helyzetű testvér leszármazási ága. A *V. graeca* evolúciósan jelentős egységnek tekinthető, amelyek megőrzése kiemelt természetvédelmi feladat. A disszertációban bemutatott vizsgálatok célja a korábbi ismerethiány megszüntetése a hatékony védelmet megalapozó ismeretek biztosításával.

2. Célkitűzések

2.1. Filogenetika és taxonómia

Korábbi, mitokondriális DNS szekvenciák alapján végzett kutatás alapján javasolták az eredetileg az alfajként leírt *Vipera graeca* taxon teljes faji státuszra emelését, ha filogenetikai pozícióját további vizsgálatokkal sikerül igazolni. A filogenetikai és taxonómiai vizsgálatom célja (i) a *graeca* taxon filogenetikai helyzetének vizsgálata sejtmagi és mitokondriális DNS markerek szekvenálásával és (ii) az eredmények alapján a taxon taxonómiai helyzetének újraértékelése.

2.2. Elterjedés feltárása

Vizsgálataink megkezdése előtt a *Vipera graeca* elterjedéséről rendkívül kevés információ állt rendelkezésre, valamint a dél-albániai *Vipera ursinii* komplexbe sorolható vipera populációk határozása is bizonytalan volt, ezért a *V. graeca* elterjedését feltáró vizsgálatnak három célja volt: (i) a *V. graeca* potenciális elterjedésének modellezése, (ii) az elterjedési modell terepi tesztelése a modell által prediktált potenciálisan alkalmas élőhelyeken, (iii) a terepi tesztelés során megfigyelt vipera egyedek taxon azonosítása morfológiai és molekuláris adatok alapján.

¹ A disszertációban ismertetett eredmények szerint az eredetileg alfajként leírt *Vipera ursinii graeca* filogenetikai helyzete alapján önálló fajt képez, ezért a továbbiakban a taxont *Vipera graeca*-ként, faji rangon említem.

2.3. Jelenlegi és jövőbeli elterjedés

A jelenlegi elterjedés pontosabb meghatározását és az elterjedésben várható jövőbeli változások becslését nagy felbontású ökológiai niche modellekkel végeztem, amely célja (i) az elterjedés feltárása során gyűjtött új előfordulási adatok alapján a jelenlegi potenciális elterjedés minél pontosabb lehatárolása, (ii) a pontosabb elterjedési modell jövőbe mutató projekciója, az élőhelyek alkalmasságában várható változások becslése, és (iii) a várhatóan stabil klímájú mikro-refúgiumok azonosítása, ahol a faj populációinak fennmaradása biztosított lehet.

2.4. Atlasz léptékű elterjedés

A 2014-ben közölt Új Európai Kétéltű és Hüllő Atlasz (NA2RE) több faj esetében is pontatlannak bizonyult, valamint a *Vipera graeca* még nem szerepelt benne, mivel ekkor még nem volt faji rangra emelve, de meglepő módon a *V. ursinii* és a *V. renardi* is összevonva volt feltüntetve. A NA2RE atlasz revíziójának az volt a célja, hogy elkészítse az újabb taxonómiai ismeretek alapján a *V. graeca*, *V. renardi* és *V. ursinii* taxonok 50×50 km-es léptékű frissített elterjedési térképeit.

2.5. Táplálkozásbiológia

A táplálkozásbiológiai vizsgálatok célja a *Vipera graeca* táplálkozásának és predátor-préda kapcsolatainak feltárása volt a predátor zsákmányszerzését és a préda menekülési képességét befolyásoló jellegek figyelembevételével. Az adatgyűjtés és az elemzések célja az alábbi kérdések megválaszolása volt: (i) Van-e szezonális változás a *V. graeca* táplálkozási aktivitásában? (ii) Van-e térbeli mintázat a táplálékösszetételben, elkülönülnek-e az egyes populációk? (iii) Mely prédajellegek befolyásolják a prédaválasztást? (iv) Mi a *V. graeca* preferált prédája?

2.6. Filogeográfia és konzervációgenomika

A *Vipera graeca* filogenetikai, populáció- és konzervációgenetikai szempontú, új-generációs szekvenálási eljárással történő vizsgálatának célja a következő kérdések megválaszolása volt: (i) Milyen filogenetikai kapcsolatok vannak a populációk között? (ii) Hol volt(ak) a refúgium terület(ek) az utolsó glaciális maximum alatt? (iii) Van-e populációk közötti génáramlás és mely populációk között tapasztalható génáramlás? (iv) Van-e beltenyésztettség a populációkban?

2.7. Globális természetvédelmi helyzet értékelése

A *Vipera graeca*, a vizsgálatainkat megelőzően nem szerepelt az IUCN Vörös Listáján, de szűk elterjedése alapján várható volt, hogy nagyobb kihalási kockázatú kategóriába tartozhat. A természetvédelmi helyzet értékelésének célja volt (i) a *V. graeca* IUCN Vörös Lista szerinti

fenyegetettség kategóriájának meghatározása a rendelkezésre álló adatok alapján és (ii) a bizonyítható és potenciális veszélyeztető tényezők feltárása.

2.8. Térbeli természetvédelmi prioritizálás

A nagy felbontású ökológiai niche modellek használatának és a természetvédelmi helyzetet meghatározó veszélyeztető tényezők térbeli mintázatainak elemzésének céljai voltak (i) a *Vipera graeca* hosszú távú megőrzése szempontjából kulcsfontosságú területek azonosítása, (ii) a prioritás területek jelenlegi védett területekkel való lefedettségének meghatározása és (iii) a prioritást befolyásoló természetvédelmi értékesség változók közötti kapcsolatok feltárása.

3. Anyag és módszer

3.1. Filogenetika és taxonómia

A vizsgálatban két albániai *Vipera* [*ursinii*] *graeca* mintát elemeztünk, és további mintákat használtunk fel az alábbi hegyvidéki vipera populációkból: *V. ursinii macrops* (Albánia, Montenegró), *V. u. ursinii* (Olaszország), *V. ursinii* ssp. (leíratlan taxon Horvátországból); és az alábbi síkvidéki populációkból: *V. u. moldavica* (Románia), *V. u. rakosiensis* (Magyarország, Románia), *V. renardi* (Krim). Külcsoportnak a keresztesvipera három alfaját vontuk be: *V. berus berus* (Magyarország), *V. b. bosniensis* (Albánia) és *V. b. nikolskii* (Románia). Két mitokondriális (CYT B, ND4) és három sejtmagi (BDNF, NT3, PRLR) DNS markert szekvenáltunk meg, amelyek alkalmasnak mutatkoztak több hüllőfaj esetében a divergencia szintjeinek elkülönítésére. A mitokondriális, a sejtmagi és a konkatenált szekvenciákból MrBayes és Maximum Likelihood filogenetikai rekonstrukciókat, SplitsTree filogenetikai hálózat, haplotípus hálózatokat és *BEAST koaleszcencia alapú faj-fákat hoztunk létre.

3.2. Elterjedés feltárása

A saját terepi adatgyűjtéseket megalapozó elterjedési modellhez irodalmi és személyes közlésekből származó *Vipera graeca* előfordulási adatokat használtunk fel. Ennek az elterjedési modellnek a létrehozásakor (2010) az egyetlen Albániában (Nemerçkë hegység) rögzített előfordulást kizártuk a felhasznált előfordulási adatok közül, a megfigyelt vipera egyed részletes morfológiai leírásának hiánya, az egyed különösen nagy testhossza és azon ellentmondás miatt, hogy a korábbi irodalmak a *V. ursinii macrops* taxont említik ebből az országból. A georeferálás eredményeként nyolc görögországi hegységből sikerült előfordulási adatokat gyűjteni: Koziakas, Metsovo, Oeti, Tsouka Karali, Tzoumerka, Tymfristos, Vardoussia. Az elterjedési modell létrehozásához a MaxEnt 3.3.3e szoftvert használtuk és környezeti változóknak a bioklimatikus változókat alkalmaztuk.

Az elterjedési modell terepi tesztelésére a modell predikciója alapján kiválasztottunk 10 különálló hegységet Dél-Albániában, ahol korábban még nem volt ismert a *V. graeca* vagy más *V. ursinii* komplexbe tartozó taxon előfordulása. Továbbá, a modell terepi tesztelésébe bevontunk a Nemercké hegységet is. Az észlelési valószínűség becsléséhez rögzítettük a felmérők által végzett bejárások nyomvonalát. A megfigyelt vipera egyedeknek rögzítettük a lelőhelyét és a morfológiai jellegeiket, valamint szövetmintát vettünk a későbbi taxon azonosításhoz. A morfológiai azonosítás a taxon leírás alapján történt, és annak megerősítése és a genetikai változatosság jellemzése céljából megszekszenáltuk az ND4 mitokondriális DNS markert.

3.3. Jelenlegi és jövőbeli elterjedés

Az elemzéshez összegyűjtöttem a *Vipera graeca* az elemzésig (2017) rögzített összes elérhető előfordulási adatát ($n=351$), melyből 292 volt saját gyűjtés. A modellezéshez ugyanazokat a bioklimatikus változókat alkalmaztam, amelyeket az elterjedés feltárásánál már felhasználtam és 11 korábban nem ismert *V. graeca* populáció megtalálását tették lehetővé. A felhasznált jövőbeli klíma predikcióként két különböző, egy pesszimista (A1b) és egy optimista (B1) kibocsátási forgatókönyv három különböző globális cirkulációs modellje alapján készült, négy időszakra vetített (2020, 2040, 2060, 2080) éghajlati adatai alapján számított bioklimatikus változókat használtam fel. Az elterjedési modellek létrehozásához öt különböző algoritmust (két lineáris és három gépi tanuláson alapuló algoritmus) alkalmaztam, annak érdekében, hogy az algoritmusok különbözőségéből fakadó bizonytalanságokat minimalizáljam. A prediktált élőhelyek tér- és időbeli folytonosságát az átfedő foltok folytonosságával jellemeztem.

3.4. Atlasz léptékű elterjedés

A *Vipera graeca* európai, atlasz léptékű elterjedésének frissítését, a másik két *V. ursinii* komplexbe tartozó fajjal együtt (*V. ursinii* és *V. renardi*) végeztük el az európai herpetológiai atlasz által lehatárolt területen és meghatározott 50×50 km-es rácshálón. A NA2RE atlasz rácshálójában (i) azonosítottuk azokat a cellákat, ahol az atlasz valamely *V. ursinii-renardi* faj jelenlétét jelölte, (ii) ellenőriztük, hogy van-e publikált vagy publikálatlan adat, amely megerősíti a faj jelenlétét, (iii) azon cellák esetében, ahol korábban az atlasz alapján nem fordul elő, de az adatbázisunk alapján mégis jelen van, ott új előfordulásként jelöltük meg a cellát, (iv) ha nem volt fellelhető bizonyíték a faj jelenlétére olyan cellában, ahol a korábbi atlasz jelölte, ott töröltük a jelenlétet, (v) azon cellák esetében, ahol bizonyított a jelenlét, de nincs recens megfigyelés (1992 utáni), ott „történelmi előfordulás” megjegyzést adtunk a cellához, végül (vi) minden cella esetében rögzítettük a cella értékében bekövetkező változás irányát.

3.5. Táplálkozásbiológia

A *Vipera graeca* táplálkozásbiológiai feltárása az összes ismert populációból származó, 2013-2018 között, non-invazív módon gyűjtött ürülminták vizuális elemzésével történt. A *V. ursinii* komplex táplálkozása alapján várható volt, hogy a *V. graeca* táplálékát is főként Orthoptera fajok képezik, ezért Orthoptera mintavételt is végeztünk. Az Orthoptera mintában gyűjtött egyedeken a préda-predátor kapcsolat feltárása szempontjából releváns prédajellegek méréseit is elvégeztünk (laterális látható testfelület nagysága, menekülési képességet leíró változók), és meghatároztuk a fajok abundanciáját és életformatípus besorolását. Az ürülmintákban meghatároztuk az elfogyasztott prédák fajtát, továbbá amennyiben a maradványok lehetővé tették, meghatároztuk a préda korát és ivarát.

A táplálkozás éves szezonálisát általánosított kevert lineáris modellekkel (GLMM) vizsgáltuk. A vipera populációk prédaösszetétele közötti különbségek vizsgálatához Bayes-féle ordináció és regresszió analízist (boral) végeztünk. A prédaválasztás és a prédajellegek kapcsolatának vizsgálatához két hasonló modellt illesztettünk: egy GLMM modellt, amelyben a préda jelenlét-hiány volt a függő változó, és egy MANYGLM modellt, amelyben a préda ürülmintákban megfigyelt abundanciája volt a függő változó. Vizsgáltuk prédaválasztásra gyakorolt hatását és a predátor jellegeinek (SVL, testtömeg, fejszélesség) is, ahol a magyarázó változó a predátor testjellegei és a függő változó a préda testátmérője volt.

3.6. Filogeográfia és konzervációgenomika

A mintavétel kiterjedt a *Vipera graeca* összes ismert populációjára (n=18), az egyedektől szövetmintákat gyűjtöttünk, amelyeket a mintavétel után a befogási pontokon szabadon engedtek. A tartósított szövetmintákból kivontuk a teljes genomi DNS-t, majd a mintából RADseq könyvtárat készítettünk. A végleges könyvtárat egy Illumina NextSeq 500/550 Mid Output Kit v2.5 kittel szekvenáltuk, „single-end” szekvenálási opcióval. A *Vipera berus* „draft” genomja alapján referencia-alapú SNP-hívást alkalmaztunk.

Az összes SNP alapján SplitsTree filogenetikai hálózatot hoztunk létre és IQtree filogenetikai törzsfá rekonstrukciót végeztünk. A random SNP-k alapján megvizsgáltuk a minták genetikai struktúráját úgy, hogy kiszámítottuk a Nei páronkénti genetikai távolságot, majd ezt követően a neighbour-joining fával vizualizáltuk a távolságokat és felhasználtuk a genetikai és földrajzi távolságmátrixok közötti korreláció tesztelésére is. A Structure v.2.3.4 szoftver és a ParalleleStructure v.1.0 csomag alkalmazásával végeztük a populációk genetikai strukturáltságának feltárását. Végül kiszámítottuk a populációk konzervációgenetikai jellemzőit.

3.7. Globális természetvédelmi helyzet értékelése

A *Vipera graeca* veszélyeztetettségi szintjének megállapítását a jelenleg érvényes IUCN Red List Categories and Criteria, B kritériuma alapján végeztem el. A B kritériumhoz alapvetően két paramétert, egyrészt a földrajzi előfordulás kiterjedését (extent of occurrence EOO – a faj teljes elterjedésének körülhatárolása), másrészt az előfordulások területét (area of occupancy AOO – a faj előfordulási területeinek, élőhelyek területének összessége) kell meghatározni. Az EOO az ismert előfordulási pontokra készített minimum konvex poligon területe, az AOO pedig egy 2×2 km-es rácshálón az előfordulási pontok által elfoglalt cellák területének összege.

3.8. Térbeli természetvédelmi prioritizálás

A térbeli természetvédelmi prioritizáláshoz az azonosított veszélyeztető tényezőket és élőhelyminőség jelzőket a természetvédelmi értékesség leírására alkalmas változokká alakítottuk, amelyek három csoportba sorolhatók: (i) élőhelyalkalmasság: klíma alkalmasság, élőhelyfolt mérete, élőhelyfolt foglaltság, növényzet alkalmassága; (ii) klímaváltozás: klíma állandóság, magassági elmozdulás lehetősége, (iii) tájhasználat: élőhelyvesztés, zavarás, élőhely-degradáció. A *Vipera graeca* kulcsfontosságú élőhelyeinek azonosításához a Zonation szoftvert alkalmaztam, amely egy reverz szelekciós meta-algoritmus. Vizsgáltuk a térbeli természetvédelmi prioritizálással azonosított kulcsfontosságú területek védett területekkel való lefedettségét, annak érdekében, hogy azonosítsuk azokat a területeket, ahol a *V. graeca* hosszú távú fennmaradását feltételezhetőleg biztosíthatja a jelenlegi védelem, és azokat a területeket, amelyek fontosak lennének a faj megőrzése szempontjából, de nem állnak védelem alatt.

4. Eredmények

4.1. Filogenetika és taxonómia

A mitokondriális és a konkatenált adatokból létrehozott filogenetikai rekonstrukciók, valamint a filogenetikai hálózat topológiája hasonló volt a korábbi, csak mitokondriális szekvenciák alapján készített filogenetikai rekonstrukciókkal. Magas Bayes-féle poszterior valószínűség és bootstrap támogatási értékeket tapasztaltunk a *graeca* klád, és a vizsgált többi klád túlnyomó része esetében. A mitokondriális és sejtmagi DNS szekvenciák konkatenált adatai négy jelentősen divergens, nagyfokú strukturáltságot mutató kládot azonosítottak a *Vipera ursinii* komplexen belül, jelentős támogatottságot mutatva a *graeca* klád és a *V. u. moldavica*, *V. u. rakosiensis* és a *V. u. macrops* szubkládok által alkotott klád esetében. A komplex bazális leágazását a *graeca* klád adja, majd a *renardi* kládé, továbbá jelentős elválást mutatnak az *ursinii* (beleértve a horvátországi taxont) és a *macrops-moldavica-rakosiensis* kládok.

4.2. Elterjedés feltárása

A *Vipera graeca* elterjedési modellje a Pindosz hegységrendszer (Albánia és Görögország) fahatár fölötti szubalpin-alpin füves élőhelyeit prediktálta alkalmas élőhelyeknek. A klimatikus változók elterjedés modellhez való hozzájárulásának vizsgálata alapján az éves átlaghőmérséklet (BIO 1) volt a legfontosabb változó (78%), míg a csapadékkal kapcsolatos változók (BIO 12 és BIO 15) kevésbé voltak meghatározók, a hőmérséklet szezonális (BIO4) pedig alig járult hozzá a modellhez. A modell a Pindosz albániai területén tíz olyan hegyvonulaton prediktál potenciális előfordulási helyet, ahol a faj korábban nem volt ismert.

A modell által prediktált potenciálisan alkalmas 11 albániai élőhely közül 8 hegységen sikerült egy vagy több *Vipera graeca* egyedet vagy vedlést találni. Hat *V. graeca* populáció meglétét (Dhëmbel, Llofiz, Griba, Shendelli, Tomorr és Trebeshinë hegységek) elsőként mutattunk ki. A felmérések során megerősítettük a korábban már jelzett Nemerçkë és Lunxherisë populációk meglétét. A faj jelenlétét nem sikerült kimutatni a Bureto, Cika és Kulmak hegységekben. Modell terepi tesztelése során összesen 457,2 km-t gyalogoltak a felmérők. Egy-egy bejárás hossza szignifikánsan pozitívan befolyásolta a *V. graeca* detektálásának valószínűségét ($z=3,62$, $p=0,0003$). Azokon a potenciálisan alkalmas élőhelyeken, ahol nem sikerült detektálni a faj egyedet vagy vedlését, a becsült detektálási valószínűség legfeljebb 42,0% volt. Később végzett adatgyűjtést követően a *V. graeca* új előfordulásait mutattuk ki további öt lokalitáson, az albániai Kulmak, Ostrovica és a görögországi Avgó, Karava, Voutsikaki hegységeken.

A diszkriminatív morfológiai karakterek alapján a megfigyelt vipera egyedek a *V. graeca* taxonhoz tartoznak, amit megerősített a mitokondriális DNS ND4 szekvenciák vizsgálata.

4.3. Jelenlegi és jövőbeli elterjedés

A modell replikátumok közül összesen $n=275$ ($TSS>0,95$) modell került felhasználásra a konszenzus projekciók létrehozásában. A konszenzus projekciókhoz a GLM algoritmus járult hozzá a legnagyobb mértékben és az ANN a legkevésbé. Ezek a modellek a tesztelő pontokat mindig helyesen osztályozták. A klimatikus változók közül az éves átlaghőmérséklet (BIO 1) és a csapadék szezonális (BIO 15) járultak hozzá a legnagyobb mértékben a modellekhez, tehát az alkalmazott változók közül ezek határozták meg leginkább a faj elterjedését. Az elterjedési modellek a jelenlegi klímára projektálva és azok konszenzus modellje jól illeszkednek a faj ismert előfordulási pontjaira. A bináris konszenzus projekció 1964 km² alkalmas élőhelyet jelez, melyből a faj 1025 km²-t foglal el jelenlegi ismereteink szerint.

Az A1b SRES Szenárió („pesszimista forgatókönyv”) alapján a *Vipera graeca* számára alkalmas élőhelyek fokozatos visszaszorulása várható. A jelen klímára (~2000) és a 2020-as évtized projekciói között nincsenek szembeötlő különbségek, viszont a potenciálisan alkalmas élőhelyek 40%-a eltűnik. A 2020-as évekről a 2080-as évekig az alkalmas élőhelyek 91,8%-a eltűnik, mindösszesen a potenciálisan alkalmas élőhelyek 8,2%-a marad stabil, amelyek mikro-refúgiumként szolgálhatnak, ha nem emelkedik drasztikusan a hőmérséklet az előrelátható időintervallumon túl. A B1 forgatókönyv („optimista Szenárió”) alapján az alkalmas élőhelyek visszaszorulása nem egyenletesen fog történni. A 2020-as évtizedre a jelenlegihez képest nagymértékű, 72,8% csökkenést mutat, majd a 2040-es és a 2060-as években a potenciálisan alkalmas élőhelyek kiterjedése növekszik, főként az északi területeken. Az utolsó prediktálható évtizedre (2080) viszont az élőhelyek az A1b Szenárióhoz hasonló, ám valamivel enyhébb, 82,3%-os visszaszorulására számíthatunk. A B1 forgatókönyv alapján várhatóan a populációk egy ötödét veszélyezteteti kihalás, a potenciálisan alkalmas élőhelyfoltok 17,6%-a stabil marad. A két Szenárió alapján elmondható, hogy a populációinak nagy része kihalhat a klímaváltozás miatt, viszont néhány hegységen van esélye a fennmaradásra.

4.4. Atlasz léptékű elterjedés

Az európai herpetológiai atlaszban hét új 50×50 km-es cellában mutattuk ki a *Vipera graeca* előfordulását. Az atlaszban eredetileg jelölt 50×50 km-es négyzetek közül (n=2) egy esetben validáltuk a faj jelenlétét (Lakmos, Görögország) és egy esetben töröltük a faj jelenlétét, mert a populáció valós helyzete a jelölt cella melletti cellában volt (Vardoussia, Görögország). A *V. renardi* jelenlétét 42 cellában validáltuk és az atlaszhoz 173 új cellát adtunk hozzá. 69 cellában „történelmi előfordulás”-ra állítottuk a faj jelenlétét a területről származó recens megfigyelések hiányában, valamint 6 cellát töröltünk (hibásan megadott lokalitás vagy hibás határozás), ezek a területek főként a faj észak-keleti elterjedési területén voltak. Az eredeti atlaszban szereplő 56 cellában nem tudtuk sem validálni, sem kizárni a *V. renardi* jelenlétét. A *V. ursinii* elterjedését validálni tudtuk az eredeti atlasz cellák jelentős részében (n=33), azonban a Balkán-félszigeten további 17 olyan cellával kellett kiegészítenünk, amelyek már megjelentek az irodalomban vagy más adatbázisokban, de az atlasz 2014-es revideálásakor elkerülték a szerzők figyelmét, valamint két cellát töröltünk, ahol korábban jelezték a faj előfordulását, de azokról kiderült, hogy hibásan megadott lokalitás és téves határozás miatt kerültek a korábbi adatbázisba, és további 17 cella státuszát állítottuk „történelmi előfordulás”-ra.

4.5. Táplálkozásbiológia

A táplálkozásbiológiai vizsgálatokhoz 290 *Vipera graeca* egyedet fogtunk be 14 populációból, amelyek közül 78 egyedtől sikerült ürülmintát gyűjten. A többi 212 egyednek üres volt a tápcsatornája. A táplálkozási aktivitást erős szezonális mintázat jellemezte ($z=3,054$, $p=0,002$). Az ürülmintákban 356 préda maradványait azonosítottuk, amelyek 96,3%-a volt Orthoptera, 3,1%-a Araneae (Gnaphosidae: *Drassodes* sp., Lycosidae: *Alopecosa* sp.), és volt 1-1 Coleoptera (Curculionidae: *Otiorhynchus* sp., 0,3%) és Scorpiones (*Euscorpius* sp., 0,3%) is. Gerinces préda maradványa nem volt az ürülmintákban. Az Orthoptera prédakínálat mintákban összesen 55 faj 1190 egyedét gyűjtöttünk, amelyek közül 35 fajt azonosítottunk a vipera táplálkozásában.

A két legnagyobb testű szöcskefaj (*Decticus verrucivorus*, *Psorodonotus macedonicus*) gyakoribb volt az ürülmintákban, mint a referencia anyagban, míg a referencia anyagban leggyakoribb három faj (mind kistestű: *Euchorhippus declivus*, *Chorthippus mollis*, faji szinten nem meghatározható *Chorthippus* spp. nimfák) szinte teljesen hiányzott a *V. graeca* táplálkozásából. A préda jelenlét-hiány modell és a préda abundancia MANYGLM modell alapján a prédaválasztásra a látható testfelület nagysága, a „lomhaság” és a „röpképtelenség” magyarázó változók pozitívan hatottak a préda választásra, míg a „gyors ugrás”, és a geo-chortobiont és geobiont életformatípus változók negatívan befolyásolták a prédaválasztást. Továbbá, a jelenlét-hiány modellben a prédakínálatnak szignifikáns pozitív, a „gyors ugrás” és a geo-psammo-chortobiont életformatípus szignifikánsan negatív hatásúak voltak. A becsült értékek populációnkénti átlagolása rámutatott, hogy a Vardoussia hegyen a legalkalmasabb a vipera számára a prédakínálat, amelyet a Lakmos és Trebeshinë hegyek követek, míg a többi élőhelyen a prédakínálat a preferencia spektrum alsó tartományában helyezkedett el. A vipera fejszélessége és a préda testátmérője között nem-lináris pozitív összefüggést találtunk, amely alapján a viperák 10,5 mm fejszélesség elérése után válnak képeessé nagy testű Orthoptera prédát zsákmányolni.

4.6. Filogeográfia és populációgenomika

A SplitsTree filogenetikai hálózat eredményei alapján a *Vipera graeca* populációk filogenetikai strukturáltsága erős latitudinális mintázatot mutat: az elterjedési területének centrális és déli elhelyezkedésű populációi filogenetikailag strukturáltabbak, majd észak felé haladva a populációk nem mutatnak strukturáltságot. Ezt a mintázatot az IQtree filogenetika törzsfa rekonstrukció eredményei is megerősítették, amely szerint a *V. graeca* populációk két nagy leszármazási ágba rendeződnek: déli lineage (Tymfristros, Vardoussia) és a többi populációt magába foglaló lineage. A Structure elemzés eredményei azt mutatják, hogy az albán populációk nem

alkotnak külön csoportot: K=2 esetén egy északi (Kulmak, Tomorr, Griba, Trebeshinë, Lunxherise, Llofiz, Dhëmbel, Nemerçkë) és egy déli (Tymfi, Lakmos, Avgo, Tymfristros, Vardoussia) csoport figyelhető meg, míg K=5 értéknél is az albán populációk továbbra is egy csoportba tartoznak, míg a Tymfi+Lakmos, Avgo és Tymfristros+Vardoussia alkotnak elkülöníthető csoportokat. Az egyedek közötti Nei-féle genetikai távolság szignifikánsan korrelál a földrajzi távolsággal ($p=0,0015$), tehát a *V. graeca* esetében megfigyelhető a távolság általi izoláció. A Hardy-Weinberg egyensúlyban lévő SNP-k alapján a kis méretű populációknak valamivel kisebb a megfigyelt heterozigóta gyakorisága (H_o), mint a nagy/nagyobb populációknak, kivéve az Avgo hegységben található állományt. A populációkon belül, az egyedek egyedi genetikai diverzitása (H_e) szintén a kis populációkban volt a legalacsonyabb, kivéve az Avgo hegyet, azonban néhány nagy populációban is alacsonynak mutatkozott a genetikai diverzitás, amelyek esetében nagyobb változatosságot vártunk. Az F_{is} értékek alapján nincs jelentős heterozigóta hiány, vagy homozigóta többlet egyik populációban sem, azonban az északi populációk változatossága lényegesen alacsonyabb a déliekhez képest.

4.7. Globális természetvédelmi helyzet értékelése

A *Vipera graeca* előfordulási pontjai alapján a Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria (2013) által meghatározott módon számított előfordulásainak területe (AOO) a jelenlegi ismereteink szerint 252 km². A faj eddig felfedezett, hegyek csúcsi régióiban található populációi (n=17) egymástól teljesen izoláltak. Minden ismert élőhelyén tapasztalható vagy prediktálható az élőhelydegradáció és élőhelyvesztés. Ezek a kritériumok alapján a *V. graeca* az IUCN Vörös Lista kategorizálási módszertana szerint a veszélyeztetett (endangered, EN) kategóriába tartozik.

4.8. Térbeli természetvédelmi prioritizálás

A két klímaforgatókönyv alapján külön-külön elkészített prioritizálás konszenzusa nyolc hegység esetében jelöl nagyobb területű, egybefüggő foltokat. Ezek közül a jelenlegi ismereteink szerint a vipera csak három hegységen található meg (Nemërçkë hegység Albániában, és a Tymfi és a Lakmosz hegylánc Görögországban). Ezek a hegységek tekinthetők a faj hosszú távú fennmaradásának kulcsterületeinek, az ezeken kívüli többi jelenleg ismert populáció esetében magas a kihalás valószínűsége a klíma változás miatt.

A jelenleg ismert *Vipera graeca* élőhelyek területének 13,3%-a védett Albániában és 90,6%-a védett Görögországban. Az A1b klímaforgatókönyv esetében a kulcsélőhelyek 81,8%-a (242,7 km²) van védett területeken, míg a B1 forgatókönyv esetében 83,5%-os (221,2 km²) a lefedettség. A védelem alatt álló kulcsélőhelyek mindegyike Görögországban található, Albániában egyik kulcsfontosságú terület sem rendelkezik védelemmel.

5. Következtetés és javaslatok

5.1. Filogenetika és taxonómia

A két mitokondriális és három nukleáris DNS génfragment elemzésével kapott eredményeink alátámasztják a *graeca* taxon elkülönülését a *V. ursinii* komplextól. Ezt a mintázatot mind a négy általunk alkalmazott elemzési módszer, azaz a haplotípus hálózatok, a filogenetikai törzsfá rekonstrukció, a filogenetikai hálózat és a koaleszcencia-alapú faj-fa megerősítette: a *graeca* klád a *V. ursinii* komplex testvér kládja, tehát *V. ursinii* alfajként a *V. ursinii* faj polifiletikus lenne. Az evolúciós, a fő leszármazás, az integratív taxonómiai, a filogenetikai és a genetikai faj koncepciók alapján javasoltuk a *graeca* klád faji rangra emelését, hogy a *Vipera ursinii* komplex polifiletikus helyzetét feloldjuk. Ezt támogatja a *graeca* klád morfológiai, elterjedésszerű, ökológiai és genetikai különbözősége a komplex többi taxonjától.

5.2. Elterjedés feltárása

A *Vipera graeca* elterjedésének feltárása céljából készített modell terepi tesztelésével kilenc dél-albániai és három görögországi hegységben igazoltuk a faj jelenlétét, ezzel az ismert elterjedési területét kb. 100 km-rel bővítettük északi irányba, és az újonnan talált populációkkal több mint háromszorosára, ötről tizenhétre emelkedett az ismert populációk száma.

5.3. Jelenlegi és jövőbeli elterjedés

Az elterjedés feltárásánál az exploratív modellhez rendelkezésre álló előfordulási adatbázisnál (n=20) jelentősen nagyobb adatbázissal (n=351) és kibővített modellezési módszerekkel készített elterjedési modell jelenlegi klímára vetített predikciója nem mutatott az exploratív modellhez képest jelentős térbeli különbséget és a magyarázó változók fontossága is konzisztens volt a korábbi modellel. A bővített modell jövőbeli klímára vonatkozó projekciói jelentős élőhelycsökkenést jeleznek előre, amely alapján a *Vipera graeca* populációinak nagy része kihalhat a 21. század végére és csak néhány hegyen van esélye a fennmaradásra.

5.4. Atlasz léptékű elterjedés

Az eredeti, SEH európai herpetológiai atlasz és az azon alapuló frissített NA2RE atlasz *Vipera ursinii* komplexre vonatkozó adatainak revíziója során több hibát és hiányosságot is azonosítottunk. A NA2RE atlasz eredeti '*Vipera ursinii/renardi*' 50×50 km-es celláinak (n=132) 57,6%-át sikerült validálni, a többi esetben nem találtunk bizonyítékot a faj jelenlegi vagy múltbeli előfordulására (49,2%), amelyekből 6,8%-ot töröltünk hibás élőhelyadat vagy téves határozás miatt. Az atlasz jelenlét cellái 149,2%-kal bővültek (n=197), ahol a komplexbe tartozó három faj valamelyike előfordul.

5.5. Táplálkozásbiológia

A táplálkozásbiológiai vizsgálatunk legfőbb ökológiai eredménye, hogy bizonyítékot szolgáltat arra, hogy a prédajellegek alapján prediktálható a prédaválasztás egy specialista predátor esetében. A testméreten túl több prédajelleg, pl. menekülési képesség, életformatípus, denzitás is befolyásolta a különböző prédák jelenlétét-hiányát vagy gyakoriságát a ragadozó táplálkozásában. Jelenlegi tudásunk szerint ez volt az első terepi adatokon alapuló jelleg-megfeleltetés vizsgálat szárazföldi préda-predátor rendszerben. Eredményeink azt mutatják, hogy a *V. graeca* optimális prédája gyakori, nagy testű, rossz menekülési képességű, kevésbé sziklás gyepeket preferáló egyenesszárnyú.

Vizsgálatunk az első, amely adatokat közöl a *V. graeca* táplálkozásáról. Ez a faj azért különleges, mert minden ismert populációjában egyenesszárnyúakra specializálódott obligát rovarevő. A többi *V. ursinii* komplexbe tartozó taxon táplálkozása is főként egyenesszárnyúakból áll, de azok fogyasztanak gyíkokat és kismamókat is. A *V. graeca* élőhelyén előfordulnak gyíkok és kismamók, azonban ezek hiánya a *V. graeca* ürülékmintáiban azt mutatja, hogy ez a kigyófaj kizárólag szárazföldi ízeltlábúakat fogyaszt.

5.6. Populációgenomika

A vizsgálatból kiderült, hogy a *Vipera graeca* populációi között jelentős földrajzi struktúra figyelhető meg, azonban az északi populációk nagyon közel állnak egymáshoz a filogenetikai kapcsolatok és a genetikai távolság alapján is. A délről észak felé csökkenő filogenetikai strukturáltságot feltételezhetően több kihalási-kolonizációs esemény alakította ki, melynek eredményeként az északi elterjedési területre valószínűleg egy kolonizációs esemény során jutott el a faj. Az északi populációk hasonlósága ellenére, valószínűleg nincs génáramlás az egymáshoz közel eső élőhelyeken előforduló populációk között. A kis méretű populációknak alacsonyabb volt a heterozigóta gyakorisága (H_o), a genetikai diverzitása (H_e), de a F_{IS} értékek alapján ezekben a populációkban sincs heterozigóta hiány vagy homozigóta többlet, amely alapján nincs jelentős beltenyésztettség a *V. graeca* vizsgált populációiban.

5.7. Globális természetvédelmi helyzet értékelése

Az IUCN Vörös Listáján jelenleg 19 európai *Vipera* faj szerepel, amelyek 36,9%-a nem sérülékeny vagy veszélyeztetett, 26,3% sérülékeny, 21,1% veszélyeztetett és 15,8% kritikusan veszélyeztetett. Újabb kutatások szerint ezek közül kilenc taxon nem tekinthető önálló fajnak, így a validnak tekinthető tíz faj között két kritikusan veszélyeztetett és két veszélyeztetett faj marad, amely alapján a *V. graeca* Európa legveszélyeztetettebb *Vipera* fajai közé tartozik.

5.8. Térbeli természetvédelmi prioritizálás

A *Vipera graeca* élőhelyeinek térbeli természetvédelmi prioritizálása három fő eredménnyel szolgált: (i) a várható 82-92%-os élőhelycsökkenés mellett, több antropogén tényező is veszélyezteti a faj fennmaradását, (ii) egyes veszélyeztető tényezők térképezhetők és átfordíthatók természetvédelmi értékesség változókká, és (iii) az elsősorban több fajra kifejlesztett térbeli természetvédelmi prioritizálási módszerek hasznosak lehetnek egyetlen faj esetében is.

5.9. Fajmegőrzési javaslatok

A *Vipera graeca* élőhelyei a vizsgált időintervallumban (2000-2089) rendkívüli csökkenést és fragmentációt fognak elszenvedni, habár a faj fennmaradása néhány élőhely-fragmentumban biztosított lehet. A legfontosabb hosszútávú természetvédelmi feladat ezeknek a kulcsfontosságú területeknek a megőrzése és az élőhelyek állapotának javítása, zavarásának és degradációjának mérséklése.

Különös tekintettel kell lenni a fenntartható tájhasználatra: az albániai Nemerçke hegységen mérlegelni kell a legelési nyomás csökkentésének lehetőségeit. A görögországi területeken (Tymfi, Lakmos-Tzoumerka hegységek) pedig erősen ajánlott a szarvasmarhával történő legeltetés fokozatos cseréje juhval és kecskével folytatott legeltetésre, mivel a marhalegelés hatására a viperák számára bűvőhelyet, takarást, és a zsákmányának táplálékot nyújtó csenkesz zombékok eltűnnek a marhák által könnyebben megközelíthető térszíneken. Ennek oka, hogy a sekély talajrétegbe gyengén gyökerezett, évtizedek alatt kifejlődő zombékokat a szarvasmarha gyökerestől szakítja ki a talajból legelése során.

A természetvédelmi tevékenységnek központi feladatává kell, hogy váljon a helyi közösségek bevonása, szemléletformálása. Sikeres csak akkor lehet egy ilyen program, ha a területen gazdálkodókat sikerül a természetvédelem, a fenntartható tájhasználat mellé állítani. A juhok elhullásának mérséklésére elindított programunk célja egy olyan legelési gyakorlat meghonosítása, amely figyelembe veszi a *V. graeca* élőhely-választását és aktivitási mintázatát.

Az élőhelyek védelme mellett javasolt egy *ex situ* szaporítási program elindítása, a hasonló mértékben veszélyeztetett rákosi viperához (*Vipera ursinii rakosiensis*) hasonlóan. Remélhetőleg az élőhely-védelem, az *ex situ* génbank és a további ismerethiányokat azonosító és megszüntető kutatások együttesével kifejleszthető egy olyan komplex védelmi program, amely lehetővé teszi ennek a hideg-adaptált és a túl gyorsan változó klíma csapdájába esett veszélyeztetett hullófajnak a fennmaradását a felmelegedő Mediterráneumban.

6. Új tudományos eredmények

- Kimutattam, hogy szükséges az eredetileg alfajként leírt *graeca* taxon faji rangra emelése, a taxon filogenetikai pozíciója, valamint a *Vipera ursinii* komplex többi taxonjától való morfológiai, elterjedésbeli, ökológiai és genetikai különbözősége miatt.
- Morfológiai adatok és mtDNS szekvenciák alapján igazoltam, hogy Dél-Albániában a *V. ursinii* komplex taxonjai közül a *Vipera graeca* fordul elő.
- A *V. graeca* korábban ismert öt populációján felül, elterjedés modellek alkalmazásával és a modellek predikcióinak terepi ellenőrzésével további tizenkét új populációt sikerült felfedezni.
- Kimutattam, hogy a klímaváltozás hatására a *V. graeca* jelenleg elfoglalt, klimatikusan alkalmas élőhelyeinek 82,3-91,8%-a alkalmatlanná válik a faj számára a 2080-as évekre.
- Elvégeztem az Új Európai Kétéltű és Hüllő Atlasz (NA2RE) *V. graeca* fedvényének javítását és frissítését, mivel az atlaszban eredetileg jelölt két 50×50 km rács cella közül a faj csak az egyikben fordul elő bizonyítottan, továbbá hét cellában új, korábban az atlaszban nem dokumentált előfordulást azonosítottam.
- Kimutattam, hogy a *V. graeca* egy inszektivór specialista, prédáinak 96,3%-a Orthoptera fajokból áll, amelyek mellet zsákmányol Aranea, Scorpiones és Coleoptera prédát is. A Orthoptera fajok gyakorisága eltér a prédakínálat és a prédaválasztás között, amelyet a préda abundanciája, életformatípusa, menekülési képessége és nagysága határoz meg.
- Kimutattam, hogy a *V. graeca* populációi genetikai vátozatossága és filogenomikiai strukturáltsága délről észak felé csökkenő trendet mutat. A kis méretű populációknak alacsonyabb a heterozigóta gyakorisága és a genetikai diverzitása, de beltenyésztettség jele nem volt kimutatható.
- Elvégeztem a *V. graeca* IUCN Vörös Lista besorolását, amely alapján a veszélyeztetett (endangered, EN) kategóriába tartozik.
- Azonosítottam a *V. graeca* megőrzése és hosszú távú fennmaradása szempontjából kulcsfontosságú területeket, amelyek védett-terület lefedettsége Görögországban elfogadható kiterjedésű, Albániában viszont teljesen hiányzik.



Nyilvántartási szám: DEENK/107/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Mizsei Edvárd

Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10068039

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (6)

1. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Mersini, K., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Determining priority areas for an Endangered cold-adapted snake on warming mountaintops.
Oryx. 55 (3), 334-343, 2020. ISSN: 0030-6053.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605319000322>
IF: 2.699
2. **Mizsei, E.**, Boros, Z., Lovas-Kiss, Á., Szepesváry, C., Szabolcs, I. M., Rák, G., Ujszegi, J., Gál, Z., Lengyel, S., Puskás, G.: A trait-based framework for understanding predator-prey relationships: Trait matching between a specialist snake and its insect prey.
Funct. Ecol. 33 (12), 2354-2368, 2019. ISSN: 0269-8463.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.13446>
IF: 4.434
3. **Mizsei, E.**, Zinenko, O., Sillero, N., Ferri, V., Roussos, S. A., Szabolcs, I. M.: The distribution of meadow and steppe vipers (*Vipera graeca*, *V. renardi* and *V. ursinii*): a revision of the New Atlas of Amphibians and Reptiles of Europe.
Basic and Applied Herpetology. 32, 1-7, 2018. ISSN: 2255-1468.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11160/bah.94>
4. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Dimaki, M., Roussos, S. A., Ioannidis, Y.: *Vipera graeca*.
The IUCN Red List of Threatened Species. 2018, 1-11, 2018. ISSN: 2307-8235.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T53789650A53790137.en>
5. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Nilson, G., Nagy, Z. T.: Nuclear markers support the mitochondrial phylogeny of *Vipera ursinii-renardi* complex (Squamata: Viperidae) and species status for the Greek meadow viper.
Zootaxa. 4227 (1), 75-88, 2017. ISSN: 1175-5326.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4227.1.4>
IF: 0.931





6. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B., Szabolcs, I. M., Lengyel, S., Pfliegler, V. P., Nagy, Z. T., Tóth, J.
P.: Species distribution modelling leads to the discovery of new populations of one of the
least known European snakes, *Vipera-ursinii graeca*, in Albania.
Amphib. Reptil. 37 (1), 55-68, 2016. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003031>
IF: 1.287

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

7. Gyulai, I., Kunderát, J. T., **Mizsei, E.**, Braun, M., Lakatos, G., Simon, E.: Termáltavak hatása a
befogadó folyóra, toxikológiai és üledékvizsgálatok Albániában.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 35-36, 2013. ISSN: 0018-1323.
8. Kunderát, J. T., Gyulai, I., **Mizsei, E.**, Braun, M., Lakatos, G., Simon, E.: Termáltavak hatásának
vizsgálata a befogadó folyó vízminőségére.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 59-60, 2013. ISSN: 0018-1323.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

9. **Mizsei, E.**, Fejes, Z., Malatinszky, Á., Lengyel, S., Vadász, C.: Reptile responses to vegetation
structure in a grassland restored for an endangered snake.
Community Ecol. 21 (2), 203-212, 2020. ISSN: 1585-8553.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42974-020-00019-2>
IF: 1.185

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (17)

10. Jablonski, D., Sillero, N., Oskyrko, O., Bellati, A., Čeirāns, A., Cheylan, M., Cogălniceanu, D.,
Cmornbrja-Isailović, J., Crochet, P. A., Crottini, A., Doronin, I., Džukić, G., Géniez, P., Ilgaz,
Ç., Iosif, R., Jandzik, D., Jelić, D., Litvinchuk, S. N., Ljubisavljević, K., Lymberakis, P.,
Mikulíček, P., **Mizsei, E.**, Moravec, J., Najbar, B., Pabijan, M., Pupins, M., Sourrouille, P.,
Strachinis, I., Szabolcs, I. M., Thanou, E., Tzoras, E., Vergilov, V., Vörös, J., Gvoždík, V.: The
distribution and biogeography of slow worms (*Anguis, Squamata*) across the Western
Palearctic, with an emphasis on secondary contact zones.
Amphib. Reptil. 42, 519-530, 2021. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-bja10069>
IF: 1.839 (2020)





11. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Golemaj, A., Jablonski, D.: The Moorish gecko, *Tarentola mauritanica* Linnaeus, 1758 (Squamata, Phyllodactylidae), in Albania.
Herpetozoa. 34, 159-162, 2021. ISSN: 1013-4425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/herpetozoa.34.e69381>
IF: 0.841 (2020)
12. Freitas, I., Ursenbacher, S., Mebert, K., Zinenko, O., Schweiger, S., Wüster, W., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailović, J., Halpern, B., Fahd, S., Santos, X., Pleguezuelos, J. M., Joger, U., Orlov, N., **Mizsei, E.**, Lourdaix, O., Zuffi, M. A. L., Strugariu, A., Zamfirescu, Ș. R., Martínez-Solano, Í., Velo-Antón, G., Kaliontzopoulou, A., Martínez-Freiría, F.: Evaluating taxonomic inflation: towards evidence-based species delimitation in Eurasian vipers (Serpentes: Viperinae).
Amphib. Reptil. 41 (3), 285-311, 2020. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-bja10007>
IF: 1.839
13. Németh, A., Csorba, G., Laczkó, L., **Mizsei, E.**, Bereczki, J., Pásztor, J. A., Petró, P., Sramkó, G.: Multi-Locus Genetic Identification of a Newly Discovered Population Reveals a Deep Genetic Divergence in European Blind Mole Rats (Rodentia: Spalacidae: Nannospalax).
Ann. Zool. Fenn. 57 (1-6), 89-98, 2020. ISSN: 0003-455X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5735/086.057.0110>
IF: 1.324
14. Lengyel, S., Mester, B., Szabolcs, I. M., Szepesváry, C., Szabó, G., Polyák, L., Boros, Z., **Mizsei, E.**, Málnás, K., Mérő, T. O., Aradi, C.: Restoration for variability: emergence of the habitat diversity paradigm in terrestrial ecosystem restoration.
Restor. Ecol. 28 (5), 1087-1099, 2020. ISSN: 1061-2971.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/rec.13218>
IF: 3.404
15. Mester, B., Szepesváry, C., Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Mérő, T. O., Málnás, K., Lengyel, S.: Salvaging bycatch data for conservation: Unexpected benefits of restored grasslands to amphibians in wetland buffer zones and ecological corridors.
Ecol. Eng. 153, 1-10, 2020. ISSN: 0925-8574.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105916>
IF: 4.035
16. Szentiványi, T., Haelewaters, D., Rádai, Z., **Mizsei, E.**, Pfliegler, V. P., Báthori, F., Tartally, A., Christe, P., Glaizot, O.: Climatic effects on the distribution of ant- and bat fly-associated fungal ectoparasites (Ascomycota, Laboulbeniales).
Fungal Ecol. 39, 371-379, 2019. ISSN: 1754-5048.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2019.03.003>
IF: 2.656





17. Dufresnes, C., Strachinis, I., Suriadna, N., Myktynets, G., Cogălniceanu, D., Székely, P., Vukov, T., Arntzen, J. W., Wielstra, B., Lymberakis, P., Geffen, E., Gafny, S., Kumlutaş, Y., Ilgaz, Ç., Candan, K., **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Kolenda, K., Smirnov, N., Géniez, P., Lukanov, S., Crochet, P. A., Dubey, S., Perrin, N., Litvinchuk, S. N., Denoël, M.: Phylogeography of a cryptic speciation continuum in Eurasian spadefoot toads (*Pelobates*).
Mol. Ecol. 28 (13), 3257-3270, 2019. ISSN: 0962-1083.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/mec.15133>
IF: 5.163
18. Jablonski, D., Szabolcs, I. M., Simović, A., **Mizsei, E.**: Color and pattern variation of the Balkan whip snake, *Hierophis gemonensis* (Laurenti, 1768).
Turk. J. Zool. 41, 363-369, 2017. ISSN: 1300-0179.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3906/zoo-1606-15>
IF: 0.558
19. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Vági, B., Mester, B., Végvári, Z., Lengyel, S.: Distribution and diversity of amphibians in Albania: new data and foundations of a comprehensive database.
Amphib. Reptil. 38 (4), 435-448, 2017. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003126>
IF: 1.105
20. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Végvári, Z., Lengyel, S., Szabolcs, I. M.: Distribution and diversity of reptiles in Albania: a novel database from a Mediterranean hotspot.
Amphib. Reptil. 38 (2), 157-173, 2017. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003097>
IF: 1.105
21. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**: First record of the eastern spadefoot toad (*Pelobates syriacus* Boettger, 1889) in Albania.
North-West. J. Zool. 13, 175-176, 2017. ISSN: 1584-9074.
IF: 0.596
22. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**: First record of the eastern spadefoot toad (*Pelobates syriacus* Boettger, 1889) in Albania.
North-West. J. Zool. 13, 175-176, 2017. ISSN: 1584-9074.
IF: 0.596
23. Molnár, V. A., Takács, A., **Mizsei, E.**, Löki, V., Barina, Z., Sramkó, G., Tökölly, J., Religious differences affect orchid diversity of Albanian graveyards.
Pak. J. Bot. 41 (1), 289-303, 2017. ISSN: 0556-3321.
IF: 0.75





24. Kundrát, J. T., Gyulai, I., Simon, E., **Mizsei, E.**, Braun, M., Tóthmérész, B.: Study of the effects of high levels of nutrients on seed germination and root elongation.
Pol. J. Environ. Stud. 26 (4), 1585-1590, 2017. ISSN: 1230-1485.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/68879>
IF: 1.12
25. **Mizsei, E.**, Uhrin, M., Jablonski, D., Szabolcs, I. M.: First records of the Italian wall lizard, *Podarcis siculus* (Rafinesque-Schmaltz, 1810) (Squamata: Lacertidae) in Albania.
Turk. J. Zool. 40, 814-817, 2016. ISSN: 1300-0179.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3906/zoo-1601-22>
IF: 0.785
26. **Mizsei, E.**, Üveges, B.: Novel defensive behaviours of both sexes of *Vipera ursinii graeca* (Serpentes: Viperidae).
Herpetol Notes. 5, 481-483, 2012. ISSN: 2071-5773.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (13)

27. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Cogălniceanu, D., Iosif, R., Strachinis, I., Tzoras, E., Sós, T., Speybroeck, J., Ilgaz, Ç., Burić, I., Vörös, J., Lengyel, S., Végvári, Z., Bán, M., Szabolcs, I. M.: A Balkán-félsziget természetvédelmi prioritásai herpetológiai szempontból: a Balkan Herps projekt előzetes eredményei.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 26, 2019.
28. Mór, A., **Mizsei, E.**, Heltai, M., Márton, M.: Borz és róka hullőpredációja a rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) kiskunsági élőhelyein.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 15, 2019.
29. Fejes, Z. A., Vadász, C., Malatinszky, Á., **Mizsei, E.**: Hullőpopulációk abundanciaviszonyai és az azokat befolyásoló vegetációs szerkezeti elemek egy rekonstruált rákosi vipera-élőhelyen.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 14, 2019.
30. **Mizsei, E.**, Boros, Z., Lovas-Kiss, Á., Szepesváry, C., Szabolcs, M., Rák, G., Ujszegi, J., Gál, Z., Lengyel, S., Puskás, G.: Legyen lomha és nagy: préda jellegek határozzák meg a szélsőségesen specialista görög karsztvipera (*Vipera graeca*) zsákmányválasztását.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 16, 2019.
31. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: A görög karsztvipera (*Vipera graeca*) élőhelyeinek természetvédelmi rangsorolása.
In: XI. Magyar Természettudományi Biológia Konferencia : Absztrakt kötet / Szerkesztette: Mizsei Edvárd és Szepesváry Csaba, Magyar Biológiai Társaság, Budapest, 111-112, 2017.





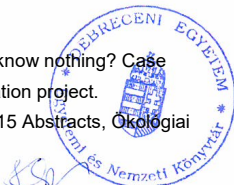
32. Szabolcs, I. M., Jablonski, D., Lengyel, S., Végvári, Z., **Mizsei, E.**: Az albán herpetofauna természetvédelmi értékelése.
In: V. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 15, 2016.
33. **Mizsei, E.**, Végvári, Z., Jablonski, D., Lengyel, S., Szabolcs, I. M.: Kétlélűek és hüllők elterjedése és diverzitása Albániában.
In: V. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 14, 2016.
34. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Vági, B., Puskás, G., Lengyel, S.: Gyakran ismételt kérdések és válaszok a görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) kapcsolatban.
In: 17. Kolozsvári Biológus Napok : Kivonatfüzet, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 35, 2015.
35. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B.: A görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) természetvédelmi helyzete.
In: IV. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 27, 2014.
36. **Mizsei, E.**: A távolsági mintavétel alkalmazása vöröshasú unka (Bombina bombina) és görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) állományok denzitásbecslésére.
In: IV. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 24, 2014.
37. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Tóth, J. P.: A görög karsztvipera (Vipera ursinii graeca) elterjedési modellje és annak tesztelése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 5, 2012.
38. **Mizsei, E.**, Rahmé, N., Kotán, A., Németh, T.: A libanoni hegyvipera (Montivipera bornmuelleri) An-Nusayriah-hegységi (Szíria) előfordulásának megerősítése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 30, 2012.
39. **Mizsei, E.**: Két rendkívül ritka lándzsakígyó-faj, a Bothriopsis pulchra és a Bothrocophias campbelli nevezéktani problémáinak áttekintése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 31, 2012.





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (17)

40. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Cogălniceanu, D., Ruben, I., Strachinis, I., Tzoras, E., Sós, T., Speybroeck, J., Ilgaz, Ç., Burić, I., Vörös, J., Lengyel, S., Végvári, Z., Bán, M., Szabolcs, I. M.: Balkan herps project: spatial conservation priorities for the amphibians and reptiles in the Balkan Peninsula.
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 44, 2019. ISBN: 9791220052849
41. Móré, A., **Mizsei, E.**: Predation on the endangered Hungarian meadow viper (*Vipera ursinii rakosiensis*) by badger (*Meles meles*) and fox (*Vulpes vulpes*).
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 76, 2019. ISBN: 9791220052849
42. Martínez-Freiría, F., Freitas, I., Mebert, K., Zinenko, O., Schweiger, S., Wüster, W., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailović, J., Alpern, B., Fahd, S., Santos, X., Pleguezuelos, J. M., Joger, U., Orlov, N., **Mizsei, E.**, Lourdais, O., Zuffi, M. A. L., Strugariu, A., Zamfirescu, Ş. R., Martínez-Solano, Í., Velo-Antón, G., Kaliontzopoulou, A., Ursenbacher, S.: Towards evidence-based species delimitation in Eurasian vipers.
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 102-103, 2019. ISBN: 9791220052849
43. **Mizsei, E.**: Protected areas mismatch spatial conservation priorities of amphibians and reptiles in the Balkan Peninsula - the Balkan Herps project.
In: Student Conference on Conservation Science : Talks and posters of the 4th SCCS Europe, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2018.
44. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper I: threats.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 36, 2017.
45. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Szabó, L., Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper II: spatial prioritization.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 37, 2017.
46. **Mizsei, E.**: Uninvited conservation of venomous snakes.
In: Student Conference on Conservation Science, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2016.
47. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Vági, B., Lengyel, S.: How to jump ahead if you know nothing? Case studies from the Greek meadow viper (*Vipera ursinii graeca*) conservation project.
In: Student Conference on Conservation Science : SCCS Hungary 2015 Abstracts, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2015.
48. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M.: A missing piece of the Balkan viper puzzle: distribution and conservation threats of vipers in Albania.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 53, 2014.





49. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Üveges, B., Vági, B.: Conservation efforts and grazing exclusion study of the endangered *Vipera ursinii graeca* in Albania - preliminary results.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 54, 2014.
50. Mack, E. W., Roussos, S. A., Dimaki, M., **Mizsei, E.**, Kokkini, P., Densmore III, L. D.: Predicting activity of the Greek Meadow Viper (*Vipera ursinii graeca*) using environmental data from the Pindos.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 29, 2014.
51. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B., Roussos, S. A., Tóth, J. P., Ioannidis, Y.: Present and future of an overlooked european viper: distribution, detectability, population size and conservation status of the Greek Meadow Viper, *Vipera graeca*.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 52, 2014.
52. Simon, E., **Mizsei, E.**, Kundrát, J. T., Gyulai, I., Braun, M., Tóthmérész, B.: Effects of thermal spring on elemental concentration of frog toe bones.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 290, 2013.
53. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Katona, P., Lengyel, S.: Evidence for niche conservatism in the *Vipera ursinii* complex.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 150, 2013.
54. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Tóth, J. P.: Use of distribution modelling for exploring new localities of an endangered European viperid, *Vipera ursinii graeca*.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 149, 2013.
55. **Mizsei, E.**, Üveges, B.: Confirming the presence of *Vipera ursinii graeca* in Albania with regards of a new locality: preliminary results.
In: SEH European Congress of Herpetology & DGHT Deutscher Herpetologentag, Societas Europaea Herpetologica : Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde, Luxembourg ; Trier, 53, 2011.





56. **Mizsei, E.**, Üveges, B.: Novel defensive behaviours in both sexes of *Vipera ursinii graeca* (Serpentes: Viperidae).

In: SEH European Congress of Herpetology & DGHT Deutscher Herpetologentag, Societas Europaea Herpetologica : Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde, Luxembourg ; Trier, 115-116, 2011.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 38,252

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9,351

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.03.07.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Multidisciplinary research to establish
the evidence based conservation of
the Greek meadow viper (*Vipera graeca*)**

Edvárd Mizsei

Supervisors: Dr. Szabolcs Lengyel and Dr. Béla Tóthmérész



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2022

1. Introduction

One of the most challenging environmental problems of the 21st century is the extreme level and rate of biodiversity loss. In the case of rare, endangered species, the knowledge, data or research results required for the planning of conservation measures are often not available or the available information is limited to a specific area and is based on case-by-case observations and cannot be generalized. In order to develop conservation strategies, it is essential to explore the threats and to examine the theoretical validity and practical effectiveness of the activities aimed to neutralize the impact of threats. Evidence-based conservation biology is one of the most important pillars of effective conservation interventions.

The populations of amphibians and reptiles are declining worldwide. The meadow viper (*Vipera ursinii*) and the meadow-steppe viper complex (*Vipera ursinii* complex) are one of the most endangered vertebrate species and species groups in Europe, of which the Greek meadow viper (*Vipera ursinii graeca* Nilson & Andrén, 1988)¹ is the least known. *V. graeca* is sister to all other clades of *ursinii* and *renardi* in the *V. ursinii-renardi* complex and forms a distinct, divergent clade sister to the others. *V. graeca* can be considered as an evolutionarily significant unit, the preservation of which is a priority in nature conservation. The aim of the research presented in the dissertation is to minimise the previous lack of knowledge by providing the information that underpins effective protection.

2. Aims

2.1. Phylogeny and taxonomy

Previous research, based on mitochondrial DNA sequences, proposed to elevate the taxon *graeca*, originally described as a subspecies, to full species status if its phylogenetic position can be confirmed by further multilocus studies. Therefore, the aim of this study was (i) to analyse nDNA loci in the *V. ursinii-renardi* complex, to see if the results concur with previous mtDNA studies, and (ii) to resolve the taxonomic status and phylogenetic placement of *V. graeca*.

2.2. Exploration of distribution

Given the scarcity of information about the distribution of *Vipera graeca* and uncertainty surrounding the identity of *Vipera ursinii* populations in southern Albania, our study had three aims: (i) to model the potential distribution of *Vipera graeca* across the Balkan Peninsula by species distribution modelling, (ii) to empirically test the model results by field surveys in the potential habitats identified by the species distribution modelling exercise with the aim of detecting meadow viper populations, and (iii) to confirm the identity of meadow vipers in southern Albania using morphological and molecular data.

2.3. Current and future distribution

To assess the vulnerability of the habitat-specialist *Vipera graeca* to climate change, we used high-resolution ecological niche models to (i) delineate the current potential distribution as accurately as possible based on the new occurrence data collected in Study 2, (ii) to predict future distribution and to estimate potential changes in habitat suitability, and (iii) to identify micro-refuges with an expected stable climate where the survival of populations of the species can be assured.

2.4. Atlas level occurrence

The New European Amphibian and Reptile Atlas (NA2RE) published in 2014 proved to be inaccurate for several species, and *Vipera graeca* was not yet included in it, as it was not yet elevated to species level, and, surprisingly, *V. ursinii* and *V. renardi* were not considered separately. The revision of the NA2RE atlas aimed to produce 50×50 km updated distribution maps of the taxa *V. graeca*, *V. renardi* and *V. ursinii* based on the latest taxonomic knowledge.

2.5. Feeding ecology

The aim of this study was to explore the feeding ecology of *Vipera graeca*. We specifically addressed four questions: (i) Are there temporal differences in feeding activity throughout the annual cycle? (ii) Are there spatial differences in prey selection between populations inhabiting different mountain ranges? (iii) Which prey traits influence prey selection? and (iv) Do predator traits play a role in prey selection?

2.6. Phylogeography and conservation genomics

Our study aimed at exploring the phylogenomic and conservation genomic characteristics of *Vipera graeca*, by answering the following conservation genetic questions: (i) What are the phylogenomic relationships between the populations? (ii) Where were the refugia during the last glacial maximum? (iii) Is there any gene flow between the current populations? (iv) Is there evidence of inbreeding in any of the populations?

2.7. IUCN Red List assessment

Vipera graeca was not assessed on the IUCN Red List prior to our studies, but based on its narrow distribution, it was expected to be in a higher extinction risk category. The purpose of the assessment was to (i) determine the risk category of *V. graeca* according to the IUCN Red List based on the available data and (ii) to identify potential and demonstrable threat factors.

2.8. Spatial conservation prioritization

We performed spatial prioritization to identify areas based on conservation value attributes of the currently suitable landscape for *Vipera graeca*. We

aimed to (i) identify any populations likely to disappear by the 2080s and any populations likely to be strongholds where the species could benefit from targeted management and conservation. (ii) to provide guidelines for conservation by studying the overlap between priority areas and protected areas and (iii) to explore the interrelationships of the conservation value variables to identify opportunities for potential interventions.

3. Materials and methods

3.1. Phylogeny and taxonomy

Two samples of *Vipera [ursinii] graeca* from Albania were included in this study, and we included samples representing montane populations of *Vipera ursinii macrops* (Albania, Montenegro), *V. u. ursinii* (Italy), *V. ursinii* ssp. (an undescribed lineage from Croatia), lowland vipers *V. u. moldavica* (Romania) and *V. u. rakosiensis* (Hungary, Romania), *V. renardi* (Crimea) as well as three subspecies of the common adder *V. berus berus* (Hungary), *bosniensis* (Albania) and *nikolskii* (Romania) as outgroup taxa. We selected two mitochondrial markers (CYT B, ND4) and three nuclear markers (BDNF, NT3, PRLR) shown to be successful in discriminating various divergence levels among several reptile species. MrBayes and Maximum Likelihood phylogenetic reconstructions, SplitsTree phylogenetic networks, haplotype networks, and *BEAST coalescence based species trees were generated from the mitochondrial, nuclear, and concatenated sequences.

3.2. Exploration of distribution

Vipera graeca occurrence data from literature and personal observations were used for the species distribution model. When we fitted this species distribution model in 2010. As a result of georeferencing, presence data were gathered from eight mountains in Greece: Koziakas,, Metsovo, Oeti, Tsouka Karali, Tzoumerka, Tymfristos, Vardoussia. To fit the species distribution model, we used MaxEnt 3.3.3e software and used bioclimatic variables as environmental variables.

To test the species distribution model, we selected 10 separate mountains in southern Albania based on the prediction of the model, where the presence of a taxon belonging to the *V. graeca* or other member of *V. ursinii* complex was not previously known. To estimate the probability of detection, we recorded the tracks made by the surveyors using GPS units. The location and morphological characteristics of the observed viper individuals were recorded and a tissue sample was taken for later taxon identification. Morphological identification was performed based on taxon descriptions, and the ND4 mitochondrial DNA marker was sequenced to confirm the morphological identification.

3.3. Current and future distribution

For the analysis, I collected all available presence data ($n=351$) of *Vipera graeca* recorded until the analysis (2017), of which 292 were collected during our fieldwork. For the modeling, I used the same bioclimatic variables that I had already used to explore the distribution and made it possible to find several previously unknown *V. graeca* populations. For future climate, I used two different bioclimatic variables calculated on the basis of climate data projected on four time periods (2020, 2040, 2060, 2080) based on three different global circulation models, one pessimistic (A1b) and one optimistic (B1) emission scenario. To create the species distribution models, I used five different algorithms (two linear and three machine learning algorithms) in order to minimise the uncertainties arising from the differences in the algorithms. The spatial and temporal connectivity of the predicted habitats was characterised by the continuity of the overlapping patches.

3.4. Atlas level occurrence

We revised the presence records of the group, differentiating *Vipera ursinii*, *V. renardi* and *V. graeca* in the NA2RE data cell by cell. We have (i) identified cells with species' presence (=1); (ii) confirmed species' presence with available data in published or unpublished sources; (iii) added new species' presence when we had available data for a cell previously showing species' absence (=0); (iv) deleted species' presence (1→0) when there was no evidence of presence; (v) changed the status of cells to historical where there were no observations since 1992, and provided the date of last observations; and finally (vi) we added a comment to each cell where changes were implemented.

3.5. Feeding ecology

The exploration of the feeding ecology of *Vipera graeca* was performed by visual analysis of faecal samples collected from all known populations between 2013 and 2018 in a non-invasive manner. Based on the diet of the *V. ursinii* complex, we expected that the diet of *V. graeca* would be mainly composed of Orthoptera species, therefore we also sampled the Orthoptera community. In the Orthoptera community sample, we measured the relevant prey traits (size of lateral area of visible surface, variables describing escape ability), and classified species by their abundance and lifeform. In the faecal samples, we determined the species of prey consumed, and the age and sex of the prey if the residues were allowed.

The annual seasonality of the diet was examined using generalized mixed linear models (GLMM). Bayesian ordination and regression analysis (boral) was performed to examine differences in the prey composition between viper populations. To examine the relationship between prey selection and

prey traits, two similar models were fitted: a GLMM model in which prey presence/absence was the dependent variable and a MANYGLM model in which prey abundance observed in faecal samples was the dependent variable. We also examined the effect of species traits and abundance on prey choice and the characteristics of the predator (SVL, body weight, head width), where the explanatory variable was the body characteristics of the predator and the dependent variable was the body diameter of the prey.

3.6. Phylogeography and conservation genomics

Sampling covered all known populations of *Vipera graeca* (n = 18). Total genomic DNA was extracted from the preserved tissue samples and a RADseq library was prepared from the samples. The final library was sequenced with an Illumina NextSeq 500/550 Mid Output Kit v2.5 kit with a “single-end” sequencing option. Based on the “draft” genome of *Vipera berus*, we used a reference-based single-nucleotide polymorphism (SNP) call.

Based on all SNPs, we created a SplitsTree phylogenetic network and performed an IQtree phylogenetic tree reconstruction. Based on random SNPs, we examined the genetic structure of the samples by calculating the Nei’s genetic distance, then visualised the distances with the neighbor-joining tree and used them to test the correlation between genetic and geographic distance matrices. We used the Structure v.2.3.4 software and the ParallelStructure v.1.0 package to explore the genetic structure of populations. Finally, we calculated the conservation genetic characteristics of the populations.

3.7. IUCN Red List assessment

The assessment of *Vipera graeca* was performed based on criterion B of the currently valid IUCN Red List Categories and Criteria. Basically, two parameters have to be assessed for criterion B, the extent of occurrence (EOO), and the area of occupancy (AOO). The EOO is the area of the minimum convex polygon encompassing all known occurrence points, and the AOO is the sum of the area of the cells occupied by the occurrence points on a 2 × 2 km grid.

3.8. Spatial conservation prioritization

For spatial conservation prioritization, we transformed the threat factors and habitat quality indicators into three groups of variables describing conservation value: (i) habitat suitability: climate suitability, habitat size, habitat occupancy, vegetation suitability; (ii) climate change: future persistence, potential for altitudinal range shift, (iii) land-use impact: habitat alteration, habitat degradation, anthropogenic disturbance. To identify key habitats for *Vipera graeca*, we used the Zonation software, a reverse selection meta-algorithm. We examined the coverage of key areas

identified by spatial conservation prioritisation with protected areas in order to identify areas where the long-term survival of *V. graeca* is likely to be ensured by current protection, and areas that would be important for the conservation of the species, but are not yet protected.

4. Results

4.1. Phylogeny and taxonomy

Phylogenetic analyses (BA, ML) and networks constructed from the mitochondrial and the concatenated dataset resulted in a topology concordant with main clades as observed by previous studies that solely used mtDNA. High Bayesian posterior probabilities and bootstrap support were noted for the *graeca* clade as well as for most of the other included clades. The concatenated mtDNA + nDNA data set revealed four deeply divergent clades within the *ursinii-renardi* complex, with a high degree of structure corresponding to divergent lineages. There was strong support for the *graeca* clade and for the clade encompassing the *V. u. moldavica*, *V. u. rakosiensis* and *V. u. macrops* subclades. Similarly to the mtDNA tree, the BA analysis found no support for a clade covering *V. u. ursinii* and *V. ursinii* ssp.. The clade covering *Vipera renardi-erivanensis* subclades was not supported in the concatenated dataset probably due to data missing from the *erivanensis* subclade.

4.2. Exploration of distribution

The distribution model of *Vipera graeca* predicted subalpine-alpine grassland habitats above the tree line in the Pindos mountain range (Albania and Greece) as suitable habitats. Based on the assessment of the contribution of climatic variables to the distribution model, the annual mean temperature (BIO 1) was the most important variable (78%), while precipitation-related variables (BIO 12 and BIO 15) were less significant and the effect of temperature seasonality (BIO4) was negligible. The model predicted potential occurrences on ten mountain ranges in the Albanian part of Pindos where the species was not previously known.

Of the 11 potentially suitable potential habitats predicted by the model in Albania, one or more *V. graeca* specimens or shed skins were found in eight mountains. The existence of six *V. graeca* populations (Dhëmbel, Llofiz, Griba, Shendelli, Tomorr and Trebeshinë mountains) was first reported in this study. The surveys confirmed the presence of the previously indicated populations of Nemerçkë and Lunxherisë. The presence of the species could not be detected in the mountains of Bureto, Cika and Kulmak. During field testing of the model, surveyors walked a total of 457.2 km. The length of each track had a significant positive effect on the probability of detecting *V. graeca* ($z = 3.62$, $p = 0.0003$). In potentially suitable habitats

where individuals or shed skins of the species could not be detected, the estimated probability of detection was up to 42.0%. Subsequent data collection revealed new occurrences of *V. graeca* in five other localities, Kulmak, Ostrovica in Albania, and Avgo, Karava, and Voutsikaki in Greece.

Based on the discriminative morphological characters, the observed vipers belonged to the taxon *V. graeca*, which was also confirmed by the analysis of mitochondrial DNA ND4 sequences.

4.3. Current and future distribution

A total of $n=275$ (TSS>0.95) models were used to generate consensus projections from the 500 model replicates. The GLM algorithm contributed the most to the consensus projections and the ANN the least. These models always classified the test points correctly. Among the climatic variables, annual mean temperature (BIO 1) and precipitation seasonality (BIO 15) contributed the most to the models, so among the variables used, they determined the distribution of the species the most. The distribution models predicted for the current climate and their consensus model fitted well with the known occurrence points of the species. The binary consensus projection indicated 1964 km² of suitable habitat, of which the species occupies 1025 km² to the best of our current knowledge.

Under the A1b SRES scenario ("pessimistic scenario"), a gradual decline in habitats suitable for *Vipera graeca* is expected. There are no striking differences between the current climate (~ 2000) and the projections for the 2020 decade, but 40% of potentially suitable habitats will disappear. From 2020 to 2080, 91.8% of suitable habitats will disappear, and only 8.2% of the potentially suitable habitats will remain stable, which could serve as a micro-refuges if the temperature does not rise drastically in the foreseeable future. Under scenario B1 ("optimistic scenario"), the decline in suitable habitats will not be even. By the decade of 2020, it will show a large decrease of 72.8% compared to the one in 2000, and then the extent of potentially suitable habitats will increase in the 2040s and 2060s, mainly in the northern areas. For the last predictable decade (2080), however, habitat decline is expected to be only slightly less than that found in scenario A1b (82.3% habitat loss). Under scenario B1, one-fifth of the populations is expected to be at risk of extinction, and 17.6% of potentially suitable habitat will remain stable. Based on the two scenarios, I conclude that most of the populations of *V. graeca* may become extinct due to climate change, but they have a chance of survival in adequately high mountains.

4.4. Atlas level occurrence

Compared to the NA2RE atlas, the occurrence of *Vipera graeca* was detected in seven new 50×50 km cells. Of the 50×50 km squares originally marked in the atlas ($n=2$), the occurrence of the species was validated in one case

(Lakmos, Greece) and the occurrence of the species was deleted in another because the actual position of the population was in the cell adjacent to the marked cell (Vardoussia, Greece). The occurrence of *V. renardi* was validated in 42 cells and 173 new cells were added to the atlas. In 69 cells, the occurrence of the species was set to “historical occurrence” as recent observations were absent from the area, and six cells were deleted (cases of incorrectly specified locality or incorrect species identification), these areas were mainly in the north-eastern range of the species. In the 56 cells in the original atlas, we could neither validate nor rule out the occurrence of *V. renardi*. The occurrence of *V. ursinii* could be validated in a significant proportion of the original atlas cells ($n=33$), however, we also added another 17 cells in the Balkans that had already appeared in the literature or other databases earlier but were overlooked by the authors in the 2014 revision of the NA2RE atlas. Finally, two cells where the species was previously reported were deleted but were found to be in the previous database due to an incorrect determination of location and erroneous species identification, and the status of an additional 17 cells was set to “historical occurrence”.

4.5. Feeding ecology

We captured 290 individuals of *Vipera graeca* and collected faecal samples from 78 individuals in 14 of the known 16 populations. The remaining 212 individuals (73%) had empty guts. We found a temporal pattern in feeding activity because the proportion of individuals that had food in their stomach increased from June, peaked in July at 56% and decreased afterwards ($z=3.054$, $p=0.002$). We detected 356 prey items in the faecal samples, of which 96.3% was Orthoptera, 3.1% Araneae, and we found one specimen of Coleoptera (0.3%) and Scorpiones (0.3%) each. We found no vertebrate prey in the faecal samples. In the Orthoptera community sample, we collected 1,190 specimens of 55 species as potential Orthoptera prey. With the aid of the reference material, we were able to identify 35 Orthoptera species from the faecal samples.

The two largest bush-cricket species (*Decticus verrucivorus*, *Psorodonotus macedonicus*) were more common in faecal samples than in the community sample, while the two most common species in the community sample (both small: *Euchorptippus declivus*, *Chorthippus mollis*) was absent in the faecal samples. A similar model on the abundance of prey in the diet showed similar results. In both models, body size (AVS), ‘sluggishness’ and ‘flightlessness’ positively affected prey selection, while the ‘ability of quick jumps’ and the ‘geo-chortobiont’ and ‘geobiont’ lifeforms, indicating a microhabitat preference for bare ground and rock surfaces, negatively affected prey selection. Prey availability had significant positive effects, whereas the ‘ability of quick jumps’ and the ‘geo-psammo-chortobiont’

lifeform had a significant negative effect on the presence of prey in the diet. We found a nonlinear positive relationship between vipers' head width and body diameter of their Orthopteran prey, indicating that vipers become able to prey on larger prey when they reach 10.5 mm in head width ($p < 0.001$).

4.6. Phylogeography and conservation genomics

Based on the results of the SplitsTree phylogenetic network, the phylogenetic structuring of *Vipera graeca* populations shows a strong latitudinal pattern: the central and southern populations of the range were more phylogenetically structured, and more northerly populations showed no structure. This pattern was also confirmed by the IQtree phylogenetic family tree reconstruction, in which *V. graeca* populations were organised into two major lineages: a southern lineage (Tymfristros, Vardoussia) and a lineage comprising all the other populations.

The results of the Structure analysis showed that the Albanian populations did not consist of separate groups: for $K = 2$, a northern (Kulmak, Tomorr, Griba, Trebeshinë, Lunxherise, Llofiz, Dhëmbel, Nemerçkë) and a southern (Tymfi, Lakmos, Avgo, Tymfristros, Vardoussia) group was found, whereas for $K=5$, the Albanian populations still belonged to one group, while Tymfi+Lakmos, Avgo and Tymfristros+Vardoussia formed separate groups. Nei's genetic distance between individuals correlated significantly with the geographical distance ($p=0.0015$), so isolation by distance could be observed in *V. graeca*. Based on Hardy-Weinberg equilibrium SNPs, H_0 was slightly lower in small populations than in larger populations, except for the population in the Avgó mountains. Within populations, H_E was also the lowest in small populations, with the exception of Mount Avgó, however, genetic diversity was also low in some large populations, for which greater variability was expected. Based on the F_{IS} values, there was no significant heterozygote deficit or homozygote surplus in any of the populations, however, the diversity of the northern populations was significantly lower compared to the southern ones.

4.7. IUCN Red List assessment

Based on the occurrence points of *Vipera graeca*, the area of occurrences (AOO) calculated as defined in the Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria (2013) is, to the best of our knowledge, 252 km². The populations of the species discovered so far in the peak regions of the mountains ($n=17$) were found to be completely isolated from each other. Habitat degradation and habitat loss could be observed or predicted in all known habitats. Based on these criteria, *V. graeca* is classified as Endangered according to the IUCN Red List categorization methodology.

4.8. Spatial conservation prioritization

The consensus of prioritisations based on the two climate scenarios indicated larger, contiguous patches for eight mountains. Of these, to the best of our knowledge, the viper is found in only three mountains (Nemërçkë Mountains in Albania, and the Tymfi and Lakmos Mountains in Greece). These mountains can thus be considered as key areas for the long-term survival of the species, and other known populations are highly likely to become extinct due to climate change.

Only 13.3% of the currently known *Vipera graeca* habitat is protected by law in Albania and 90.6% is protected in Greece. In climate scenario A1b, 81.8% (242.7 km²) of the key habitats, while in scenario B1, 83.5% of the key habitats (221.2 km²) were in protected areas. All of the protected key habitats are located in Greece, and none of the key areas in Albania are protected.

5. Conclusions and recommendations

5.1. Phylogeny and taxonomy

Our results from two mitochondrial and three nuclear gene fragments support the distinct position of *Vipera graeca*. This was found in all four of the analytical approaches used, i.e. gene phylogenetic reconstruction, phylogenetic network, allele (haplotype) networks and coalescent species tree. In accordance with the evolutionary, general lineage, integrative taxonomic, phylogenetic and genetic species concepts, we proposed a full species rank for the Greek meadow viper to resolve the polyphyly in the *Vipera ursinii-renardi* complex. This is further supported by morphology, distribution, ecology and genetics as described below.

5.2. Exploration of distribution

Field testing of a model to explore the distribution of *Vipera graeca* confirmed the presence of the species in nine mountains in southern Albania and three in Greece, expanding the known range by 100 km to the north. With the populations newly found in our studies, the number of known populations more than tripled, from five to seventeen.

5.3. Current and future distribution

The current climate prediction of the distribution model with a significantly larger database (n=351) and extended modelling did not show a significant spatial difference compared to the exploratory model, and the importance of the explanatory variables was consistent with the previous model. The future climate projections of the extended model predicted significant habitat loss, which could cause a large proportion of *Vipera graeca* populations to become extinct by the end of the 21st century. *V. graeca* populations have a chance of survival on only a handful of mountains.

5.4. Atlas level occurrence

The revision of the original European herpetological atlas and the updated NA2RE atlas suffered from several errors and deficiencies for the *Vipera ursinii* complex. Only 57.6% of the 50 × 50 km cells (n=132) in which '*Vipera ursinii* / *renardi*' was originally reported in the NA2RE atlas could be validated. In the rest of the cells, we found no evidence of current or past occurrence of the species (49.2%), and 6.8% of the occurrences were deleted due to erroneous site localisation or erroneous species identification. The cells with presences of one of three species in the complex in the atlas were expanded by 149.2%.

5.5. Feeding ecology

Our study of *V. graeca* diet provides evidence that prey selection in a specialist predator can be predicted based on prey traits. In addition to body size, several prey traits, e.g. escape ability, lifeform type, abundance also influenced the presence-absence or frequency of different prey in the predator's diet. To the best of our knowledge, this was the first trait-related study based on field data in a terrestrial prey-predator system. Our results show that the optimal prey of *V. graeca* is a common, large-bodied, poorly escaping, and prefers less rocky grasslands.

Our study is the first to report data on the diet of *V. graeca*. This species is peculiar because it is an obligatory insectivore that specialises on Orthopterans in all its known populations. The diet of the other taxa belonging to the *V. ursinii* complex also consists mainly of Orthopterans, but they also consume lizards and small mammals. Lizards and small mammals occur in the habitat of *V. graeca*, however, their absence in the faecal samples indicated that this snake species consumes only terrestrial arthropods.

5.6. Phylogeography and conservation genomics

This study revealed a significant geographical structure among the populations of *Vipera graeca*, however, the northern populations are also very close in terms of phylogenetic relationships and genetic distance. The decreasing phylogenetic structure from south to north is presumably caused by several extinction-colonization events, as a result of which the species probably reached the northern range during one or few colonization events. Despite the similarity of northern populations, there is probably no gene flow between the populations. Small populations had lower H_0 and H_E , but based on F_{IS} values, these populations also had no heterozygote deficiency or homozygote surplus, suggesting no significant inbreeding in the studied *V. graeca* populations.

5.7. IUCN Red List assessment

There are currently 19 European *Vipera* species on the IUCN Red List, 36.9% of which are non-threatened or least concern, 26.3% are vulnerable, 21.1% are endangered and 15.8% are critically endangered. Recent research suggests that nine of these 19 taxa cannot be considered as valid species, leaving two critically endangered and two endangered species among the ten valid ones, making *V. graeca* one of the most endangered *Vipera* species in Europe.

5.8. Spatial conservation prioritization

The spatial conservation prioritisation of *Vipera graeca* habitats yielded three main results: (i) in addition to the expected 82-92% habitat loss, several anthropogenic factors were found to threaten the survival of the species, (ii) some threat factors can be mapped and translated into conservation value variables, and (iii) spatial conservation prioritisation methods developed primarily for several species may be useful for a single species.

5.9. Species conservation proposals

The habitats of *Vipera graeca* will experience an extreme decline and fragmentation over the time period studied (2000-2089), although the survival of the species is likely in some habitat fragments on high mountains. The most important long-term conservation task is to preserve these key areas and improve the condition of the habitats by reducing disturbance and degradation.

Particular attention should be paid to sustainable land use: options for reducing grazing pressure in the Nemerçkë Mountains in Albania should be considered. In Greece (Tymfi, Lakmos-Tzoumerka Mountains), the gradual replacement of cattle grazing with sheep and goats is strongly recommended. This is due to the fact that deciduous cuttings, which are poorly rooted in the shallow soil layer and develop over decades, are torn from the soil by cattle during grazing.

The involvement of local communities and raising their awareness to snake conservation must become a central task in conservation activities. Such a program can only be successful if farmers in the area are convinced to favour nature conservation and sustainable land use. A program to reduce sheep mortality due to snakebites should be introduced disseminating a grazing practice that takes into account the habitat selection and activity pattern of *V. graeca*.

In addition to the protection of habitats, an ex situ breeding program, such as the one ongoing for *Vipera ursinii rakosiensis*, is proposed. We believe

that a combination of habitat protection, an ex situ gene bank and research to identify and address further knowledge gaps will lead to a complex conservation program that will allow this endangered, cold-adapted reptile species trapped in a rapidly warming Mediterranean climate to survive.

6. New scientific results

- I have shown that it is necessary to elevate *Vipera graeca*, originally described as a subspecies, to a full species level due to its phylogenetic position and morphological, distributional, ecological and genetic differences from other taxa of the *Vipera ursinii* complex.
- Based on morphological data and mtDNA sequences, I confirmed that *V. graeca* is one of the taxa of the *V. ursinii* complex in southern Albania.
- In addition to the five previously known populations of *V. graeca*, I discovered twelve new populations using species distribution models and field verification of the model predictions.
- I have shown that 82.3–91.8% of the currently occupied, climatically suitable habitats of *V. graeca* will most likely become unsuitable for the species by 2080 as a result of climate change.
- I have revised and updated the distribution and geographic range of *V. graeca* in the New European Amphibian and Reptile Atlas (NA2RE), as I proved that the species occurs in only one of the two 50 × 50 km grid cells originally marked in the atlas, and in seven new cells that were not marked in the atlas.
- I have shown that *V. graeca* is an insectivore specialist and 96.3% of its prey consists of Orthoptera species. The frequency of consumption of Orthoptera species differs by prey availability and prey selection, which in turn is determined by prey abundance, lifeform type, escape ability and the size of prey.
- I have shown that the genetic variability and phylogenomic structure of *V. graeca* populations show a decreasing trend from south to north. Small populations have lower heterozygote frequency and genetic diversity, but no sign of inbreeding has been detected.
- I have prepared the IUCN Red List assessment for *V. graeca*, which shows that it belongs to the endangered category.
- I have identified key areas for the conservation and long-term survival of *V. graeca*, and showed that the level of protection is acceptable in Greece but not in Albania.



Registry number:
Subject:

DEENK/107/2022.PL
PhD Publication List

Candidate: Edvárd Mizsei

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10068039

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (6)

1. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Mersini, K., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Determining priority areas for an Endangered cold-adapted snake on warming mountaintops.
Oryx. 55 (3), 334-343, 2020. ISSN: 0030-6053.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605319000322>
IF: 2.699
2. **Mizsei, E.**, Boros, Z., Lovas-Kiss, Á., Szepesváry, C., Szabolcs, I. M., Rák, G., Ujszegi, J., Gál, Z., Lengyel, S., Puskás, G.: A trait-based framework for understanding predator-prey relationships: Trait matching between a specialist snake and its insect prey.
Funct. Ecol. 33 (12), 2354-2368, 2019. ISSN: 0269-8463.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.13446>
IF: 4.434
3. **Mizsei, E.**, Zinenko, O., Sillero, N., Ferri, V., Roussos, S. A., Szabolcs, I. M.: The distribution of meadow and steppe vipers (*Vipera graeca*, *V. renardi* and *V. ursinii*): a revision of the New Atlas of Amphibians and Reptiles of Europe.
Basic and Applied Herpetology. 32, 1-7, 2018. ISSN: 2255-1468.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11160/bah.94>
4. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Dimaki, M., Roussos, S. A., Ioannidis, Y.: *Vipera graeca*.
The IUCN Red List of Threatened Species. 2018, 1-11, 2018. ISSN: 2307-8235.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T53789650A53790137.en>
5. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Nilson, G., Nagy, Z. T.: Nuclear markers support the mitochondrial phylogeny of *Vipera ursinii-renardi* complex (Squamata: Viperidae) and species status for the Greek meadow viper.
Zootaxa. 4227 (1), 75-88, 2017. ISSN: 1175-5326.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4227.1.4>
IF: 0.931





6. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B., Szabolcs, I. M., Lengyel, S., Pfliegler, V. P., Nagy, Z. T., Tóth, J. P.: Species distribution modelling leads to the discovery of new populations of one of the least known European snakes, *Vipera-ursinii graeca*, in Albania.
Amphib. Reptil. 37 (1), 55-68, 2016. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003031>
IF: 1.287

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

7. Gyulai, I., Kundrát, J. T., **Mizsei, E.**, Braun, M., Lakatos, G., Simon, E.: Termáltavak hatása a befogadó folyóra, toxikológiai és üledékvizsgálatok Albániában.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 35-36, 2013. ISSN: 0018-1323.
8. Kundrát, J. T., Gyulai, I., **Mizsei, E.**, Braun, M., Lakatos, G., Simon, E.: Termáltavak hatásának vizsgálata a befogadó folyó vízminőségére.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 59-60, 2013. ISSN: 0018-1323.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

9. **Mizsei, E.**, Fejes, Z., Malatinszky, Á., Lengyel, S., Vadász, C.: Reptile responses to vegetation structure in a grassland restored for an endangered snake.
Community Ecol. 21 (2), 203-212, 2020. ISSN: 1585-8553.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42974-020-00019-2>
IF: 1.185

Foreign language scientific articles in international journals (17)

10. Jablonski, D., Sillero, N., Oskyrko, O., Bellati, A., Čeirāns, A., Cheylan, M., Cogălniceanu, D., Crnobrnja-Isailović, J., Crochet, P. A., Crottini, A., Doronin, I., Džukić, G., Géniez, P., Ilgaz, Ç., Iosif, R., Jandzik, D., Jelić, D., Litvinchuk, S. N., Ljubisavljević, K., Lymberakis, P., Mikuliček, P., **Mizsei, E.**, Moravec, J., Najbar, B., Pabijan, M., Pupins, M., Sourrouille, P., Strachinis, I., Szabolcs, I. M., Thanou, E., Tzoras, E., Vergilov, V., Vörös, J., Gvozdík, M.: The distribution and biogeography of slow worms (*Anguis*, Squamata) across the Western Palearctic, with an emphasis on secondary contact zones.
Amphib. Reptil. 42, 519-530, 2021. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-bja10069>
IF: 1.839 (2020)





11. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Golemaj, A., Jablonski, D.: The Moorish gecko, *Tarentola mauritanica* Linnaeus, 1758 (Squamata, Phyllodactylidae), in Albania.
Herpetozoa. 34, 159-162, 2021. ISSN: 1013-4425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/herpetozoa.34.e69381>
IF: 0.841 (2020)
12. Freitas, I., Ursenbacher, S., Mebert, K., Zinenko, O., Schweiger, S., Wüster, W., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailović, J., Halpern, B., Fahd, S., Santos, X., Pleguezuelos, J. M., Joger, U., Orlov, N., **Mizsei, E.**, Lourdais, O., Zuffi, M. A. L., Strugariu, A., Zamfirescu, Ş. R., Martínez-Solano, Í., Velo-Antón, G., Kaliontzopoulou, A., Martínez-Freiría, F.: Evaluating taxonomic inflation: towards evidence-based species delimitation in Eurasian vipers (Serpentes: Viperinae).
Amphib. Reptil. 41 (3), 285-311, 2020. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-bja10007>
IF: 1.839
13. Németh, A., Csorba, G., Laczkó, L., **Mizsei, E.**, Bereczki, J., Pásztor, J. A., Petró, P., Sramkó, G.: Multi-Locus Genetic Identification of a Newly Discovered Population Reveals a Deep Genetic Divergence in European Blind Mole Rats (Rodentia: Spalacidae: Nannospalax).
Ann. Zool. Fenn. 57 (1-6), 89-98, 2020. ISSN: 0003-455X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5735/086.057.0110>
IF: 1.324
14. Lengyel, S., Mester, B., Szabolcs, I. M., Szepesváry, C., Szabó, G., Polyák, L., Boros, Z., **Mizsei, E.**, Málnás, K., Mérő, T. O., Aradi, C.: Restoration for variability: emergence of the habitat diversity paradigm in terrestrial ecosystem restoration.
Restor. Ecol. 28 (5), 1087-1099, 2020. ISSN: 1061-2971.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/rec.13218>
IF: 3.404
15. Mester, B., Szepesváry, C., Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Mérő, T. O., Málnás, K., Lengyel, S.: Salvaging bycatch data for conservation: Unexpected benefits of restored grasslands to amphibians in wetland buffer zones and ecological corridors.
Ecol. Eng. 153, 1-10, 2020. ISSN: 0925-8574.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105916>
IF: 4.035
16. Szentiványi, T., Haelewaters, D., Rádai, Z., **Mizsei, E.**, Pfliegler, V. P., Báthori, F., Tartally, A., Christe, P., Glazot, O.: Climatic effects on the distribution of ant- and bat fly-associated fungal ectoparasites (Ascomycota, Laboulbeniales).
Fungal Ecol. 39, 371-379, 2019. ISSN: 1754-5048.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2019.03.003>
IF: 2.656





17. Dufresnes, C., Strachinis, I., Suriadna, N., Myktynets, G., Cogălniceanu, D., Székely, P., Vukov, T., Arntzen, J. W., Wielstra, B., Lymberakis, P., Geffen, E., Gafny, S., Kumlutaş, Y., Ilgaz, Ç., Candan, K., **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Kolenda, K., Smirnov, N., Géniez, P., Lukanov, S., Crochet, P. A., Dubey, S., Perrin, N., Litvinchuk, S. N., Denoël, M.: Phylogeography of a cryptic speciation continuum in Eurasian spadefoot toads (*Pelobates*).
Mol. Ecol. 28 (13), 3257-3270, 2019. ISSN: 0962-1083.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/mec.15133>
IF: 5.163
18. Jablonski, D., Szabolcs, I. M., Simović, A., **Mizsei, E.**: Color and pattern variation of the Balkan whip snake, *Hierophis gemonensis* (Laurenti, 1768).
Turk. J. Zool. 41, 363-369, 2017. ISSN: 1300-0179.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3906/zoo-1606-15>
IF: 0.558
19. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Vági, B., Mester, B., Végvári, Z., Lengyel, S.: Distribution and diversity of amphibians in Albania: new data and foundations of a comprehensive database.
Amphib. Reptil. 38 (4), 435-448, 2017. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003126>
IF: 1.105
20. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Végvári, Z., Lengyel, S., Szabolcs, I. M.: Distribution and diversity of reptiles in Albania: a novel database from a Mediterranean hotspot.
Amphib. Reptil. 38 (2), 157-173, 2017. ISSN: 0173-5373.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/15685381-00003097>
IF: 1.105
21. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**: First record of the eastern spadefoot toad (*Pelobates syriacus* Boettger, 1889) in Albania.
North-West. J. Zool. 13, 175-176, 2017. ISSN: 1584-9074.
IF: 0.596
22. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**: First record of the eastern spadefoot toad (*Pelobates syriacus* Boettger, 1889) in Albania.
North-West. J. Zool. 13, 175-176, 2017. ISSN: 1584-9074.
IF: 0.596
23. Molnár, V. A., Takács, A., **Mizsei, E.**, Löki, V., Barina, Z., Sramkó, G., Tökölyi, J.: Religious differences affect orchid diversity of Albanian graveyards.
Pak. J. Bot. 41 (1), 289-303, 2017. ISSN: 0556-3321.
IF: 0.75





24. Kundrát, J. T., Gyulai, I., Simon, E., **Mizsei, E.**, Braun, M., Tóthmérész, B.: Study of the effects of high levels of nutrients on seed germination and root elongation.
Pol. J. Environ. Stud. 26 (4), 1585-1590, 2017. ISSN: 1230-1485.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/68879>
IF: 1.12
25. **Mizsei, E.**, Uhrin, M., Jablonski, D., Szabolcs, I. M.: First records of the Italian wall lizard, *Podarcis siculus* (Rafinesque-Schmaltz, 1810) (Squamata: Lacertidae) in Albania.
Turk. J. Zool. 40, 814-817, 2016. ISSN: 1300-0179.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3906/zoo-1601-22>
IF: 0.785
26. **Mizsei, E.**, Üveges, B.: Novel defensive behaviours of both sexes of *Vipera ursinii graeca* (Serpentes: Viperidae).
Herpetol Notes. 5, 481-483, 2012. ISSN: 2071-5773.

Hungarian abstracts (13)

27. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Cogălniceanu, D., Iosif, R., Strachinis, I., Tzoras, E., Sós, T., Speybroeck, J., Ilgaz, Ç., Burić, I., Vörös, J., Lengyel, S., Végvári, Z., Bán, M., Szabolcs, I. M.: A Balkán-félsziget természetvédelmi prioritásai herpetológiai szempontból: a Balkan Herps projekt előzetes eredményei.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 26, 2019.
28. Mór, A., **Mizsei, E.**, Heltai, M., Márton, M.: Borz és róka hullópredációja a rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) kiskunsági élőhelyein.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 15, 2019.
29. Fejes, Z. A., Vadász, C., Malatinszky, Á., **Mizsei, E.**: Hullópulációk abundanciaviszonyai és az azokat befolyásoló vegetációs szerkezeti elemek egy rekonstruált rákosi vipera-élőhelyen.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 14, 2019.
30. **Mizsei, E.**, Boros, Z., Lovas-Kiss, Á., Szepesváry, C., Szabolcs, M., Rák, G., Ujszegi, J., Gál, Z., Lengyel, S., Puskás, G.: Legyen lomha és nagy: préda jellegek határozzák meg a szélsőségesen specialista görög karsztvipera (*Vipera graeca*) zsákmányválasztását.
In: VI. Herpetológiai Előadótűlés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 16, 2019.
31. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: A görög karsztvipera (*Vipera graeca*) élőhelyeinek természetvédelmi rangsorolása.
In: XI. Magyar Természettudományi Biológia Konferencia : Absztrakt kötet / Szerkesztette: Mizsei Edvárd és Szepesváry Csaba, Magyar Biológiai Társaság, Budapest, 111-112, 2017.





32. Szabolcs, I. M., Jablonski, D., Lengyel, S., Végvári, Z., **Mizsei, E.**: Az albán herpetofauna természetvédelmi értékelése.
In: V. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 15, 2016.
33. **Mizsei, E.**, Végvári, Z., Jablonski, D., Lengyel, S., Szabolcs, I. M.: Kétélűek és hüllők elterjedése és diverzitása Albániában.
In: V. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 14, 2016.
34. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Vági, B., Puskás, G., Lengyel, S.: Gyakran ismételt kérdések és válaszok a görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) kapcsolatban.
In: 17. Kolozsvári Biológus Napok : Kivonatfüzet, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 35, 2015.
35. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B.: A görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) természetvédelmi helyzete.
In: IV. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 27, 2014.
36. **Mizsei, E.**: A távolsági mintavétel alkalmazása vöröshasú unka (Bombina bombina) és görög karsztvipera (Vipera 'ursinii' graeca) állományok denzitásbecslésére.
In: IV. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 24, 2014.
37. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Tóth, J. P.: A görög karsztvipera (Vipera ursinii graeca) elterjedési modellje és annak tesztelése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 5, 2012.
38. **Mizsei, E.**, Rahmé, N., Kotán, A., Németh, T.: A libanoni hegyvipera (Montivipera bornmuelleri) An-Nusayriyah-hegységi (Szíria) előfordulásának megerősítése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 30, 2012.
39. **Mizsei, E.**: Két rendkívül ritka lándzsakígyó-faj, a Bothriopsis pulchra és a Bothrocophias campbelli nevezéktani problémáinak áttekintése.
In: III. Herpetológiai Előadókülés : Előadások összefoglalói, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 31, 2012.





Foreign language abstracts (17)

40. **Mizsei, E.**, Jablonski, D., Cogălniceanu, D., Ruben, I., Strachinis, I., Tzoras, E., Sós, T., Speybroeck, J., Ilgaz, Ç., Burić, I., Vörös, J., Lengyel, S., Végvári, Z., Bán, M., Szabolcs, I. M.: Balkan herps project: spatial conservation priorities for the amphibians and reptiles in the Balkan Peninsula.
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 44, 2019. ISBN: 9791220052849
41. Móré, A., **Mizsei, E.**: Predation on the endangered Hungarian meadow viper (*Vipera ursinii rakosiensis*) by badger (*Meles meles*) and fox (*Vulpes vulpes*).
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 76, 2019. ISBN: 9791220052849
42. Martínez-Freiría, F., Freitas, I., Mebert, K., Zinenko, O., Schweiger, S., Wüster, W., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailović, J., Alpern, B., Fahd, S., Santos, X., Pleguezuelos, J. M., Joger, U., Orlov, N., **Mizsei, E.**, Lourdais, O., Zuffi, M. A. L., Strugariu, A., Zamfirescu, Ş. R., Martínez-Solano, Í., Velo-Antón, G., Kaliontzopoulou, A., Ursenbacher, S.: Towards evidence-based species delimitation in Eurasian vipers.
In: XX. European Congress of Herpetology : Programme & Abstracts, University of Milan, Milano, 102-103, 2019. ISBN: 9791220052849
43. **Mizsei, E.**: Protected areas mismatch spatial conservation priorities of amphibians and reptiles in the Balkan Peninsula - the Balkan Herps project.
In: Student Conference on Conservation Science : Talks and posters of the 4th SCCS Europe, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2018.
44. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Szabó, L., Boros, Z., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper I: threats.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 36, 2017.
45. Szabolcs, I. M., **Mizsei, E.**, Szabó, L., Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper II: spatial prioritization.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 37, 2017.
46. **Mizsei, E.**: Uninvited conservation of venomous snakes.
In: Student Conference on Conservation Science, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2016.
47. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Vági, B., Lengyel, S.: How to jump ahead if you know nothing? Case studies from the Greek meadow viper (*Vipera ursinii graeca*) conservation project.
In: Student Conference on Conservation Science : SCCS Hungary 2015 Abstracts, Ökológiai Kutatóközpont, Budapest, 1, 2015.
48. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M.: A missing piece of the Balkan viper puzzle: distribution and conservation threats of vipers in Albania.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 53, 2014.





49. **Mizsei, E.**, Szabolcs, M., Üveges, B., Vági, B.: Conservation efforts and grazing exclusion study of the endangered *Vipera ursinii graeca* in Albania - preliminary results.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 54, 2014.
50. Mack, E. W., Roussos, S. A., Dimaki, M., **Mizsei, E.**, Kokkini, P., Densmore III, L. D.: Predicting activity of the Greek Meadow Viper (*Vipera ursinii graeca*) using environmental data from the Pindos.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 29, 2014.
51. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Vági, B., Roussos, S. A., Tóth, J. P., Ioannidis, Y.: Present and future of an overlooked european viper: distribution, detectability, population size and conservation status of the Greek Meadow Viper, *Vipera graeca*.
In: 4th Biology of the Vipers Conference, [s.n.], Athen, 52, 2014.
52. Simon, E., **Mizsei, E.**, Kundrát, J. T., Gyulai, I., Braun, M., Tóthmérész, B.: Effects of thermal spring on elemental concentration of frog toe bones.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 290, 2013.
53. **Mizsei, E.**, Szabolcs, I. M., Katona, P., Lengyel, S.: Evidence for niche conservatism in the *Vipera ursinii* complex.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 150, 2013.
54. **Mizsei, E.**, Üveges, B., Tóth, J. P.: Use of distribution modelling for exploring new localities of an endangered European viperid, *Vipera ursinii graeca*.
In: 17th European Congress of Herpetology Veszprém, Hungary : Programme & Abstracts, University of Pannonia, Veszprém, 149, 2013.
55. **Mizsei, E.**, Üveges, B.: Confirming the presence of *Vipera ursinii graeca* in Albania with regards of a new locality: preliminary results.
In: SEH European Congress of Herpetology & DGHT Deutscher Herpetologentag, Societas Europaea Herpetologica : Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde, Luxembourg ; Trier, 53, 2011.





56. Mizsei, E., Üveges, B.: Novel defensive behaviours in both sexes of *Vipera ursinii* *graeca* (Serpentes: Viperidae).

In: SEH European Congress of Herpetology & DGHT Deutscher Herpetologentag, Societas Europaea Herpetologica : Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde, Luxembourg ; Trier, 115-116, 2011.

Total IF of journals (all publications): 38,252

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 9,351

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

07 March, 2022



