

SZENT ISTVÁN EGYETEM

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISE



**KONZERVÁCIÓBIOLÓGIAI KUTATÁSOK A MAGYARORSZÁGI
HARAGOSSIKLÓ-POPULÁCIÓKON
(SQUAMATA: COLUBRIDAE: *DOLICHOPHIS CASPIUS*)**

Bellaagh Mátyás

Gödöllő

2012.

A Doktori Iskola

Megnevezése : Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola

Tudományága: Környezettudomány

Vezetője: **Dr. Heltai György**
az MTA doktora, tanszékvezető, egyetemi tanár
SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet
Kémia és Biokémia Tanszék

Témavezető: **Dr. Báldi András**
az MTA doktora, főigazgató
MTA Ökológiai Kutatóközpont

Külső konzulens: **Dr. Korsós Zoltán**
a biológia tudomány kandidátusa, főmuzeológus
MTA Állattár

.....
Az iskolavezető aláírása

.....
A témavezető aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
A TÉMA AKTUALITÁSA, JELENTŐSÉGE	4
PROBLÉMAFELVETÉSEK, CÉLKITŰZÉSEK	5
ANYAG ÉS MÓDSZER	6
EREDMÉNYEK	9
KONKLÚZIÓK, EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA	14
IRODALOMJEGYZÉK	19
A DOKTORI ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK	21

1 A TÉMA AKTUALITÁSA, JELENTŐSÉGE

A haragos sikló (*Dolichophis caspius*) egészen a XX. század végéig Magyarország egyik legkevésbé ismert hüllőfaja volt. Jóllehet a faj magyar nevét etológiai megfigyelésekre alapozva kapta, sem biológiájáról, sem életmódjáról, de még pontos Kárpát-medencei elterjedéséről sem rendelkezünk egyértelmű, megbízható adatokkal. Szerény ismeretünk nem csupán a haragos sikló rejtőzködő életmódjának volt köszönhető, élőhelyeinek nehéz megközelíthetősége és a faj nehéz terráriumi tartása sem könnyítette meg a faj iránt érdeklődő herpetológusok adatgyűjtését (DELY 1997). Az első hiánypótló dolgozat, amely a fokozottan védett Szársomlyó Természetvédelmi Terület herpetofaunáját a mutatja be, részben a haragos sikló legnagyobb hazai populációjának leírásával is foglalkozik (DUDÁS 2001). Mivel részben e dolgozat valamint korábbi adatgyűjtésünk alapján a haragos siklóra is kidolgozásra került egy a KvVM által koordinált fajmegőrzési terv (BAKÓ, BELLAAGH 2004) – amely alapját képezi az egyes állományok védelmi koncepciójának – végrehajtásához, azaz a faj élőhelyeinek rekonstrukciójához illetve hathatós védelméhez elengedhetetlenül szükségessé vált a faj élőhelyi igényeinek alaposabb feltérképezése.

A közép-európai, így a hazai haragossikló-állományok pontos taxonómiai helyzete - amelynek megállapítására több vizsgálat is irányult (NAGY *et al.* 2004) – egészen a közelmúltig is vitákra adott okot. Nemcsak a faj rendszertani besorolása, de a hazai és az országtól délre eső területeken, a Balkán-félszigeten és Kis-Ázsiában élő állományok közötti kapcsolat sem tisztázott.

A haragos sikló Magyarországon található állományai a faj legészakibb és egyben legnyugatibb populációi, amelyek a Balkán-félszigeten és Kis-Ázsiában található állományaitól az utolsó glaciálist követő diszperzió során juthattak el a Kárpát-medencébe. Az egyes hazai populációk ezt követően, élőhelyeik fokozatos fragmentálódásának következtében izolálódhattak egymástól. A faj korábbi, Magyarország területéről ismert természetes élőhelyei az elmúlt 100 év során fokozatosan eltűntek vagy feldarabolódtak, helyüket a települések, valamint agro-ökoszisztémák és egyéb, megváltozott környezeti feltételeket kínáló élőhelyek váltották fel. A megmaradt élőhelyek megóvásához mind inkább szükségessé vált az egyes élőhelyeket veszélyeztető tényezők összesítése is, amely a faj élőhelyi igényének ismeretével társulva kiemelkedően fontos bemenő adata az egyes élőhelyekre kidolgozandó területkezelési

koncepcióknak.

Az eddig kifejezetten szűk környezeti toleranciájúnak tartott haragos sikló az elmúlt években új, eddig nem ismert lelőhelyekről került elő (KORSÓS *et al.* 2002). Ezek a lelőhelyek korábbi, feltételezhetően nagyobb kiterjedésű élőhelyek fragmentumai, amelyek urbanizált és a mezőgazdaság által használt területek mátrixában elhelyezkedő fragmentumoknak tekinthetők. Feltételezve, hogy a recens élőhelyek egy egykori nagyobb kiterjedésű élőhely maradványai, nemcsak a Budai-hegységben, de az újonnan felfedezett paksi állomány lelőhelyének közelében is indokoltá vált a hasonló környezeti feltételeket nyújtó, potenciális élőhelyfoltok felderítése.

2. PROBLÉMAFELVETÉSEK, CÉLKITŰZÉSEK

A fent említett ismeretek és hiányosságok alapján munkám célkitűzése volt, hogy hazánk egyik legkevésbé ismert és egyik legkritikábnak tartott hullófajáról, a haragos siklóról új, a tudomány és a gyakorlati természetvédelem számára is hasznos információkkal szolgáljak.

Munkám megkezdése során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

- dolgozatomban egyesíteni a Magyarországon található egykori és recens haragossikló-állományokról szóló, mind szakirodalmi, mind terepi kutatásaink során gyűjtött ismereteket, ezzel a faj hazai elterjedését aktualizálni,
- meghatározni, azokat a természetes élőhelyi paramétereket, amelyek a haragos sikló adott területen való előfordulását előre jelezhetik,
- a legnagyobb hazai haragossikló-populáció fejlődési stabilitásáról, természetességi állapotáról, életminőségéről fluktuáló aszimmetria vizsgálatokkal számszerű információkat adni,
- feltárni a magyarországi haragossikló-élőhelyeket veszélyeztető természetes és antropogén hatásokat, javaslatokat megfogalmazni az egyes élőhelyek hathatós megőrzésének érdekében,
- molekuláris genetikai módszerek segítségével feltárni az egyes hazai haragossikló-populációk közötti genetikai kapcsolatokat, amelyek segítségével a faj Kárpát-medencei kolonizációs útvonala, elterjedés-története leírható.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A haragos sikló magyarországi élőhelyeinek feltérképezése

A faj hazai elterjedésének aktualizálása céljából a korabeli leírások alapján az élőhelyeket az első, második és harmadik katonai felvételezés, később a sorra megjelenő polgári felhasználású térképeken azonosítottam. Azokat az élőhelyfoltokat, amelyek térképi információk valamint irodalmi adatok (DOBOLYI 2001), és előzetes terepbejárásaim eredményei szerint természetes állapotban fennmaradtak, rendszeresen vizsgáltam. Terepbejárásaimat tavasztól ősziig, a tavaszi és az őszi vedlési időszak idején, illetve április és szeptember között kéthavonta végeztem. Az ország területéről régóta ismert két (Budai-hegyek, Szársomlyó) haragos sikló elterjedési adat után Paks határában a faj újabb élőhelyét fedezték fel (KORSÓS *et al.* 2002). A terület vegetációját alapul véve légifelvételeken lehatároltam azokat, a Mezőföld Dunával határos területein elhelyezkedő foltokat, amelyek további potenciális élőhelyként szolgálhatnak a faj számára. Ezek alapján kezdtem meg a Mezőföld keleti peremvidékének vizsgálatát. A vizsgálatba bevont területek: Dunaújváros és Kisapostag közötti löszterületek, Dunaföldvártól északra lévő Dunaparti löszfalak, Bölske és Madocsa települések közötti löszfalak, Paks és Dunakömlőd közötti szőlőhegy, Dunaszekcső Várhegy.

Fluktuáló aszimmetria

A Villányi-hegységben végzett adatgyűjtés során több bilaterális morfológiai karaktert rögzítettem (periocularis, supralabialis, sublabialis, lorealis, nasalis, dorsalis, ventrális, subcaudális pajzsok száma). Ezek közül jelen vizsgálat során öt karakter [periocularis, supralabialis, sublabialis, lorealis, nasalis pajzsok a test jobb (J) és bal (B) oldalán] numerikus értékei kerültek további felhasználásra. Ahhoz, hogy karakterek alapján számítható index-értékek segítségével jellemezzük a villányi-hegységi haragossikló-populáció fejlődési stabilitását, amely magába foglalja a környezeti és belső populációs stresszorokat is, szükségünk volt összehasonlítási alapra. Magyarországon más, a villányi-hegységihez hasonló „nagy” egyedszámmal rendelkező haragossikló-állomány nem él, így a haragos siklók adatai alapján számított indexeket kockás siklóktól (*Natrix tessellata* LAURENTI, 1768) származó morfológiai adatok indexeivel vettem össze. Ezen adatok egy erősen zavart élőhelyről (Mád), valamint egy nagy kiterjedésű, természetközeli állapotú élőhelyről (Balaton) lettek begyűjtve (HERCZEG *et al.*

2005). Mind a haragos sikló, mind a kockás sikló esetében azonos morfológiai bélyegeket vontam az elemzésbe. A továbbiakban az aszimmetria-indexek közül az FA1 és FA5 egy-egy morfológiai karakteren alapuló, valamint az FA11 és FA12 több morfológiai bélyegen alapuló indexek (PALMER 1994) értékeit határoztam meg. Az összetett indexek – FA11 és FA12 – a különböző morfológiai karakterek kombinált összehasonlítását tették lehetővé. A három populációt (Szársomlyó /Villány/, Mád és Balaton) egyedeik bélyegenkénti abszolút aszimmetriája – |J-B| – alapján indexek számítása nélkül is összehasonlítottam. Ezzel az általam használt bélyegek hatékonyságára (azaz aszimmetriajelző képességére) és egymásra hatására kívántam következtetni.

Habitatpreferencia

Az élőhely-preferencia vizsgálataimhoz terepi adatgyűjtést a Szársomlyón végeztem. A felvételezést 51 kvadrátban végeztem el, 36 pont (S) haragossikló-észlelések helyén, 15 pontot random (R) módon papír alapú térképen jelöltem ki. A vizsgált terület élőhely-szerkezeti paramétereit 2x2 és 5x5 méteres kvadrátban becsültem. A 2x2 méteres kvadrátokban a lágyszárú növényborítást, fás szárú borítást, fűmagasságot, szabad sziklafelszín és szabad talajfelszín területi részarányát valamint a terület meredekségét vizsgáltam. A 2x2 méteres kvadrátokkal egyező középpontú, 5x5 méteres kvadrátokban vizsgáltam a vegetációs szegélyhosszat. A táj összetételének és szerkezetének szerepét a faj élőhely-választásával kapcsolatban, nagyobb léptékben is elemeztem. A nagyobb léptékű, tájstruktúra vizsgálatához az S és R pontok köré 25, 50 és 100 méter sugarú köröket vettem fel. E körökben az ArcWiew (ESRI 2000) program segítségével légifelvételeken lehatároltam a fás szárú foltokat, amely alapján a fás szárú és lágyszárú borítást, valamint a szegélyek hosszát megkaptam. Szintén vizsgáltam az élőhely meredekségének és a haragos sikló élőhely-választásának összefüggését. A vizsgálathoz az előzőekben kijelölt pontokat és azoknak 25, 50 és 100 méter sugarú környezetét vettem alapul. A terület meredekségére vonatkozó alapadatokat MapInfo program segítségével 1,5 x 1,5 méter felbontású hálózatos lejtőadatbázisból számítottam.

Az egyes élőhelyeket veszélyeztető tényezők feltárása

Az egyes hazai haragossikló-élőhelyeket veszélyeztető faktorokat antropogén és természetes eredetű tényezőkre osztottam fel. Az egyes veszélyeztető tényezőknek az adott élőhelyre

gyakorolt hatását 0-1 értékekkel, jelenlét-hiány alapon jelöltem. Az élőhelyek veszélyeztetettségének megállapítása során az élőhelyek kapott értékeit jogi védettségük alapján súlyoztam. Mivel az egyes élőhelyek területi kiterjedése is befolyásolja az ott élő populációk fennmaradási esélyeit, az élőhelyeket területük alapján 3 csoportba soroltam, és ezeknek megfelelő pontszám került az értékelő táblázatba. A veszélyeztető tényezők súlyát az egyes élőhelyeken való megjelenésük alapján számszerűsítettem. Ennek elméleti maximum értéke megegyezik a vizsgált haragossikló-élőhelyek számával, vagyis minél több hazai élőhelyre gyakorol jelentős negatív hatást a vizsgált faktor, annál magasabb ez az érték. Az élőhelyek veszélyeztetettségi pontszáma az ott megnyilvánuló veszélyeztető tényezők számának összege, amely figyelembe veszi a terület jogi védettségét is.

Genetikai vizsgálatok

A genetikai vizsgálatokhoz mind terepen levett vérmintákat, mind levedlett pikkelyingeket, elhullott példányokból vett szövetmintákat mind, pedig közgyűjteményi példányokból vett szövetmintát valamint génbanki izolált DNS mintákat használtam. Közgyűjteményi példányokat a Magyar Természettudományi Múzeum, a Bécsi és a Belgrádi Természettudományi Múzeum herpetológiai gyűjteményében vizsgáltam. A DNS izolálást megelőzően a minták kiválasztásánál a területi reprezentativitás szem előtt tartása mellett elsőrendű szempont volt a minták frissessége. A DNS tisztítást standard fenol-kloroformos módszerrel végeztem el (SAMBROOK *et al.* 1989, BRICKER *et al.* 1996). A haragos siklóktól származó szövetmintából izolált extranukleáris citokróm *b* fehérjekódoló gén szekvenálását „A Kárpát-medence állattani értékei, faunájának gócterületei és genezise” című NKFP-projekt (3B023-04) program keretében a Royal Belgian Institute of Natural Sciences molekuláris genetikai laborjában végezték el. Az intézet munkatársaitól kapott szekvenciák kiértékelésére Magyarországon került sor a MEGA4 (TAMURA *et al.* 2007) és a PAUP*4.0b10 (SWOFFORD 2002) programcsomagok segítségével. Az összesen 46 mintából származó 1117 bázispár hosszúságú szekvenciákon először egy egyszerű szomszéd-összevonó elemzést végeztem, hogy megállapítsam, mely minták tartoznak egy haplotípusba. Az egy haplotípusba tartozó minták közül egyet kiválasztottam és a további elemzésekhez mindig ugyanannak az egy kiválasztott egyednek szekvenciáit használtam. Alkalmazott elemzési módszerek: Maximum Parsimony, Neighbour Joining, Maximum Likelihood, Bayes-féle filogenezis-analízis, TCS alalízis.

4. EREDMÉNYEK

A haragos sikló magyarországi élőhelyeinek feltérképezése

Vizsgálataim során felfedezett, új haragossikló-élőhelyek: Szállás-hegy (Budai-hegyek), Dunaszekcső, Dunaújváros, Dunaföldvár (BELLAAGH *et al.* 2008).

Az egyes élőhelyek vizsgálatának eredményeit a faj előfordulásával kapcsolatosan az alábbi táblázatban adom meg. Az egyes élőhelyek részletesebb leírását a doktori dolgozat tartalmazza.

Élőhely	Réccens	Kipusztult	Új felfedezés
Újlaki-hegy		X	
Mátyás-hegy		X	
Sas-hegy	X		
Csíki-hegyek	X		
Szállás-hegy	X		X
Törökugrató		X	
Dunaújváros	X		X
Dunaföldvár	X		X
Paks - Dunakömlőd	X		
Dunaszekcső	X		X
Szársomlyó	X		

A terepi tapasztalataink alapján a további potenciális lelőhelyeket ott vélelmezhetjük, ahol a mezőföldi, Duna menti löszterületek vertikálisan kellően tagoltak. További vizsgálandó területek a Mezőföld keleti peremvidékén a Duna jobb partján helyezkednek el. Ezek a Kulcs és Rácalmás illetve Érd és Százhalombatta közötti löszterületek, amelyek jelentős hasonlóságot mutatnak a Dunaföldvári és Paksi lelőhelyekkel.

Amennyiben ezeken a területeken a faj jelenlétét megállapíthatjuk, a haragos sikló elterjedési térképe újabb két UTM négyzettel bővíthet.

Fluktuáló aszimmetria (FA)

Az egyes vizsgált populációk sublabiális pajzsainak adatsorából képzett FA-értékeinek összehasonlítása során szignifikáns különbségeket találtunk a mádi és a balatoni kockássikló-populáció között az FA1 és FA5 index értékeiben. A mádi élőhelyen található kockássikló-

populációban mindkét indexre számított FA értéke nagyobbak adódott, mint a balatoni populáció esetén. Szignifikáns különbség mutatkozott a mádi kockássikló- és a villányi haragossikló-populációt jellemző FA1 és FA5 index értékek között. A villányi haragossikló-populációban számított FA indexek értékei jelentősen kisebbek voltak, mint ugyanezen indexek értékei a mádi kockássikló-populációban. A balatoni kockássikló- és a villányi haragossikló-állományt jellemző FA1 és FA5 index érték adatok között nem mutatható ki szignifikáns eltérés. A fent bemutatottakkal megegyező eredményt kaptuk az összetett indexek FA11 és FA12 értékeinek összehasonlítása esetében is. A periocularis pajzsok adatsoraiból képzett egyszerű indexek értékei nem mutattak szignifikáns eltérést az egyes populációk között. A vizsgált két (sublabiális és periocularis pajzsok) bélyeg fejlődési stabilitása egymástól szignifikánsan nem tér el. Megállapítottam, hogy a három populáció közötti eltérés csupán a sublabiális pajzsok figyelembe vétele esetén is detektálható mivel a sublabialis pajzsok adatai az egyes populációkban mérhető aszimmetria értékét döntően prediktálták. A két morfológiai karakter értékei nem mutattak korrelációt.

Habitatpreferencia

Az adatkéértékelés során alkalmazott módszerek segítségével el tudtuk különíteni, melyek azok a főbb élőhelyi jellemzők, amelyek a haragos sikló adott területen való előfordulását valószínűsíthetik. A 2x2 méteres kvadrátokban mért élőhely-jellemzők esetén a fűmagasság, a lágyszárú és a fás szárú borítottság esetében nem találtunk szignifikáns különbséget a haragos sikló által bizonyítottan használt és a random pontok között. A szabad sziklafelszín és a szabad talajfelszín értékei szignifikáns különbséget mutattak a két pontcsoport között. A meredekség értékek az S (sikló) és R (random) pontok között szignifikáns különbséget mutattak. A siklók által használt területek meredekebbek voltak a random kijelölt területeknél. A szegélyhossz esetén, szignifikáns különbséget találtunk a haragos sikló által bizonyítottan használt és a random módon kijelölt pontok között. A sikló a nagyobb szegélyhossz értékkel rendelkező területeket preferálta. Az S és R pontok körül mind a három (25, 50 és 100 méter sugarú) terület esetében szignifikáns különbség adódott a szegélyhosszak tekintetében. Tehát a haragos sikló által bizonyítottan használt területek esetében a szegélyhossz nagyobbak adódott, mint a random pontok esetében. Hasonló léptékben elemezve a gyepterület-arányok vizsgálatának eredményeként szignifikáns különbség csak a 100 méter sugarú területek esetében adódott, a random pontok javára. A gyepterület növekedése és a sikló prezenciája negatív, míg a fás szárú

borítás növekedése és a sikló jelenléte pozitív összefüggést mutatott. A meredekség tekintetében szignifikáns különbség adódott a siklók által használt és a random módon kijelölt pontok között mind a 25, mind az 50 méter sugarú terület összehasonlítása során.

Az egyes élőhelyeket veszélyeztető tényezők feltárása

A vizsgált haragossikló-élőhelyek elméleti maximális veszélyeztetettségi pontszáma 24 pontnak adódott. A legmagasabb pontszámot (14 pont) a kis kiterjedésű nem védett területen található haragossikló-élőhelyek érték el. A kapott veszélyeztetettségi pontszámok alapján a récens haragossikló-élőhelyeket három veszélyeztetettségi kategóriába soroltam. A közvetlenül nem veszélyeztetett élőhelyek csoportjába azok a területek kerültek, amelyek veszélyeztetettségi pontszáma 1 és 4 közé esett. Ebbe a csoportba csak jelenleg is törvényi védettséget élvező élőhelyek kerültek (Szársomlyó, Sas-hegy). A veszélyeztetett élőhelyek közé tartozó területek 5 és 10 pont közötti élőhelyek (Farkas-hegy, Szállás-hegy, Mátyás-hegy, Paks) szigorú védelmi intézkedések bevezetésével, valamint élőhely-rekonstrukciós munkák elvégzésével még megmenthetőnek látszanak. A fokozottan veszélyeztetett élőhelyeknek számítanak azok a területek, amelyek veszélyeztetettségi pontszáma a 10 pontot meghaladta (Dunaújváros, Dunaföldvár, Paks, Dunaszekcső). Megőrzésük érdekében az első lépés a törvényi védettség kell, hogy legyen. Ezekre a területekre jellemző, hogy pillanatnyilag semmilyen védettséget nem élveznek, valamint mind emberi, mind természetes tényezők által egyaránt fenyegetettek. A legnagyobb hatással és ezért pontértékkel rendelkező veszélyeztető tényezőnek a terület mérete mellett az invazív növények térhódítása és az emberi zavarás adódott. E két tényezőt közvetlenül követi a mezőgazdaság által okozott közvetlen területfoglalás. Szintén jelentős kockázati tényezőként szerepel az élőhelyek fennmaradása tekintetében a külszíni bányászat és a beépítés és a dunaújvárosi és dunaföldvári élőhely esetén közvetlenül is jelentkező terepmotorozás. Az egyes élőhelyek kis területi kiterjedése szintén potenciális veszélyforrásként tartandó számon, mivel a kis területek jóval kevésbé ellenállóak akár az emberi hatásokkal, akár pedig a nem kívánatos természetes folyamatokkal szemben.

Genetikai vizsgálatok

A begyűjtött szövetminták közül összesen 49 mintából sikerült kivonni a további elemzésekhez alkalmas minőségű és mennyiségű DNS-t. A minták a haragos sikló egész kelet-európai és kis-

ázsiai elterjedési területét lefedték. A teljes hosszúságban (1117 bp) szekvenált *cit-b* gén szekvenciái alapján egyszerű szomszédösszevonó módszer alkalmazásával 9 különböző haplotípust tudtam elkülöníteni. A haplotípusokat a belcsoporton belül 147 variábilis pozíció határozta meg. A maximum parszimónia elemzés során 23 parszimónikusan informatív karaktert találtam. A haplotípusok egymáshoz viszonyított kapcsolatának elemzése során két fő kláduszt tudtunk elkülöníteni. A két fő kládusz közötti különbség mind a három alkalmazott módszer esetén szignifikánsnak mutatkozott, azonban az egyes kláduszokon belüli rokonsági kapcsolatok nem egyértelműek. Az egyik fő kláduszba az Égei-tenger és a Márvány-tengertől keletre található populációk tartoznak. A másik kláduszt az európai lelőhelyekről származó minták alkotják. E kládusz magába foglalja a dél görög területektől egészen a Sas-hegyig terjedő területekről származó mintákat. A két kládusz közötti „átmeneti” állományt, a H8 és H9 haplotípusba tartozó populációk képeznek, melyek az Égei-tenger szigeteiről származnak. A további, egyes kláduszokon belüli rokonsági kapcsolatok nem egyértelműek, tekintve azok alacsony támogatottságait. Csupán egy esetben a H1 haplotípusba tartozó, Andros szigetéről származó minták különülnek el szignifikánsan az „európai” kládusz többi tagjától. A TCS 1.21 program segítségével végzett elemzések szintén két fő kláduszt eredményeztek. E két kládusz egymástól szignifikáns elkülönülést mutat. Egy rokonsági körbe kerültek a kelet-törökországi a Boszporusz környéki és az Égei-tenger keleti szigeteiről származó állományok, míg tőlük szignifikánsan elkülönülve található az európai területek állományai. Legősibb haplotípusnak az európai állományokon belül a H5 csoport tekinthető.

Új tudományos eredmények

- Munkám során aktualizáltam a haragos sikló magyarországi elterjedését, új, eddig a természetvédelem számára ismeretlen élőhelyeket térképeztem fel.
- A haragos sikló valamennyi ismert hazai élőhelyét tanulmányozva feltérképeztem azon környezeti tényezőket, amelyek az egyes élőhelyeket és közvetve az ott élő fokozottan védett siklóállományokat veszélyeztethetik, ezek a(z): élőhelyek méretének csökkenése, külszíni bányászat, mezőgazdasági művelés közvetlen területhasználata, beépítés, illegális látogatás és hulladék-elhelyezés, invazív növényfajok okozta vegetációs szerkezet-átalakulása, szukcesszió és az erózió.
- Az élőhelyeket veszélyeztetettségi kategóriákba soroltam, illetve javaslatokat

fogalmaztam meg az egyes élőhelyek tartós fennmaradását biztosító intézkedések megtételéhez.

- Élőhely-preferencia vizsgálatokat végezve felmértem azon élőhelyi paramétereket, amelyek alapján a haragos sikló eddig ismeretlen élőhelyei is előre jelezhetők.

Kimutattam, hogy a haragos sikló preferálja a meredek élőhelyeket, illetve azokat a területeket, amelyek kis léptékben is jelentős vertikális tagoltságot mutatnak. Szintén preferálja azokat az élőhelyeket, amelyek területén szegély jellegű vegetáció található, ezért az egyes rekonstrukciós beavatkozások során az ilyen jellegű élőhelyek megtartása, kialakítása jelentős pozitív hatással lehet a faj fennmaradása szempontjából. A faj jelenléte és az élőhelyeken található szabad sziklafelszín között is pozitív kapcsolat áll fenn. A közvetett habitatpreferencia vizsgálataim eredményei alapján a gyakorlati természetvédelem, élőhely-rekonstrukció során is felhasználható adatokkal szolgáltam a haragos sikló élőhelyekkel szemben támasztott igényeivel kapcsolatosan

- Összehasonlító fluktuáló aszimmetria vizsgálatot végezve információval szolgáltam a legnagyobb magyarországi haragossikló-állomány fejlődési stabilitásáról. Az összevetések során megállapítottam, hogy a szársomlyói haragossikló-populációban mérhető fluktuáló aszimmetria értéke szignifikánsan nem tér el egy zavarásmentes élőhelyen élő kockás sikló populációban mért aszimmetriától. A szársomlyói állomány tehát relatíve nagy fejlődési stabilitást mutat.
- Molekuláris genetikai módszerek segítségével feltártam az egyes hazai haragossikló-populációk közötti genetikai kapcsolatokat, valamint következtetéseket vontam le a faj jégkorszakot követő rekolonizációs útjával kapcsolatosan. Eredményeink alapján a haragos sikló elterjedési területén alapvetően két nagy haplotípus-kört tudunk elkülöníteni. A Kárpát-medencei állományok a Balkán-félszigeten honos H5 haplotípusba tartozó állományokkal mutatnak rokonságot, így megerősítést nyert az elmélet, amely szerint a faj jégkorszakot a Balkán-félszigeten feltételezett refúgiumban vészelte át.
- Kimutattam, hogy a szársomlyói haragos sikló állomány genetikai tekintetben jelentős különbséget mutat a többi (budai, paksi, dunaújvárosi és dunaföldvári) hazai populációhoz képest. A meglehetősen széles területi elterjedésű H5 haplotípustól – amely magába foglalja a Sas-hegytől a Duna-deltáig, illetve Balkánig húzódó lelőhelyeket is – szignifikánsan elkülönül a Szársomlyói (H6) haplotípus. Ez az elkülönülés a H5

haplotípustól jelentősebb, mint a Keleti-Balkán (H4) és a Trákiai (H7) haplotípusok szétválása, amely jelenség mögött az izolált, genetikai tekintetben sziget-populációkban (Szársomlyó H6) történő gyorsabb mértékű genetikai diverzitás-csökkenés jelensége állhat.

5. KONKLÚZIÓK, EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA

A hazai haragossikló-állományok elterjedési képe

A kutatási időszak alatt felfedezett haragossikló-állományok alapján megállapíthatjuk, hogy a faj Magyarország területén a korábban vélelmezettnél (DELY 1997, BAKÓ, KORSÓS 1999) gyakoribb előfordulással bír, azonban még mindig ritka előfordulásának és élőhelyeinek veszélyeztetettsége okán fokozottan védettnek minősítendő.

A bejárások alapján a további potenciális lelőhelyeket ott vélelmezhetjük, ahol a mezőföldi, Duna menti löszterületek vertikálisan kellően tagoltak, így a jövőben két további helyszín bejárása lehet indokolt, ezek a Kulcs és Rácalmás közötti Duna menti löszfalak, valamint az Érd és Százhalombatta közötti területek. Amennyiben ezeken a területeken a faj jelenlétét megállapíthatjuk, a haragos sikló elterjedési térképe újabb két UTM négyzettel bővíthet.

Aktuális élőhelyek és védelmi javaslatok

A haragossikló-élőhelyek természetvédelmi vizsgálata és értékelése során a következő általános megállapításokat és javaslatokat fogalmazhatjuk meg.

- A közvetlenül nem veszélyeztetett élőhelyek (Sas-hegy, Szársomlyó) esetében javasolt a területek háborítatlanságának további biztosítása, amely bekerítéssel és a terület fokozottabb őrzésével, látogathatóságának korlátozásával a jövőben is fenntartható.
- A veszélyeztetett élőhelyek (Mátyás-hegy, Szállás-hegy, Farkas-hegy, Paks) megóvásáról minden élőhely esetén különböző, a területi sajátosságoknak megfelelő, élőhelykezelési tervekbe foglalandó módszerekkel gondoskodhatunk.
- A harmadik kategóriába a közvetlenül veszélyeztetett élőhelyek (Dunaújváros, Dunaföldvár, Dunaszekcső) kerültek. Ezek esetében az élőhelykezelési tervek kidolgozásával egy időben szükséges lenne a területek jogi védettségének megállapítása is.

Fluktuáló aszimmetria vizsgálata

Az összetett indexek és az $FA1_{\text{sublab}}$ valamint $FA5_{\text{sublab}}$ értékei alapján a villányi-hegységi haragossikló-populáció állapota, a populáción belüli aszimmetriák előfordulási gyakoriságát tekintve, nem tér el szignifikánsan az ideális feltételek között élő balatoni kockássikló-populációtól. Tehát a Villányi-hegységben élő haragossikló-állomány a gyakori emberi zavarás valamint helyenkénti élőhely-pusztítás ellenére a populáción belül mért fluktuáló aszimmetria alapján relatíve nagy fejlődési stabilitást mutat, azaz összehasonlításunk alapján közel áll egy ideális élőhelyen élő siklópopuláció értékeihez. (BELLAAGH *et al.* 2007B).

A vizsgált bélyegekről: mind a négy bilaterális karakter diszkrét értéke könnyen, gyorsan és hiba nélkül rögzíthető akár terepen is, tehát a szakirodalom szerint (PALMER, 1994) ideális a fluktuáló aszimmetria mérésére, ezért használatuk mindenképpen ajánlott. Jelen vizsgálatban két morfológiai karakter értékei nem mutattak kellő gyakoriságú aszimmetriát, ezért azokat az indexek számításához nem használhattuk fel. Nagyobb stressznek kitett populációk esetében valószínűleg ezek a karakterek is informatívak lesznek. A felhasznált másik két bélyeg aszimmetriája egymástól eltérő mértékű volt, ami megerősíti azt az elképzelést, amely szerint a fluktuáló aszimmetria karakterspecifikus is lehet (CLARKE, 1995).

Habitatpreferencia

Eredményeim szerint az egyes környezeti változók jelentősége a haragos sikló élőhely-választásában habitat és táj szinten eltérő lehet. Bizonyos változók csak habitat szinten játszanak meghatározó szerepet, más változók mind habitat, mind táj szinten meghatározó jelentőségűek. Vizsgálataim során egyetlen tájalkotó elem, a vegetációs szegélyhossz volt az, amely mindkét térléptékben egyaránt szignifikánsan különbözött a siklók által használt és a random területek között. Ezek az ökoton jellegű, kis területen több, eltérő mikroklímájú mikrohabitatot tartalmazó (ún. high thermal quality) élőhelyek szerkezetüknek köszönhetően kis területen képesek az ectotherm állatok trade-off viselkedéséhez, az aktív termoregulációjához szükséges hőmérsékleti viszonyokat (CARFAGNO *et al.* 2006, ROW, BLOUIN-DEMERS 2006) valamint a táplálékbázist biztosítani (GLANDT 1991, NEMES 2006). Megállapítható továbbá, hogy a haragos sikló élőhely-választására mind a habitatok, mind a táj szerkezete (a szegélyhossz, meredekség és mozaikosság) is döntő hatással vannak (BELLAAGH *et al.* 2007A). A szabad talajfelszín és

sziklafelszín területi részaránya és a haragos sikló előfordulása kis léptéken vizsgálva pozitív korrelációt mutatott, amely jelenség a habitatok szerkezeti diverzitásának jelentőségére hívja fel a figyelmet (TEWS *et al.* 2004). A meredekségi értékekben jelentkező különbségek csak a 2x2 méteres kvadrátokban és 25 méteres sugarú területek esetén mutattak szignifikáns eltérést. Tehát azok a területek, amelyeket a faj bizonyítottan használ (vedlésre, lakóhelyként vagy táplálékkeresésre) kis léptékben vizsgálva jóval meredekebbek, mint a random kijelölt területek. Ezek a területek a kis térskálán, vertikálisan jóval tagoltabbak. Jelen vizsgálataink alapján kimondhatjuk, hogy egy haragossikló-élőhely restaurációjakor a terület diverz mikroszerkezetének kialakítása (kis kiterjedésű szikla és talajfoltok) mellett szükség van vegetációs szegélyek (fás és lágyszárú találkozási felület) kialakítására is, így az élőhelyekről minden esetben folszerűen kell visszaszorítani még az őshonos, záródó fás szárú vegetációt is.

Genetikai kapcsolatok a hazai és külföldi állományok között, rekolonizációs utak

Eredményeink alapján a haragos sikló elterjedési területén alapvetően két nagy haplotípus-kört tudunk elkülöníteni (NAGY *et al.* 2010). Az egyik csoportba az Égei-tenger keleti szigetvilágán és a Kis-Ázsiában honos populációk tartoznak, míg ettől genetikailag jelentősen elkülönülnek az Európában honos haplotípusokhoz tartozó populációk. Eurázsiai elterjedésű hüllőfajokon végzett vizsgálatok során hasonló filogenetikai elkülönülést mutattak ki a szintén Balkáni, Kis-Ázsiai refúgiummal rendelkező *Ablepharus kitaibelii* formakör vizsgálata során is (POULAKAKIS *et al.* 2005), ahol az eurázsiai elterjedési területen belül szintén jól elkülöníthető egy keleti és egy nyugati formakör. A genetikai vizsgálatok során elkülönített haragossikló-haplotípusok területi eloszlása alapján arra következtethetünk, hogy a közép-kelet európai élőhelyek kolonizációja az egykori, Balkán-félsziget területén lévő refúgiumból történt. Több eurázsiai elterjedéssel rendelkező hüllőfaj filogeográfiai vizsgálata is megerősítette azt a tényt, hogy a közép-európai állományok eredetében a Kis-Ázsiai régiók refúgiumai nem játszottak jelentős szerepet (JAGER *et al.* 2007). A vizsgálataink és a kapott haplotípus-mátrix alapján megállapítható, hogy a két legősibb haplotípus a H5 és a H2 haplotípusok. A két fő haplotípus elkülönülése jóval korábbra tehető, mint a nyugati haplotípusból történt északi irányú migráció kezdeti ideje. A Kárpát-medencei haragossikló-állományok genezise szempontjából a H5 haplotípusból divergálódott állományok és azok migrációja, valamint a köztük megállapítható kapcsolatok szolgáltatnak információkat. Figyelmet érdemel azonban az a tény, hogy a meglehetősen széles területi

elterjedésű H5 haplotípustól – amely magába foglalja a Sas-hegytől a Duna-deltáig, illetve Balkánig húzódó lelőhelyeket is – szignifikánsan elkülönül a H6 haplotípus, amelybe csak a Szársomlyóról származó minták esnek. Ez az elkülönülés a H5 haplotípustól jelentősebb, mint a H4 és H7 haplotípusok szétválása, amely mögött az izolált, genetikai tekintetben szigetpopulációkban (Szársomlyó H6) történő gyorsabb mértékű genetikai diverzitás-csökkenés jelensége állhat. A haragos sikló tehát kétségtelenül déli irányból, a Balkán és a Kárpátok vonalától délre eső területekről kolonizálta a Kárpát-medencét. A faj jelenlegi elterjedési képéből, miszerint a haragos sikló csak a Dunától nyugatra található meg, arra következtethetünk, hogy kárpát-medencei kolonizációja a Duna mai folyásirányának kialakulása – hozzávetőleg 10000 éve (KARÁTSÓN *et al.* 2006) – után következett be. Ezt az elméletet erősíti meg az a tény is, hogy a posztglaciális időszakban a mogyoró (9000 – 7500 éve) és tölgy (7500 – 5000 éve) korszakban erőteljes szubmediterrán klímahatás jellemezte a Kárpát-medencét, nagy területeken alakultak ki szubmediterrán sztyepprétek, a domb- és hegyvidéki részeken molyhostölgyes ligeterdők (BORHIDI 1997). A Budai-hegyekben és a Mezőföld keleti peremén élő, valamint a szerb, román, bolgár és macedón területeken élő populációk között a genetikai vizsgálatok alapján erősebb kapcsolatot kell feltételeznünk, mint a mezőföldi és a szársomlyói állományok között. E jelenség magyarázható a pleisztocén utolsó szakaszainak periodikus felmelegedésével is, amely során az areáját délről északi irányba kitoló haragos sikló első ütemben legalább a Villányi-hegység vonaláig kolonizálta a Kárpát-medencét, majd egy kisebb lehülési hullám következtében – bükk I. és bükk II. időszaki lehülések 5000 – 2000 évvel ezelőtt (BORHIDI 1997) – ismét jelentősen délebbre szorult. A mediterrán szigetként a környezetéből már akkor is kiemelkedő Szársomlyó-hegy (VARGA 1995) és környékének kedvező klimatikus viszonyai biztosíthatták egy kisebb állomány számára a túlélést, amely jelenleg is benépesíti az adott területet. Az alacsonyabb régiókból tehát a haragos sikló az utolsó, enyhébb lehülési hullám idején eltűnhetett, majd az azt követő időszakokban, megkezdte a Kárpát-medence újabb kolonizálását.

Mivel nem volt lehetőség a faj valamennyi európai élőhelyéről szövetmintát gyűjteni, nem zárható ki annak lehetősége sem, hogy a H5 haplotípus elterjedési területén belül a szársomlyói H6 haplotípushoz hasonló genetikai helyzetű, további önálló haplotípusok is megtalálhatók, amelyek megerősítenék a faj több ütemben történő északi irányú radiációját.

Amennyiben elfogadjuk a fenti kolonizációs teóriát, láthatóvá válik az is, hogy a fluktuáló aszimmetriának a genetikai háttere meglehetősen alacsony, hiszen a hosszú ideje bizonyítottan

izoláltan élő szársomlyói haragossikló-populációban a fluktuáló aszimmetria gyakorisága szignifikánsan nem nagyobb, mint az összefüggő area egy ideális környezeti viszonyokkal rendelkező élőhelyén élő, nagy egyedszámú kockássikló-populációban.

IRODALOMJEGYZÉK

- BAKÓ B., KORSÓS Z. (1999): A magyarországi herpetofauna UTM-térképezésének felhasználási lehetőségei – *Állattani Közlemények* 84: 34-43
- BAKÓ B., BELLAAGH M. (2004): A haragos sikló (*Coluber caspius*) védelmi terve Magyarországon. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal, Budapest, 29 pp.
- BORHIDI A (1997): Gondolatok és kételyek: Az Ősmátra-elmélet – *Studia Phytologica Jubilaria Dissertationes in Honorem Jubilantis Adolf Olivér Horvát. Pécs pp: 161-188*
- BRICKER J., BUSHAR L. M., REINERT H. K., GELBERT L. (1996): Purification of high Quality DNA from Shed Skin. – *Herpetological Review* 27(3): 133-134.
- CARFAGNO G. L. F., HESKE E. J., WEATHERHEAD P. J. (2006): Does mammalian prey abundance explain forest-edge use by snakes? – *Ecoscience* 13 (3): 293-297
- CLARKE M. G. (1995): Relationship between developmental stability and fitness: application for conservation biology. – *Conservation Biology* 9: 18-24
- DELY O. GY. (1997): A csíkos vagy ugró sikló (*Coluber caspius Gmelin, 1789*) magyarországi előfordulásáról. – *Állattani Közlemények*, 82: 39-46
- DOBOLYI K. (2001): Sziklagyep-moitorozó vizsgálatok a Csiki-hegyek (Budai TK) területén. – *Tanulmány, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest*
- DUDÁS GY. (2001): A fokozottan védett Szársomlyó TT. herpetofaunája. – Szakdolgozat. Veszprémi Egyetem. Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely. p. 86
- ESRI (2000): ARCWIEW 3.2. Environmental System Research Institute, Redlands, California
- GLANDT D (1991): The vegetation structure preferred by the sand lizard (*Lacerta agilis*) and the common lizard (*Lacerta vivipara*) in an experimental outdoor enclosure. – *Acta Biologica Benrodis* 3: 79-86
- HERCZEG G., KRECSÁK L., MARSZ Z. (2002): Új bizonyító adat a haragos sikló előfordulásáról Budapest belterületén a Sas-hegyről. – *Folia historico-naturalia Musei Matrensis*, 26: 341-344.
- HERCZEG G., SZABÓ K., KORSÓS Z. (2005): Asymmetry and population characteristic in Dice Snake (*Natrix tessellata*): an interpopulation comparison. *Amphibia–Reptilia* 26: 422-426.
- JOGER U., FRITZ U., GUICKING D., KALYABINA-HAUF S., NAGY Z.T., WINK M. (2007): Phylogeography of western Palearctic reptiles – Spatial and temporal speciation patterns – *Zoologischer Anzeiger* 246:293-313

- KARÁTSÓN D., NÉMETH K., SZÉKELY B., RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS, PÉCSKAY Z. (2006): Incision of a river curvature due to exhumed Miocene volcanic landforms: Danube Bend, Hungary. – *International Journal of Earth Sciences (online)*: DOI 10.1007/s00531-006-0075-9
- KORSÓS, Z., MARA GY., TRASER GY. (2002): A haragos sikló (*Coluber caspius Gmelin, 1789*) újabb előfordulása Magyarországon. – *Folia historico-naturalia Musei Matrensis*, 26: 335-339
- NAGY, Z. T., LAWSON, R., JOGER, U., WINK, M. (2004): Molecular systematics of racers, whipsnakes and relatives (*Reptilia: Colubridae*) using mitochondrial and nuclear markers. – *J. Zool. Syst. Evol. Research* 42: 223-233.
- NAGY Z. T., BELLAAGH M., WINK M., PAUNOVIC A., KORSÓS Z. (2010): Phylogeography of the Caspian whipsnake in Europe with emphasis on the westernmost populations - *Amphibia-Reptilia* 31:455-461
- NEMES S., VOGGRIN M., HARTEL T., ÖLLERER K. (2006): Habitat selection at the sand lizard (*Lacerta agilis*): ontogenetic shifts. – *North-Western Journal of Zoology* 2(1): 17-26
- PALMER A. R. (1994): Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: MARKOW T. A. (ed.): *Developmental instability: Its origins and evolutionary implications*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands, pp. 335-364.
- POULAKAKIS N., LYMBERAKIS P., TSIGENOPOULOS C.S., MAGOULAS A., MYLONAS M. (2005): Phylogenetic relationship and evolutionary history of snake-eyed skink *Ablepharus kitaibelii* (*Sauria:Scincidae*) – *Mol. Phylogenetic and Evolution* 34: 245-256
- ROW J. R., BLOUIN-DEMERS G. (2006): Thermal quality influences habitat selection at multiple spatial scales in milksnakes. - *Écoscience* 13: 443-450.
- SAMBROOK, J. E.; FRITSCH, F.; MANIATIS, T. (1989): *Molecular cloning: A laboratory manual*. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory
- SWOFFORD D. (2002): PAUP*: Phylogenetic analysis using parsimony (* and other Methods), Version 4 - Sinauer Associates, Sunderland
- TAMURA K., DUDLEY J., NEI M., KUMAR S. (2007): MEGA4: Molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4. 0. – *Mol. Biol. Evol.* 24(8): 1596-9.
- TEWS J., BROSE U., GRIMM V., TIELBÖRGER K., WICHMANN M. C., SCHWAGER M., JELTSCH F. (2004): Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures - *Journal of Biogeography* 31 (1), 79–92
- TÓTH, T. (2002): Data on the North Hungarian records of the Large Whip Snake *Coluber caspius Gmelin, 1789*. – *Herpetozoa* 14: 163-167.
- VARGA, Z. (1995): Geographical patterns and biological diversity in the Palearctic region and the Carpathian Basin. – *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 41: 71–92.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban:

* **BELLAAGH M.**, KORSÓS Z., SZELÉNYI G. (2008): New occurrences of the Caspian Whipsnake, *Dolichophis caspius* (Reptilia: Serpentes: Colubridae) along the River Danube in Hungary – *Acta Zoologica Bulgarica* 60 (2): 213-217 (IF=0,269)

* **BELLAAGH M.**, LAZÁNYI E., KORSÓS Z. (2010): Calculation of Fluctuating Asymmetry of the biggest Caspian whipsnake population in Hungary compared to a common snake species. – *Biologia* 65(1): 140-144 (IF=0,609)

NAGY Z. T., **BELLAAGH M.**, WINK M., PAUNOVIC A., KORSÓS Z. (2010): Phylogeography of the Caspian whipsnake in Europe with emphasis on the westernmost populations - *Amphibia-Reptilia* 31:455-461 (IF=0,976)

1.2. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

BELLAAGH M., KORSÓS Z., SZELÉNYI G. (2006): A fokozottan védett haragos sikló (*Hierophis caspius*) új, Duna menti lelőhelyei. – *Állattani Közlemények* 91(2): 139-144

* **BELLAAGH M.**, BÁLDI A., KORSÓS Z. (2007A): Élőhely-preferencia vizsgálatok a magyarországi haragossikló-állományokon. – *Természetvédelmi Közlemények* 13. pp: 431-438.

* **BELLAAGH M.**, DEÁKNÉ LAZÁNYI-BACSÓ Á., KORSÓS Z. (2007B): Fluktuáló aszimmetria vizsgálata hullőpopulációk életminőségének jellemzésére. – *Állattani Közlemények* 92(2): 27-36

2. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények

2.1. . Idegen nyelvű teljes cikk konferencia kiadványban

BELLAAGH M., NAGY Z.T., KORSÓS Z. (2010): Phylogeography and conservation of the Caspian whipsnake in Central and South-East Europe – *Spring Wind Conference Booklet* p. 35-40.

*-gal jelzett közlemények az Irodalomjegyzékben – az ismétlődések elkerülése céljából – nem kerültek feltüntetésre